



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI



UNITAT DE RECUPERACIÓ PER DESTIL·LACIÓ AZEOTRÒPICA DE 2- PROPANOL D'UNA PLANTA DE POLIPROPILÈ EN SUSPENSIO

Projecte final del Grau en Enginyeria Química

Codi: 1506_davidabello

Tutor: Josep Basco Montia

Autor: David Abelló Martínez

Data entrega: 3 de juny del 2015

ÍNDEX

1.	Introducció.....	4
2.	Etapa preliminar	5
2.1.	Descripció del projecte.....	5
2.2.	Abast del projecte.....	5
2.3.	Mescla binària 2-propanol aigua.....	6
2.4.	Alternatives del procés.....	6
2.5.	Planificació inicial del projecte.....	8
3.	Bases per al desenvolupament del projecte	10
3.1.	Bases de disseny.....	10
3.1.1.	Especificacions de les alimentacions.....	10
3.1.2.	Capacitat, flexibilitat operativa i factor servei.....	10
3.1.3.	Especificació del producte	11
3.2.	Dades bàsiques pel desenvolupament de l'enginyeria	11
3.2.1.	Serveis disponibles	11
3.3.	Dades del emplaçament.....	14
3.3.1.	Dades climatològiques, pluviomètriques i sísmiques.....	14
3.4.	Normes i codis de disseny.....	15
4.	Desenvolupament de l'enginyeria bàsica	16
4.1.	Elaboració de diagrames	16
4.1.1.	Diagrama de blocs	16
4.1.2.	Diagrama simulació	16
4.1.3.	Diagrama de flux de procés (PFD)	18
4.1.4.	Plot plan.....	19
4.1.5.	Diagrama de canonades i instrumentació (PID)	19
4.2.	Descripcions.....	27
4.2.1.	Descripcions funcionals del projecte	27

4.2.2.	Descripció de les estratègies de control.....	28
4.3.	Disseny basic.....	32
4.3.1.	Disseny de canonades	32
4.3.2.	Disseny de la instrumentació i control.....	38
4.3.3.	Disseny d'equips.....	41
4.3.4.	Llistat d'equips	67
5.	Seguretat en el disseny de les instal·lacions	69
5.1.	Consideracions generals.....	69
5.1.1.	Classificació dels accidents	70
5.1.2.	Classificació de les àrees o emplaçaments perillosos (ATEX).....	70
5.2.	Avaluació de riscos	71
5.3.	Estudis de seguretat.....	72
5.3.1.	Anàlisi de risc i operativitat (HAZOP).....	72
6.	Mediambient en el disseny de les instal·lacions.....	80
6.1.	Identificació i avaluació de les emissions	80
6.1.1.	Emissions atmosfèriques	80
6.1.2.	Emissions líquides	80
6.1.3.	Emissions sòlides.....	81
6.1.4.	Impacte per soroll	81
6.1.5.	Impacte al paisatge.....	81
6.1.6.	Impacte social i econòmic	81
6.1.7.	Altres.....	81
6.2.	Consum d'energia i recursos naturals	82
6.3.	Contribució al efecte hivernacle.....	82
7.	Manteniment de les instal·lacions	83
7.1.	Manteniment correctiu	83
7.2.	Manteniment preventiu i predictiu	83

7.3.	Manteniment específic	85
7.3.1.	Bombes centrífugues	85
7.3.2.	Vàlvules	86
7.3.3.	Columnes	87
7.3.4.	Tancs de procés.....	87
7.3.5.	Bescanviadors	87
8.	Manual d'operació.....	88
8.1.	Posada en marxa.....	88
9.	Estudi econòmic	90
9.1.	Inversió fixa i en capital de treball.....	90
9.2.	Despeses de producció	93
9.2.1.	Despeses directes	93
9.2.2.	Despeses fixes o indirectes	94
9.2.3.	Resum de despeses	94
9.3.	Estudi de la rendibilitat de la inversió.....	95
9.3.1.	Any de recuperació de la inversió.....	95
9.3.2.	VAN i TIR	96
9.3.3.	Anàlisi de sensibilitat	96
10.	Bibliografia.....	98
A1.	Càlcul d'extensió de la zona classificada ATEX	1
	Determinació de l'extensió per una fuga de 2-propanol al dipòsit V-1001	1
A2.	Dimensionament d'una vàlvula de seguretat.....	3
	Dimensionament de la vàlvula de seguretat PSV-101	3

1. INTRODUCCIÓ

Títol del projecte	Unitat de recuperació per destil·lació azeotròpica de 2-propanol d'una planta de polipropilè en suspensió
Codi del projecte	1506_davidabello
Localització	Polígon sud, Vilaseca
Data inici	2 de febrer de 2015
Data entrega	3 de juny de 2015

SHC és una empresa creada el 2 de febrer del 2015 en el marc acadèmic pel desenvolupament del Projecte Final del Grau en Enginyeria Química a la Universitat Rovira i Virgili de Tarragona, amb la finalitat d'elaborar el projecte "Unitat de recuperació per destil·lació azeotròpica de 2-propanol d'una planta de polipropilè en suspensió".

S'ha realitzat el disseny a nivell d'enginyeria bàsica i parcialment de detall d'una unitat de recuperació de 2-propanol provinent d'una planta de polipropilè en suspensió. La finalitat és recuperar el 2-propanol utilitzat com a dissolvent durant el procés de producció del polipropilè en suspensió i reutilitzar-lo de nou al procés, el que permet millorar la competitivitat i reduir la quantitat de residus produïts.

2. ETAPA PRELIMINAR

2.1. Descripció del projecte

L'objectiu d'aquest projecte és el disseny i instal·lació d'una unitat de recuperació de 2-propanol (99,9% en pes) a partir d'un corrent de 17000 kg/h provinent d'una planta de producció de polipropilè segons el procés en suspensió Hoechst de 75000 T/any.

Amb aquesta etapa de recuperació, es pretén purificar un corrent constituït majoritàriament de 2-propanol i aigua mitjançant processos de destil·lació, fins complir amb les condicions especificades. S'espera recuperar almenys el 97 % del 2-propanol alimentat.

La justificació del projecte es realitza en base a la reducció de costos en la producció de polipropilè. El 2-propanol s'utilitza en la destrucció del residu dels catalitzadors Ziegler-Natta i la seva adquisició i posterior tractament suposa un cost afegit del procés.

D'aquesta manera, amb l'etapa de recuperació del 2-propanol, s'espera contribuir a la millora de la competitivitat del producte al mercat des del punt de vista econòmic i mediambiental, ja que es produeix una recuperació d'un producte que fins al moment era tractat com a residu.

2.2. Abast del projecte

L'abast del projecte inclou el disseny de la secció de recuperació de 2-propanol de la planta de polipropilè en suspensió, des de la recepció del corrent procedent de la planta de producció de polipropilè fins al retorn del producte purificat.

S'inclou el dimensionament dels principals equips de destil·lació, bescanvi de calor, acumulació i impulsió de fluids, així com la instrumentació, control i canonades. A més, de l'estudi de la simulació del procés, de les vàlvules de control, l'estudi de seguretat, l'estudi d'impacte ambiental, l'avaluació econòmica i el manual de posada en marxa i de manteniment.

S'exclou de l'abast del projecte el disseny auxiliar de línies i equips necessaris pel subministrament dels *utilities* no produïes a la mateixa unitat.

2.3. Mescla binària 2-propanol aigua

Com es mostra a la figura 2.1, la mescla 2-propanol i l'aigua a 1bar formen un azeòtrop al voltant del 85 % en pes de 2-propanol a la temperatura azeotròpica de 80 °C. Es considera un azeòtrop una mescla que presenten la mateixa composició tant en la fase líquida com gasosa.

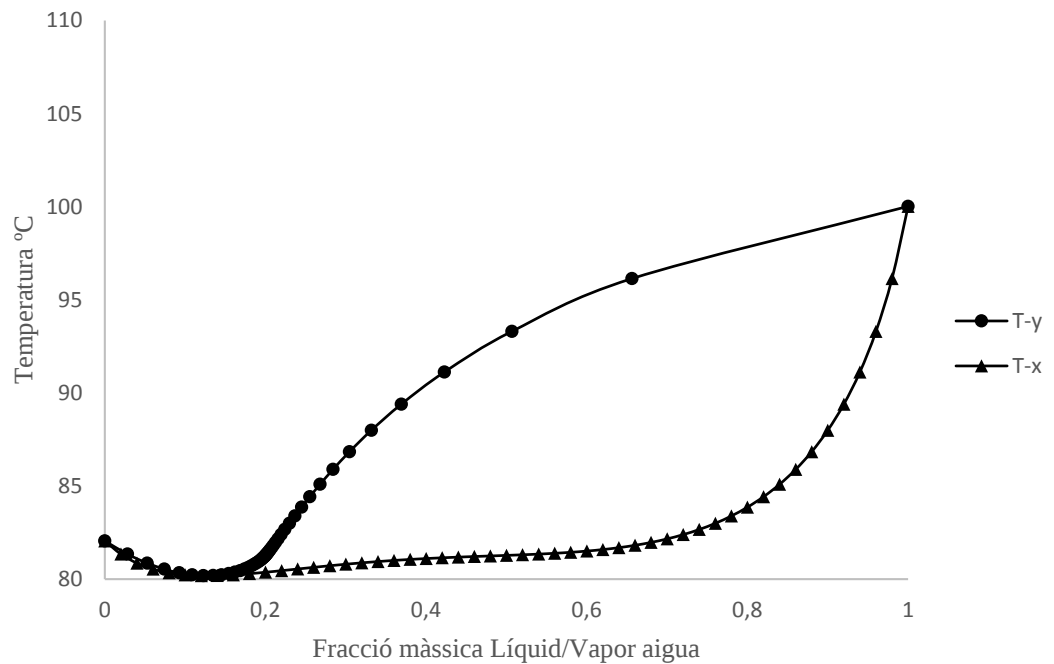


Figura 2.1. Txy per la mescla 2-propanol i aigua

2.4. Alternatives del procés

És possible obtenir el 2-propanol purificat a partir de diverses tecnologies [ref. 2.1], com per exemple amb resines de bescanvi iònic, amb carbó actiu, membranes, amb variació de pressió entre columnes de destil·lació, per destil·lació extractiva o destil·lació azeotròpica. Segons les bases del projecte proporcionat pel client es requereix de la utilització de la tecnologia per destil·lació extractiva o azeotròpica.

Per poder operar amb aquestes tecnologies es requereix d'un tercer component, un solvent o *entrainer* pesat en el cas de la destil·lació extractiva (figura 2.2.) o *entrainer* o *entrainer lleuger* en el cas de la destil·lació azeotròpica (figura 2.3.). El solvent permet desplaçar un dels compostos al fons de columna i així obtenir una major puresa al cap de columna extractiva del producte desitjat i l'*entrainer* el procés contrari, desplaça el compost al cap de columna i forma

2 fases líquides al decantador, permetent obtenir el producte purificat pel fons de la columna azeotròpica.

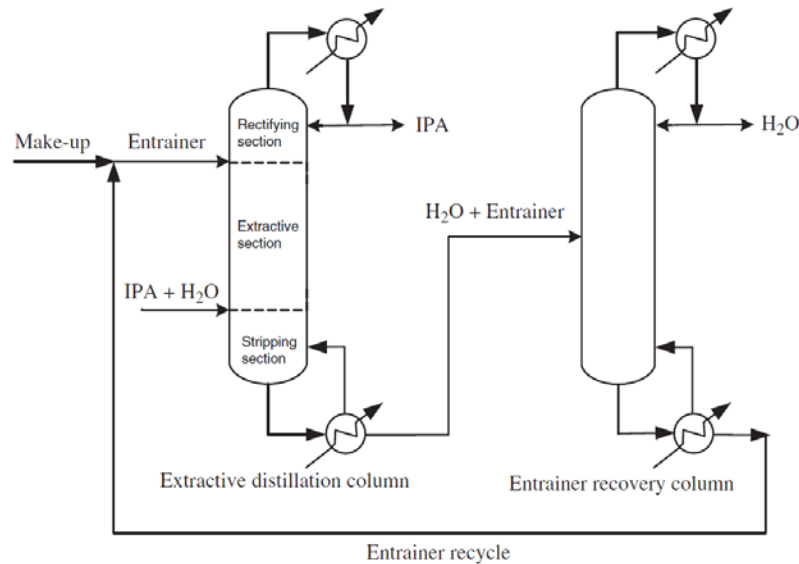


Figura 2.2. Destil·lació extractiva [ref 2.2]

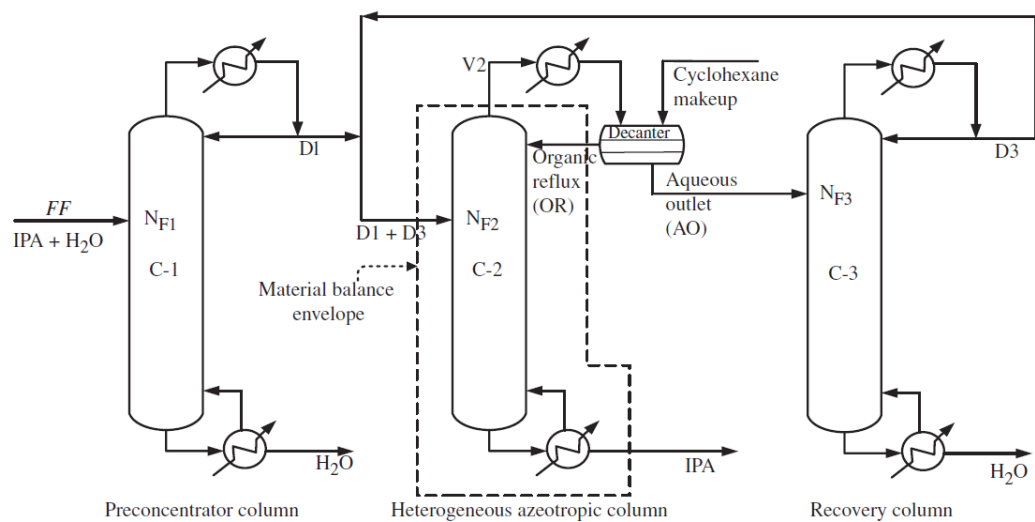


Figura 2.3. Destil·lació heteroazeotròpica [ref. 2.2]

A partir de l'estudi econòmic realitzat per William L. Luyben i I-Lung Chien [ref 2.2] en funció dels requeriments energètics d'operació per purificar una mescla de 2-propanol i aigua, es

determina que l'alternativa de destil·lació azeotròpica, amb l'ús de dues columnes, és la configuració més òptima i la que s'utilitzarà.

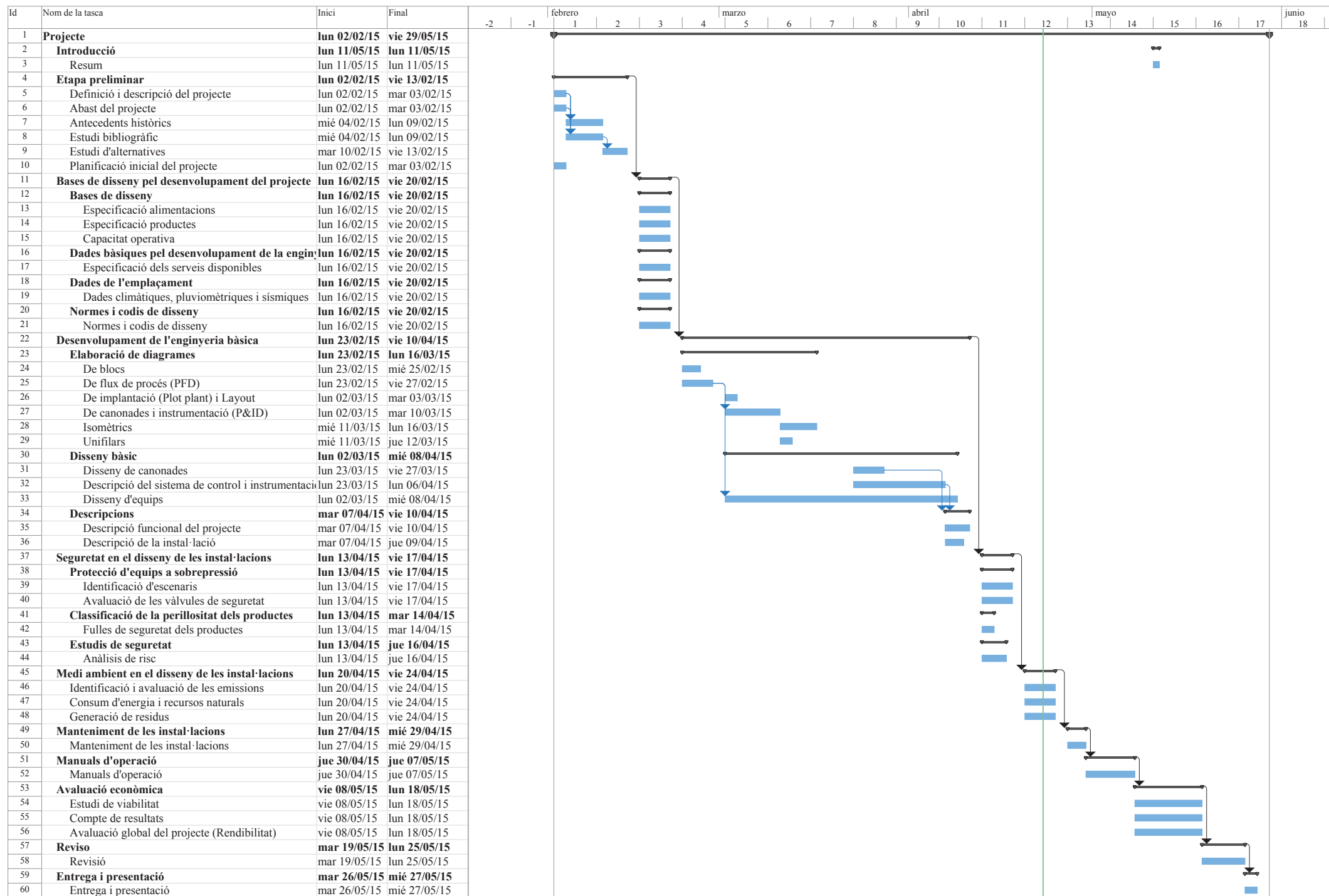
Per aquest tipus de tecnologia és possible utilitzar diversos *entrainers*: benzè, ciclohexà i diisopropil èter. S'ha descartat el benzè per la seva alta toxicitat. El ciclohexà i el diisopropil èter presenten unes característiques similars, s'ha optat per utilitzar el diisopropil èter ja que presenta millors característiques de seguretat (major temperatura d'autoignició), una temperatura de fusió menor i preus més competitius.

2.5. Planificació inicial del projecte

La planificació inicial del projecte s'ha dut a terme en base a les diferents activitats a realitzar, establint una seqüència en el temps que té en compte les activitats que es poden realitzar de forma simultània i les que no, així com mantenir una seqüència lògica en el temps.

En el diagrama de Gantt, que es mostra al final d'aquest apartat, es pot trobar la planificació inicial del projecte realitzada en base als criteris anteriorment mencionats.

Cal destacar que no s'han inclòs les possibles desviacions aparegudes durant l'elaboració del projecte.



3. **BASES PER AL DESENVOLUPAMENT DEL PROJECTE**

3.1. **Bases de disseny**

Es descriuen els objectius, paràmetres i limitacions que no són objecte de càlcul, sinó que són dades fixades per poder procedir al disseny i descripció del projecte.

3.1.1. **Especificacions de les alimentacions**

A les taules 3.1 i 3.2 es mostra la composició i característiques de la corrent d'alimentació.

Taula 3.1. Composició de la corrent d'alimentació

Component	Fracció màssica (% en pes)
2-Propanol	1
Aigua	99
Hidròxids d'alumini i titani	< 0.01
Sòlids en suspensió	< 0.01

El corrent pot contenir hidròxids d'alumini, titani i sòlids en suspensió en fraccions molt baixes que no es tindran en compte en el balanç de matèria però sí en el disseny d'equips.

Taula 3.2. Característiques de la corrent d'alimentació

Caudal (kg/h)	Pressió (atm)	Temperatura (°C)
17000	1	40

3.1.2. **Capacitat, flexibilitat operativa i factor servei**

Tant la capacitat com la flexibilitat operativa depenen bàsicament de dos factors principals.

Per una banda, la relació existent entre la unitat de recuperació de 2-propanol amb la planta de producció de polipropilè. Les variacions i pertorbacions en la producció que es produeixen a la unitat predecessora afecten de forma directa a qualsevol procés instal·lat a continuació, més clarament al tractar-se d'un procés en continu.

I per un altre banda, les pròpies pertorbacions internes de la unitat de recuperació, produïdes per un mal funcionament dels equips, sistemes de control, etc. que poden afectar la operació normal del procés.

La capacitat de disseny de la unitat de recuperació és de 165 kg/h, tot i que s'ha dissenyat pensant en una possible ampliació. El factor servei és de 8000 h/any en continu 24h/dia en 3 torns de treball. Les parades aniran en funció de la planta de producció de polipropilè, amb parades de manteniment anual.

3.1.3. Especificació del producte

A la taula 3.3 es mostren les especificacions de disseny pel producte final.

Taula 3.3. Característiques de la corrent final

Caudal (T/any)	Composició
1320	99.99% (en pes 2-propanol)

3.2. Dades bàsiques pel desenvolupament de l'enginyeria

3.2.1. Serveis disponibles

Es descriuen les especificacions dels principals serveis auxiliars dels que es disposa.

3.2.1.1. Aire instrumentació

El subministrament d'aire per instrumentació estarà situat en un punt accessible per a la unitat de recuperació. Les característiques es mostren a la taula 3.4.

Taula 3.4. Característiques aire instrumentació disponible

Pressió (barg)	Temperatura (°C)	Punt rosada (°C)	Observacions
6	25	-20	Sense oli i pols

3.2.1.2. Vapor

A la taula 3.5 es resumeixen les propietats del vapor disponible procedent de la planta del complex.

Taula 3.5. Característiques de l'aire d'instrumentació disponible

Vapor	Temperatura (°C)	Pressió (barg)
Molt baixa pressió	134	3
Baixa pressió	165	6
Mitja pressió	210	18

3.2.1.3. Aigua de refrigeració

A la taula 3.6 es mostren les característiques de l'aigua de refrigeració provinent de les torres de refrigeració del complex.

Taula 3.6. Característiques de l'aigua de refrigeració

Pressió (barg)	5 (subministrament)	8 (disseny)
Temperatura (°C)	27 (subministrament)	37 (retorn)
Clorurs (mg/l)	150 (màx.)	
Flouling factor (m²K/W)	0.00025	

3.2.1.4. Gas inert

S'utilitzarà nitrogen com a gas inert, les característiques del nitrogen disponible es mostren a la taula 3.7.

Taula 3.7. Característiques del gas inert

Puresa	Pressió (barg)	Contingut O ₂ (ppm)
Mín. 9.9 % (volum)	10	10 (màx.)

3.2.1.5. Energia elèctrica

A la taula 3.8 es mostren les característiques de l'energia elèctrica disponible.

Taula 3.8. Dades relatius a l'electricitat

Energia elèctrica	Voltatge (V)	Fases	Freqüència (Hz)
Mitja tensió	6000	Trifàsica	50
Baixa tensió	890	Trifàsica	50
Baixa tensió	380	Trifàsica	50

3.2.1.6. Despeses dels serveis disponibles

Els costos dels serveis depenen de la instal·lació on s'instal·la la unitat. A la taula 3.9 es mostren els preus dels serveis disponibles.

Taula 3.9. Despeses dels serveis disponibles.

Servei	Cost
Vapor de agua	15.06 \$/T
Electricitat	0.04 \$/Kwh
Aire instrumentació	0.0049 \$/Nm ³
Nitrogen	0.027 \$/Nm ³
Aigua desmineralitzada	1.28 \$/Nm ³

3.3. Dades del emplaçament

La unitat de recuperació de 2-propanol es troba situada al polígon sud de Tarragona, on l'empresa ja té instal·lada la planta de producció de polipropilè.

El terreny presenta un sòl amb una duresa de 1.5 a 2kg/cm².

3.3.1. Dades climatològiques, pluviomètriques i sísmiques

El clima de la zona és de tipus mediterrani amb temperatures suaus i ambient humit la major part de l'any. Durant la primavera i la tardor són comuns els fenòmens tempestuosos amb importants descarregues elèctriques i precipitacions en curts intervals de temps. Durant l'hivern tenen lloc episodis més o menys persistents de tipologia continental donada la influència de vents freds i secs procedents del interior.

Pel que fa al vent, a l'estiu presenta una direcció sud-est sud-oest mentre que durant l'hivern presenta una direcció oest sud-oest.

A la taula 3.10 es mostren les dades climatològiques mitjanes del terme municipal de Tarragona.

Taula 3.10. Dades climatològiques mitjanes de Tarragona

Dades climatològiques	
Mitjana anual de la temperatura màxima	21.9 °C
Mitjana anual de la temperatura mínima	14.9 °C
Mitjana anual de precipitació	478 mm/a

Pel que fa a la sismicitat de la zona, està classificada com a inferior a grau VI (segons figura 3.1), el que suposa una intensitat sísmica baixa.



Figura 3.1. Mapa de perillositat sísmica (ref.3.2)

3.4. Normes i codis de disseny

Es mostra la normativa que afecta directa o indirectament al disseny, construcció i operació de la planta.

- Ús i emmagatzematge de productes: MIE-APQ-001, MIE APQ-006 y MIE APQ-007
- Disseny de vàlvules de seguretat: API 520 y API 521
- Disseny sistema contra incendis: RD 2267/2004 (Reglamento de Seguridad contra incendios en los establecimientos Industriales)
- Classificació d'equips en concepte de seguretat i perillositat: ATEX (Directiva 94/9/CE)
- Periodicitat de les revisions en els equips i els procediments de manteniment: RD 2060/2008 Reglamento de Equipos a Presión y en concreto ITC-EP-3 Refinerías de Petróleo y Plantas Petroquímicas.
- Manipulació de substàncies: Fulles de seguretat (MSDS, *Material Safety Data Sheet*)

Disseny d'equips:

- Recipients a pressió: Codi ASME secció VIII div.1
- Intercanviadors de calor: Codi TEMA (*Tubular Exchanger Manufacturers Association*)
- Tuberías: ANSI B36.10

4. DESENVOLUPAMENT DE L'ENGINYERIA BÀSICA

4.1. Elaboració de diagrames

4.1.1. Diagrama de blocs

El diagrama de blocs DB1, que es pot trobar al final d'aquest apartat, mostra les etapes bàsiques del procés de recuperació del 2-propanol per una planta de polipropilè en suspensió.

Les etapes que es poden observar al diagrama són les que es descriuen a continuació:

- Destil·lació azeotròpica: en aquesta etapa arriba el corrent amb el 2-propanol a recuperar. Mitjançant una destil·lació per etapes s'obté la concentració de l'azeòtrop de la mescla a pressió atmosfèrica. La finalitat és concentrar la mescla per reduir els costos de la destil·lació heteroazeotròpica posterior. A més, en aquesta etapa s'extreuen la majoria d'impureses i incondensables.

- Destil·lació heteroazeotròpica i separació líquid-líquid: en aquesta segona etapa del procés, es recupera el 2-propanol amb una puresa del 99.99%. S'utilitza un separador líquid-líquid per recuperar l'*entrainer* de la fase orgànica i recircular-ho com a reflux en la destil·lació.

4.1.2. Diagrama simulació

4.1.2.1. Estudi del procés

A partir de les dades i condicions proporcionades pel client es passa a realitzar el disseny de la planta en base a la simulació de processos amb el *software AspenTech Aspen Plus®*. Amb aquest software es realitzen els balanços de matèria i d'energia.

4.1.2.2. Validació de les propietats termodinàmiques

Per desenvolupar l'apartat de simulació és necessari prèviament realitzar un anàlisi de fiabilitat de les dades proporcionades pel simulador. Les dades experimentals s'han obtingut a la bibliografia (ref. 4.1) i (ref. 4.2) i les dades del simulador a partir de les equacions d'estat proporcionades.

Per determinar la fiabilitat de les equacions d'estat per a la mescla d'estudi, s'han simulat els azeotrops amb el simulador *Aspentech Aspen Plus®*, s'han obtingut tots els punts de l'equilibri ternari VLL a la pressió d'operació i s'han representat les dades amb un diagrama residual ternari. A partir de l'anàlisi d'aquesta representació es poden localitzar les diferents regions de destil·lació i les composicions en cada una. A la figura 4.1 es mostra el diagrama residual ternari per a la mescla obtingut amb les dades de la simulació.

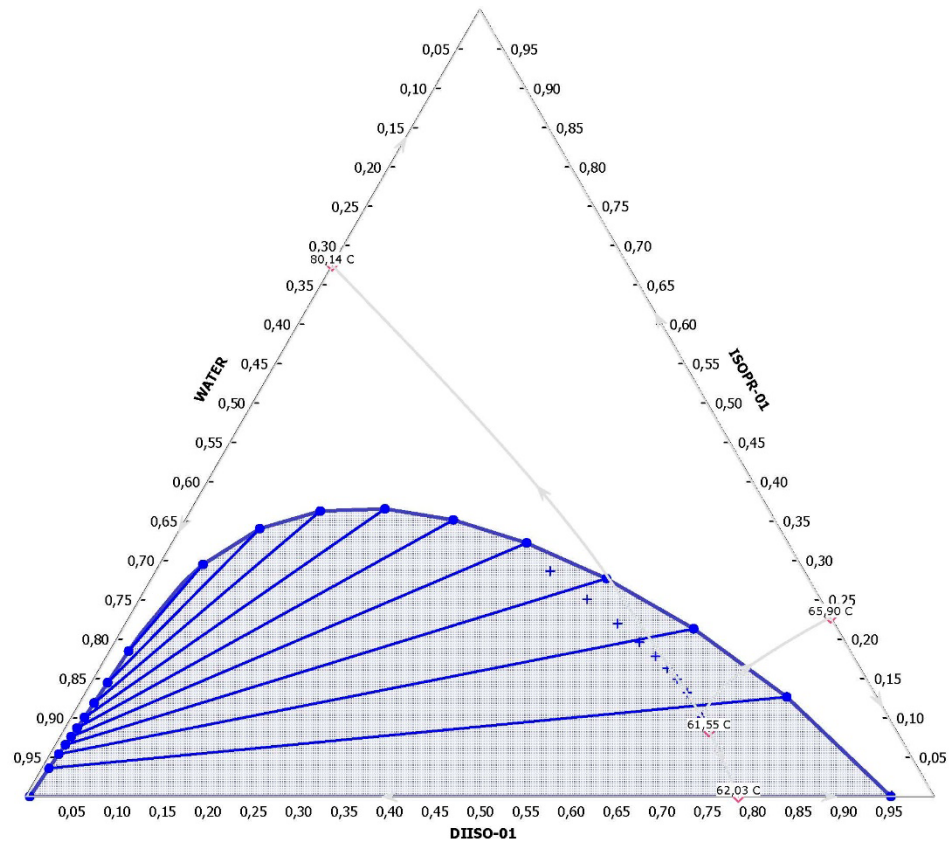


Figura 4.1. Diagrama residual ternari de la mescla aigua,-2-propanol i diisopropil èter a una pressió constant de 2.3 bar.

S'ha utilitzat el paquet termodinàmic NRTL-2 (*Non-random two-liquid model*), ja que és el més exhaustiu en sistemes de fases VLL i el que millors prediccions ofereix del heteroazeotrop a les condicions d'operació en comparació amb les dades obtingudes a la bibliografia.

4.1.2.3. Desenvolupament de la simulació

El procés de simulació, una vegada validat el paquet termodinàmic i definits els productes, dóna lloc a la configuració de les diferents unitats que intervenen en el procés. En primer lloc es realitza un anàlisi a partir del mètode rigorós RadFrac de les destil·lacions mitjançant un procés de prova i ajust fins aconseguir la separació desitjada. L'estudi es segueix amb un anàlisi de sensibilitat fins aconseguir les condicions més òptimes.

Sobre la incidència del cost energètic (quantitat de vapor a aportar al reboiler de fons de columna) s'ha estudiat l'efecte de les següents variables:

- Etapa d'alimentació més òptima entre les etapes que presenten una concentració el més pròxima possible a la concentració d'alimentació de la columna.
- Variació del nombre d'etapes en funció de l'etapa d'alimentació.
- Variació de reflux entre els valors que permeten obtenir la puresa desitjada de producte.

Un cop s'obtenen les especificacions bàsiques per a les destil·lacions, es passa a la definició de tots els equips i corrents i la relació entre ells per aconseguir el major establi energètic.

Finalment, una vegada s'aconsegueix la convergència en estat estacionari, s'obtenen els valors per als balanços de matèria i energia, que seran la base pel posterior dimensionament i disseny de detall dels equips.

4.1.2.4. Diagrames de la simulació

Al diagrama SI1, que es pot trobar al final d'aquest apartat, s'ha representat l'esquema de la simulació del procés realitzat amb *Aspen Plus®*.

4.1.3. Diagrama de flux de procés (PFD)

Al diagrama PFD es mostren els principals equips que formen part de la unitat i les corrents entre els equips. A més, també s'ha representat el balanç de matèria per a cada corrent així com les seves principals característiques (número de corrent, pressió, temperatura, composició, cabals i fase d'estat).

Al final d'aquest apartat es pot trobar el diagrama PFD1.1.

4.1.4. Plot plan

Als diagrames PL01 i PL02, que es mostren al final d'aquest apartat, es pot veure la situació física a escala de tots els equips i zones que formen la unitat:

- Diagrama PL01, es mostra de forma general totes les zones de la planta de polipropilè en suspensió
- Diagrama PL02: es mostra de forma específica la unitat de recuperació.
-

La distribució dels equips s'ha basat en la direcció predominant del vent de la zona, respectant les distàncies entre equips i entre les diferents zones, així com l'amplada mínima dels carrils per on circulen els vehicles.

4.1.5. Diagrama de canonades i instrumentació (PID)

En aquest diagrama es poden veure tots els equips que componen la unitat de recuperació de 2-propanol, la instrumentació, les vàlvules, la identificació de les línies i la mida de les tubuladures. També s'han identificat les vàlvules de control i vàlvules d'accionament manual.

Al final d'aquest apartat es mostren els PID, la unitat de recuperació s'ha dividit en dues zones, la destil·lació azeotròpica al PID 1001 i la destil·lació heteroazeotròpica al PID 1002.

Destil·lació
Azeotròpica
(Concentració
2-propanol)

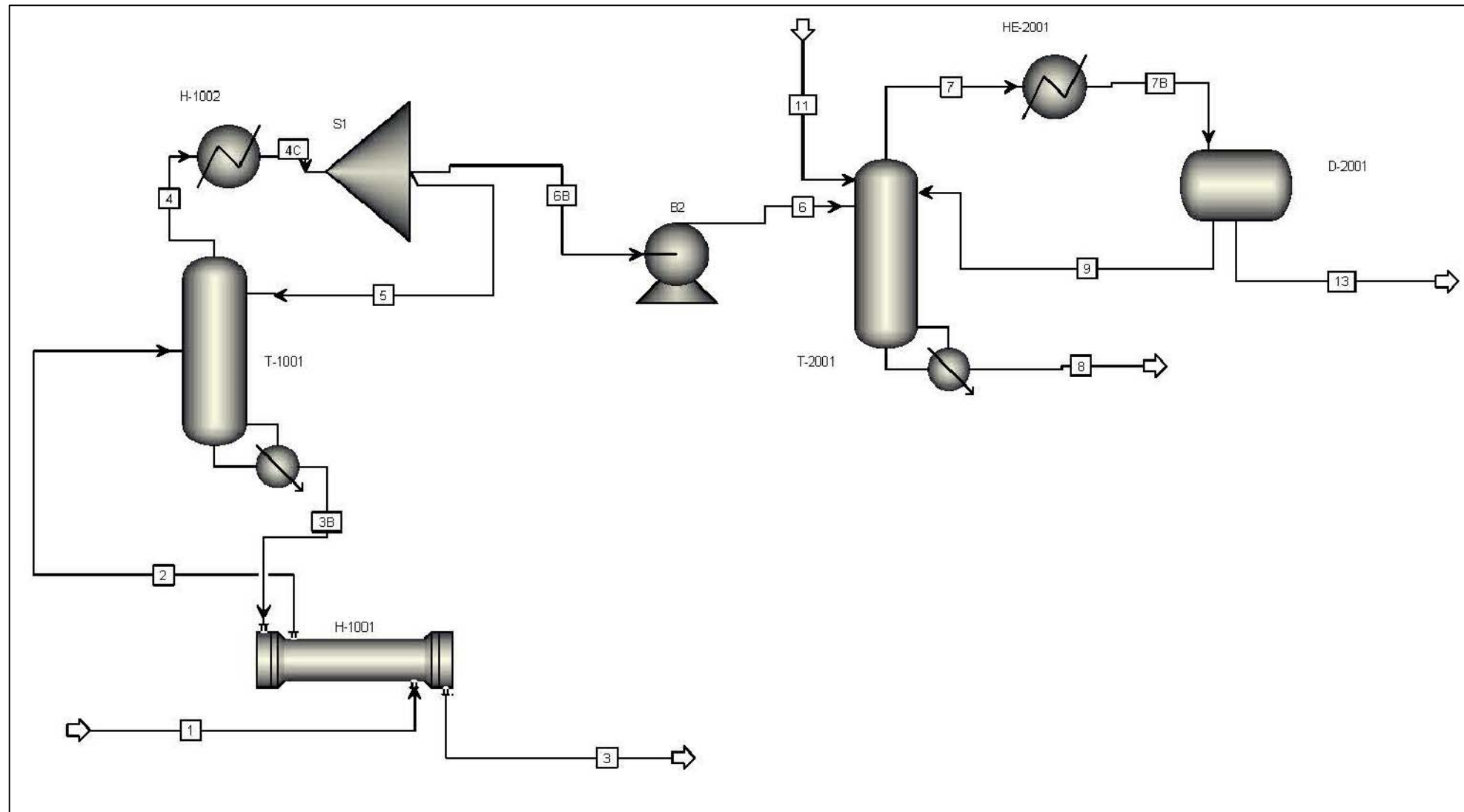
Destil·lació
Heteroazeotròpica

Separació
líquid-líquid

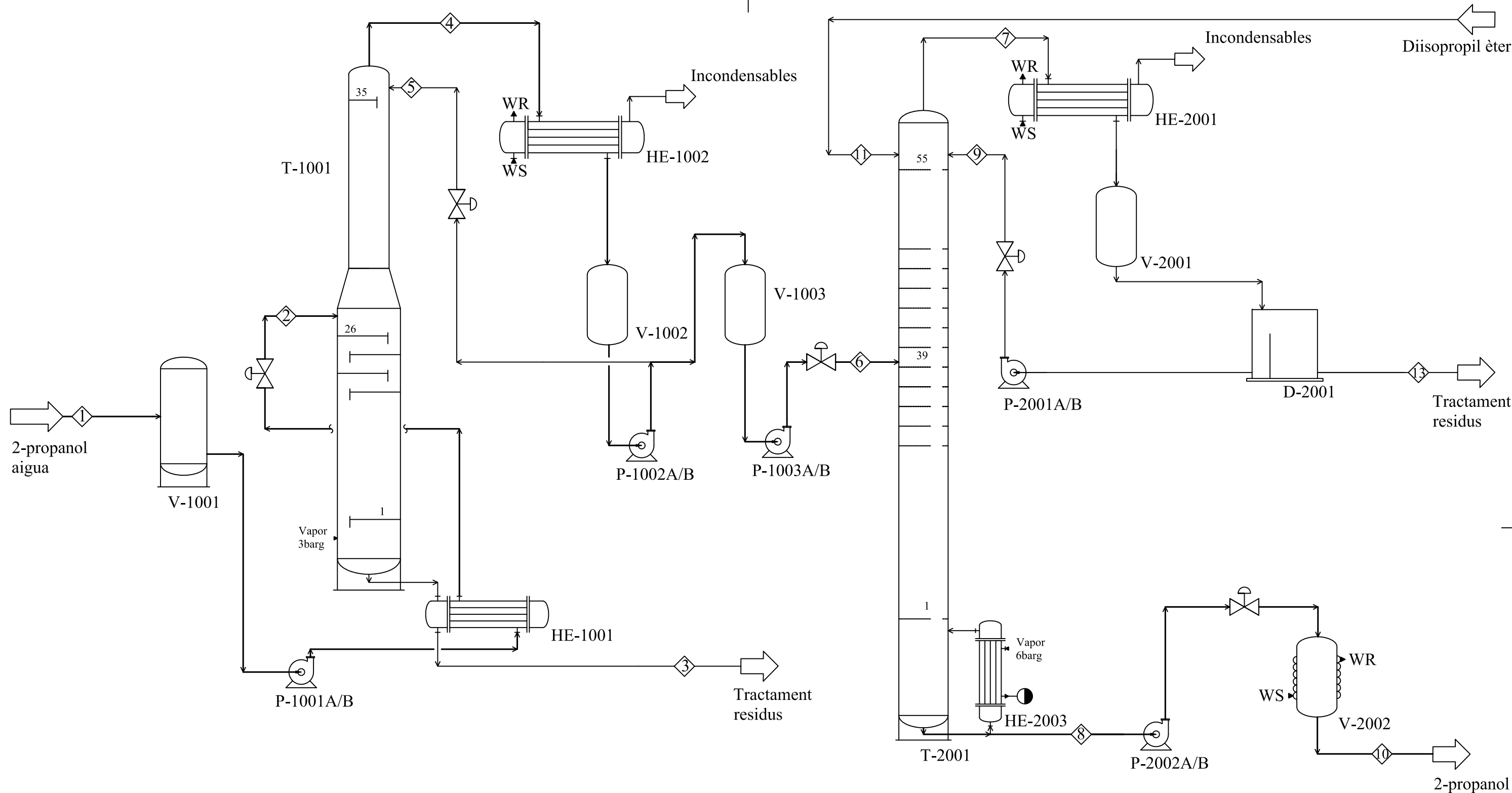
Diisopropil eter

2-propanol
99.99%w/w

	Data	Nom		UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI UNITAT RECUPERACIÓ DE 2-PROPANOL
Dibuixat	20.04.15	D.ABELLÓ		
Comprovat				
S.normes				
Escala	Diagrama de blocs			DB1
				Sustitueix a
				Sustituit per

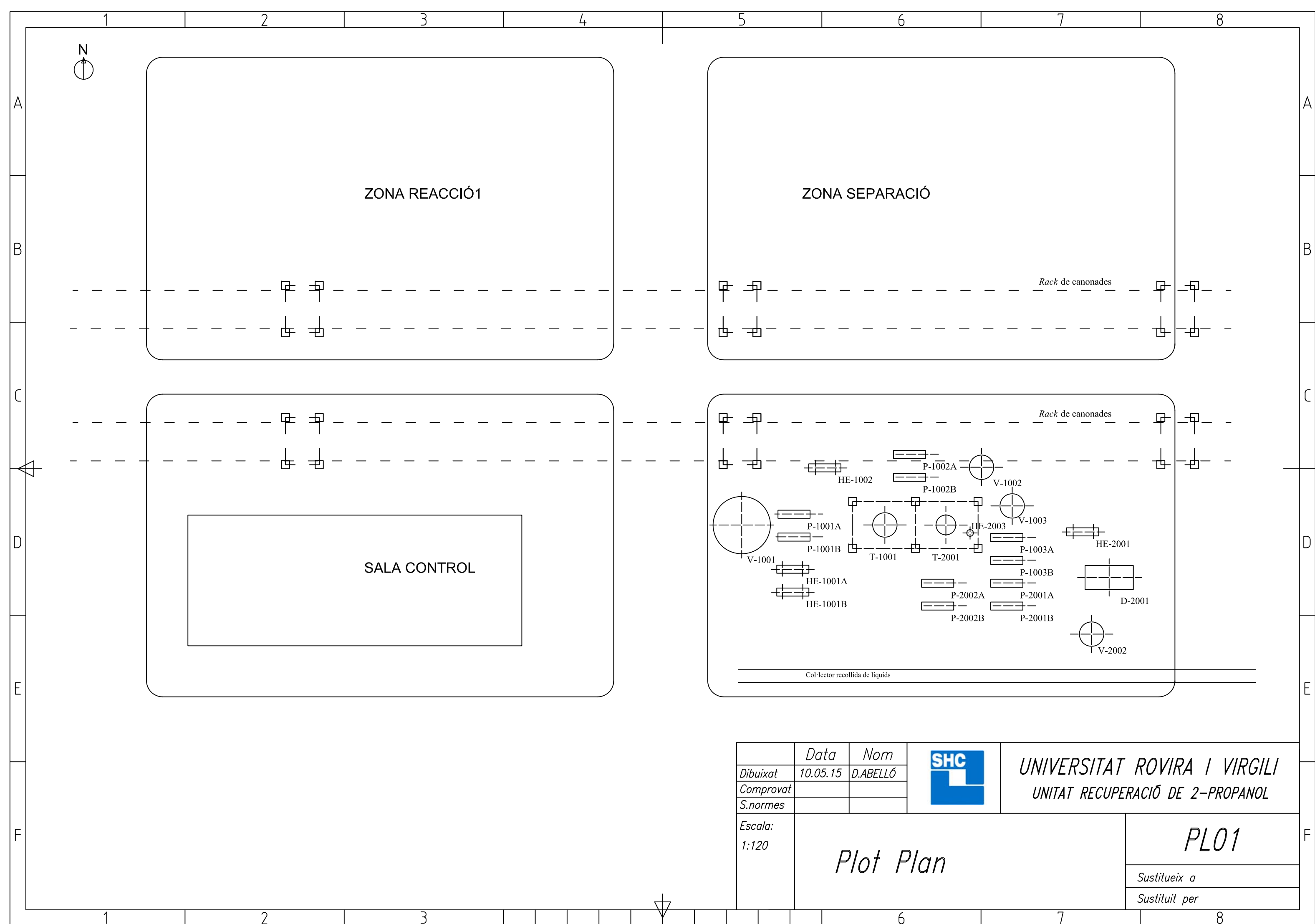


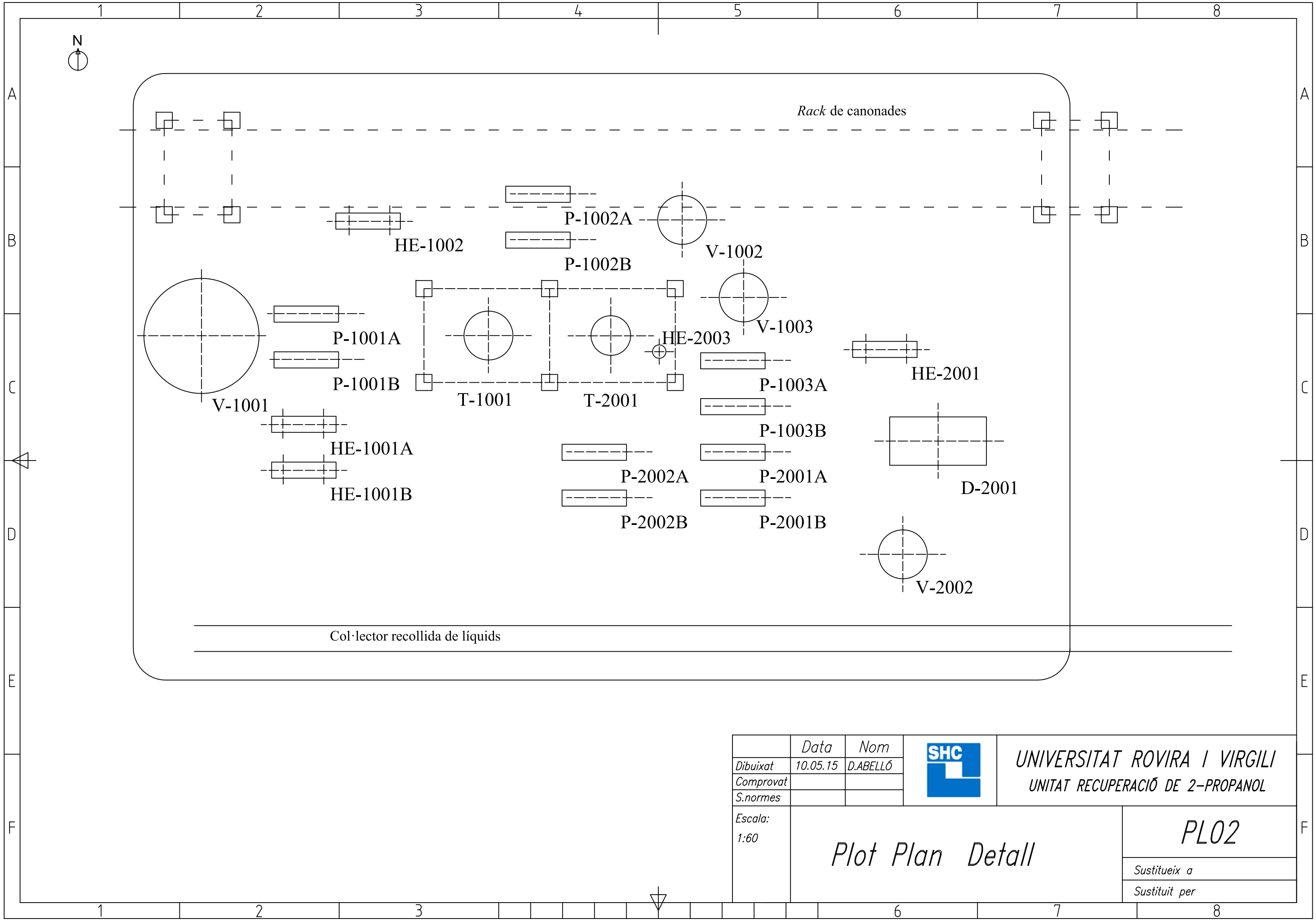
	Data	Nom		UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI UNITAT RECUPERACIÓ DE 2-PROPANOL
Dibuixat	20.04.15	D.ABELLÓ		
Comprovat				
S.normes				
Escala	Diagrama de simulació			S/1
				Sostitueix a Sostituit per



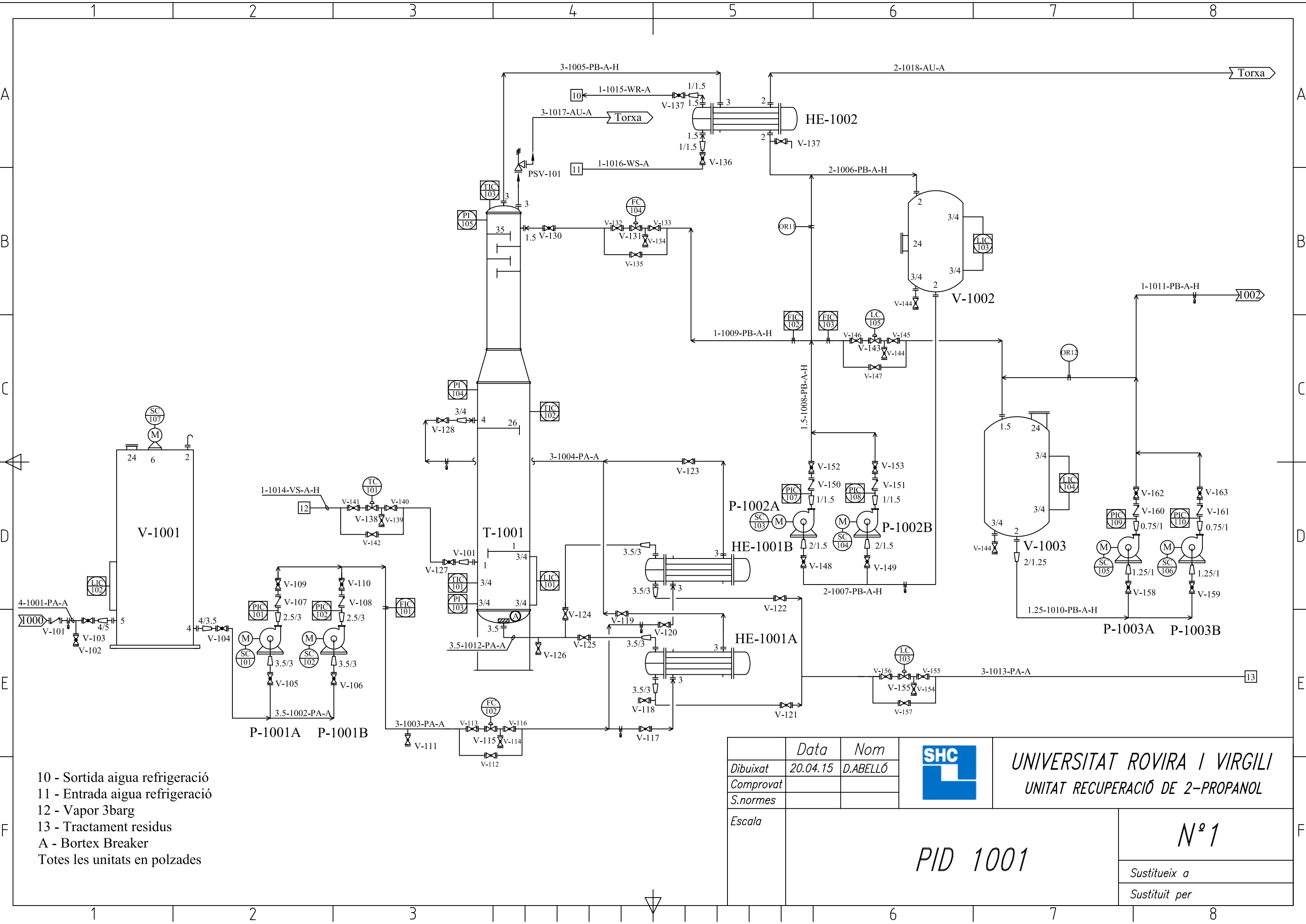
Corrent	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13
Aigua kg/h	16830.0	16830.0	16800.0	88.0	58.0	30.0	50.0	0.1	20.2	0.1	0	29.9
IPA kg/h	170.0	170.0	0.0	496.0	326.0	170.0	99.0	164.9	94.1	164.9	0	5.1
IPE kg/h	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	756.0	0.0	754.4	0	1.4	1.4
Total kg/h	17000.0	17000.0	16800.0	584.0	384.0	200.0	905.0	165.0	868.7	165.0	1.4	36.4
Fracció Vap.	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
Pressió bar	1.10	1.30	1.40	1.15	1.35	2.40	2.30	2.7	2.40	1.30	2.40	2.40
Temp. °C	40.0	56.0	95.3	83.4	82.5	80	85.9	107.6	50.0	40.0	50.0	50.0

	Data	Nom		UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI UNITAT RECUPERACIÓ DE 2-PROPANOL	
Dibuixat	20.04.15	D.ABELLÓ			
Comprovat					
S.normes					
Escala	PFD (STEADY STATE)			Nº 1	
				Sustitueix a	
				Sustituit per	



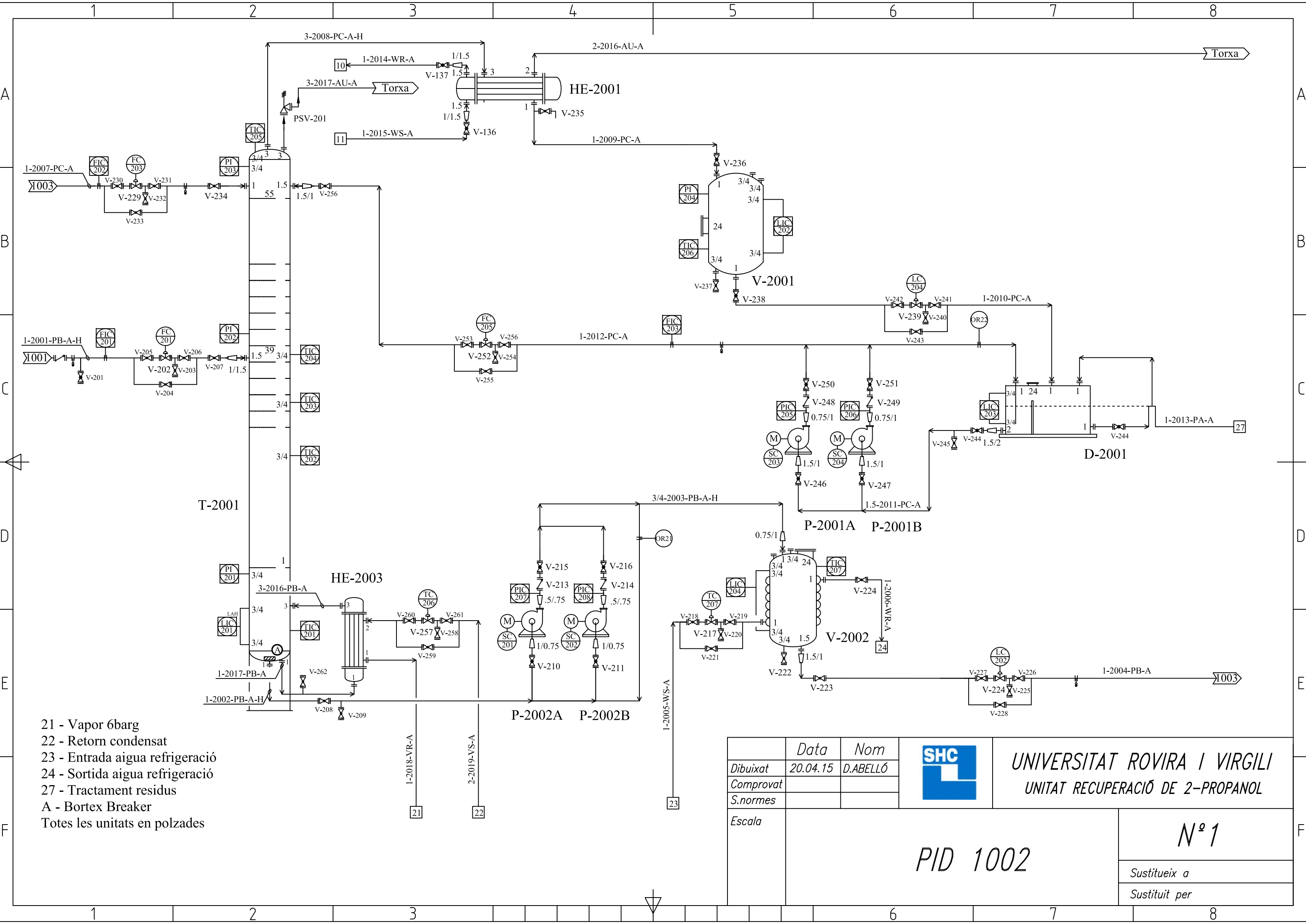


	<i>Data</i>	<i>Nom</i>		<i>UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI</i> <i>UNITAT RECUPERACIÓ DE 2-PROPANOL</i>	
<i>Dibuixat</i>	<i>10.05.15</i>	<i>D.ABELLÓ</i>			
<i>Comprovat</i>					
<i>S.normes</i>					
<i>Escala:</i> <i>1:60</i>	<i>Plot Plan Detall</i>			<i>PL02</i>	
				<i>Sustitueix a</i>	
				<i>Sustituit per</i>	



10 - Sortida aigua refrigeració
11 - Entrada aigua refrigeració
12 - Vapor 3barg
13 - Tractament residus
A - Bortex Breaker
Totes les unitats en polzades

	<i>Data</i>	<i>Nom</i>		<i>UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI</i> <i>UNITAT RECUPERACIÓ DE 2-PROPANOL</i>	
<i>Dibuixat</i>	<i>20.04.15</i>	<i>D.ABELLÓ</i>			
<i>Comprovat</i>					
<i>S.normes</i>					
<i>Escala</i>	<i>PID 1001</i>			<i>Nº 1</i>	
				<i>Sustitueix a</i>	
				<i>Sustituit per</i>	



- 21 - Vapor 6barg
- 22 - Retorn condensat
- 23 - Entrada aigua refrigeració
- 24 - Sortida aigua refrigeració
- 27 - Tractament residus
- A - Bortex Breaker
- Totes les unitats en polzades

	<i>Data</i>	<i>Nom</i>		UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI UNITAT RECUPERACIÓ DE 2-PROPANOL	
<i>Dibuixat</i>	20.04.15	D.ABELLÓ			
<i>Comprovat</i>					
<i>S.normes</i>					
<i>Escala</i>	PID 1002			Nº 1 Sustitueix a Sustituit per	

4.2. Descripcions

4.2.1. Descripcions funcionals del projecte

El procés de recuperació del 2-propanol es pot dividir en dues etapes, amb un objectiu final de recuperar 165 kg/h de producte amb una puresa del 99.9 % en pes. A la primera etapa es produeix la concentració de la mescla mitjançant una columna de destil·lació per etapes (T-1001) fins a la concentració azeotròpica de la mescla a 1.2 bar. Prèviament a la columna de destil·lació, s'utilitza un tanc (V-1001) per homogeneïtzar el cabal i extreure els possibles sòlids en suspensió.

El corrent d'alimentació de la columna s'escalfa utilitzant l'intercanviador HE-1001A/B per recuperar part de l'energia consumida durant el procés de destil·lat. S'instal·len dos intercanviadors HE-1001A/B en paral·lel amb les mateixes característiques en previsió a les possibles obstruccions degut a impureses sòlides del procés anterior. El plat d'alimentació de T-1001 correspon al plat amb la concentració més semblant a la concentració del corrent d'alimentació i que menor consum de vapor ofereix. La vaporització del fons de columna es duu a terme a partir de vapor viu de molt baixa pressió (2barg). Per el corrent de fons s'obté un corrent d'aigua amb absència de 2-propanol que serà tractat com a residu ja que pot contenir altres impureses.

La corrent de vapor del cap de la columna T-1001 alimenta al condensador HE-1002, on s'extreuen els possibles incondensables i s'obté la corrent de condensat que alimenta l'acumulador de reflux V-1002. S'utilitza una bomba P-1002A/B per aportar la pressió necessari pel cabal de reflux.

S'utilitza el tanc V-1003 per homogeneïtzar el cabal d'alimentació de la segona etapa del procés.

A la segona etapa, s'utilitza una columna de destil·lació heteroazeotròpica (T-2001). La corrent de l'etapa anterior alimenta la columna. Per cap de columna s'introdueix el reflux i una corrent de diisopropil èter per reposar l'*entrainer* perdut durant la separació líquid-líquid al separador D-2001.

El destil·lat de la columna T-2001 s'introdueix al condensador HE-2001 que proporciona un corren líquid subrefredat per millorar la separació LL. Mitjançant el separador LL D-2001 s'obté el reflux de la columna T-2001 ric en diisopropil èter que és l'agent que permet modificar

les condicions azeotròpiques i obtenir una puresa del 99.9% en pes pel fons de columna de 2-propanol.

La vaporització del fons de la columna T-2001 es duu a terme mitjançant un *reboiler* termosifó que utilitza vapor de baixa pressió (6barg). Finalment, el corrent de fons de columna s'introdueix al tanc V-2002 per homogeneïtzar el cabal de sortida de la unitat i també refredar el producte final.

4.2.2. Descripció de les estratègies de control

En aquest apartat es descriurà l'estratègia de control utilitzada, l'objectiu bàsic de qualsevol sistema de control es aconseguir una operació segura i sense pertorbacions. La seguretat de l'operació consisteix en controlar les variables crítiques del procés com la pressió, temperatura, nivell i composició.

La unitat de recuperació disposa d'un sistema de control automatitzat central per optimitzar i mantenir la seguretat en línia de manera continua. El sistema de control utilitzat és un sistema de control distribuït.

El sistema de control de la unitat es pot veure al PID 1001 i PID 2001. Les connexions entre instruments de control es realitzen a partir de cablejat elèctric fins una unitat central de control (Sala de control).

4.2.2.1. Descripció de les estratègies de control zona destil·lació azeotròpica

4.2.2.1.1. Columna T-1001

Per controlar el nivell de fons de la columna T-1001 s'utilitza el controlador LC-103, que modifica el cabal de fons de columna com a variable manipulable. Té la finalitat de mantenir el nivell el més estable possible i sempre per sobre dels tubs d'entrada de vapor viu. Es disposa d'un nivell de líquid (LIC-101) com a variable de control que a més té en compte, a partir d'un control *feedforward*, el flux d'entrada a la columna (FIC-101) per anticipar-se a les pertorbacions. Amb el controlador FC-102 es controla el cabal d'entrada a la columna a partir de la mesura del cabal (FIC-101).

El controlador TC-101 té la finalitat de controlar la temperatura a partir del cabal de vapor viu de fons de columna com a variable manipulable. Es disposa d'un control de la temperatura al fons (TIC-101), al plat d'alimentació (TIC-102) i al cap de columna (TIC-103). A partir d'un control en cascada, amb TIC-103 com a *master* i la resta com *slave*, es controla la vàlvula de control TC-101 per mantenir la temperatura i per tant la puresa desitjada al cap de columna.

El control del cabal de reflux (FC-104) es realitza mitjançant un control *ratio* entre el cabal d'alimentació FIC-101 i el cabal FIC-102. El *ratio* dependrà de la temperatura de cap de columna i s'ajustarà una vegada posada en marxa la columna.

Es disposa de 3 indicadors de pressió (PI-103, PI-104 i PI 105) amb la finalitat d'ajustar i verificar les mesures dels controls de temperatura i per activar les alarmes a la sala de control.

4.2.2.1.2. Bomba P-1001(A/B)

Es disposa d'un controlador (SC-101 i SC-102) que permet modificar la velocitat dels motors elèctrics de les bombes. En cas que el nivell del tanc V-1001 (LIC-102) fos baix, actuen els controladors per reduir el cabal o parar les bombes.

Per prevenir la cavitació de la bomba es disposa d'un control de pressió (PIC-102 i PIC-102) que actua sobre el control de velocitat del motor.

Les bombes P-1002(A/B) i P-1003(A/B) segueixen la mateixa estratègia de control. En aquest cas s'ha instal·lat un disc d'orifici (OR11 i OR12) que permet mantenir un cabal mínim sempre constant.

4.2.2.1.3. Acumulador de reflux V-1002 i V-1003

Es disposa d'un controlador, LC-105 per controlar el nivell de l'acumulador de reflux a partir del nivell LIC-103. S'utilitza un control en *override* amb un *low selector switch* pel nivell del tanc V-1003 (LIC-104) que actuarà en cas de baixada de nivell.

4.2.2.2. Descripció de les estratègies de control destil·lació heteroazeotròpica

4.2.2.2.1. Columna T.2001

El controlador LC-202 permet controlar el nivell de fons de columna a partir de la variació del cabal de producte final com a variable manipulable. S'afegeix un control en cascada amb el controlador LIC-201 com a *master* i LI-204 com *slave*. Es requereix que el nivell sigui el més estable possible i sempre per sobre dels conductes d'alimentació del *reboiler* HE-2003.

El control de la temperatura es realitza mitjançant el controlador TC-206 amb el vapor d'alimentació del *reboiler* HE-2003 com a variable manipulable. Es disposa de la temperatura de fons de columna TIC-201, la temperatura a la meitat de la columna amb 3 indicadors de temperatura (TIC-202, TIC-203 i TIC-204) s'utilitzen 3 indicadors per obtenir una aproximació més fiable al centre de la columna i la temperatura de cap de columna TIC-205. S'utilitza un control en cascada amb TIC-205 com a *master* i la resta com *slave*.

El controlador FC-205 permet controlar el cabal de reflux com a variable manipulable a partir de la temperatura de cap de columna TIC-205.

El controlador FC-203 permet variar el cabal d'alimentació del *entrainer*, s'utilitza un controlador de *ratio* entre FIC-203 i FIC-202 que s'ajusta a partir de les mostres que es prenen de la puresa de 2-propanol al fons de columna a l'inici de l'operació.

Es disposa de 3 indicadors de pressió (PI-201, PI-202 i PI-203) amb la finalitat d'ajustar i verificar les mesures dels controls de temperatura i per activar les alarmes a la sala de control.

4.2.2.2.2. Acumulador de reflux V-2001

Es disposa d'un controlador, LC-204 per controlar el nivell de l'acumulador de reflux a partir del nivell LIC-202. S'ha instal·lat un indicador PI-204 per verificar la integritat del recipient.

4.2.2.2.3. Separador líquid-líquid D-2001

El control del nivell es realitza per diferència d'altures, a la sortida de la fase aquosa del separador es disposa d'un sifó a la mateixa altura del nivell interior desitjat.

El nivell de la fase orgànica al arribar al màxim sobreïx manera controlada i s'evacua per la fase aquosa.

Es disposa d'un controlador de nivell per evitar la possible cavitació de les bombes.

4.2.2.2.4. Bomba P-2001(A/B)

Es disposa d'un controlador (SC-203 i SC-204) que permet modificar la velocitat dels motors elèctrics de les bombes. En cas que el nivell de la fase orgànica del separador líquid-líquid D-2001 (LIC-203) fos baix, actuen els controladors per reduir el cabal o parar les bombes.

Per prevenir la cavitació de la bomba es disposa d'un control de pressió (PIC-205 i PIC-206) que actua sobre el control de velocitat del motor.

Les bombes P-2002(A/B) segueixen la mateixa estratègia de control.

Es disposa d'un disc d'orifici (OR22 i OR21) que permet mantenir un cabal mínim sempre constant, .

4.2.2.2.5. Tanc producte final V-2002 amb refrigeració

A més del controlador de nivell descrit a l'apartat de la columna T-2001, es disposa d'un control de la temperatura. El controlador TC-207 té la funció de mantenir constant la temperatura interior del tanc a partir del cabal d'aigua de refrigeració com a variable manipulada. Es disposa de la temperatura (TIC-207) com a variable controlada.

4.3. Disseny basic

4.3.1. Disseny de canonades

4.3.1.1. Dimensionament de canonades i accessoris

Les canonades del procés s'han dissenyat en funció dels requeriments de cada línia. S'ha utilitzat el codi ANSI B36.10 (ref.4.3) pel seu dimensionament. Donat que no es transporten materials corrosius la majoria de les canonades són d'acer al carbó. En concret el material utilitzat és ASTM A 83 de grau C.

El procediment seguit pel dimensionament de les canonades es basa en la consideració que tant les línies líquides, com les gasoses, es comporten com fluids incompressibles. En el cas de gasos, la velocitat de disseny s'ha fixat de manera que pugin considerar-se com incompressibles. S'han tingut en compte els valors estàndard de velocitat de líquids i gasos en canonades, 1-3 m/s i 15-30 m/s respectivament.

4.3.1.2. Denominació de línies

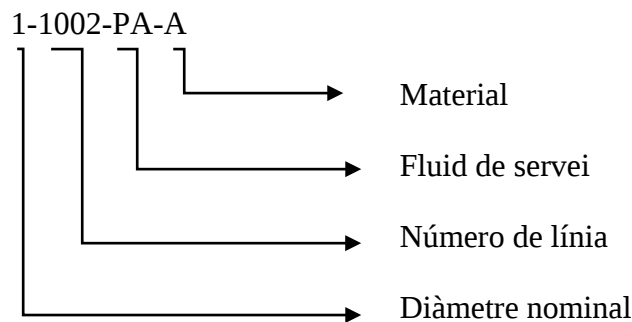
La denominació de línies s'ha establert segons les característiques més rellevants. Inclou diàmetre nominal, fluid de servei, número de la canonada i material. A la taula 4.1. es mostren les abreviacions utilitzades i a la figura 4.1 es mostra un exemple.

Taula 4.1. Identificació de les canonades

Paràmetre	Identificació	Significat
Material	A	ASTM A 83 de grau C
Fluid de servei	PA	Principalment aigua procés
	PB	Principalment 2-propanol procés
	PC	Principalment diisopropil èter procés
	AU	Vapors d'alleujament
	VR	Condensat de retorn

Taula 4.1. Identificació de les canonades (continuació)

	VS	Vapor d'escalfament
	WR	Retorn d'aigua de refrigeració
	WS	Aportació aigua de refrigeració
Aïllament	H	La canonada disposa d'aïllament

**Figura 4.1.** Exemple de la designació de les línies

A la figura 4.1 es designa una canonada d'1 in de diàmetre nominal, situada al P&ID 1, amb el número 002, com a fluid principal aigua i de material ASTM A 83 de grau C.

4.3.1.3. Disseny mecànic de canonades i accessoris

Pel que fa al disseny mecànic de les canonades s'utilitza el codi ASME on s'especifica que la pressió de disseny és un 10% superior a la d'operació i la temperatura 20°C superior a la d'operació i el procediment de càlcul descrit a (ref. 4.4). A la taula 4.2. s'especifiquen les característiques de les canonades per Sche. 40. (ref. 4.3). De manera simplificada es pot utilitzar l'equació 4.1 per obtenir un valor orientatiu del gruix.

$$\text{Schedule} \cong \frac{\text{Pressió disseny (PSI)}}{15} \quad (4.1)$$

4.3.1.4. Especificació de canonades**Taula 4.2.** Taula d'especificació de les canonades (sche. 40) d'acer al carbó [ref 4.3].

Diàmetre nominal (in)	Diàmetre exterior (in)	Gruix (in)	Àrea transversal (Sq. In)
1/8	0.405	0.068	0.057
1/4	0.540	0.088	0.104
3/8	0.675	0.091	0.191
1/2	0.840	0.109	0.304
3/4	1.050	0.113	0.533
1	1.315	0.133	0.864
1 1/4	1.660	0.140	1.495
1 1/2	1.900	0.145	2.036
2	2.375	0.154	3.355
2 1/2	2.875	0.203	4.788
3	3.500	0.216	7.393
3 ½	4.000	0.226	9.886
4	4.500	0.237	12.730
5	5.563	0.58	20.006
6	6.625	0.280	28.891
8	8.625	0.322	50.027
10	10.75	0.365	78.855
12	12.75	0.406	111.93
14	14.0	0.438	135.28
16	16.0	0.500	176.72
18	18.0	0.562	223.68
20	20.0	0.593	278.00
24	24.0	0.687	402.07

Pel disseny del *rating*, la correlació pressió-temperatura admissible en un cert component d'una canonada, realitzat amb un material concret i amb un determinat dimensionament,

s'utilitza el codi ANSI B 16.5 de 1977. S'ha determinat que totes les unions seran de la classificació ANSI 150lb segons la pressió màxima permissible.

4.3.1.5. Aïllament

S'utilitza aïllament en diverses canonades del procés amb la finalitat de garantir la seguretat dels operaris i també per reduir les pèrdues energètiques a l'ambient. Aquest aïllant s'instal·larà en canonades amb una temperatura major a 60°C i que no disposin de protecció externa i als punts de la instal·lació amb majors pèrdues energètiques.

Els espessors de les mantes varien en funció del diàmetre nominal de la canonada i la temperatura superficial. Els càlculs s'han realitzat a partir del procediment descrit a (ref. 4.6) i s'han seleccionat els gruixos de la manta en funció de taules comercials.

Els resultats dels espessors de l'aïllament es mostren a la taula 4.3.

4.3.1.6. Relació de canonades**Taula 4.3.** Llistat de línies del procés

			Llistat de línies						Preparat: D.Abelló				Pag. 1 de 2	
			Unitat de recuperació de 2-propanol						Revisat: D.Abelló				Data: 27/04/2015	
NPS	SCHE	Identificació	Extrems de línia		Operació				Disseny		Fluid principal	Aïllam. (mm)	Observacions	
					Temp. (°C)	Press. (bar)	Caudal (l/min)	Dens. (kg/m³)	Temp. (°C)	Pres. (barg)				
			de	a										
4	40	4-1001-PA-A	PID1000	V-1001	40	1.1	290.0	977.0	60	1.21	Aigua	-	-	
3 1/2	40	3.5-1002-PA-A	V-1001	P-1001A/B	40	1.1	290.0	977.0	60	1.21	Aigua	-	-	
3	40	3-1003-PA-A	P-1001A/B	HE-1001A/B	40	1.2	290.0	977.0	60	1.32	Aigua	-	-	
3	40	3-1004-PA-A	HE-1001A/B	T-1001	56	1.4	290.0	977.0	76	1.49	Aigua	-	-	
1	40	1-1014-VS-A-H	12	T-1001	134	4.0	2520.0	3.3	154	4.4	Vapor	-	-	
3 1/2	40	3.5-1012-PA-A	T-1001	HE-1001A/B	95	1.2	303.3	923.2	115	1.27	Aigua	-	-	
3	40	3-1013-PA-A	HE-1001A/B	13	40	1.1	303.3	923.2	60	1.16	Aigua	-	-	
3	40	3-1005-PB-A-H	T-1001	HE-1002	83	1.2	5638.3	1.73	103	1.27	2-propanol	50	-	
2	40	2-1006-PB-A-H	HE-1002	V-1002	82	1.1	13.0	751.1	102	1.16	2-propanol	50	-	
3	40	3-1017-AU-A	T-1001	Torxa	83	1.2	-	-	103	1.27	2-propanol	-	Fluid intermitent	
1	40	1-1015-WR-A	HE-1002	10	37	4.5	200.0	998.0	57	4.95	Aigua	-	-	
1	40	1-1016-WS-A	11	HE-1002	27	5.0	200.0	998.0	47	5.5	Aigua	-	-	
2	40	2-1018-AU-A	HE-1002	Torxa	83	1.2	-	-	103	1.27	2-propanol	-	Fluid intermitent	
2	40	2-1007-PB-A-H	V-1002	P-1002A/B	80	1.1	13.0	751.1	100	1.16	2-propanol	40	-	
1 ½	40	1.5-1008-PB-A-H	P-1002A/B	T-1001	80	1.4	13.0	751.1	100	1.54	2-propanol	40	-	
1	40	1-1009-PB-A-H	P-10012A/B	T-1001	80	1.4	8.5	751.1	100	1.54	2-propanol	40	-	
1 ¼	40	1.25-1010-PB-A-H	V-1003	P-1003A/B	80	1.4	4.4	751.1	100	1.54	2-propanol	40	-	
1	40	1-1011-PB-A-H	P-1003A/B	PID1002	80	2.4	4.4	751.1	100	2.64	2-propanol	40	-	
1	40	1-2001-PB-A-H	PID1001	T-1002	80	2.3	4.4	751.1	100	2.53	2-propanol	40	-	
1	40	1-2007-PC-A	PID1003	T-1002	50	2.4	0.03	704.9	70	2.64	IPE	-	-	

Taula 4.3. Llistat de línies del procés (continuació)

			Llistat de línies						Preparat: D.Abelló				Pag. 2 de 2	
			Unitat de recuperació de 2-propanol						Revisat: D.Abelló				Data: 27/04/2015	
NPS	SCHE	Identificació	Extrems de línia		Operació				Disseny		Fluid principal	Aïllam. (mm)	Observacions	
					Temp. (°C)	Press. (bar)	Caudal (l/min)	Dens. (kg/m³)	Temp. (°C)	Pres. (barg)				
1	40	1-2002-PB-A	T-2001	P-2002A/B	108	2.6	4.0	686.9	128	2.86	2-propanol	40	-	
¾	40	3/4-2003-PB-A	P-2002A/B	V-2002	107	2.0	4.0	686.9	127	2.20	2-propanol	40	-	
1	40	1-2004-PB-A	V-2002	PID1003	40	1.5	4.0	686.9	60	1.65	2-propanol	-	-	
1	40	1-2005-WS-A	23	V-2002	27	5.0	29.0	998.0	47	5.50	Aigua	-	-	
1	40	1-2006-WR-A	V-2002	24	37	4.5	29.0	998.0	57	4.95	Aigua	-	-	
1	40	1-2019-VS-A	22	HE-2003	165	7.0	269.0	3.5	185	7.70	Vapor	-	-	
2	40	1-2018-VR-A	HE-2003	21	100	4.0	0.9	998.0	120	4.40	Aigua	-	-	
1	40	1-2017-PB-A	T-2001	HE-2003	108	2.6	18.2	669.1	128	2.86	2-propanol	-	-	
3	40	3-2016-PB-A	HE-2003	T-2001	108	2.5	659.0	336.7	128	2.75	2-propanol	-	-	
3	40	3-2008-PC-A-H	T-2001	HE-2001	86	2.3	2558.1	5.9	106	2.53	IPE	50	-	
1	40	1-2009-PC-A	HE-2001	V-2001	40	1.5	21.2	711.6	60	1.65	IPE	-	-	
1	40	1-2010-PC-A	V-2001	D-2001	40	1.2	21.2	711.6	60	1.27	IPE	-	-	
1	40	1-2013-PA-A	D-2001	27	40	1.2	0.6	933.1	60	1.27	Aigua	-	-	
1 ½	40	1.5-2011-PC-A	D-2001	P-2001A/B	40	1.2	20.2	718.6	60	1.27	IPE	-	-	
1	40	1-2012-PC-A	P-2001A/B	T-2001	40	2.5	20.2	718.6	60	2.70	IPE	-	-	
3	40	3-2017-AU-A	T-2001	Torxa	86	2.3	-	-	106	2.53	IPE	-	Fluid intermitent	
1	40	1-2014-WR-A	11	HE-2001	27	5.0	183.3	998.0	47	5.50	Aigua	-	-	
1	40	1-2015-WS-A	HE-2001	10	37	4.5	183.3	998.0	57	4.95	Aigua	-	-	
2	40	2-2016-AU-A	HE-2001	Torxa	86	2.4	-	-	106	2.64	IPE	-	Fluid intermitent	

Per un altre banda, també s'instal·len els circuits de serveis, que inclouen les canonades de nitrogen, d'aire d'instrumentació, d'aigua de refrigeració i circuit contra incendis. El disseny d'aquestes canonades segueix la normativa ASTM per el disseny de canonades i accessoris i no s'ha inclòs a l'abast del projecte.

4.3.2. Disseny de la instrumentació i control

4.3.2.1. Disseny de les vàlvules de control

Les vàlvules de control s'han dissenyat seguint els manuals de càlcul de vàlvules de control de la bibliografia (ref. 4.7) i (ref. 4.8) tenint en compte en quin estat es troba el fluid en el moment que travessa la vàlvula: en estat líquid, gas o en evaporació.

El coeficient de caudal necessari (C_v) per a cada vàlvula dependent de les condicions del procés, així com la mida nominal i es pot trobar a la taula 4.4.

4.3.2.2. Disseny de les vàlvules de seguretat

Amb la finalitat de situar les vàlvules de seguretat de la unitat, s'ha realitzat un anàlisi dels possibles escenaris amb caràcter greu que es podrien donar en els equips de la planta. Els possibles escenaris són:

- Fallada elèctrica
- Fallada d'aire d'instrumentació
- Fractura en els tubs internes dels bescanviadors
- Problemes de refrigeració als condensadors
- Escalfament excessiu degut a un incendi
- Vàlvula de control bloquejada en posició oberta

En funció d'aquests escenaris s'han col·locat les vàlvules PSV als punts més sensibles. Es pot consultar la situació als diagrames PID 1001 i PID 1002.

El seu dimensionament de la vàlvula PSV-101 de la torre T-1001 es pot trobar a l'annex A.2.

4.3.2.3. Relació de les vàlvules de control**Taula 4.4.** Llistat de vàlvules de control

					Llistat de vàlvules de control	Preparat: D.Abelló		Pag. 1 de 1
					Unitat de recuperació de 2-propanol	Revisat: D.Abelló		Data: 02/05/2015
TAG	DN (in)	Vàlvula	Fase	Cv	Tipus	Fallada	Actuació	Descripció
1001-FC-102	3	V-115	Líquid	40.2	Vàlvula de globus	Obre	Directa	Control flux alimentació T-1001
1001-LC-103	3	V-155	Líquid	45.3	Vàlvula de globus	Obre	Directa	Control nivell T-1001
1001-FC-104	1.5	V-131	Líquid	1.3	Vàlvula de globus	Tanca	Directa	Control cabal reflux T-1001
1001-LC-105	1.5	V-143	Líquid	0.6	Vàlvula de globus	Obre	Directa	Control nivell V-1002
1001-TC-101	1	V-138	Vapor	60.0	Vàlvula de globus	Tanca	Directa	Control temperatura T-1001
1002-FC-201	1	V-202	Líquid	0.6	Vàlvula de globus	Tanca	Directa	Control flux alimentació T-2001
1002-LC-202	1	V-224	Líquid	0.5	Vàlvula de globus	Obre	Directa	Control nivell V-2002
1002-FC-203	1	V-229	Líquid	0.5	Vàlvula de globus	Tanca	Inversa	Control flux alimentació T-2001
1002-LC-204	1	V-239	Líquid	2.8	Vàlvula de globus	Obre	Directa	Control nivell V-2001
1002-FC-205	1	V-252	Líquid	2.7	Vàlvula de globus	Tanca	Directa	Control cabal reflux T-2001
1002-TC-206	2	V-257	Vapor	40.0	Vàlvula de globus	Tanca	Inversa	Control temperatura T-2001
1002-TC-207	1	V-217	Líquid	2.0	Vàlvula de globus	Obre	Directa	Control temperatura V-2002

4.3.2.4. Relació d'instruments de control**Taula 4.5.** Llistat d'instrumentació

Llistat d'instrumentació			Preparat: D.Abelló		Pag. 1 de 1
Unitat de recuperació de 2-propanol			Revisat: D.Abelló		Data 02/05/2015
TAG	Descripció	TAG	Descripció	TAG	Descripció
1001-LIC-101	Nivell fons T-1001	1001-PI-108	Pre. sortida P-1002B	2001-SC-202	Vel. motor P-2002B
1001-LIC-102	Nivell V-1001	1001-PI-109	Pre. sortida P-1003A	2001-SC-203	Vel. motor P-2001A
1001-LIC-103	Nivell V-1002	1001-PI-110	Pre. sortida P-1003B	2001-SC-204	Vel. motor P-2001B
1001-LIC-104	Nivell V-1003	1001-TIC-101	Temp fons T-1001	2001-PIC-201	Pre. Fons T-2001
1001-SC-101	Vel. motor P-1001A	1001-TIC-102	Temp aliment. T-1001	2001-PIC-202	Pre. Aliment T-2001
1001-SC-102	Vel. motor P-1001B	1001-TIC-103	Temp Cap T-1001	2001-PIC-203	Pre. Cap T-2001
1001-SC-103	Vel. motor P-1002A	1001-FIC-101	Cabal control V-115	2001-PIC-204	Pressió V-2001
1001-SC-104	Vel. motor P-1002B	1001-FIC-102	Cabal control V-131	2001-PIC-205	Pre. sortida P-2001A
1001-SC-105	Vel. motor P-1003A	1001-FIC-103	Cabal control V-143	2001-PIC-206	Pre. sortida P-2001B
1001-SC-106	Vel. motor P-1003B	2001-FIC-101	Cabal control V-202	2001-PIC-207	Pre. sortida P-2002A
1001-SC-107	Vel. motor V-1001	2001-FIC-102	Cabal control V-229	2001-PIC-208	Pre. sortida P-2002B
1001-PI-101	Pre. sortida P-1001A	2001-FIC-103	Cabal control V-252	2001-TIC-201	Temp fons T-2001
1001-PI-102	Pre. sortida P-1001B	2001-LIC-201	Nivell fons T-2001	2001-TIC-202	Temp aliment T-2001
1001-PI-103	Pre. Fons T-1001	2001-LIC-202	Nivell V-2001	2001-TIC-203	Temp aliment T-2001
1001-PI-104	Pre. Aliment. T-1001	2001-LIC-203	Nivell D-2001	2001-TIC-204	Temp aliment T-2001
1001-PI-105	Pre. Cap T-1001	2001-LIC-204	Nivell V-2002	2001-TIC-205	Temp cap T-2001
1001-PI-107	Pre. sortida P-1002A	2001-SC-201	Vel. motor P-2002A	2001-TIC-206	Temp V-2001
				2001-TIC-207	Temp V-2002

4.3.2.5. Sistema d'enclavament

La unitat de recuperació disposa de diversos sistemes d'enclavament per aturar equips o parts del procés en cas de que es doni alguna situació que posi en compromís la seguretat de les persones o el bon funcionament dels equips.

Les bombes disposen d'un sistema d'enclavament que para el motor en cas de detectar una falta de cabal suficient a l'aspiració. El que permet protegir les bombes de possibles cavitacions i ruptures.

Per un altre banda, també s'han dimensionat dos enclavaments per les dues torres de destil·lació. En el cas de la torre T-1001, al augmentar la temperatura del fons de columna fins al nivell d'alarma, la vàlvula de control FC-101 quedaria bloquejada a la seva posició de tancat, impeding el pas del vapor.

A la torre de destil·lació T-2001, es disposa d'un enclavament al *reboiler* HE-2001, en cas de sobrepassar el nivell d'alarma a la temperatura del fons de la columna T-2001 la vàlvula FC-206 quedaria bloquejada a la posició de tancat.

4.3.3. Disseny d'equips

S'han estudiat els principals equips del procés que estan dins de l'abast del projecte. S'ha establert una classificació dels equips per grups funcionals. Aquests equips són:

- Equips de destil·lació:
 - o Columna de destil·lació azeotròpica (T.1001)
 - o Columna de destil·lació azeotròpica heterogènia (T-2001)
- Equips d'emmagatzematge i separació:
 - o Separador líquid-líquid (D-2001)
 - o Dipòsit acumulador alimentació (V-1001)
 - o Dipòsit acumulador de reflux (V-1002)
 - o Dipòsit acumulador alimentació (V-1003)
 - o Dipòsit acumulador de reflux (V-2001)
 - o Dipòsit acumulador producte final amb refrigeració (V-2002)
- Equips d'intercanvi de calor
 - o Precalentador alimentació T-1001 (HE-1001)
 - o Condensador total destil·lat T-1001 (HE-1002)

- o Reboiler termosifó T-2001 (HE-2003)
- o Condensador total amb subrefredament destil·lat T-2001 (HE-2001)
- Equips rotatius
 - o Bombes alimentació T-1001 (P-1001A/B)
 - o Bombes reflux T-1001 (P-1002A/B)
 - o Bombes alimentació T-2001 (P-1003A/B)
 - o Bombes reflux T-2001 (P-2001A/B)
 - o Bombes producte final (P-2002A/B)

Per a cada equip s'han especificat els aspectes més destacats de cada disseny, el procés de càlcul seguit i la fulla d'especificacions corresponent.

4.3.3.1. Equips de destil·lació

4.3.3.1.1. Columna de destil·lació azeotròpica (T-1001)

El dimensionament hidràulic i simulació de la separació de la columna de destil·lació azeotròpica s'ha realitzat amb el software *Aspen Plus*.

S'ha utilitzat el mètode rigorós RADFRAC, ja que la resta de mètodes no són compatibles amb l'existència d'azeòtrops a la mescla. En primer lloc s'ha realitzat un procés de prova i ajust fins trobar el nombre de plats i reflux compatible amb la separació i posteriorment s'ha realitzat un estudi de sensibilitat per obtenir els valors més òptims.

Una vegada s'obté la configuració més òptima per obtenir la separació desitjada es realitza el disseny hidràulic. El tipus de plat s'ha seleccionat tenint en compte plats comercials, s'ha optat pel tipus Flexitray de Koch-Glitsch (ref. 4.9), el dimensionament es realitza seguint el manual de disseny (ref. 4.10) i (ref. 4.11) disponible pel tipus de plat seleccionat (BallastTM tray: V-1) i posteriorment es verifica el disseny amb el software *Aspen Plus*.

Per el disseny mecànic de la torre s'utilitza el codi ASME secció VIII-Div. 1 de recipients a pressió i es segueix el càlcul descrit a la bibliografia (ref. 4.12). Per a la carga del vent s'ha tingut en compte una velocitat del vent de 140 km/h i un factor forma per una columna cilíndrica i llisa. No s'han tingut en compte les carreges derivades per terratrèmols ni les possibles carreges excèntriques dels elements auxiliars.

A la taula 4.6. es mostren els resultats més rellevants. Per obtenir més detalls es pot consultar la fulla d'especificació

Taula 4.6. Resultats més destacats del dimensionament de T.1001.

Paràmetre	Resultat
Altura (m)	25
Diàmetre secció 1 (m)	0.4
Diàmetre secció 2 (m)	1.1
Núm. de plats	35
Plat d'alimentació	26
Tipo de plat	Koach-Glitsch Flexitray V-1
Temperatura de cap (°C)	83.4
Temperatura de fons (°C)	106.0
Pressió de cap (bar)	1.42
Pressió de fons (bar)	1.15
Requeriment energètic fons (kW)	1163.9
Puresa de 2-propanol sortida cap (% en pes)	85.0

4.3.3.1.2. Columna de destil·lació azeotròpica heterogènia (T-2001)

Es segueix el mateix procediment de disseny tant mecànic com hidràulic que en el cas de la columna T-1001.

Per obtenir una correcta simulació de la separació de la mescla, al tractar-se d'una destil·lació heteroazeotròpica, cal tenir en compte l'existència de 3 fases Vapor-Liquid-Liquid (VLL) al llarg dels plats 40-55. A més, també cal determinar la concentració al plat 55 ja que s'introdueixen 2 corrents, l'alimentació del *entrainer* i el reflux, aquesta concentració ha de permetre la correcta separació del producte i per tant el desplaçament del azeòtrop.

A la taula 4.7 es presenten els resultats més destacats i a la fulla d'especificació es poden obtenir més detalls.

Taula 4.7. Resultats més destacats del dimensionament de T.1001.

Paràmetre	Resultat
Altura (m)	27
Diàmetre (m)	0.5
Núm. de plats	55
Plat d'alimentació	39
Tipo de plat	Koach-Glitsch Flexitray V-1
Temperatura de cap (°C)	85.9
Temperatura de fons (°C)	107.6
Pressió de cap (bar)	2.3
Pressió de fons (bar)	2.6
Requeriment energètic fons (kW)	133.0
Puresa de 2-propanol sortida fons (% en pes)	99.99

TOWER DATA SHEET

1	GENERAL	Manufacturer:										
2		Item:		T-1001								
3		Service:										
4		Type:		Columna destil·lació azeotrópica								
5	OPER. CONDIT.			Section 1 / Section 2								
6		Product		2- propanol i aigua								
7		Temper.		83 °C								
8		Presure top		1,42 kg/cm² g								
9		Liquid Density		752,8 / 911,8 kg/m³								
10		Liquid Viscosity		0,417 / 0,363 cP								
11		Tray Number (Bottom Tray=No.1)		9/26 Total:35								
12		Tower Inside Diamenter		400 / 1100 mm.								
13		Tray Spacing		400 / 500 mm.								
14		Max. ΔP per Tray		0,007 kg/cm²								
15	DESIGN DATA	Minimum Area/Downcomer		0,1 / 0,2								
16		Valves, Bubble Caps / Tray		18 / 79								
17												
18		Des.Pr.(eff.)		4 / buit total kg/cm² g								
19		Des. Temp.		200 °C								
20		Liquid Density		911 kg/m³								
21		Design Range		%								
22		Hydr. Test		5,5 kg/cm² g								
23		Code:		ASME sec. VIII Div. 1								
24		Corr.Allow.mm: Shell / Heads		3 / 3 mm.								
25	Joint Efficiency:		85 %									
26		Stress.Rel.:		Yes								
27		Radiograph:		Yes								
28		Sandblast:		Yes								
29		Paint:		Yes								
30		Insulation:		80 mm.								
31		Fireproofing:		Yes								
32		Wind Load:		1280 N/m²								
33		Seismic:		Yes								
34		Wt.Empty:		11000 kg								
35		Wt.Full Water:		30000 kg								
36	TOWER SNALS	Tray No.		Diam.	Spacing	Material						
37		Thru 35 to 27		400 mm	400 mm	A-285-C						
38		Thru 26 to 1		1100 mm	500 mm	A-285-C						
39		Contact Device:										
40		Koach-Glitsch Flexitray		Bubble Caps								
41		Ballast Tray V-1		✗ Valves								
42				Perfor.								
43		Hydraulic design		Section 1	Section 2							
44		Active area		660 cm2	3566 cm2							
45		Flow Path lenght (F1)		280 mm	540 mm							
46	Side downcomer width (D1)		60 mm	280 mm								
47	MATERIAL			Thick. (mm.)	Mat'l Class							
48		Capçal elipsoidal superior		5	A-285-C							
49		Capçal elipsoidal inferior		12	A-285-C							
50		Carcasa cilíndrica sec.1		5	A-285-C							
51		Carcasa cilíndrica sec.2		12	A-285-C							
52		Con		10	A-285-C							
53												
54		Cargols muntatge			SA-193-B7							
55		Femelles muntatge			SA-193-B7							
56												
57												
58												
59	NOZZLE	Service		Mark	Size (in)	Rating	Service		Mark	Size (in)	Rating	
60		Alimentació		N1	4	150lb	Indicador de temperatura		T2	3/4	150lb	
61		Sortida cap		N2	3	150lb	Indicador de temperatura		T3	3/4	150lb	
62		Sortida fons		N3	3 1/2	150lb	Indicador de nivell		L1	3/4	150lb	
63		Entrada reflux		N4	1 1/2	150lb	Indicador de nivell		L2	3/4	150lb	
64		Entrada vapor		N5	1	150lb	Vàlvula seguretat		S1	3	150lb	
65		Boca d'home		N6	24	150lb						
66		Boca d'home		N7	24	150lb						
67		Boca d'home		N8	24	150lb						
68		Indicador pressió		P1	3/4	150lb						
69	Indicador pressió		P2	3/4	150lb							
70	Indicador pressió		P3	3/4	150lb							
71	Indicador de temperatura		T1	3/4	150lb							
72	NOTES:											
73	A: Bortex Breaker											
74												
75												
76												
77												
78												
79	0											
80	REV.	DATE		PREP.	APPR.							
81												

TOWER DATA SHEET

1	GENERAL	Manufacturer:				
2		Item:	T-2001			
3		Service:				
4		Type:	Colum. destil·lació heteroazeotrópica			
5	OPER. CONDIT.	Product 2- propanol, diisopropil èter i aigua				
6		Temper.		86	°C	
7		Pressure top		2,3	kg/cm ² g	
8		Liquid Density		685	kg/m ³	
9		Liquid Viscosity		0,305	cP	
10		Tray Number (Bottom Tray=No.1)		56		
11		Tower Inside Diamenter		500	mm.	
12		Tray Spacing		400	mm.	
13		Max. ΔP per Tray		0,0055	kg/cm ²	
14		Minimum Area/Downcomer		0,1		
15	Valves, Bubble Caps / Tray		29			
16						
17						
18	DESIGN DATA	Des.Pr.(eff.)		4 / Built total	kg/cm ² g	
19		Des.Temp.		200	°C	
20		Liquid Density		685	kg/m ³	
21		Design Range			%	
22		Hydr.Test		5,5	kg/cm ² g	
23		Code:		ASME sec. VIII Div. 1		
24		Corr.Allow.mm: Shell / Heads		3 / 3	mm.	
25		Joint Efficiency:		85	%	
26		Stress.Rel.:		Yes		
27		Radiograph:		Yes		
28		Sandblast:		Yes		
29		Paint:		Yes		
30		Insulation:		80	mm.	
31		Fireproofing:		Yes		
32		Wind Load:		1280	N/m ²	
33	Seismic:		Yes			
34	Wt.Empty:		5000	kg		
35	Wt.Full Water:		9000	kg		
36	INTERLAYERS & L	Tray No.		Diam.	Spacing	Material
37		Thru 1 to 56		500 mm	400 mm	A-285-C
38		Contact Device:				
39		Koach-Glitsch Flexitray		Bubble Caps		
40		Ballast Tray V-1		Valves		
41				Perfor.		
42		Hydraulic design				
43		Section 1				
44		Active area		1154 cm ²		
45		Flow Path lenght (F1)		340 mm		
46	Side downcomer width (D1)		80 mm			
47	MATERIAL			Thick. (mm.)	Mat'l Class	
48		Capçal elipsoidal superior		9	A-285-C	
49		Capçal elipsoidal inferior		9	A-285-C	
50		Carcasa cilíndrica sec.1		9	A-285-C	
51		Cargols muntatge			SA-193-B7	
52		Femelles muntatge			SA-193-B7	
53						
54						
55						
56						
57	NOOZLE	Service		Mark	Size (in)	Rating
58		Alimentació		N1	1 1/2	150lb
59		Sortida cap		N2	3	150lb
60		Sortida fons		N3	1	150lb
61		Entrada reflux		N4	2	150lb
62		Entrada vapor reboiler		N5	3	150lb
63		Boca d'home		N6	24	150lb
64		Boca d'home		N7	24	150lb
65		Alimentació diisopropil èter		N8	1	150lb
66		Indicador pressió		P1	3/4	150lb
67	Indicador pressió		P2	3/4	150lb	
68	Indicador pressió		P3	3/4	150lb	
69	Indicador de temperatura		T1	3/4	150lb	
70						
71						
72	NOTES:					
73	A: Bortex Breaker					
74						
75						
76						
77						
78						
79	0					
80	REV.	DATE		PREP.	APPR.	
81						

TOWER SKETCH

SINGLE PASS

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

4.3.3.2. Equips d'emmagatzematge i separació

Els resultats del disseny mecànic i hidràulic es presenten al final d'aquest apartat a les fulles d'especificació.

A continuació s'exposa de forma breu les pautes seguides pel seu dimensionament.

4.3.3.2.1. Separador líquid-líquid (D-2001)

Pel seu dimensionament s'ha seguit el procediment descrit a la bibliografia (ref. 4.13) pel disseny d'un decantador. S'ha sobredimensionat segons bases de disseny per oferir un correcte control de la unitat.

Per verificar que es duu a terme la separació líquid-líquid correctament s'utilitza la llei d'Stokes, que permet determinar la velocitat de decantació de les gotes, que s'han assumit d'una mida de 150µm.

4.3.3.2.2. Dipòsits acumuladors de reflux (V-1002 i V-2001)

Pel disseny d'aquests equips s'han seguit les bases de disseny, es requereix que presentin un temps de residència major de 60 minuts per estabilitzar el sistema i proporcionar un control correcte de la unitat. Pel dimensionament mecànic s'ha seguit el procediment descrit a la bibliografia (ref. 4.12).

4.3.3.2.3. Dipòsits acumuladors alimentació (V-1001 i V-1003)

Es segueix el mateix procediment que el cas anterior. En el cas del tanc V-1001, es dimensiona segons exigències de la planta de producció de polipropilè, el seu volum màxim proporciona de forma estable el cabal necessari per operar la unitat de recuperació de 2-propanol durant 4 hores.

4.3.3.2.4. Dipòsit acumulador de producte final amb refrigeració (V-2002)

El dimensionament d'aquest equip segueix el mateix procediment que els anteriors acumuladors. En aquest cas s'ha optat per la instal·lació d'una camisa de refrigeració al voltant del tanc per refrigerar el producte final de fons de columna.

DRUM DATA SHEET

1	GENERAL	Manufacturer:				
2		Item: D-2001		Capacity (max) 2,5 m ³		
3		Description: Separador Líquid-Líquid		Position: ☒ Horiz.	☐ Vertical	
4	OPERATING	Product: 2-propanol, diisopropil eter i aigua				
5		Operating Pressure (eff.)		1	kg/cm ² g	
6		Operating Temperature		80	°C	
7		Liquid Density		712,0	kg/m ³	
8	DESIGN DATA	Design Pressure (eff.)		1,2	kg/cm ² g	
9		Design Temperature		200	°C	
10		Hidrostatic Test (eff.)		-	kg/cm ² g	
11		Corr. Allow.	Shell / Heads	1	mm	
12		Joint Eff.	Shell / Heads	80%		
13		Code: ASME Code Sec. VIII Div.1				
14		Radiograph: 10%				
15		Stress Relieve:	☒ Yes	☐ No		
16		Seismic:				
17		Wind Load:			N/m ²	
18		Hidrostatic Test (eff.)	-		kg/cm ² g	
19	MATERIALS		Thickness	Mat'l Class		
20		Shell	8 mm	SA 516 -70		
21		Heads	8 mm	SA 516 -70		
22						
23						
24						
25	CONSTRUCTION		Base	Altura	Material	
26		Shell	2,5x0,6	2 m	SA 516 -70	
27		Heads	2,5x0,6	2 m	SA 516 -70	
28		Insulation:		Yes	No	☒
29		Fireproofing:		Yes	X	No
30		Sandblast:		Yes	X	No
31		Paint:		Yes	X	No
32		Wt. Empty:	1500	kg		
33		Wt. Full Water:	4500	kg		
34	NON SCHEDULE	Service	Mark	Nº	Size (in)	Rating
35		Alimentació	N1	1	1	ANSI 150
36		Sortida fase 1	N2	1	2	ANSI 150
37		Sortida fase 2	N3	1	1	ANSI 150
38		Entrada gasos	N4	1	1	ANSI 150
39		Boca d'home	N5	1	24	ANSI 150
40		Entrada auxiliar	N6	1	1	ANSI 150
41		Indicador de nivell	L1	1	3/4	ANSI 150
42		Indicador de nivell	L1	2	3/4	ANSI 150
43						
44						
45						
46						
47						
48						
49						
0						
REV.	DATE	PREP.	APPR.			

SKETCH

NOTES:

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

DRUM DATA SHEET

1	GENERAL	Manufacturer:					
2		Item: V-1001			Capacity (max)	35 m ³	
3		Description: Acumulador alimentació			Position:	Horiz. X Vertical	
4	OPERATING	Product: 2-propanol i aigua					
5		Operating Pressure (eff.)			1 kg/cm ² g		
6		Operating Temperature			80 °C		
7	DESIGN DATA	Liquid Density			977,0 kg/m ³		
8		Design Pressure (eff.)			1,2 kg/cm ² g		
9		Design Temperature			200 °C		
10	MATERIALS	Hydrostatic Test (eff.)			- kg/cm ² g		
11		Corr. Allow. Shell / Heads			1 mm		
12		Joint Eff. Shell / Heads			80%		
13	CONSTRUCTION	Code: ASME Code Sec. VIII Div.1					
14		Radiograph: 10%					
15		Stress Relieve: X Yes No					
16	SCHEMATIC	Seismic:					
17		Wind Load:			N/m ²		
18		Hydrostatic Test (eff.)			- kg/cm ² g		
19	MATERIALS	Thickness	Mat'l Class				
20		Shell	6 mm	SA 516 -70			
21		Heads	6 mm	SA 516 -70			
22	CONSTRUCTION	Dia.	Material				
26		Shell	2,5 m	SA 516 -70			
27		Heads	2,5 m	SA 516 -70			
28	SCHEMATIC	Insulation:	Yes	No	X		
29		Fireproofing:	Yes	X	No		
30		Sandblast:	Yes	X	No		
31	SCHEMATIC	Paint:	Yes	X	No		
32		Wt. Empty:			4 000 kg		
33		Wt. Full Water:			32 000 kg		
34	SCHEMATIC	Service	Mark	Nº	Size (in)	Rating	
35		Alimentació	N1	1	5	ANSI 150	
36		Sortida producte	N2	1	4	ANSI 150	
37		Sortida gasos	N3	1	2	ANSI 150	
38		Purga neteja	N4	1	3	ANSI 150	
39		Col·lector impureses	N5	1	10	ANSI 150	
40		Boca d'home	N6	1	24	ANSI 150	
41		Motor	N7	1	2	ANSI 150	
42		Indicador de nivell	L1	1	3/4	ANSI 150	
43		Indicador de nivell	L2	1	3/4	ANSI 150	
44	SCHEMATIC	NOTES:					
45							
46							
47							
48							
49							
0							
REV.	DATE	PREP.	APPR.				

DRUM SKETCH

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

DRUM DATA SHEET

1	GENERAL	Manufacturer:				
2		Item: V-1002, V-1003 i V-2001		Capacity (max) 600 l		
3		Description: Dipòsits acumulador		Position:	Horiz. ☒ Vertical ☐	
4	OPERATING	Product: 2-propanol, diisopropil eter i aigua				
5		Operating Pressure (eff.)		1	kg/cm ² g	
6		Operating Temperature		80	°C	
7		Liquid Density		755,0	kg/m ³	
8	DESIGN DATA	Design Pressure (eff.)		4 / buit total	kg/cm ² g	
9		Design Temperature		200	°C	
10		Hidrostatic Test (eff.)		5,5	kg/cm ² g	
11		Corr. Allow.	Shell / Heads	1	mm	
12		Joint Eff.	Shell / Heads	80%		
13		Code: ASME Code Sec. VIII Div.1				
14		Radiograph: 10%				
15		Stress Relieve:		☒ Yes ☐ No		
16	MATERIALS	Seismic:				
17		Wind Load:			N/m ²	
18		Hidrostatic Test (eff.)		5,5	kg/cm ² g	
19		Thickness	Mat'l Class			
20		Shell	7 mm	SA 516 -70		
21		Heads	7 mm	SA 516 -70		
22						
23	CONSTRUCTION					
24						
25			Dia.	Altura	Material	
26		Shell	0,8 m	1,2 m	SA 516 -70	
27		Heads	0,8 m	0,2 m	SA 516 -70	
28		Insulation:		Yes ☒ No ☐		
29		Fireproofing:		Yes ☒ No ☐		
30		Sandblast:		Yes ☒ No ☐		
31	Paint:		Yes ☒ No ☐			
32		Wt. Empty:		250	kg	
33		Wt. Full Water:		850	kg	
34	NON SCHEDULE	Service	Mark	Nº	Size (in)	Rating
35		Alimentació	N1	1	2	ANSI 150
36		Sortida	N2	1	2	ANSI 150
37		Boca d'home	N3	1	24	ANSI 150
38		Purga	N4	1	3/4	ANSI 150
39		Indicador de nivell	L1	1	3/4	ANSI 150
40		Indicador de nivell	L1	2	3/4	ANSI 150
41	SCHEDULE					
42						
43						
44						
45						
46						
47						
48						
49						
0						
REV.	DATE	PREP.	APPR.			

SKETCH

NOTES: A: Bortex breaker

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

DRUM DATA SHEET

1	GENERAL	Manufacturer:					
2		Item: V-2002			Capacity (max) 600 l		
3		Description: Dipòsit acumulador amb refrigeració			Position:	Horiz. ☐ Vertical ☒	
4	OPERATING	Product: 2-propanol, diisopropil eter i aigua					
5		Operating Pressure (eff.)			1 kg/cm ² g		
6		Operating Temperature			105 °C		
7	DESIGN DATA	Liquid Density			685,0 kg/m ³		
8		Design Pressure (eff.)			1,2 kg/cm ² g		
9		Design Temperature			200 °C		
10	MATERIALS	Hidrostatic Test (eff.)			2 kg/cm ² g		
11		Corr. Allow. Shell / Heads			1 mm		
12		Joint Eff. Shell / Heads			80%		
13	CONSTRUCTION	Code: ASME Code Sec. VIII Div.1					
14		Radiograph: 10%					
15		Stress Relieve:		X	Yes	No	
16		Seismic:					
17		Wind Load:			N/m ²		
18		Hidrostatic Test (eff.)			5,5 kg/cm ² g		
19	MATERIALS	Thickness		Mat'l Class			
20		Shell	6 mm	SA 516 -70			
21		Heads	6 mm	SA 516 -70			
22							
23	CONSTRUCTION	Dia.		Altura		Material	
24							
25		Shell	0,8 m	1,2 m	SA 516 -70		
26		Heads	0,8 m	0,2 m	SA 516 -70		
27		Insulation:		Yes	No	X	
28		Fireproofing:		Yes	X	No	
29		Sandblast:		Yes	X	No	
30		Paint:		Yes	X	No	
31		Wt. Empty:		4800	kg		
32		Wt. Full Water:			kg		
33	NOZZLE	Service	Mark	Nº	Size (in)	Rating	
34		Alimentació	N1	1	1	ANSI 150	
35		Sortida	N2	1	1 1/2	ANSI 150	
36		Boca d'home	N3	1	24	ANSI 150	
37		Refrigeració	N4	1	1	ANSI 150	
38		Evacuació refrig.	N5	1	1	ANSI 150	
39		Sortida gasos	N6	1	1	ANSI 150	
40		Entrada auxiliar	N7	1	3/4	ANSI 150	
41		Purga	N8	1	3/4	ANSI 150	
42		Sonda temperatura	T1	1	3/4	ANSI 150	
43	SHELL	Indicador de nivell		L1	1	3/4	ANSI 150
44		Indicador de nivell		L1	2	3/4	ANSI 150
45							
46	DOUBLE						
47							
48							
49							
0							
REV.	DATE	PREP.	APPR.				

SKETCH

NOTES: A: Bortex breaker

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

4.3.3.3. Equips d'intercanvi de calor

Per complir amb els requeriments tèrmics del procés s'utilitzen bescanviadors de calor de tubs i carcassa. Aquests, permeten treballar en un gran rang de temperatures i pressions, ofereixen gran àrea d'intercanvi en un volum petit, són fiables i s'ajusten a les especificacions. Pel seu dimensionament s'han seguit les especificacions indicades a la normativa TEMA (*Tubular Exchanger Manufacture's Association*).

Per a la selecció de la seva configuració s'han seguit diversos factors com, corrosió i pressió del fluid, el fluid més desfavorable pel material es farà passar per tubs, factor d'embrutiment, el fluid amb major factor circularà pels tubs ja que és més fàcil de netejar i en el cas dels condensadors, el fluid a condensar preferiblement circularà per carcassa i el cas dels *reboilers* el fluid a evaporar preferiblement per tubs.

S'instal·laran bescanviador del tipus BEM, capsal del tipus B, comú i fàcil de desmuntar per rentar l'interior dels tubs, carcassa del tipus E, amb un sol pas, i el capsal posterior del tipus M que és un capsal fix que constitueix un sistema rígid i la disposició serà preferiblement horitzontal per permetre un millor manteniment.

El seu disseny s'ha realitzat en dues fases, en primer lloc s'han obtingut els valors bàsics de disseny seguint els mètodes clàssics de càlcul que corresponen a cada tipus de bescanviador i posteriorment s'ha verificat i completat el disseny amb el *software Aspen Exchanger Design and Rating (EDR)*®.

Als apartats següents es mostra una relació de les dades més rellevants obtingudes per a cada disseny. Per consultar la resta de resultats s'adjunten les fulles d'especificació de cada bescanviador de calor al final de cada apartat.

4.3.3.3.1. Precalentador alimentació T-1001 (HE-1001A/B)

El disseny d'aquest bescanviador de carcassa i tubs s'ha realitzat mitjançant el càlcul descrit a la bibliografia (ref. 4.13) i (ref. 4.14).

S'ha considerat un factor d'embrutiment elevat ja que existeixen diverses impureses microscòpiques procedents de la planta de polipropilè en suspensió que tendeixen a incrustar-se i taponar dels intercanviadors, per aquest motiu s'ha optat per instal·lar dos bescanviadors connectats en paral·lel de característiques idèntiques per possibilitar un manteniment eficaç.

El disseny mecànic es realitza a partir de tubs estàndard de 2.5 m de llarg i amb un gruix de 2mm. Tots els besvaniadors de tubs i carcassa utilitzaran les mateixes característiques pel costat tubs, ja que permet reduir el cost global de producció.

Pel costat carcassa s'ha seguit el procediment descrit a la bibliografia (ref. 4.12) per carcasses sotmeses a pressió tant interna com externa i posteriorment s'ha verificar amb el *software Aspen Exchanger Design and Rating (EDR)*®. Les dades obtinguts es poden consultar a la fulla d'especificació que s'adjunta al final del apartat.

4.3.3.3.2. Condensador total destil·lat T-1001 (HE-1002)

Es segueix el mateix procediment de càlcul descrit en l'apartat anterior. En aquest cas caldrà tenir en compte l'existència de dues fases pel costat carcassa a l'hora de determinar els coeficients de transferència de calor i les característiques termodinàmiques dels fluids.

4.3.3.3.3. Reboiler termosifó T-2001 (HE-2003)

El disseny del reboiler termosifó s'ha realitzant seguint el procediment descrit a la bibliografia (ref. 4.13).

Es descriu de forma breu el procediment seguit, ja que presenta diverses diferències en el seu dimensionament amb la resta de bescanviadors. La velocitat de circulació del fluid és la variable crítica d'aquest tipus d'equips, per aquest motiu es requereix del càlcul de les pèrdues de pressió del circuit de canonades i accessoris, aquesta ha de ser compensada per la carga hidrostàtica disponible. La força motriu, a diferència dels equips amb convecció forçada que disposen de bombes d'impulsió de fluids incompressibles, és la diferència amb la densitat del líquid de la base de la columna i canonada d'entrada (part freda) i el fluid de les dues fases dels tubs del bescanviador i canonada de sortida (part calenta).

Per calcular la velocitat de circulació és necessari realitzar un balanç de pressió del sistema:

1. Calcular la velocitat d'evaporació a partir dels requeriments de l'apartat del disseny de la columna T-2001.
2. Estimació de l'àrea de bescanvi, a partir d'assumir un valor pel coeficient de transferència de calor global.
3. Assumir un valor per a la velocitat de circulació a través del bescanviador.

4. Calcular la caiguda de pressió a la canonada d'entrada (fase líquida). (A l'apartat "Equips rotatius" es poden trobar més detalls sobre el càlcul de la caiguda de pressió).
5. Dividir el tub del bescanviador en 3 seccions per calcular la caiguda de pressió. 1 secció fase líquida, 1 secció desenvolupament del equilibri de fases i 1 secció equilibri de fases complet.
6. Calcular la caiguda de pressió a la canonada de sortida amb les dues fases.
7. Calcular la caiguda de pressió calculada amb la carga diferencial disponible. En cas que sigui suficient acceptar el disseny sinó repetir des del pas 3.
8. Calcular el coeficient de transferència de calor i la velocitat de transferència per a cada secció descrita al pas 5. Per a la secció amb ebullició s'ha utilitzat el mètode Chen.
9. Calcular la velocitat d'evaporació a partir de la velocitat de transferència de calor total i comprovar que sigui igual a la estimada al pas 1. Caldrà repetir el procediment si els valors són molt diferents.

Els valors pel dimensionament, una vegada verificats amb el *software Aspen Exchanger Design and Rating (EDR)*® es mostren a la fitxa d'especificació al final d'aquest apartat.

4.3.3.4. Condensador total amb subrefredament destil·lat T-2001 (HE-2001)

Pel dimensionament d'aquest equip s'ha seguit el mateix procediment descrit per al bescanviador HE-1001.

Donades les exigències del procés, es requereix que a més de la condensació del vapor d'entrada es produeixi un subrefredament del fluid. Aquest factor implica reduir l'eficiència de bescanvi energètic entre ambdós fluids i per tant augmentar l'àrea de bescanvi. L'alternativa per augmentar l'eficiència de grans cabals és la d'instal·lar un bescanviador addicional però en aquest cas s'ha optat per un sol bescanviador.

Aquest tipus de bescanviador requereix un deflector del tipus presa (figura 4.1) per tal de millorar la transferència de calor amb la fase líquida.



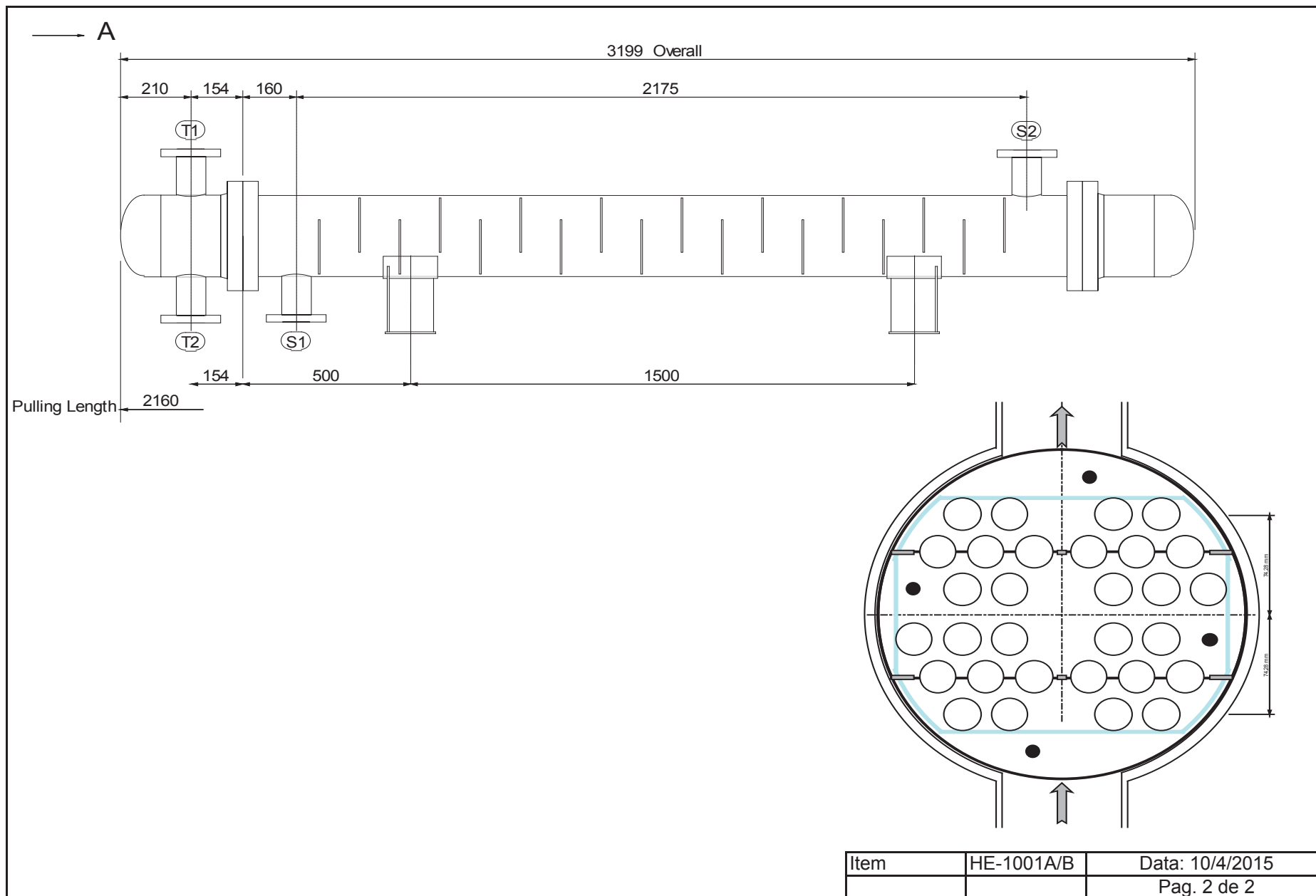
Figura 4.2. Deflector del bescanviador del tipus presa

Els valors pel dimensionament es poden trobar a la fitxa d'especificació al final d'aquest apartat.

HEAT EXCHANGER DATA SHEET

Pag. 1 de 2

1	ITEM No.: HE-1001A/B				Pag. 1 de 2	
2	Service: Preheat					
3	Type: BEM	Position: Horizontal		Total surface / unit: 5,70		(m ²)
4	No. Shell: 1					
5	PERFORMANCE OF UNIT					
6			Shell side		Tube side	
7			Inlet	Outlet	Inlet	Outlet
8	Fluid name		Isopropanol and water		Water	
9	Fluid total flow		17000		16800	
10	Vapour	kg/h	0	0	0	0
11	Liquid	kg/h	17000	17000	16800	16800
12	Steam	kg/h	0	0	0	0
13	Water	kg/h	0	0	4,67	4,67
14	Temperature	°C	40	56	110	94
15	Density (L/V)	kg/m ³	993,2	981,4	950,6	961,9
16	Viscosity (L/V)	cP	0,6969	0,5397	0,2529	0,2966
17	Vapour molecular weight					
18	Specific heat (L/V)	kcal/kg.°C	0,9984	0,999	1,006	1,002
19	Thermal conductivity (L/V)	kcal/h.m.°C	0,542	0,556	0,591	0,585
20	Latent heat					
21	Inlet pressure	kg/cm ² (g)	1,45		5	
22	Velocity (allowable / calculated)	m/s	0,7	0,71	1	1,9
23	Pressure drop (allowable / calculated)	kg/cm ²	0,15	0,09	0,25	0,23
24	Fouling resistance	h.m ² .°C/kcal	0,00035		0,0004	
25	Heat exchanged:		(kcal/h) 268000			
26	Heat transfer rate (kcal/h.m ² .°C)		Fouled: 890		Clean: 2784	
27	CONSTRUCTION PER SHELL					
28	Codes:	Shell side	Tube side			
29	Design pressure kg/cm ²	4	4			
30	Design temperature °C	200	200			
31	No. of passes	1	4			
32	Stress relief					
33	Radiograph.	90%	90%			
34	Corrosion allowance mm	2	2			
35	Nozzles	Service	Mark	S.(in)	Rating	
36		Water	T1	3 1/2	150lb	
37		Water	T2	3 1/2	150lb	
38		IPA + Water	S1	3	150lb	
39		IPA + Water	S2	3	150lb	
40						
41						
42						
43						
44						
45	MATERIALS				SKETCH	
46		Dia.	Thick. (mm.)	Spec. Mat		
47	Shell:	250	13	A-285 C		
48	Channel:					
49	Tubesheets:					
50	Baffles: n° / mat.		20	A-285 C		
51	Baffles spacing:	120 mm.				
52	Tubes:					
53	Spec. Mat.	A 179				
54	N°	30				
55	OD	27 mm.				
56	BWG:	14				
57	Length	2500 mm.				
58	Pitch:	32 mm.				
59						
60						
61						
62						
63						
64	NOTES:					
65	Code requeriments					
66	ASME Code Sec. VIII Div. 1					
67	TEMA					
0						
REV.	David Abelló Martínez	18-03-15	18-03-15	18-03-15	 UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química Departament d'Enginyeria Química	

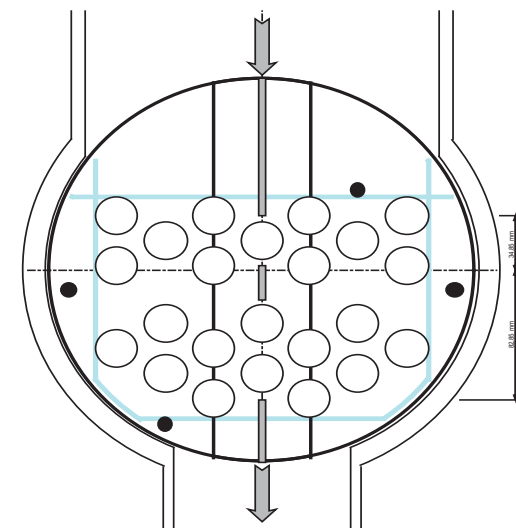
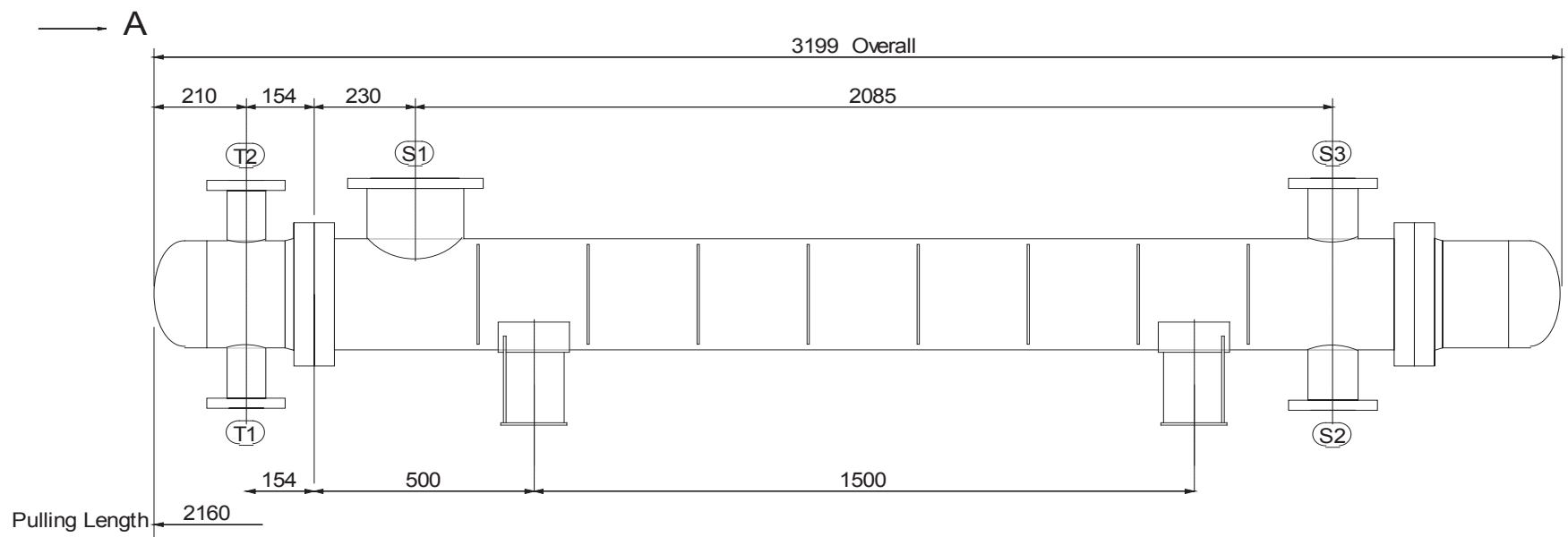


HEAT EXCHANGER DATA SHEET

Pag.1 de 2

1	ITEM No.: HE-1002				Pag.1 de 2	
2	Service: Condenser T-1001					
3	Type: BEM	Position: Horizontal		Total surface / unit: 4,3	(m ²)	
4	No. Shell: 1					
5	PERFORMANCE OF UNIT					
6			Shell side		Tube side	
7			Inlet	Outlet	Inlet	Outlet
8	Fluid name		Isopropanol and water		Water	
9	Fluid total flow		584		11340	
10	Vapour	kg/h	573	0	0	0
11	Liquid	kg/h	11	584	11340	11340
12	Steam	kg/h	0	0	0	0
13	Water	kg/h	0	0	11340	11340
14	Temperature	°C	83,4	79,3	27	36,9
15	Density (L/V)	kg/m ³	2,34/935,6	756,2	997,9	995,6
16	Viscosity (L/V)	cP	0,010/0,340	0,569	0,8561	0,6937
17	Vapour molecular weight		45,36			
18	Specific heat (L/V)	kcal/kg.°C	0,418/1,090	0,7603	1,001	1,0004
19	Thermal conductivity (L/V)	kcal/h.m.°C	0,018/0,57	0,569	0,8561	0,6937
20	Latent heat	kcal/kg	570,5	182,9		
21	Inlet pressure	kg/cm ² (g)	1,5		5	
22	Velocity (allowable / calculated)	m/s	10	5	1,5	0,85
23	Pressure drop (allowable / calculated)	kg/cm ²	0,15	0,003	0,15	0,03
24	Fouling resistance	h.m ² .°C/kcal	0,00035		0,0004	
25	Heat exchanged:	(kcal/h)	111800			
26	Heat transfer rate (kcal/h.m ² .°C)		Fouled: 541	Clean: 1063		
27	CONSTRUCTION PER SHELL					
28	Codes:	Shell side	Tube side			
29	Design pressure kg/cm ²	4	4			
30	Design temperature °C	200	200			
31	No. of passes	1	2			
32	Stress relief					
33	Radiograph.	90%	90%			
34	Corrosion allowance mm	2	2			
35	Nozzles	Service	Mark	S.(in)	Rating	
36		Water	T1	1 1/2	150lb	
37		Water	T2	1 1/2	150lb	
38		IPA + Water	S1	3	150lb	
39		IPA + Water	S2	2	150lb	
40		Incondensable	S3	2	150lb	
41						
42						
43						
44						
45	MATERIALS					
46		Dia.	Thick. (mm.)	Spec. Mat		
47	Shell:	250	13	A-285 C		
48	Channel:					
49	Tubesheets:					
50	Baffles: n° / mat.		8	A-285 C		
51	Baffles spacing:	250 mm.				
52	Tubes:					
53	Spec. Mat.	A 179				
54	N°	23				
55	OD	25 mm.				
56	BWG:	14				
57	Length	2500 mm.				
58	Pitch:	32 mm. <				
59						
60						
61						
62						
63						
64	NOTES:					
65	Code requeriments					
66	ASME Code Sec. VIII Div.1					
67	TEMA					
0						
REV.	David Abelló Martínez	15-03-15	15-03-15	15-03-15		

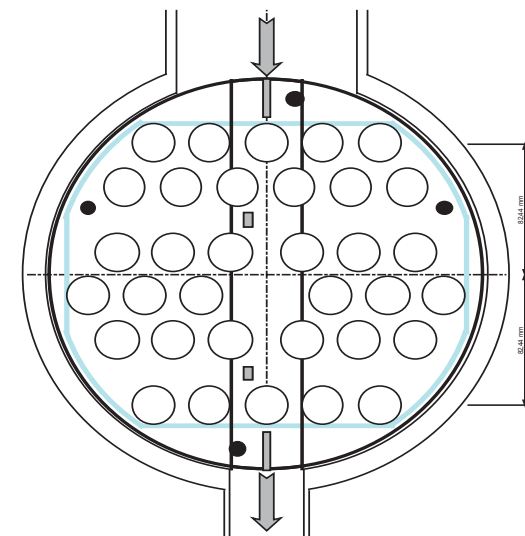
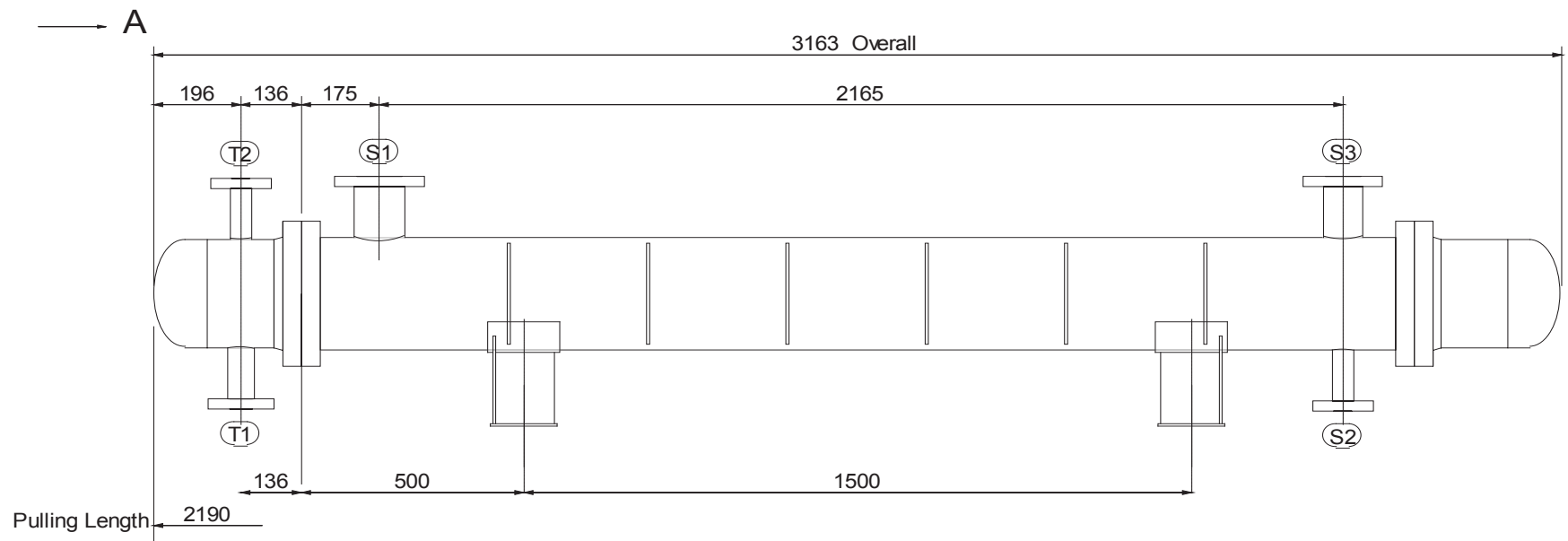
UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI
Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química
Departament d'Enginyeria Química



Item	HE-1002	Data: 10/4/2015
		Pag. 2 de 2

HEAT EXCHANGER DATA SHEET

1	ITEM No.: HE-2001				Pag. 1 de 2	
2	Service: Condenser and sub-cooling T-2001					
3	Type: BEM	Position: Horizontal		Total surface / unit: 6,2	(m ²)	
4	No. Shell: 1					
5	PERFORMANCE OF UNIT					
6			Shell side		Tube side	
7			Inlet	Outlet	Inlet	Outlet
8	Fluid name		IPA, water and IPE		Water	
9	Fluid total flow		905		10963	
10	Vapour	kg/h	905	0	0	0
11	Liquid	kg/h	0	905	10963	10963
12	Steam	kg/h	0	0	0	0
13	Water	kg/h	0	0	10963	10963
14	Temperature	°C	87,3	45,8	27	37
15	Density (L/V)	kg/m ³	6,15	722,8	997,9	995,5
16	Viscosity (L/V)	cP	0,0094	0,3554	0,8561	0,692
17	Vapour molecular weight		76,68			
18	Specific heat (L/V)	kcal/kg.°C	0,4351	0,55	1,0011	1,0004
19	Thermal conductivity (L/V)	kcal/h.m.°C	0,017	0,108	0,519	0,53
20	Latent heat	kcal/kg	76,11	99,4		
21	Inlet pressure	kg/cm ² (g)	2,3		5	
22	Velocity (allowable / calculated)	m/s	7	3,13	1,5	1,379
23	Pressure drop (allowable / calculated)	kg/cm ²	0,15	0,009	0,2	0,121
24	Fouling resistance	h.m ² .°C/kcal	0,00012		0,00035	
25	Heat exchanged:	(kcal/h)	109701			
26	Heat transfer rate (kcal/h.m ² .°C)		Fouled: 369,8		Clean: 461,3	
27	CONSTRUCTION PER SHELL					
28	Codes:	Shell side	Tube side			
29	Design pressure kg/cm ²	4	4			
30	Design temperature °C	200	200			
31	No. of passes	1	4			
32	Stress relief					
33	Radiograph.	90%	90%			
34	Corrosion allowance mm	2	2			
35	Nozzles	Service	Mark	S. (in)	Rating	
36		Water	T1	1 1/2	150lb	
37		Water	T2	1 1/2	150lb	
38		IPA+Water+IPE	S1	3	150lb	
39		IPA+Water+IPE	S2	1	150lb	
40		Incondensable	S3	2	150lb	
41						
42						
43						
44						
45	MATERIALS			SKETCH		
46		Dia.	Thick. (mm.)	Spec. Mat		
47	Shell:	250	13	A-285 C		
48	Channel:					
49	Tubesheets:					
50	Baffles: n° / mat.		6	A-285 C		
51	Baffles spacing:	313 mm.				
52	Tubes:					
53	Spec. Mat.	A 179				
54	N°	34				
55	OD	25 mm.				
56	BWG:	14				
57	Length	2500 mm.				
58	Pitch:	32 mm.				
59						
60						
61						
62						
63						
64	NOTES:					
65	Code requeriments					
66	ASME Code Sec. VIII Div.1					
67	TEMA					
0					UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química Departament d'Enginyeria Química	
REV.	David Abelló Martínez	16-03-15	16-03-15	16-03-15		



Item	HE-2001	Data: 10/4/2015
		Pag. 2 de 2

HEAT EXCHANGER DATA SHEET

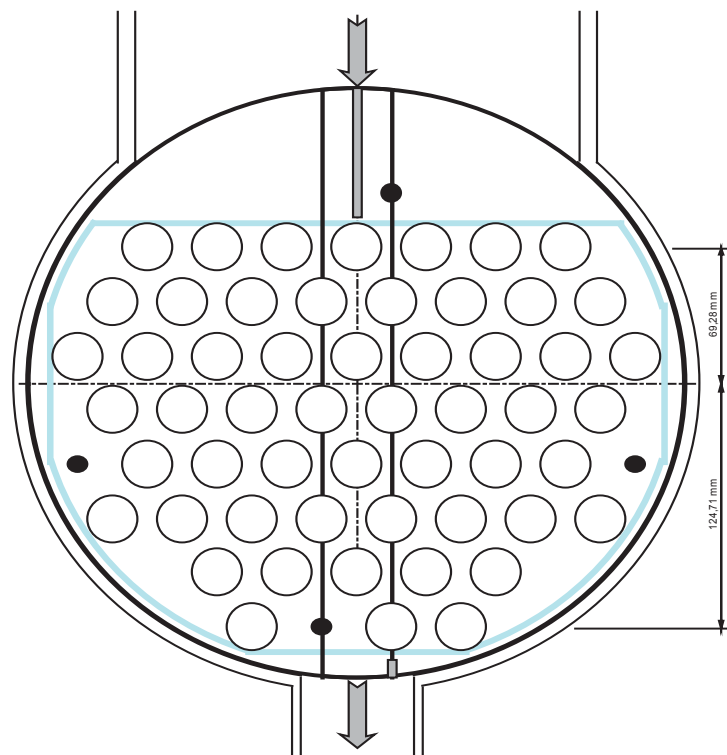
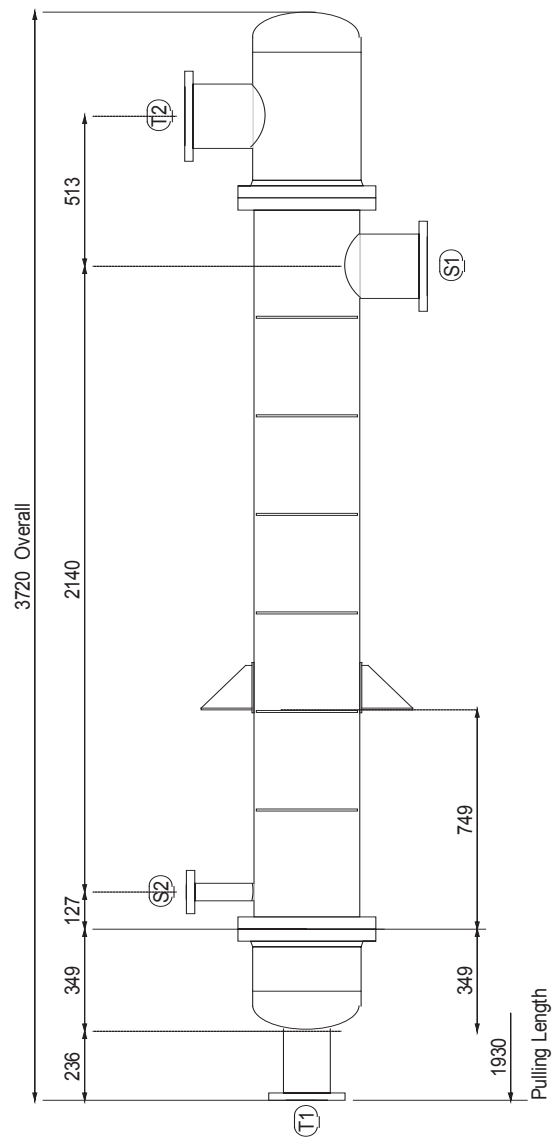
Pag. 1 de 2

1	ITEM No.: HE-2003				Pag. 1 de 2	
2	Service: Reboiler T-2001					
3	Type: BEM	Position: Vertical		Total surface / unit: 10,4		(m ²)
4	No. Shell: 1					
5	PERFORMANCE OF UNIT					
6			Shell side		Tube side	
7			Inlet	Outlet	Inlet	Outlet
8	Fluid name		Steam		Isopropanol	
9	Fluid total flow	kg/h	56		731	
10	Vapour	kg/h	56	0	0	187
11	Liquid	kg/h	0	56	731	544
12	Steam	kg/h	0	0	0	0
13	Water	kg/h	56	56	0	0
14	Temperature	°C	165	164	107,2	107,5
15	Density (L/V)	kg/m ³	3,47	903,8	669,1	4,83 / 668,6
16	Viscosity (L/V)	cP	0,0147	0,1794	0,2999	0,008/0,298
17	Vapour molecular weight		18,01			60,1
18	Specific heat (L/V)	kcal/kg.°C	0,5915	1,0197	0,8486	0,431/0,849
19	Thermal conductivity (L/V)	kcal/h.m.°C	0,027	0,59	0,095	0,017/0,095
20	Latent heat	kcal/kg	492,65	492,65	148,13	148,13
21	Inlet pressure	kg/cm ² (g)	7		2,62	
22	Velocity (allowable / calculated)	m/s	-	0,7	2	1,1
23	Pressure drop (allowable / calculated)	kg/cm ²	0,3	0,01	0,2	0,07
24	Fouling resistance	h.m ² .°C/kcal	0,00023		0,00012	
25	Heat exchanged:	(kcal/h)	27860			
26	Heat transfer rate (kcal/h.m ² .°C)	Fouled: 1532	Clean: 3571			
27	CONSTRUCTION PER SHELL					
28	Codes:	Shell side	Tube side			
29	Design pressure kg/cm ²	21	4			
30	Design temperature °C	200	200			
31	No. of passes	1	1			
32	Stress relief					
33	Radiograph.	90%	90%			
34	Corrosion allowance mm	2	2			
35	Nozzles	Service	Mark	S.(in)	Rating	
36		IPA	T1	1	ANSI 150	
37		IPA	T2	3	ANSI 150	
38		Steam	S1	2	ANSI 150	
39		Water	S2	1	ANSI 150	
40						
41						
42						
43						
44						
45	MATERIALS					
46		Dia.	Thick. (mm.)	Spec. Mat		
47	Shell:	305	19	A-285 C		
48	Channel:					
49	Tubesheets:					
50	Baffles: n° / mat.		8	A-285 C		
51	Baffles spacing:	337 mm.				
52	Tubes:					
53	Spec. Mat.	A 179				
54	N°	71				
55	OD	25 mm.				
56	BWG:	14				
57	Length	2500 mm.				
58	Pitch:	32 mm. ◁				
59						
60						
61						
62						
63						
64	NOTES:					
65	Code requeriments					
66	ASME Code Sec. VIII Div.1					
67	TEMA					
0						
REV.	David Abelló Martínez	09-04-15	09-04-15	09-04-15		

SKETCH

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

A →



Item	HE-2003	Data: 10/4/2015
		Pag. 2 de 2

4.3.3.4. Equips rotatius

4.3.3.4.1. Bombes d'impulsió P-1001A/B, P-1002A/B, P-1003A/B, P-2001A/B i P-2002A/B

Pel disseny de totes les bombes, en primer lloc s'ha realitzat el càlcul de les pèrdues de càrrega a la línia i accessoris. Aquest càlcul es realitza en detall tenint en compte la longitud de la línia i les característiques de cada accessori i elements que puguin ocasionar pèrdua de càrrega. El càlcul complet es realitza segons la bibliografia (ref. 4.13). L'equació 4.2. permet estimar la pèrdua de càrrega a partir de les condicions d'operació.

$$\Delta P_f = 8 \cdot f \cdot \left(\frac{L}{D_i} \right) \frac{\delta u^2}{2} \quad (4.2)$$

On:

- ΔP_f = Caiguda de pressió
- f = factor de fricció
- L = Longitud de la canonada
- D_i = Diàmetre interior de la canonada
- δ = Densitat del fluid
- u = Velocitat del fluid.

El factor de fricció dependrà del número de Reynolds i la rugositat de la canonada. I la velocitat del fluid s'estima segons la seva densitat.

Per determinar les pèrdues de pressió diverses, cal determinar el número de cargues de velocitat equivalent "K" perdut per cada accessori o vàlvula. Aquests valors es troben tabulats per a cada element a la bibliografia.

A partir de les pèrdues de càrrega i el balanç d'energia mecànica es pot obtenir l'altura que hauria de proporcionar la bomba.

El pas final consisteix en determinar la càrrega d'aspiració positiva neta o (NPSH), la pressió a l'entrada de la bomba cal que sigui el suficientment elevada per prevenir la cavitació que podria donar-se a l'interior de la bomba. La cavitació es dona quan es formen bombolles de vapor, o de gas, a la carcassa de la bomba. Les bombolles de vapor es formaran si la pressió baixa per sota de la pressió de vapor del líquid. Cal dissenyar les bombes assegurant-se que el

NPSH(disponible) (equació 4.3) és major que el NPSH(requerit) en totes les condicions d'operació.

$$\text{NPSH}_{\text{Disponible}} = \frac{P}{\rho \cdot g} + H - \frac{P_f}{\rho \cdot g} - \frac{P_v}{\rho \cdot g} \quad (4.3)$$

On:

- $\text{NPSH}_{\text{disponible}}$ = Capacitat d'aspiració positiva neta a la succió de la bomba
- P = Pressió sobre el líquid al tanc d'alimentació
- H = Longitud del líquid sobre l'aspiració de la bomba
- P_f = Pèrdua de pressió a les canonades d'aspiració
- P_v = Pressió de vapor del líquid a l'aspiració de la bomba
- ρ = densitat del líquid a la temperatura d'aspiració de la bomba
- g = acceleració deguda a la gravetat

Una vegada determinats els càlculs hidràulics, es realitza la selecció de les bombes a partir del catàleg comercial alguna de les marques del mercat. En aquest cas s'ha utilitzat l'aplicació web que proporciona el fabricant *Ruhrpumpen* (ref. 4.16), ja que proporciona un disseny complet de les bombes a partir dels valors calculats prèviament per a cada requeriment hidràulic de forma accessible per qualsevol usuari.

Les fulles d'especificació per a les bombes P-1001A/B i P-1002A/B es poden trobar al final d'aquest apartat, la resta de bombes queden fora de l'abast del projecte.

PUMP CALCULATION SUMMARY SHEET

1	ITEM	P-1001A/B			
2	SERVICE	Alimentació T-1001			
3					
4					
5	FLUID PUMPED	2-propanol i aigua			
6	OPER.TEMP	45	°C		
7	DENSITY	933	kg/m3		
8	VISCOSITY	0,7	cP		
9	VAPOR PRESS.	0,1	bar		
10	NORM.CAPACITY	17,4	m3/h		
11	MAX.CAPACITY	30	m3/h		
12					
13	SUCTION CONDITIONS				
14	TOTAL SUCT.PR.,	1	kg/cm ² g		
15	NPSH (m.w.c.)	11,54	m		
16					
17	DISCHARGE CONDITIONS				
18	HIDRAULIC POWER	1,42	kW		
19	TOTAL DISCH.PR.	4,17	kg/cm ² g		
20	DIFF.PRESSURE	2,4	kg/cm ²		
21	DIFF.HEAD (m.w.c.)	30,7	m		
22	PUMP REQUIREMENTS				
23	TYPE PUMP	ANSI IPP AA8			
24	ESTIMATED EFF.	53,5	%		
25	ESTIMATED Rot.fred	2960	rpm		
26	ESTIMATED Power	2,46	kW		
27	TYPE DRIVER	Motor			
28	STEAM (abs.)		kg/cm ² g °C		
29	ELECTRICITY	V: 380	PH: 50	Hz	
30					
31					
32	PUMP MATERIALS				
33	CASE	A216-WCA/B			
34	IMPELLER				
35	SHAFT				
36	SHAFT SLEEVE				
37	SEAL/PACKING				
38	PISTON				
39					
40	Nozzles	Mark	Nº	S. (in)	Rating
41	Suction			3 1/2	150lb
42	Discharge			2 1/2	150lb
43					
44					
45	0				
46	REV.	DATE	PREP.	APPR.	
47					

Gen.Arr.Drawin

LINE FITTINGS					
Fittings aspiration:		K	Fittings aspiration:		K
2 Elbows, 90LR		0,26	9 Elbows, 90LR		0,26
2 Ball Valves		0,19	6 Ball Valves		0,19
1 Pipe Entrance		0,5	1 Globe Valves		5,32
2 Plug Valves		0,32	1 Check Valves		2
			1 Pipe Entrance		0,5
			2 Pipe Exit		1

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

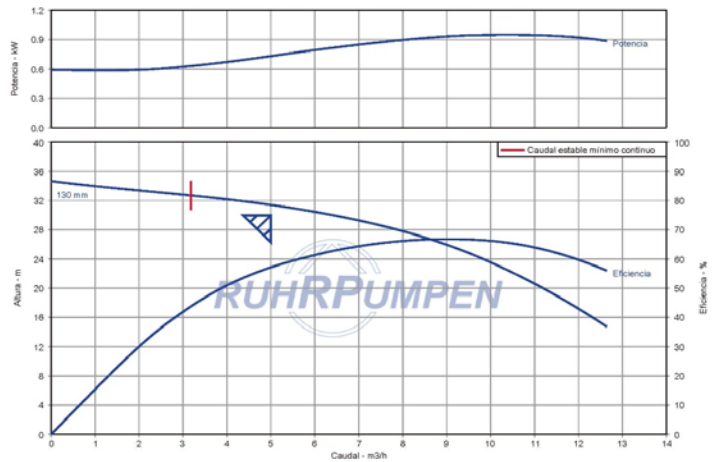
Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química

Departament d'Enginyeria Química

PUMP CALCULATION SUMMARY SHEET

1	ITEM	P-1002A/B			
2	SERVICE	Alimentació reflux T-1001			
3					
4					
5	FLUID PUMPED	2-propanol i aigua			
6	OPER.TEMP	85	°C		
7	DENSITY	752	kg/m3		
8	VISCOSITY	0,8	cP		
9	VAPOR PRESS.	0,15	bar		
10	NORM.CAPACITY	5	m3/h		
11	MAX.CAPACITY	10	m3/h		
12					
13	SUCTION CONDITIONS				
14	TOTAL SUCT.PR.,	1,2	kg/cm ² g		
15	NPSH (m.w.c.)	11,1	m		
16					
17	DISCHARGE CONDITIONS				
18	HIDRAULIC POWER	0,1	kW		
19	TOTAL DISCH.PR,	4,7	kg/cm ² g		
20	DIFF.PRESSURE	2,8	kg/cm ²		
21	DIFF.HEAD (m.w.c.)	28	m		
22	PUMP REQUIREMENTS				
23	TYPE PUMP	ANSI 5.5G-L			
24	ESTIMATED EFF.	57	%		
25	ESTIMATED Rot.frec	1750	rpm		
26	ESTIMATED Power	0,95	kW		
27	TYPE DRIVER	Motor			
28	STEAM (abs.)		kg/cm ² g	°C	
29	ELECTRICITY	V: 380	PH: 50	Hz	
30					
31					
32	PUMP MATERIALS				
33	CASE	A216-WCA/B			
34	IMPELLER				
35	SHAFT				
36	SHAFT SLEEVE				
37	SEAL/PACKING				
38	PISTON				
39					
40	Nozzles	Mark	Nº	S. (in)	Rating
41	Suction			1 1/2	150lb
42	Discharge			1	150lb
43					
44					
45	0				
46	REV.	DATE	PREP.	APPR.	
47					

Pump Curve



Gen.Arr.Drawin



LINE FITTINGS

Fittings aspiration:	K	Fittings aspiration:	K
5 Elbows, 90LR	0,26	6 Elbows, 90LR	0,26
1 Ball Valves	0,19	2 Ball Valves	0,19
4 Pipe Entrance	0,5	1 Globe Valves	5,32
2 Plug Valves	0,32	1 Check Valves	2
		1 Pipe Entrance	0,5
		1 Pipe Exit	1



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

4.3.4. Llistat d'equips**Taula 4.8.** Llistat d'equips

	Llistat d'equips			Preparat: D.Abelló	Pàg. 1 de 2
	Unitat de Recuperació de 2-propanol			Revisat: D.Abelló	Data: 10/05/2015
TAG	Nom	Dimensions característiques	Material	Observacions	
T-1001	Columna de destil·lació azeotròpica	25 m altura i 35 plats	A-285-C	-	
T-2001	Columna de destil·lació azeotròpica heterogènia	27 m altura i 55 plats	A-285-C	-	
HE-1001A	Precalentador alimentació T-1001	Àrea de bescanvi 5.7m ²	A-285 C	-	
HE-1001B	Precalentador alimentació T-1001	Àrea de bescanvi 5.7m ²	A-285 C	-	
HE-1002	Condensador total destil·lat T-1001	Àrea de bescanvi 4.3m ²	A-285 C	-	
HE-2001	Reboiler termosifó T-2001	Àrea de bescanvi 6.2m ²	A-285 C	-	
HE-2003	Cond. total amb subrefredament destil·lat T-2001	Àrea de bescanvi 10.4m ²	A-285 C	-	
P-1001A/B	Bombes alimentació T-1001	2,46 kW potència	A216-WCA/B	-	
P-1002A/B	Bombes reflux T-1001	0.95 kW potència	A216-WCA/B	-	
P-1003A/B	Bombes alimentació T-2001	<0.5 kW potència	A216-WCA/B	-	
P-2001A/B	Bombes reflux T-2001	<0.5 kW potència	A216-WCA/B	-	
P-2002A/B	Bombes producte final	<0.5 kW potència	A216-WCA/B	-	

Taula 4.8. Llistat d'equips (continuació)

	Llistat d'equips			Preparat: D.Abelló	Pàg. 2 de 2
	Unitat de Recuperació de 2-propanol			Revisat: D.Abelló	Data: 10/05/2015
TAG	Nom	Dimensions característiques	Material	Observacions	
D-2001	Separador líquid-líquid	Capacitat màxima 2500 l	A515-70	-	
V-1001	Dipòsit acumulador alimentació	Capacitat màxima 35 000 l	A515-70	-	
V-1002	Dipòsit acumulador de reflux	Capacitat màxima 600 l	A515-70	-	
V-1003	Dipòsit acumulador alimentació	Capacitat màxima 600 l	A515-70	-	
V-2001	Dipòsit acumulador de reflux	Capacitat màxima 600 l	A515-70	-	
V-2002	Dipòsit acumulador producte final amb refrigeració	Capacitat màxima 600 l	A515-70	-	

5. SEGURETAT EN EL DISSENY DE LES INSTAL·LACIONS

5.1. Consideracions generals

L'estudi de seguretat es realitza abordant la seguretat industrial (protecció de les instal·lacions) i la seguretat laboral (protecció personal). Les normatives que estableixen les mesures que cal abordar són:

Taula 5.1. Normatives que regeixen la seguretat industrial

Aspecte	Procediment / Normativa
Pla d'Autoprotecció (Decret 82/2010)	-Reglament instal·lacions industrials. -Llei de protecció civil. -Llei de Protecció de Riscos per Accidents Greus. -Reglaments Elèctrics. -Llei d'Emmagatzematge de Productes.
Estudi de Riscos i Mesures de Seguretat en els Processos	-Seveso II. -RD 1254/1999, de 16 de juliol, amb el que s'aproven les mesures de control dels riscos inherents als accidents greus en els que intervenen substàncies perilloses. -DECRET 174/2001, de 26 de juny, amb el que es regula l'aplicació a Catalunya del R.D. 1254/1999. -Directiva 2012/18 EU relativa al control dels riscos inherents als accidents greus en els que intervenen substàncies perilloses. -Estudis HAZOP
Mitjans de Protecció	-Reglament instal·lacions industrials. -Reglament d'Emmagatzematge de productes químics
Criteris de Disseny	-Criteris segons el codi més restrictiu
Formació del personal	-Propis empresa

Taula 5.2. Normatives que regeixen la Seguretat Laboral.

Aspecte	Procediment / Normativa
Protecció personal	Llei de Prevenció de Riscos Laborals (PRL) Reglament que desenvolupa la Llei de Prevenció. Reglament de Protecció en cas de contaminants especials.
Utilització dels productes	Fulles de Seguretat dels Productes. (S'ajunten al final d'aquest apartat) Reglament per el transport i manipulació de mercaderies perilloses.

5.1.1. Classificació dels accidents

En funció de la gravetat dels accidents, aquests es poden classificar en tres categories segons el RD 1254/1999, tal y com es mostra a la taula 5.3.

Taula 5.3. Definició de les categories per a la classificació dels accidents.

Categoria	Conseqüències Interiors	Conseqüències exteriors
1	Desperfectes materials	No aplica
2	Desperfectes materials Possibles víctimes	Desperfectes materials lleus Efectes adversos al medi ambient en zones limitades.
3	Desperfectes materials greus Possibles víctimes	Desperfectes materials greus. Possibles víctimes Alteracions greus al medi ambient en zones extenses.

Els accidents de les categories 2 i 3 són els considerats com accidents greus.

5.1.2. Classificació de les àrees o emplaçaments perillosos (ATEX)

Donat que la unitat de recuperació s'instal·larà al mateix recinte que les instal·lacions existents de la planta de polipropilè, les mesures de seguretat més restrictives vindran donades per les directius principals de l'empresa i instal·lació existent.

Amb la finalitat d'especificar correctament els equips elèctrics, al realitzar el disseny de les instal·lacions, cal tenir en compte la probabilitat que existeixen mescles (vapor/aire) inflamables degut a la presència de 2-propanol i diisopropil èter. Aquests, en presència d'una font d'ignició, com podrien ser equips elèctrics, poden arribar a provocar una explosió.

Segons els criteris del RD 681/2003 sobre protecció de la salut i la seguretat dels treballadors exposats a riscos derivats d'atmosfera explosives en el lloc de treball, s'han classificat les diferents zones de la planta com Zona 0, Zona 1 i Zona 2. La distinció entre Zona 0 i Zona 1 s'ha basat en considerar que l'atmosfera explosiva a la zona 1 està present entre 10 i 1000 hores a l'any.

Al final de l'apartat s'adjunta un plànol d'àrees perilloses (ATEX 1). La limitació de l'àrea perillosa per una fuga de 2-propanol s'ha calculat en 2.0 m al voltant dels equips de la unitat segons la norma UNE EN-60079-10, punt 1 de la taula de fons d'escapament amb descripció B-862 fuges varies. A l'annex A1 Càlcul d'extensió de la zona classificada ATEX es pot trobar el detall del càlcul realitzat.

5.2. Avaluació de riscos

Per a poder avaluar les mesures de protecció, s'ha realitzat un estudi segons la Llei de Prevenció de Riscos Laborals, sobre els perills específics del lloc de treball pel personal exposat durant un major nombre d'hores. Cal destacar el fet de que els riscos de la unitat de recuperació han sigut valorats com tolerables i, per tant, les mesures de seguretat, són suficients.

Taula 5.4. Avaluació dels riscos per l'operador de planta

Identificació	Probable	Conseqüència	Valor	Mesures Correctores
Explosió	Mig	Alta	Tolerable	Sistema contra incendis
Incendi	Mig	Alta	Tolerable	Sistema contra incendis
Contactes tèrmics	Baix	Mig	Moderat	Calorifugat de protecció personal per $T > 60^{\circ}\text{C}$ fins a altures de 2m respecte el terra

Taula 5.4. Avaluació dels riscos per l'operador de planta (continuació)

Identificació	Probable	Conseqüència	Valor	Mesures Correctores
Contacte substàncies nocives	Baix/Mig	Baix/Mig	Tolerable	Veure fulles de seguretat productes
Inhalació substàncies nocives	Media	Alta	Elevat	Veure fulles de seguretat productes
Caigudes a nivell	Baix	Alt	Tolerable	Normals
Projecció de fragments	Baix	Mig	Tolerable	Normals
Contactes elèctrics	Baix	Alta	Tolerable	Normals

5.3. Estudis de seguretat

5.3.1. Anàlisi de risc i operativitat (HAZOP)

S'ha realitzat l'estudi HAZOP amb la finalitat d'identificar els possibles problemes que pugin afectar la seguretat de la secció. S'han analitzat els casos genèrics de situacions d'emergència i s'han detallat les accions que es portarien terme per evitar una complicació encara major del problema. El HAZOP optimitza el sistema de control i pressuposa tres hipòtesis:

- La instal·lació està ben dissenyada
- Els materials de construcció són adequats i la construcció i unions s'han realitzat correctament.
- Els anàlisis són una "fotografia instantània" on es mesclen els successos d'efecte immediat amb successos d'elevada inèrcia temporal.

La tècnica consisteix en analitzar sistemàticament les causes i les conseqüències de les variables de procés, plantejades a través d'unes paraules guia, per un node determinat. El node escollit ha sigut la columna T-1001. A la taula 5.5. es presenta l'estudi HAZOP per aquest node.

Taula 5.5. HAZOP per el node de la columna T-1001

Paraula guia	Desviació	Causes	Conseqüències	Salvaguardes	Acció
Més	Més nivell LI-101	- Vàlvula V-155 encallada en posició tancat - Fallada controlador FC-103 - Error mesura indicador de nivell LI-101 - Obstrucció en HE-1001A/B	- Inundació columna amb possible augment de la pressió i trencament catastròfic	- PSV-101	- Posar alarma de nivell alt a LI-101 - Dissenyar la PSV per aquest cas
Més	Més nivell LI-103	- Fallada bombes P-1002A/B - Controlador LI-103 llegeix menys nivell	- Augment de pressió a HE-1002 amb possible ruptura catastròfica	- PSV-101	- Posar alarma nivell alt LI-103
Menys	Menys nivell LI-101	- Vàlvula V-155 encallada en posició obert - Fallada controlador FC-103 - Error mesura indicador de nivell LI-101	- Augment pressió per vapor viu fons columna amb possible trencament catastròfic	- PSV-101	- Posar enclavament per baix nivell a l'entrada de vapor viu.

Taula 5.5. HAZOP per el node de la columna T-1001 (continuació)

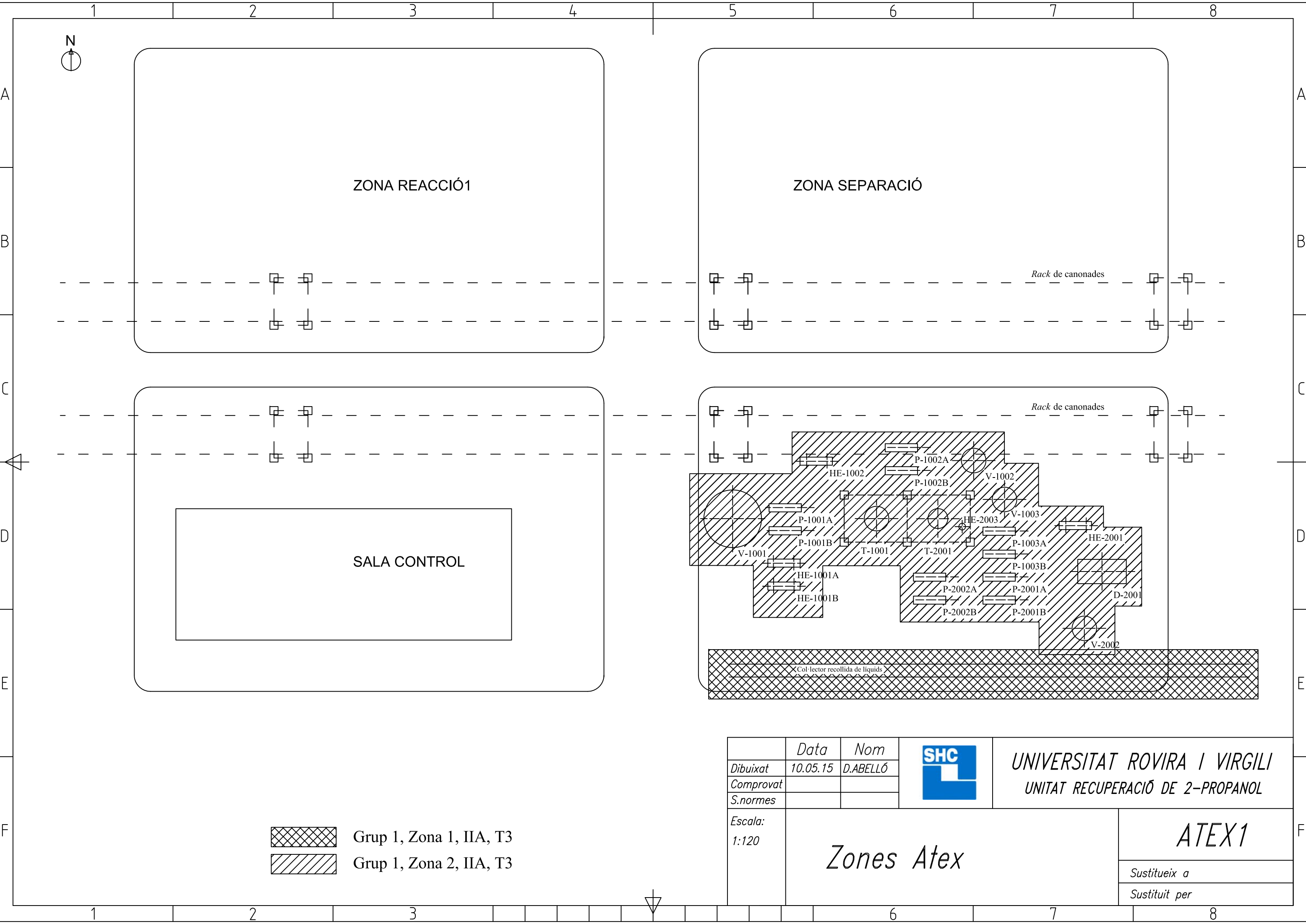
Paraula guia	Desviació	Causes	Conseqüències	Salvaguardes	Acció
Menys	Menys nivell LI-103	- No flux alimentació V-1002 - LI-103 llegeix més nivell	- Cavitació bombes P-1002A/B amb possible besament i risc d'explosió	- Enclavament bombes	- Alarma nivell baix LI-103
No	No flux alimentació T-1001	- Vàlvula V-115 encallada en posició tancat - Fallada bombes 1001A/B - Obstrucció HE-1001A/B	- Sense conseqüències de seguretat	-	-
Menys	Menys flux alimentació T-1001	- Trencament de canonada alimentació - Vàlvula V-115 encallada en posició tancada - Tanc V-1001 buit - Bombes P-1001A/B fora de servei - Fallada en controlador FC-102	- Fuites amb risc d'explosió - Menys cabal bombes P-1001A/B amb risc de cavitació i trencament - Sobrepressió per vapor viu de fons	- Enclavament entrada vapor viu	- Posar alarma nivell baix LI-101

Taula 5.5. HAZOP per el node de la columna T-1001 (continuació)

Paraula guia	Desviació	Causes	Conseqüències	Salvaguardes	Acció
Més	Més flux alimentació T- 1001	- Vàlvula V-115 encallada en posició oberta - Control velocitat bombes P-1001A/B error elèctric. - Fallada controlador FC-102	- Ídem més nivell LI-101	-	-
Més	Més pressió T- 1001	- Error indicadors de pressió PI-105, PI-104 i/o PI-103 - Fallada controlador FC-101 - Vàlvula V-138 encallada en posició oberta - No refrigeració en HE-1001 - Error mesura LI-101	Ídem més nivell LI-101	-	-

Taula 5.5. HAZOP per el node de la columna T-1001 (continuació)

Paraula guia	Desviació	Causes	Conseqüències	Salvaguardes	Acció
Menys	Menys pressió T-1001	- Nivell baix LI-101	- Sense conseqüències de seguretat	-	-
Més	Més temperatura T-1001	- Més vapor viu d'entrada al fons de T-1001. - Error de mesura controladors TI-101, TI-102 o T-103	- Ídem cas més pressió	-	-
Menys	Menys temperatura T-1001	- Menys vapor viu d'entrada al fons de T-1001. - Error de mesura controladors TI-101, TI-102 o T-103	- Sense conseqüències de seguretat	-	-



ZONA REACCIÓ1

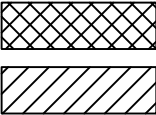
ZONA SEPARACIÓ

SALA CONTROL

Rack de canonades

Rack de canonades

Col·lector recollida de líquids



Grup 1, Zona 1, IIA, T3

Grup 1, Zona 2, IIA, T3

	Data	Nom		UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI UNITAT RECUPERACIÓ DE 2-PROPANOL	
Dibuixat	10.05.15	D.ABELLÓ			
Comprovat					
S.normes					
Escala: 1:120	Zones Atex			ATEX1	
				Sustitueix a	
				Sustituit per	

Fichas Internacionales de Seguridad Química

PROPAN-2-OL

ICSC: 0554



PROPAN-2-OL
2-Propanol
Alcohol isopropílico
Isopropanol
 $C_3H_8O/(CH_3)_2CHOH$
Masa molecular: 60.1

Nº CAS 67-63-0
Nº RTECS NT8050000
Nº ICSC 0554
Nº NU 1219
Nº CE 603-117-00-0



TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Altamente inflamable.	Evitar llama abierta, NO producir chispas y NO fumar.	Polvos, espuma resistente al alcohol, agua en grandes cantidades, dióxido de carbono.
EXPLOSION	Las mezclas vapor/aire son explosivas.	Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosiones.	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones por pulverización con agua.
EXPOSICION			
• INHALACION	Dolor de garganta, tos, dolor de cabeza, vértigo, somnolencia. (Ver Ingestión)	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo y someter a atención médica.
• PIEL	Piel seca.	Guantes protectores.	Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con agua y jabón.
• OJOS	Enrojecimiento.	Gafas ajustadas de seguridad o protección ocular combinada con la protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después consultar a un médico.
• INGESTION	Dolor abdominal, dificultad respiratoria, náusea, pérdida del conocimiento, vómitos. (Además, ver Inhalación).	No comer, beber ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. NO provocar el vómito y someter a atención médica.

DERRAMAS Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO
Protección personal: filtro para gases y vapores orgánicos. Recoger el líquido procedente de la fuga en recipientes herméticos, absorber el líquido residual en arena o absorbente inerte y trasladarlo a un lugar seguro.	A prueba de incendio. Separado de oxidantes fuertes. Mantener en lugar frío. Bien cerrado.	símbolo F símbolo Xi R: 11-36-67 S: (2-)-7-16-24/25-26 Nota 6 Clasificación de Peligros NU: 3 Grupo de Envasado NU: II CE:  

VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE

ICSC: 0554

Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión de las Comunidades Europeas © CCE, IPCS, 2005

Fichas Internacionales de Seguridad Química

PROPAN-2-OL

ICSC: 0554

D A T O S I M P O R T A N T E S	ESTADO FISICO; ASPECTO Líquido incoloro.	VIAS DE EXPOSICION La sustancia se puede absorber por inhalación del vapor.
	PELIGROS FISICOS El vapor se mezcla bien con el aire, se forman fácilmente mezclas explosivas.	RIESGO DE INHALACION Por la evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar bastante rápidamente una concentración nociva en el aire, sin embargo, más rápidamente por pulverización o cuando se dispersa.
	PELIGROS QUIMICOS Reacciona con oxidantes fuertes. Ataca algunas formas de plástico, caucho.	EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION La sustancia irrita los ojos y el tracto respiratorio. La sustancia puede tener efectos sobre el sistema nervioso central, dando lugar a depresión. La exposición muy por encima del OEL puede producir pérdida de conocimiento.
	LIMITES DE EXPOSICION TLV(como TWA): 200 ppm; (como STEL): 400 ppm; A4 (ACGIH 2004). MAK: 200 ppm, 500 mg/m³; Categoría de limitación de pico: II(2), Riesgo para el embarazo: grupo C (DFG 2004)	EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA El líquido desengrasa la piel.
PROPIEDADES FISICAS	Punto de ebullición: 83°C Punto de fusión: -90°C Densidad relativa (agua = 1): 0.79 Solubilidad en agua: miscible Presión de vapor, kPa a 20°C: 4.4 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 2.1	Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20°C (aire = 1): 1.05 Punto de inflamación: 11.7°C c.c. Temperatura de autoignición: 456°C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 2-12 Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: 0.05
DATOS AMBIENTALES		
NOTAS		
El consumo de bebidas alcohólicas aumenta el efecto nocivo. Tarjeta de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-30S1219		
Código NFPA: H 1; F 3; R 0;		
INFORMACION ADICIONAL		
FISQ: 1-168 PROPAN-2-OL		Los valores LEP pueden consultarse en línea en la siguiente dirección: http://www.insht.es/
ICSC: 0554		PROPAN-2-OL
© CCE, IPCS, 2005		
NOTA LEGAL IMPORTANTE:	Ni la CCE ni la IPCS ni sus representantes son responsables del posible uso de esta información. Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales.	

Fichas Internacionales de Seguridad Química

DIISOPROPIL ETER

ICSC: 0906



DIISOPROPIL ETER
Eter isopropílico
 $C_6H_{14}O/(CH_3)_2CHOCH(CH_3)_2$
Masa molecular: 102.18

Nº CAS 108-20-3
Nº RTECS TZ5425000
Nº ICSC 0906
Nº NU 1159
Nº CE 603-045-00-X



TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Altamente inflamable.	Evitar llama abierta, NO producir chispas y NO fumar.	Pulverización con agua, AFFF, espuma resistente al alcohol, polvos, dióxido de carbono.
EXPLOSION	Las mezclas vapor/aire son explosivas.	Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosiones. Evitar la generación de cargas electrostáticas (p. ej., mediante conexión a tierra)	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones por pulverización con agua.
EXPOSICION			
• INHALACION	Tos, somnolencia, dolor de garganta.	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo y someter a atención médica.
• PIEL	Enrojecimiento. Piel seca	Guantes protectores,	Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con agua abundante o ducharse.
• OJOS	Enrojecimiento.	Gafas de protección de seguridad.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después consultar a un médico.
• INGESTION	(Para mayor información véase Inhalación).	No comer, beber ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca, reposo y someter a atención médica.

DERRAMAS Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO
Evacuar la zona de peligro, consultar a un experto. Ventilación. Recoger en la medida de lo posible el líquido que se derrama y el ya derramado en recipientes herméticos de metal. Absorber el líquido residual en arena o absorbente inerte y trasladarlo a un lugar seguro. NO verter en el alcantarillado. (Protección personal adicional: equipo autónomo de respiración).	A prueba de incendio. Mantener en lugar frío; mantener en la oscuridad. Almacenar solamente si está estabilizado.	símbolo F R: 11-19-66-67 S: (2-)-9-16-29-33 Nota: C Clasificación de Peligros NU: 3 Grupo de Envasado NU: II CE: 

VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE

ICSC: 0906

Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión de las Comunidades Europeas © CCE, IPCS, 2008

Fichas Internacionales de Seguridad Química

DIISOPROPIL ETER

ICSC: 0906

D A T O S I M P O R T A N T E S	ESTADO FISICO; ASPECTO Líquido incoloro, de olor característico.	VIAS DE EXPOSICION La sustancia se puede absorber por inhalación del vapor.
	PELIGROS FISICOS El vapor es más denso que el aire y puede extenderse a ras del suelo; posible ignición en punto distante. Como resultado del flujo, agitación, etc., se pueden generar cargas electrostáticas.	RIESGO DE INHALACION En la evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar bastante rápidamente una concentración nociva en el aire.
	PELIGROS QUIMICOS La sustancia puede formar fácilmente peróxidos explosivos si se desestabiliza y estallar por sacudidas.	EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION La sustancia irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La sustancia puede afectar al sistema nervioso central. La exposición muy por encima del OEL podría causar disminución de la consciencia.
	LIMITES DE EXPOSICION TLV (como TWA): 250 ppm; (como STEL): 310 ppm (ACGIH 2004). MAK: 200 ppm, 850 mg/m³; Categoría de limitación de pico: I(2), Riesgo para el embarazo: grupo C (DFG 2006)	EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis.
PROPIEDADES FISICAS	Punto de ebullición: 69°C Punto de fusión: -60°C Densidad relativa (agua = 1): 0.7 Solubilidad en agua: escasa Presión de vapor, kPa a 20°C: 15.9	Densidad relativa de vapor (aire = 1): 3.5 Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20°C (aire = 1): 1.5 Punto de inflamación: -28°C Temperatura de autoignición: 443°C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 1.4-7.9
DATOS AMBIENTALES		
NOTAS		
Normalmente contiene p-benzilaminofenol como estabilizante. La adición de estabilizadores o inhibidores puede influir sobre las propiedades toxicológicas de la sustancia; consultar a un experto. Antes de la destilación comprobar si existen peróxidos; en caso positivo eliminarlos. Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-30S1159 Código NFPA: H 1; F 3; R 1;		
INFORMACION ADICIONAL		
FISQ: 2-074 DIISOPROPIL ETER	Los valores LEP pueden consultarse en línea en la siguiente dirección: http://www.insht.es/	
ICSC: 0906		DIISOPROPIL ETER
© CCE, IPCS, 2008		
NOTA LEGAL IMPORTANTE:	Ni la CCE ni la IPCS ni sus representantes son responsables del posible uso de esta información. Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales.	

6. MEDIAMBIENT EN EL DISSENY DE LES INSTAL·LACIONS

S'ha realitzat un estudi preliminar de les possibles afectacions al mediambient derivades de la instal·lació i operació de la unitat de recuperació.

6.1. Identificació i avaluació de les emissions

La unitat de recuperació de 2-propanol està situada dins de les instal·lacions de la planta de producció de polipropilè en suspensió ja existent, que es troba al *site* de Tarragona. Per aquest motiu, el principal impacte ambiental prové de la instal·lació existent i els impactes ja es van considerar en el moment de construcció de la planta.

A continuació es detallen les diferents emissions i impactes ambientals generats per la instal·lació de la nova unitat.

6.1.1. Emissions atmosfèriques

La instal·lació de la nova unitat no inclou nous focus d'emissions atmosfèriques continues com calderes, forns o torxes continues.

L'únic efecte que es preveu és un augment de les descàrregues puntuals a la torxa, procedents de les situacions de parada, posada en marxa i buidada de la unitat, així com, l'alliberament de possibles incondensables en les operacions de destil·lació.

També cal tenir en compte les fuites per emissions fugitives per brides, vàlvules i bombes.

6.1.2. Emissions líquides

En condicions normals d'operació es produeixen diverses emissions líquides com són el vapor condensat utilitzat en HE-2003, l'aigua de refrigeració, la corrent de fons de la columna T-1001 i la fase aquosa del separador líquid-líquid D-2001.

Les corrents de condensat i d'aigua de refrigeració són recirculades a les calderes i torres de refrigeració, tot i que es preveu la fuga del 1% del volum aportat al circuit.

Les corrents d'aigua contaminada del procés seran derivades a l'estació de tractament d'aigües de la planta de polipropilè per ser reutilitzada en les diferents etapes del procés productiu.

6.1.3. Emissions sòlides

No es produeixen residus sòlids de forma continua ja que totes les corrents del procés són líquides o gasoses. Cal destacar els possibles residus provinents de les operacions de manteniment com són juntes, recobriment del aïllant, etc, així com el residu sòlid acumulat al tanc V-1001 provinent de la pols del catalitzador en l'etapa anterior que cal netejar anualment.

6.1.4. Impacte per soroll

Els focus més importants de contaminació acústica son les bombes. Degut a la situació de la unitat de recuperació dins de les instal·lacions del complex petroquímic, l'increment del nivell sonor a l'ambient exterior serà pràcticament nul ja que el soroll generat per la nova unitat no superarà en cap cas els límits marcats per la legislació vigent (Real Decret 1367/2007); es a dir, no es sobrepassen els 80dB(A) de nivell d'exposició diària i 135 dB(A) de nivell pico.

6.1.5. Impacte al paisatge

Per la seva ubicació a l'interior del complex petroquímic i per les seves dimensions, la unitat de recuperació quedarà integrada dins les instal·lacions existents, sense provocar en cap cas cap augment del impacte visual de la zona.

6.1.6. Impacte social i econòmic

La nova instal·lació no representa un augment significatiu en el nombre de treballadors directes respecte al total de la planta, tot i que augmentarà significativament la mà d'obra directa en empreses auxiliars, sobretot en la fase de construcció i durant les parades per manteniment. Per tant, des del punt de vista econòmic la nova secció representa una consolidació de la planta de cara al futur.

6.1.7. Altres

L'impacte provocat durant la fase de construcció serà mínim ja que aquesta fase es duu a terme sobre sòl industrial prèviament condicionat per a tal efecte, pel que no es preveu cap tipus d'impacte sobre la fauna i flora de la zona.

6.2. Consum d'energia i recursos naturals

Tant els equips elèctrics de la unitat com el vapor utilitzat en el reboiler HE-2003 i a la columna T-1001 requereixen consum energètic. Com equips elèctrics de la unitat es consideren les bombes P-1001A/B, P-1002A/B, P-1003A/B, P2001A/B i P-2002A/B.

Com a recursos naturals es considera l'aigua que cal restablir al circuit de refrigeració degut a les fuites i evaporació durant el procés de refrigeració i el consum per a la obtenció de vapor.

Taula 6.1. Consum d'energia i recursos naturals

Recurs	Consum
Electricitat (bombes)	5.5 kWh
Consum de vapor 3barg	2040 kg/h
Consum vapor de 6barg	60kg/h
Cabal restabliment circuit refrigeració	350kg/h

6.3. Contribució al efecte hivernacle

Es considera efecte hivernacle al fenomen pel qual determinats gasos, que són components de l'atmosfera terrestre, retenen part de l'energia que el sòl emet degut al reflex de la radiació solar. Afecta a tots els cossos planetaris dotats d'atmosfera. D'acord amb el consens científic, l'efecte hivernacle s'ha vist accentuat a la terra per l'emissió de determinats gasos com el diòxid de carboni i el metà degut a l'activitat humana.

Els gasos responsables del efecte hivernacle més rellevants són: diòxid de carboni (CO₂), metà (CH₄), òxids de nitrogen (NO_x), ozó (O₃) i clorofluorocarburs (CFCL₃).

A la unitat de recuperació no es produeixen gasos d'efecte hivernacle però cal considerar la font de l'energia elèctrica i el vapor utilitzat com a possibles emissors de gasos d'efecte hivernacle.

7. MANTENIMENT DE LES INSTAL·LACIONS

El manteniment de les instal·lacions i equips és primordial per el correcte funcionament de la unitat. Per aquest motiu, és necessari establir una sèrie de mesures i planificació del manteniment.

En aquest apartat s'establiran els criteris dels tres tipus de manteniment bàsic: correctiu, preventiu i predictiu.

7.1. Manteniment correctiu

Es considera manteniment correctiu el que suposa una reparació urgent d'una emergència derivada d'una fallada en un equip. Per tant, per que aquest manteniment sigui eficaç es necessari disposar d'un stock de recanvis per tots els equips i accessoris de la unitat; així com també d'un servei de logística per evitar problemes de disponibilitat dels recanvis.

Les accions que caracteritzen el manteniment correctiu són:

- Les reparacions provisionals efectuades en el mateix lloc, que en ocasions es poden realitzar sense interrompre el funcionament del equip afectat.
- Les reparacions definitives efectuades al taller.

7.2. Manteniment preventiu i predictiu

El manteniment preventiu i predictiu es realitza amb la finalitat de reduir la probabilitat de fallada d'un equip o la degradació d'un servei, de manera que és una intervenció de manteniment prevista, preparada i programada abans de que es dugi a terme l'error.

Degut a la gran importància que té pel correcte funcionament de la unitat, és essencial realitzar revisions de manteniment sobre els diferents equips que operen. Cada any es realitzaran revisions periòdiques (supervisades pels mateixos treballadors de manteniment) de tots els equips de la unitat (columnes, intercanviadors, bombes, etc). Es programen parades per inspeccionar el bon funcionament dels equips i es planificarà un pla de manteniment exhaustiu complementat amb la estricta neteja dels equips. També es realitzaran les supervisions oficials obligatòries necessàries per els diferents equips.

Taula 7.1. Mesures i freqüències del manteniment de la unitat

Mesures	Freqüència
Bescanviadors de carcassa i tubs	
Revisió de les vàlvules	Trimestral
Termòmetres d'entrada i sortida	Semestral
Manòmetres i transmissors	Anual
Mesuradors de cabal	Anual
Comprovació visual de fuges	Diari
Inspecció d'interiors	Anual
Neteja dels tubs (si és necessari)	Anual
Reboilers	
Neteja química (carcassa) y mecànica (tubs)	Bianual
Bombes centrífugues	
Revisió del nivell d'oli	Diari
Tanques i estat general	Diari
Canvi de retens	Quan sigui necessari
Canvi de bomba de funcionament	Mensual
Lubricació	Setmanal
Inspecció rodaments	Parada
Vàlvules d'aspiració i impulsó	Anual
Canvi d'oli	Semestral
Revisió motor	Anual
Vàlvules de seguretat	
Revisió assentaments i timbrat	Anual
Columnes i accessoris	
Bombes	Anual

Taula 7.1. Mesures i freqüències del manteniment de la unitat (continuació)

Xarxa de vapor	
Revisió purgadors	Anual

Les revisions i inspeccions oficials es planificaran amb l'ajuda d'una entitat col·laboradora autoritzada, que informará sobre els períodes i requisits de les inspeccions de cada aparell.

7.3. Manteniment específic

7.3.1. Bombes centrífugues

La cavitació és el fenomen pel qual una part del fluid impulsat per la bomba vaporitza parcialment degut a que la pressió d'operació de la bomba és menor a la pressió de vapor del fluid. Aquest fenomen és altament perjudicial per a l'operació i els components de la bomba ja que si el rodet s'omple de bombolles disminueix l'eficàcia de la bomba i les bombolles que es produeixen a la zona de baixa pressió, al arribar a la zona d'alta pressió a la sortida del rodet, es desfan violentament generant una impulsió que pot provocar problemes d'erosió.

Aquest fenomen s'evita fent que la pressió d'aspiració de la bomba sigui superior a la pressió de vapor del fluid, de manera que el *Net Positive Suction Head* (NPSH) sigui major que el *Required Net Positive Suction Head* (NPSHr) proporcionat pel fabricant de la bomba.

7.3.1.1. Mesures a emprendre

- Comprovar el nivell d'oli de lubricació de la coberta del coixinet.
- Comprovar el sentit de gir del motor.
- Comprovar les tanques metàl·liques
- Realitzar periòdicament el canvi d'oli de la bomba.

7.3.1.2. Anomalies de funcionament

La bomba no proporciona el cabal suficient perquè:

- No està completament plena de líquid

- La velocitat de gir no és suficient pel que l'altura aconseguida no és suficient per vèncer la carga de la bomba.
- El rotor o la línia d'aspiració estan obstruïts.
- La bomba està girant en sentit contrari
- Defectes mecànics deguts a desgast dels anells de tancament, carcassa, juntes, etc.

La pressió d'impulsió és insuficient perquè:

- La velocitat és massa baixa
- Hi ha vapor o aire al líquid
- El diàmetre del rodament és molt petit
- El sentit de gir es el contrari

La bomba consumeix molta potència perquè:

- La velocitat és excessiva
- El sentit de gir està invertit
- El eix està deformat

Es produeixen sorolls estranys:

- Existeix cavitació
- Existeixen defectes mecànics com deformació del eix, desgasts de coixinets o desplaçament en parts giratòries

7.3.2. Vàlvules

A continuació s'enumeren algunes de les accions més comuns de manteniment i mesures per evitar problemes a les vàlvules, així com problemes típics que solen provocar.

- Lubricació de la rosca
- Pressió adequada a la premsa per evitar fuges a l'exterior sense que dificulti l'actuació de la vàlvula
- No obrir o tancar al màxim per evitar el clavament
- Si al tancar s'observa dificultat, pot ser degut a l'acumulació de brutícia. No es recomana forçar la vàlvula, ja que es podria deteriorar l'assentament i perdre estanquitat.

7.3.3. Columnes

El manteniment de les columnes es realitzarà durant les parades de la unitat i es basarà en la revisió dels plats.

Per a la realització de les tasques de manteniment serà necessari comprovar que l'equip està parat, despressuritzat, aïllat i que tots els disc estan col·locats. Al mateix temps, es requereix mesurar el contingut en oxigen al interior perquè sigui igual o superior al mínim exigít del 19%.

En tots els casos caldrà seguir la normativa d'inspecció reglamentària segons el REP ITC IP3 (RD 2048/2008).

7.3.4. Tanques de procés

En tots els tanques es realitzaran les següents tasques de manteniment:

- Assegurar que la pintura de recobriment estigui en bon estat
- Comprovar l'existència de *pitting* mitjançant líquids penetrants si es detecten deterioraments en l'equip.
- Comprovar l'espessor amb ultrasons per detectar possibles defectes.

7.3.5. Bescanviadors

Tots els bescanviadors del procés són del tipus tubs i carcassa. Algunes de les tasques de manteniment més important són:

- Neteja de carcassa i tubs mitjançant aigua a pressió
- Comprovar la caiguda de pressió per detectar augment de *fouling*.

En tots els casos caldrà seguir la normativa d'inspecció reglamentària segons el REP ITC RP3 (RD 2048/2008).

8. MANUAL D'OPERACIÓ

8.1. Posada en marxa

A continuació es descriuen els passos a seguir per a la posada en marxa de la columna T-2001.

- 1- Una vegada acabats els treballs de manteniment, s'inertitzarà la columna mitjançant la pressurització i despressurització successives de nitrogen.
- 2- Comprovar que les alimentacions estan desbloquejades, reflux, sortida de fons, alimentació de vapor al bullidor, aigua al condensador i refrigerants, nitrogen i controladors de pressió.
Ajustar el control a la pressió de treball (1barg). Purgar condensat a la línia de vapor i bullidor.
- 3- Alimentar mitjançant bombes de reflux el producte contingut al tanc de reflux a la columna.
- 4- Obrir el vapor al bullidor i pujar lentament en manual el cabal alimentació.
- 5- Reposar alimentació per mantenir el nivell. És molt important evitar que el nivell baixi del 40%, es podria provocar el trencament del feix tubular del bullidor degut al xoc tèrmic.
- 6- Alimentar el reflux de la columna.
- 7- Mantenir la columna a reflux total.

La columna es trobarà al regim correcte una vegada el nivell de fons es mantingui constant. En cas de pujada del nivell de fons de columna s'augmentarà el vapor fins estabilitzar-lo. En cas de pujada del nivell al separador LL s'augmentarà el reflux per aconseguir una major retenció de líquid als plats.

Es requereixen les següents condicions pel perfil de temperatura per la correcta posada en marxa:

- o Cap de columna: 82-83°C
- o Plat 29: 83°C
- o Plat 26: 96°C
- o Plat 23: 104°C
- o Fons de columna: 106°C

- 8- Una vegada aconseguit el regim d'operació constant durant 3h a les condicions indicades s'iniciarà l'alimentació del equip i es començarà a extreure producte pel fons.
L'alimentació, el reflux i el vapor s'augmentaran de manera progressiva, simultàniament fins a les condicions d'operació.
- 9- Després d'1h mantenint les condicions indicades, s'obtindrà una mostra per determinar la puresa de l'IPE al fons de columna.
- 10- Si el contingut de la mostra es troba fora d'especificació s'augmentarà la temperatura del plat de control. Una vegada passats 30 minuts s'obtindrà una nova mostra. Una vegada obtingut el producte en especificació es passarà a l'acumulació del producte final al tanc V-2002.

9. ESTUDI ECONÒMIC

En aquest apartat s'ha realitzat l'estudi econòmic de la implantació de la unitat de recuperació de 2-propanol per determinar la viabilitat econòmica del projecte.

L'estudi econòmic consta, en primer lloc, del càlcul de la inversió fixa i la inversió en capital de treball. Posteriorment s'ha determinat el cost de producció, el balanç anual del conjunt de despeses en l'operació normal de la unitat i finalment, s'ha determinat la rendibilitat de la inversió tenint en compte les possibles fluctuacions del mercat i d'operació.

9.1. Inversió fixa i en capital de treball

En primer lloc s'han determinat les despeses directes i les despeses dels equips *free on board* (adquirits al lloc de producció).

El cost dels equips s'ha determinat mitjançant l'eina *Matches* (ref. 9.1). El cost actualitzat per a l'any 2015 es presenta a la taula 9.1.

Taula 9.1. Cost dels equips de la unitat de recuperació

Equip	Cost (\$)
V-1001	94 000
V-1002	5 000
V-1003	8 000
V-2001	15 000
V-2002	10 000
HE-1001	1 5000
HE-1002	15 500
HE-2001	8 000
HE-2003	25 000
P-1001A/B	9 000
P-1002A/B	7 000

Taula 9.1. Cost dels equips de la unitat de recuperació (continuació)

P-1003A/B	7 000
P-2001A/B	9 000
P-2002A/B	5 000
T-1001	130 000
T-2001	72 100
Plats T-1001 (x35)	14 000
Plats T-2001 (x55)	17 000
Total	465 600

Multiplicant el cost dels equips en condicions bàsiques (acer al carbó i pressió atmosfèrica) i el factor del cost del material es determina el cost dels materials i accessoris, que inclou canonades, aïllants i instrumentació entre altres (ref.9.2 i ref. 9.3). A partir del factor anterior i el factor de mà d'obra es pot obtenir el cost de la mà d'obra, que inclou tota la mà d'obra associada al procés d'instal·lació dels equips i els seus accessoris. A la taula 9.2. s'especifiquen aquestes despeses.

Taula 9.2. Despeses muntatge.

Paràmetre	Factor de cost(%)		Despeses (k\$/any)	
	Material	Mà d'obra	Material	Mà d'obra
Muntatge bàsic		20		93.1
Cimentacions	5.50	133	25.6	34.0
Estructures	4.75	50.0	22.1	11.0
Edificis	3.00	100	13.9	13.9
Aïllament	1.50	150	6.984	10.4
Instrumentació	6.50	40.0	30.2	12.1
Electricitat i il·luminació	8.50	75.0	39.5	29.6
Canonades	37.5	50.0	174.6	87.3

Taula 9.2. Despeses muntatge (continuació)

Pintura	0.50	300	2.3	6.9
Altres	4.00	80.0	18.6	14.8
TOTAL	-	-	427.2	313.6

Per determinar els costos indirectes, s'utilitza el mateix procediment que els costos directes. Aquestes despeses seran invariables als canvis de producció, a la taula 9.3 es detallen les despeses aplicades.

Taula 9.3. Despeses indirectes del projecte.

Paràmetre	Factor de cost (%)	Despesa (k\$/any)
Fleta, assegurança i impostos	8.0	37.2
Despeses generals de construcció	63	293.3
Despeses de l'enginyeria	23	107.1
TOTAL	-	437.6

Es considera un factor de contingència i taxes de contractista del 15% i 3% respectivament sobre el *Bare Module Cost*, que serveix per cobrir circumstàncies imprevistes com petites reparacions o variacions del disseny, pujades del preu dels materials o pèrdues de temps degut a diversos factors.

A la taula 9.4 es mostren els resultats de la inversió fixa.

Taula 9.4. Resum de la inversió fixa de la unitat

Paràmetre	Despeses (k\$/any)
Despeses directes	1216.8
Despeses indirectes	437.6
Despeses per contingències	549.4
Inversió fixa	2203.8

Per tant la inversió inicial serà de 2.2M\$.

9.2. Despeses de producció

Les despeses de producció inclouen el cost associat a la operació normal de la unitat. Aquest, depèn dels costos directes o variables de producció i els costos fixos o indirectes i les despeses generals. A continuació s'enumeren totes les despeses considerades.

9.2.1. Despeses directes

En aquest apartat es consideren totes les despeses aplicables directament a la posada en operació de la unitat.

No es considera cap despesa en concepte de matèries primeres ja que la corrent d'entrada prové d'un corrent residual de la planta de polipropilè i el consum i preu del diisopropil èter és negligible.

Pel que fa a les despeses de tractament de residus, s'ha realitzat una estimació del cost de tractar les dues corrents d'aigua amb impureses.

Taula 9.5. Despeses de tractament d'aigua residual

Residu o emissió	Cabal (l/h)	Preu tractament (\$/m ³)	Despesa anual (k\$/any)
Corrents 3 i 13	18.24	1.43	208

Les despeses en concepte d'*Utilities* es mostren a la taula 9.6.

Taula 9.6. Despeses anuals en concepte d'*utilities*.

Utility o Servei	Consum anual	Preu	Total(\$)
Electricitat (Bombes)	44MW	0.04 \$/kWh	1760
Vapor	1680 T	15.06 \$/T	25300
Aigua refrigeració	2800 T	1.28 \$/m ³	3584
Total	-	-	30700

S'utilitza l'equació 9.1 (ref. 9.2.) per obtenir de manera aproximada el nombre d'operaris aplicables directament a la unitat.

$$N_{OL} = (6.29 + 31.7 \cdot P^2 + 0.23 \cdot N_{np})^{0.5} = 3 \quad (9.1)$$

No es considera cap factor rectificador als 3 operaris obtinguts per l'equació 9.1 ja que aquests treballadors seran compartits amb la planta de polipropilè en suspensió i per tant ja es tenen en compte a les despeses de producció de la planta. El sou mitjà es fixa en 45 000 \$/any pel que el cost de mà d'obra equival a 135 000 \$/any.

A més, s'han suposat les despeses en manteniment anual en un 2% del cost de la instal·lació, el que suposa una despesa de 10 000\$/any.

9.2.2. Despeses fixes o indirectes

Es consideren les següents despeses fixes o indirectes:

- Depreciació: despeses legals d'operació per motius d'impostos
- Assegurances: basat en la localització de la planta i la magnitud del procés.
- Altres: serveis comptables, protecció antiincendis, etc.

9.2.3. Resum de despeses

A la taula 9.7 s'han resumit totes les despeses d'operació

Taula 9.7. Despeses d'operació

	Paràmetre	Despesa (k\$/any)
Despeses directes de producció	Tractament de residus	208
	<i>Utilities</i>	30
	Mà d'obra	135
	Manteniment i reparacions	44

Taula 9.7. Despeses d'operació (continuació)

	Depreciació	220
Despeses indirectes de producció	Impostos locals i assegurança	70
	Altres	175
Despeses totals de producció		882

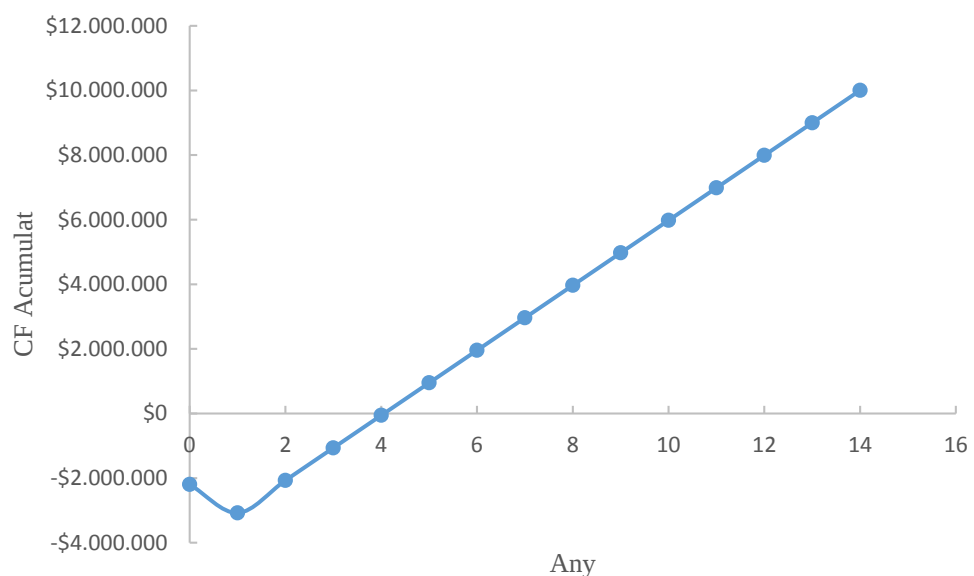
9.3. Estudi de la rendibilitat de la inversió

En aquest apartat s'ha valorat com d'atractiva pot resultar la inversió en base a les hipòtesis plantejades als anteriors apartats.

Es realitza la suposició que el 2-propanol a la sortida de la unitat presenta un valor econòmic de 1.43\$/kg, aquest valor es una aproximació del valor de mercat actual.

9.3.1. Any de recuperació de la inversió

L'any de recuperació de la inversió serà el que presenti un valor positiu de *Cash Flow*. A la figura 9.1 es mostren els resultats obtinguts.

**Figura 9.1.** Any de recuperació de la inversió

Com es pot observar, es comença a recuperar la inversió a partir del 4 any de producció.

9.3.2. VAN i TIR

El VAN és un criteri comú pel anàlisis d'inversions, expressa el resultat de traslladar financerament (utilitzant un determinat tipus d'interès o cost d'oportunitat) tots els fluxos de caixa nets que s'estima per a la inversió, fins al moment actual. Durant el període amb VAN negatiu la inversió estarà generant pèrdues, fins arribar a un punt d'inflexió en el que sigui 0 i, per tant, la inversió no genera ni pèrdues ni beneficis. Una vegada s'obtenen valors positius, la inversió estarà generant beneficis. Si s'utilitza un cost d'oportunitat del 10%, per un període de 15 anys, s'obté un VAN de 8.5M\$ i per tant es pot determinar que es tracta d'un procés rentable.

El TIR és aquella rendibilitat, expressada com el tipus d'interès, que equilibra financerament el conjunt dels flux de caixa nets generats per la inversió. La utilització del TIR com a criteri d'acceptació d'una inversió individual és anàloga a la del VAN, una vegada s'ha establert un TIR límit.

Per calcular el TIR es modifiquen els valors del interès fins que el VAN corresponent sigui zero. Pel projecte d'estudi s'ha obtingut un TIR de 24%, que és major que el cost d'oportunitat.

9.3.3. Anàlisis de sensibilitat

Per avaluar com respon la inversió amb la modificació de diferents paràmetres importants, s'han realitzat els següents anàlisis de sensibilitat sobre l'estudi econòmic del projecte o cas base:

- Anàlisis de sensibilitat per baixa d'un 2% el preu del 2-propanol.
- Anàlisis de sensibilitat per un augment del 10% en el cost de producció.
- Anàlisis de sensibilitat per un augment del 20% en el preu d'implantació de la unitat.

A la figura 9.2 es poden consultar els resultats obtinguts per a cada un del cas en funció de l'any de retorn de la inversió.

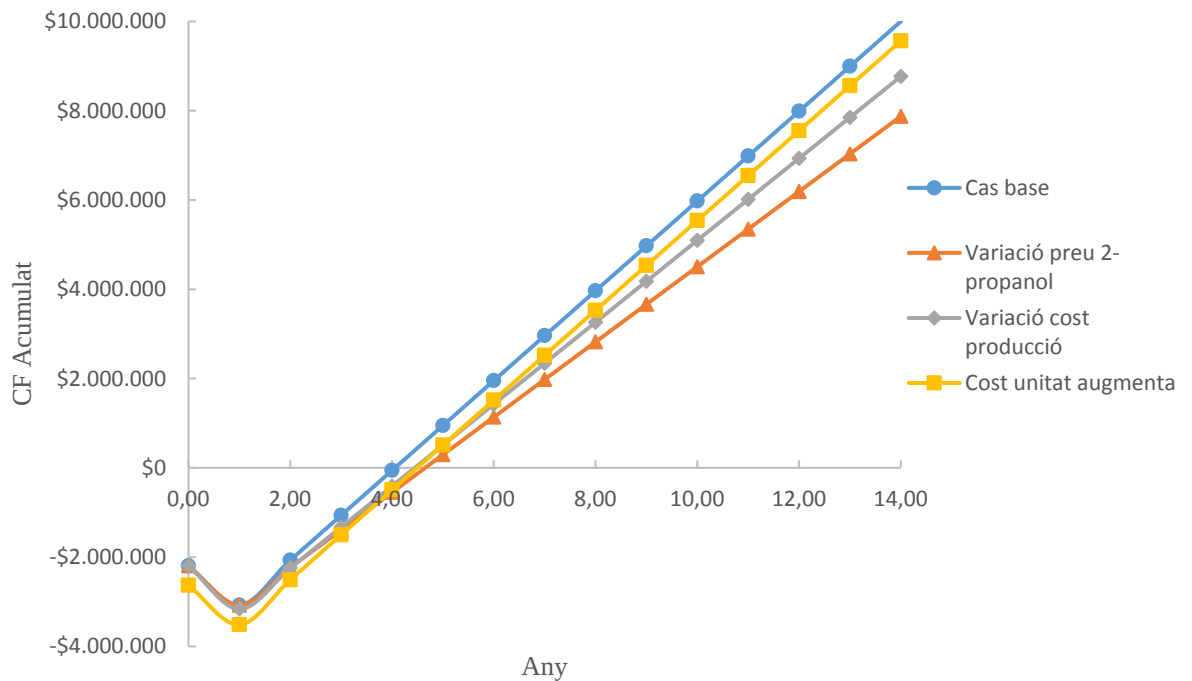


Figura 9.2. Anàlisi de sensibilitat en funció del any de retorn de la inversió

Mitjançant les avaluacions realitzades sobre la inversió, es pot concloure que la unitat de recuperació de 2-propanol és una inversió rentable que requereix d'un període d'almenys 4 anys per recuperar la inversió inicial i començar a obtenir beneficis, expressats com a reducció dels costos de producció de polipropilè, i que el preu de mercat del 2-propanol és una variable especialment sensible sobre el rendiment de la seva implantació.

10. **BIBLIOGRAFIA**

[ref. 2.1] Wermer Reutemann, Heinz Kieczka, Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 5th ed., Barbara Elvers et al. Advisory Board, 1989.

[ref. 2.2] Luyben, William L. Design and control of distillation systems for separating azeotropes William L Luyben, I-Lung Chien. Wiley 2010,

[ref. 3.1] Espai moodle de l'assignatura del projecte final de grau

[ref. 3.2] Servei Nacional de Sismologia

[ref. 4.1] W. Arlt, et.al, Liquid-liquid equilibrium data collection, Dechema chemistry Data Series volume V

[ref. 4.2] Lee H. Horsley, Dow Chemical Co., et.all, American Chemical Society, Azeotropic Data

[ref. 4.3] Ludwig E. Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants. Gulf Publishing Company. 1995. Houston.

[ref. 4.4] Mott R. L. Mecánica de fluidos aplicada. 4^o Edición. Pearson Education.2006

[ref. 4.5] Código ASME. División VIII-Sección I.

[ref. 4.6] Incropera F.P, de Witt D. P. Fundamentos de Transferència de Calor. 4^a Edición. Prentice Hall. 1999.

[ref. 4.7] Control Valve Sizing Handbook. Masoneilan

[ref. 4.8] Creus Solé, A. Instrumentación Industrial. 7^a Edición. Editorial Marcombo. 1993 Barcelona.

[ref. 4.9] KOCH-GLITSCH. Flexitray (TM) Valve Trays. Bulletin FTCVT-02 Rev. 8-2014. USA

[ref. 4.10] Ballast ® Tray Design Manual. Glisch, INC. Bulletin N° 4900

[ref. 4.11] Henry Z. Kister, Distillation Design, McGraw-Hill, 1992.

[ref. 4.12] Megyesy E. F. Manual de recipientes a presión. Diseño y calculo. Grupo Noriega Editores. México. 1989.

[ref. 4.13] Sinnott R K. Chemical Engineering Design, Fourth Edition, Chemical Engineering Volume 6

[ref. 4.14] Kern D. Q. Process Heat Transfer. McGraw-Hill Inc. 1992.

[ref. 4.15] G.F. Hewitt, *Heat Exchanger Desing Handbook* Gegell House

[ref. 4.16] www.ruhrpumpen.com Data consulta abril 2015

[ref. 9.1] Richard Turton, analysis, synthesis, and design of chemical processes, Prentice Hall, 3^a ed. 2009.

[ref. 9.2] <http://matche.com/EquipCost/> Data de consulta: Maig 2015

[ref. 9.3] Lyons, Jennifer i W. White, Charles; Process equipment cost estimation final report; U.S. Department of Energy, 2002

A1. CÀLCUL D'EXTENSIÓ DE LA ZONA CLASSIFICADA ATEX**Determinació de l'extensió per una fuga de 2-propanol al dipòsit V-1001**

Es segueix la norma UNE EN-60079-10, Punt 1 de la taula de fonts d'escapament amb descripció: B-862 Fugues Varies.

Característiques del escapament:

- Substància inflamable: 2-propanol
- Estat físic de la substància: líquid
- Pes molecular de la substància 60.1
- LIE en massa per unitat de volum: : 0.050 kg/m³
- Geometria del escapament: 3mm
- Temp d'operació: 35°C
- Pressió d'operació: 2bar
- Grau d'escapament: Secundari
- Factor seguretat (k): 0.5
- Taxa d'escapament (dG/dt)_{màx}: 0.0200 kg/s

Característiques de la ventilació

- Nombre de renovacions d'aire (C): 0.0840
- Factor de qualitat (f): 3
- Temperatura ambient (T): 308.00 K
- Coeficient de temperatura (T/293°C): 1.05

Càlculs

1- Càlcul de LIE (límit inferior d'explosivitat) en massa per unitat de volum

$$LIE \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = 0.416 \cdot 10^{-3} \cdot M \cdot LIE\% \quad (A1.1)$$

Segons la fitxa seguretat del 2-propanol LIE= 2.00%

$$LIE \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = 0.416 \cdot 10^{-3} \cdot 60.1 \cdot 2.00$$

$$LIE \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = 0.050 \text{ kg/m}^3$$

2- Càlcul del cabal volumètric mínim d'aire fresc:

$$\left(\frac{dV}{dt}\right)_{min} = \frac{\left(\frac{dV}{dt}\right)_{max}}{k \cdot LIE} \cdot \frac{T}{293} = 0.841 \text{ m}^3/s \quad (A1.2)$$

3- Càlcul del volum teòric.

$$V_Z = \frac{f \cdot \left(\frac{dV}{dt}\right)_{min}}{c} = 30.04 \text{ m}^3 \quad (A1.3)$$

4- Determinació del volum de la zona classificada

$$R = \sqrt[3]{\frac{V_Z}{1.33 \cdot \pi}} = 2.0 \text{ m} \quad (A1.4)$$

Per tant, per un forat de 3mm l'extensió calculada per una fuga de 2-propanol serà de 2m.

A2. DIMENSIONAMENT D'UNA VÀLVULA DE SEGURETAT**Dimensionament de la vàlvula de seguretat PSV-101**

Es presenta el càlcul realitzat pel dimensionament de la vàlvula de control PSV-101 de la torre de destil·lació T-1001.

Es considera un escenari de escalfament de la base de la columna degut a un incendi extern. I que la sortida és vapor d'aigua.

- Pressió de tarat de la vàlvula: 4 barg
- Pressió d'alleujament (segons NTP 510): 5.413 barg
- Temperatura d'alleujament: 155 °C

1- Determinació de l'àrea mullada:

Es suposa una altura de líquid per plat de 4 cm, per tant per tota la columna es determina que l'altura del líquid és de 3.24 m.

$$\text{Àrea mullada} = \pi \cdot 0.6 \cdot 3.24 + 1.2 \cdot \pi \cdot \frac{0.6^2}{4} = 6.45 \text{ m}^2 \quad (\text{A2.1})$$

2- Determinació de la calor absorbida:

$$Q = 43200 \cdot F \cdot A m^{0.82} = 43200 \cdot 1 \cdot 6.45^{0.82} = 199215 \text{ W} \quad (\text{A2.2})$$

On F correspon al factor mediambiental, en aquest cas és 1 ja que l'aïllament no és ignífug

3- Caudal d'alleujament

Si el calor latent de l'aigua a 155°C és 2098052 J/kg:

$$W = \frac{Q}{\vartheta} = \frac{199215 \text{ W}}{2098052 \text{ J/kg}} = 0.09495 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 342 \text{ kg}/\square \quad (\text{A2.3})$$

4- Seleccionar la mida de la vàlvula de seguretat

S'utilitza el catàleg de Valvulas Nacional de vàlvules de seguretat per determinar la mida de la vàlvula.

$$A = \frac{W}{112.7 \cdot C \cdot K \cdot k_1 \cdot K_2 \sqrt{\frac{V_1}{\rho}}} = \frac{350}{112.7 \cdot 0.669 \cdot 0.946 \cdot 1 \cdot 1 \sqrt{\frac{0.343}{5.34}}} = 1.24 \text{ cm}^2 \quad (\text{A2.4})$$

Segons les taules del catàleg comercial: K=1.31 i C=0.669.

Amb les dades obtingudes es determina que és requereix d'un orifici de tipo E (1.265 cm²).