



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

etsEQ

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química
UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

Disseny d'una planta petroquímica de producció de monopropilenglicol

TREBALL FI DE GRAU

Identificació: TFGEQ_2209

Membres: Güixens Mercadé, Joan

Martí Plana, David

Segura Verge, Marc

Tutor: Luca Sanminiatielli

Grau Enginyeria Química

Tarragona, 12 de juny de 2022

Departament d'Enginyeria Química. Universitat Rovira i Virgili.

Vist i plau pel lliurament i defensa del TFG del grau d'Enginyeria Química.

TÍTOL DEL TFGEQ:

Disseny d'una planta petroquímica de producció de monopropilenglicol
.....

SUBTÍTOL

AUTOR: David Martí Plana, Joan Güixens Mercadé, Marc Segura Verge

CURS ACADÈMIC: 2021/2022

VIST I PLAU DEL TUTOR ACADÈMIC

En/Na ...Luca Sanminiatelli

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

és adequat i en conseqüència recomana la seva defensa

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

Signatura:

Luca

Sanminiatelli

Firmado digitalmente
por Luca Sanminiatelli
Fecha: 2022.06.10
12:00:58 +02'00'

Data:

10/06/2022

DECLARACIÓ D'ABSÈNCIA DE CONFLICTES DE CONFIDENCIALITAT

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

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

Signatura:

Data:

Abstract

This process is based on the design of a chemical process to obtain monopropylene glycol (MPG) from propylene oxide and water. The reason why this project has been chosen is the great importance of MPG in the food, pharmaceutical and cosmetic sectors and the margin of growth that it can have in these sectors.

The aim of the company is to obtain a MPG with the maximum affordable specification and at the same time make the process as profitable and sustainable as possible. That is why the employees and especially the company's engineers are very committed to making the designed process as emission-free and cost-effective as possible.

So to bring the project to completion, the plant has been designed to produce 48 kton/year of MPG to an international specification of 99.6% mass purity.

ÍNDEX

1. INTRODUCCIÓ.....	1
1.1. Agraïments.....	1
2. ETAPA PRELIMINAR	2
2.1. Descripció del projecte	2
2.2. Abast del projecte	2
2.3. Monopropilenglicol	2
2.4. Antecedents històrics	2
2.5. Recerca bibliogràfica / Estudi alternatives de producció	2
2.5.1. Processos seleccionats per a la producció de MPG	3
2.5.2. Descripció dels criteris	4
2.5.3. Resultats de la matriu	5
2.6. Planificació del projecte	6
3. BASES DE DISSENY	9
3.1. Estudi de producció i mercat del propilenglicol	9
3.2. Usos i aplicacions del MPG	11
3.2.1. Aplicacions a la indústria alimentària humana	11
3.2.2. Aplicacions a la indústria alimentària animal	11
3.2.3. Aplicacions a la indústria cosmètica	11
3.2.4. Aplicacions a la indústria farmacèutica	11
3.3. Capacitat operativa	11
3.4. Factor de servei.....	11
3.5. Especificació de producte.....	12
3.6. Serveis “utilities” disponibles	12
3.6.1. Especificació de serveis	12
3.6.2. Preus dels serveis	13
3.7. Característiques de la matèria prima.....	14
3.7.1. Condicions de les alimentacions.....	14
3.7.2. Composició de les alimentacions.....	14
3.8. Normes de disseny	15
3.9. Localització i climatologia.....	15
3.9.1. Localització de l’emplaçament	15
3.9.2. Climatologia de l’emplaçament	16
4. DESENVOLUPAMENT DE L’ENGINYERIA BÀSICA.....	17
4.1. Elaboració de diagrames.....	17
4.1.1. Diagrama de blocs: Disseny conceptual	17
4.1.2. Diagrama de Simulació: Disseny amb Aspen Hysys TM v.11	19
4.1.3. Diagrama de Flux de Procés (PFD)	23
4.1.4. Diagrama d’implantació (Plot Plant).....	25
4.1.5. Diagrames de Canonades i instrumentació (P&ID)	27
4.2. Sistema de control	34
4.2.1. Sistema de control de la Zona 1.....	34
4.2.2. Sistema de control de la Zona 2.....	35

4.2.3.	Sistema de control de la Zona 3.1	36
4.2.4.	Sistema de control de la Zona 3.2	38
4.2.5.	Sistema de control de la Zona 3.3	39
4.2.6.	Sistema de control de la Zona 3.4	41
4.3.	<i>Disseny bàsic d'instruments i canonades</i>	43
4.3.1.	Vàlvula de control V-103	43
4.3.2.	Detalls de canonades	45
4.4.	<i>Disseny bàsic d'equips</i>	46
4.4.1.	Mixer M-101	46
4.4.2.	Tanc T-101	48
4.4.3.	Mixer M-102	50
4.4.4.	Bomba P-101	52
4.4.5.	Reactor R-201	54
4.4.6.	Bescanviador HE-301	56
4.4.7.	Columna DC-301	58
4.4.8.	Bescanviador HE-302	60
4.4.9.	Neutralitzador N-301	62
4.4.10.	Decantador D-301	64
4.4.11.	Bomba P-302	66
4.4.12.	Columna DC-302	68
4.4.13.	Bescanviador HE-303	70
4.4.14.	Columna DC-303	72
4.4.15.	Bescanviador HE-304	74
4.5.	<i>Llistats de la planta</i>	76
4.5.1.	Llistat d'equips	76
4.5.2.	Llistat de vàlvules	77
4.5.3.	Llistat d'instruments	78
4.5.4.	Llistat de canonades	79
5.	SEGURETAT EN EL DISSENY DE LES INSTAL·LACIONS	80
5.1.	<i>Seguretat de processos</i>	80
5.1.1.	HazOP + Mini LOPA	80
5.1.2.	Zones ATEX (ATmosfera EXplosiva)	95
5.1.3.	Protecció d'equips a sobrepressions	98
5.1.4.	Equips de protecció contra incendis	101
5.1.5.	Pla d'autoprotecció	101
5.1.6.	Toxicitat de productes	102
5.2.	<i>Seguretat laboral</i>	102
5.2.1.	Avaluació de riscos laborals	102
5.2.2.	Equips de protecció personal	102
5.2.3.	Incidents i accidents	103
5.2.4.	Formació en seguretat	103
6.	ANÀLISI MEDIAMBIENTAL DE LA PLANTA	104
6.1.	<i>Identificació i avaluació de les emissions a l'aire</i>	104
6.2.	<i>Identificació i avaluació dels efluents líquids</i>	104
6.3.	<i>Identificació i avaluació dels residus sòlids</i>	104
6.4.	<i>Contaminació lumínica</i>	105
6.5.	<i>Contaminació acústica</i>	105
7.	MANTENIMENT DE LES INSTAL·LACIONS	106

7.1. <i>Manteniment correctiu</i>	106
7.2. <i>Manteniment preventiu</i>	106
7.3. <i>Manteniment predictiu</i>	107
7.4. <i>Reliability Centered Maintenance (RCM)</i>	107
7.4.1. <i>Resultats del Reliability Centered Maintenance (RMC)</i>	109
8. MANUAL D'OPERACIÓ	110
8.1. <i>Comprovacions prèvies</i>	110
8.2. <i>Posada en marxa de serveis</i>	110
8.3. <i>Posada en marxa procés</i>	110
8.4. <i>Parada per manteniment</i>	112
8.5. <i>Parada d'emergència</i>	112
8.5.1. <i>Fallada subministrament elèctric</i>	112
8.5.2. <i>Fallada d'aire d'instruments</i>	112
8.5.3. <i>Fallada del vapor d'aigua</i>	112
8.5.4. <i>Fallada aigua de refrigeració</i>	112
9. ESTUDI ECONÒMIC DE LA PLANTA	113
9.1. <i>Cost dels equips</i>	113
9.2. <i>Estimació Inversió Inicial</i>	114
9.3. <i>Ingressos i costos</i>	115
9.3.1. <i>Ingressos</i>	115
9.3.2. <i>Costos</i>	115
9.4. <i>Avaluació econòmica</i>	116
10. CONCLUSIONS	117
11. BIBLIOGRAFIA	118
ANNEXOS	120
A.1. DISSENY DELS AGITADORS	121
A.2. DISSENY MECÀNIC D'EQUIPS A PRESSIÓ	123
A.3. Càlcul NPSH	125
A.4. DISSENY DE BESCOBIADORS	126
A.5. RESULTATS DE LA SIMULACIÓ DE LA DC-301	139
A.6. RESULTATS DE LA SIMULACIÓ DE LA DC-302	141
A.7. RESULTATS DE LA SIMULACIÓ DE LA DC-303	146
A.8. Càlcul del pes de les columnes	151
A.9. ESTIMACIÓ DELS CABALS DE SERVEIS DE CONDENSADORS I REBOILERS	153
A.10. PROCEDIMENT DE L'ASSAIG AL LABORATORI	155

A.11.	SIMBOLOGIA P&ID	159
A.12.	DISSENY VÀLVULA DE CONTROL V-103.....	163
A.13.	HAZOP'S DE LA RESTA D'EQUIPS	164
A.14.	ZONES ATEX	207
A.15.	DISSENY VÀLVULES DE SEGURETAT	208
A.16.	RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM)	209
A.17.	ESTUDI ECONÒMIC.....	214

1. INTRODUCCIÓ

Taula 1.1. Informació bàsica del projecte.

Títol	Disseny d'una planta petroquímica de producció de monopropilenglicol	
Identificador	TFGEQ_2209	
Tutor	Luca Sanminiatelli	
Data	12/06/2022	
Autors	Joan Güixens Mercadé	Color Blau
	David Martí Plana	Color Groc
	Marc Segura Verge	Color Verd
	Tots	Cap Color

El projecte consisteix en el disseny d'una planta petroquímica de producció de propilenglicol. S'ha realitzat l'enginyeria bàsica del procés amb els respectius manuals (manteniment, operació, mediambiental, seguretat i econòmica). A més a més, s'ha portat a cap una simulació de tot el procés i la representació amb detall mitjançant els diferents diagrames (Diagrama de blocs, Diagrama de la simulació, PFD, *Plot Plant* i P&ID).

1.1. Agraïments

Primerament, agraïm el suport i l'ajuda que ens ha proporcionat el tutor del projecte, Luca Sanminiatelli. Aquest, ha tingut una plena disponibilitat durant tota la realització del projecte.

Seguidament, també ens agradaria donar les gràcies al Professor Emèrit Francesc Castells i al responsable del laboratori Josep Maria Borràs per la seva ajuda alhora del disseny del decantador.

D'altra banda, voldríem agrair a la Dra. Carmen Maria Torres per la seva contribució en la realització de la simulació del procés amb l'*Aspen HysysTM v.11*.

A més a més, agraïm l'ajut proporcionat per part de les empreses com és el cas d'Inoxmim i Inoxpa en el disseny dels equips.

Per acabar, també agrair a les famílies i amics que ens han estat donant suport en tot moment.

2. ETAPA PRELIMINAR

2.1. Descripció del projecte

Aquest projecte se centra en el disseny d'una planta de producció de propilenglicol (MPG) a partir d'una reacció d'òxid de propilè i aigua en excés, com a catalitzador de la reacció es fa servir àcid sulfúric i per últim s'afegeix metanol perquè la mescla sigui el més perfecte possible. Per aconseguir aquest objectiu el procés consta d'una zona on dos *mixers* i un tanc realitzen la mescla de reactius, tot seguit un reactor *CSTR* du a terme la formació de MPG, una primera columna on es recupera l'àcid sulfúric per recircular-lo, un neutralitzador per aconseguir eliminar l'acidesa del producte final, un decantador per extreure la sal que es forma en la neutralització i per últim dues columnes realitzen la recuperació de metanol i l'obtenció de MPG respectivament.

2.2. Abast del projecte

El projecte consisteix en el disseny d'una planta de producció de MPG mitjançant un procés de reacció amb PO i H₂O, catalitzat mitjançant H₂SO₄, i un posterior procés de separació per obtenir el producte final amb una puresa del 99,8%.

El cost inicial per aquest projecte és d'aproximadament 45 M\$, amb un període de retorn de 2 anys i 3 mesos. El VAN és de 52 M\$ i el *cash flow* és de 20 M\$ per any.

2.3. Monopropilenglicol

El propilenglicol, també conegut pel seu nom sistemàtic com propà-1, 2-diol, es tracta d'un compost orgànic, més concretament d'un alcohol. Les principals característiques d'aquest líquid són que és incolor, insípid i inodor. Es sol obtenir per la hidratació de l'òxid de propilè.

2.4. Antecedents històrics

L'any 1859 Charles Adolphe Wurtz va ser el primer a preparar propilenglicol mitjançant la hidratació del diacetat de propilenglicol. Va començar a ser comercialitzat l'any 1931 per Carbide i Carbon Chemical Corp.

La primera producció comercial va utilitzar el procés de la clorhidrina per a l'obtenció de l'òxid de propilè que seguidament es va hidrolitzar i es va aconseguir el glicol. A mitjans de la dècada del 1930, Du Pont CO treballava en una planta química amb l'objectiu d'hidrogenar l'oli de coco a alta pressió formant MPG com a subproducte.

Poc a poc el propilenglicol anava guanyant acceptació com a substitut del glicerol en productes farmacèutics. Durant la Segona Guerra Mundial la falta de glicerol va portar a la construcció de noves instal·lacions de producció de MPG per part de DOW Chemical Co l'any 1942 i de Wyandotte Chemical Corp l'any 1948 (ref. 1).

2.5. Recerca bibliogràfica / Estudi alternatives de producció

Pel que respecta a la producció de monopropilenglicol, hi ha diferents opcions en la indústria per aconseguir aquest producte. A continuació s'explicaran les propostes estudiades i, per tal d'arribar a la decisió del procés escollit, es definiran una sèrie de criteris per tal de calibrar la recerca i, així, poder discernir millor l'opció mitjançant la utilització de la matriu de decisió.

2.5.1. Processos seleccionats per a la producció de MPG

2.5.1.1 Mitjançant òxid de propilè, aigua metanol i àcid sulfúric

El primer procés seleccionat consisteix en la producció de monopropilenglicol, a temperatura ambient i pressió atmosfèrica, mitjançant la hidròlisi de l'òxid de propilè amb aigua en excés. En aquest procés també entraria l'acció del metanol, que serviria com a diluent per al PO, ja que aquest últim no és completament soluble en aigua i així s'evitaria una possible separació de fases. Pel que respecta a l'àcid sulfúric aquest s'afegiria en petites concentracions i actuaria com a catalitzador de la reacció.

Un cop reaccionades les matèries primeres s'obtidrien com a productes el MPG.

Per acabar, sobre el diagrama de flux del procés aquest es pot dividir en quatre passos: el primer pas consistiria en la reacció de PO i aigua amb l'addició de metanol i àcid sulfúric com a catalitzador, el segon pas es tracta de la recuperació de l'àcid sulfúric per a recircular-lo. En tercer lloc, tenim la neutralització i decantació de l'àcid sulfúric restant i per últim la separació del MPG respecte l'aigua i metanol restant.

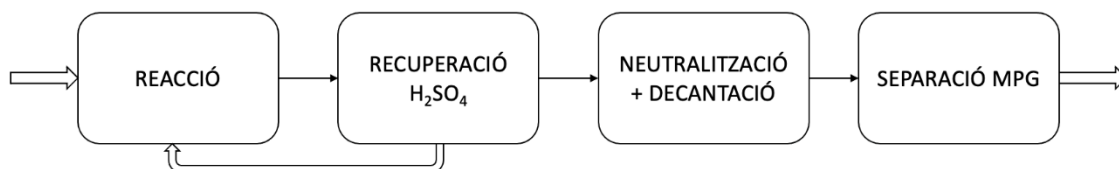


Figura 2.1. Esquema de la producció de MPG mitjançant PO, Aigua, Metanol i H₂SO₄.

2.5.1.2 Mitjançant òxid de propilè i aigua

El segon procés seleccionat consisteix en la producció de monopropilenglicol, a temperatura ambient i pressió atmosfèrica, mitjançant la hidròlisi del PO amb aigua en excés. En aquest procés no es requereix cap mena de catalitzador ni cap additiu químic. Això provoca que no hi hagi possibilitat que els residus del catalitzador, com els metalls pesants, arribin al producte final.

Un cop reaccionades les matèries primeres, com en el procés anterior, s'obtidrien com a productes el MPG, DPG i una llarga cadena de glicols més pesats.

En últim lloc, sobre el diagrama de flux del procés aquest es pot dividir en tres passos: el primer pas consistiria en la reacció de PO i aigua en excés, el segon pas es tractaria de l'evaporació d'aquesta aigua en excés i l'últim pas es tractaria de la destil·lació de la mescla de glicols assolida per a l'obtenció final del MPG. Estalviant-se d'aquesta manera la recuperació i recirculació d'un possible catalitzador.

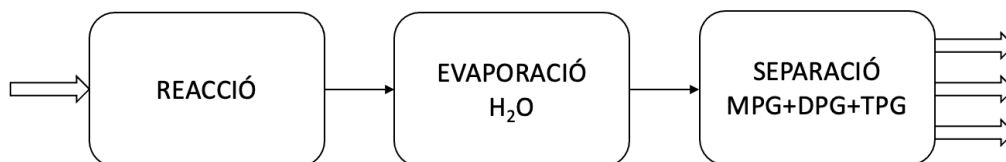


Figura 2.2. Esquema de la producció de MPG mitjançant PO i Aigua.

2.5.1.3 Mitjançant òxid de propilè, aigua i àcid carboxílic

L'últim procés seleccionat consisteix en la producció de monopropilenglicol, a una temperatura entorn dels 130-350 °C i una pressió entre 39-69 atmosferes, mitjançant la hidròlisi del PO amb aigua en excés. En aquest procés també entraria l'acció de l'àcid carboxílic. Aquest s'afegiria en petites concentracions i actuaria com a catalitzador de la reacció.

Com en tots els processos esmentats, un cop reaccionades les matèries primeres, s'obtidrien com a productes el MPG, DPG i una llarga cadena de glicols més pesats.

Finalment, sobre el diagrama de flux del procés, aquest és semblant al primer procés esmentat i es pot dividir en quatre passos: el primer pas consistiria en la reacció de PO i aigua amb l'addició d'àcid carboxílic com a catalitzador, el segon pas es tractaria de l'evaporació d'aquesta aigua en excés, el tercer pas consistiria en la recuperació i recirculació del catalitzador i l'últim pas es tractaria de la destil·lació de la mescla de glicols aconseguida per a l'obtenció final del MPG.

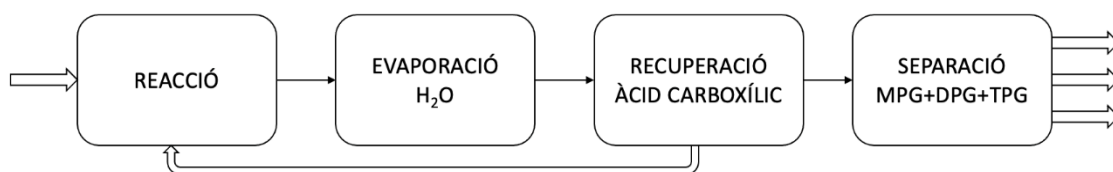


Figura 2.3. Esquema de la producció de MPG mitjançant PO, Aigua i Àcid Carboxílic.

2.5.2. Descripció dels criteris

Taula 2.1. Resum dels criteris preliminars i la seva rellevància.

Criteris	Explicació	Rellevància
Producció	És l'eficiència del procés respecte a l'obtenció del producte (MPG) i la puresa d'aquest	30%
Preu	És la valoració dels costos fixos i variables dels diferents processos i valorar quin ens donarà un millor benefici	25%
Perillositat	Com que els processos són molt semblants i amb una perillositat similar, s'ha valorat a partir dels reactius que s'utilitzen i les posteriors unitats de separació	20%
Complexitat	Es tenen en compte el nombre d'equips utilitzats i el nombre d'etapes en el procés a més a més dels panelistes que operen la planta	15%
Condicions	Es tenen en compte les condicions de temperatura i pressió del procés a més a més dels <i>utilities</i> disponibles i necessàries	10%

Aquests criteris han estat avaluats amb una nota de l'1 al 10 per a cadascuna de les propostes, essent 10 la nota òptima per a cada cas. Per exemple, un 10 al criteri de perillositat significa que la proposta és segura i un 0 altament perillosa.

2.5.3. Resultats de la matriu

Taula 2.2. Avaluació de les diferents alternatives de procés.

Criteri	Procés 1	Nota 1	Procés 2	Nota 2	Procés 3	Nota 3
Producció	10,0	3,00	6,00	1,80	7,00	2,10
Preu	7,00	1,75	8,00	2,00	6,00	1,50
Perillositat	6,00	1,20	7,00	1,40	6,00	1,20
Complexitat	7,00	1,05	7,00	1,05	6,00	0,90
Condicions	10,0	1,00	10,00	1,00	10,0	1,00
Total	40,0	8,00	38,0	7,25	35,0	6,70

Respecte al criteri de la producció se li ha donat un 10 al procés 1, ja que és el procés que té una major eficiència provocada tant pel metanol, que actua com a dissolvent de l'òxid de propilè, com per l'àcid sulfúric que actua com a catalitzador. Seguidament, es trobaria el procés 3, ja que l'àcid carboxílic com a catalitzador fa augmentar l'eficiència, però s'obtenen derivats glicòlics. Per últim, el procés amb menor nota en aquest criteri és el 2 perquè no treballa amb catalitzador i s'aconsegueixen derivats glicòlics.

Pel que respecta al preu, el procés 1 s'ha valorat amb un 7 perquè s'utilitza més matèria primera al fer servir metanol i catalitzador i també utilitza major quantitat d'equips per a poder produir el propilenglicol. El procés 2 és el guanyador perquè solament s'usa òxid de propilè i aigua, per tant, el que menys matèria primera necessita i no requereix tants equips per a la producció de propilenglicol. Finalment, al procés 3 se li ha atorgat un 6 per l'addició d'àcid carboxílic a la reacció i les múltiples columnes de destil·lació necessàries per a l'obtenció del MPG amb l'especificació requerida.

En la perillositat se li ha atorgat un 6 al primer procés pel fet que l'òxid de propilè treballa juntament amb àcid sulfúric. El procés 2 seria el guanyador en aquest criteri perquè només s'observa l'òxid de propilè com a reactiu perillós. Al procés 3 se li ha atorgat un 6 en la nota pel mateix motiu que el primer procés, diferenciant l'àcid sulfúric per l'àcid carboxílic.

Pel que fa a la complexitat el primer procés obté un 7, ja que s'ha de recuperar el catalitzador i el metanol del procés per recircular-lo. El segon procés té la mateixa nota perquè tot i no fer ús de catalitzadors el procés de separació serà més complex a causa de la formació de dipropilenglicol, tripropilenglicol... El tercer procés obté la nota més baixa perquè per un costat s'ha de recuperar l'àcid carboxílic i per l'altre també s'ha de separar la possible formació de derivats glicòlics.

Per últim, l'apartat de condicions s'ha puntuat amb un 10 tots els processos, perquè es treballa a pressions atmosfèriques i temperatures baixes en tots ells.

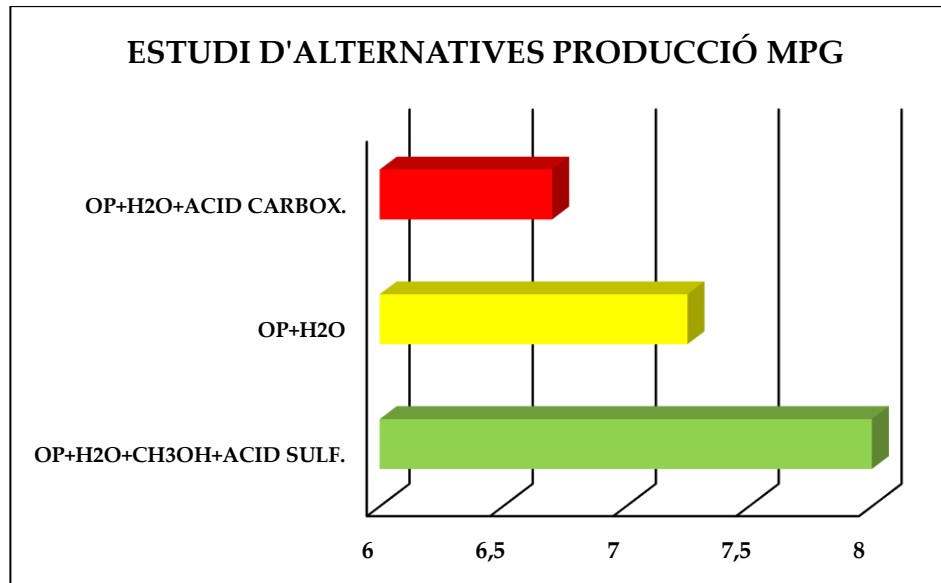


Figura 2.4. Representació de la nota final de les diferents alternatives de procés.

Després de l'avaluació dels diferents processos esmentats anteriorment amb els criteris de la Taula 2.1. s'ha decidit que la millor opció per a dur a terme la producció de propilenglicol és la proposta 1, és a dir, mitjançant òxid de propilè, aigua, metanol i àcid sulfúric.

2.6. Planificació del projecte

La planificació del projecte s'ha realitzat mitjançant un diagrama de Gantt, a partir de les tasques proposades pel tutor. Aquest diagrama consisteix en una representació temporal de les tasques a dur a terme. S'ha representat mitjançant el programari *MicrosoftProject*.

En aquest cas, la planificació inicial s'ha modificat per l'endarreriment d'algunes de les tasques proposades i a continuació es mostrarà la versió inicial (Figura 2.5.) i la modificada (Figura 2.6.) d'aquest diagrama.

Disseny d'una planta petroquímica de producció de monopropilenglicol

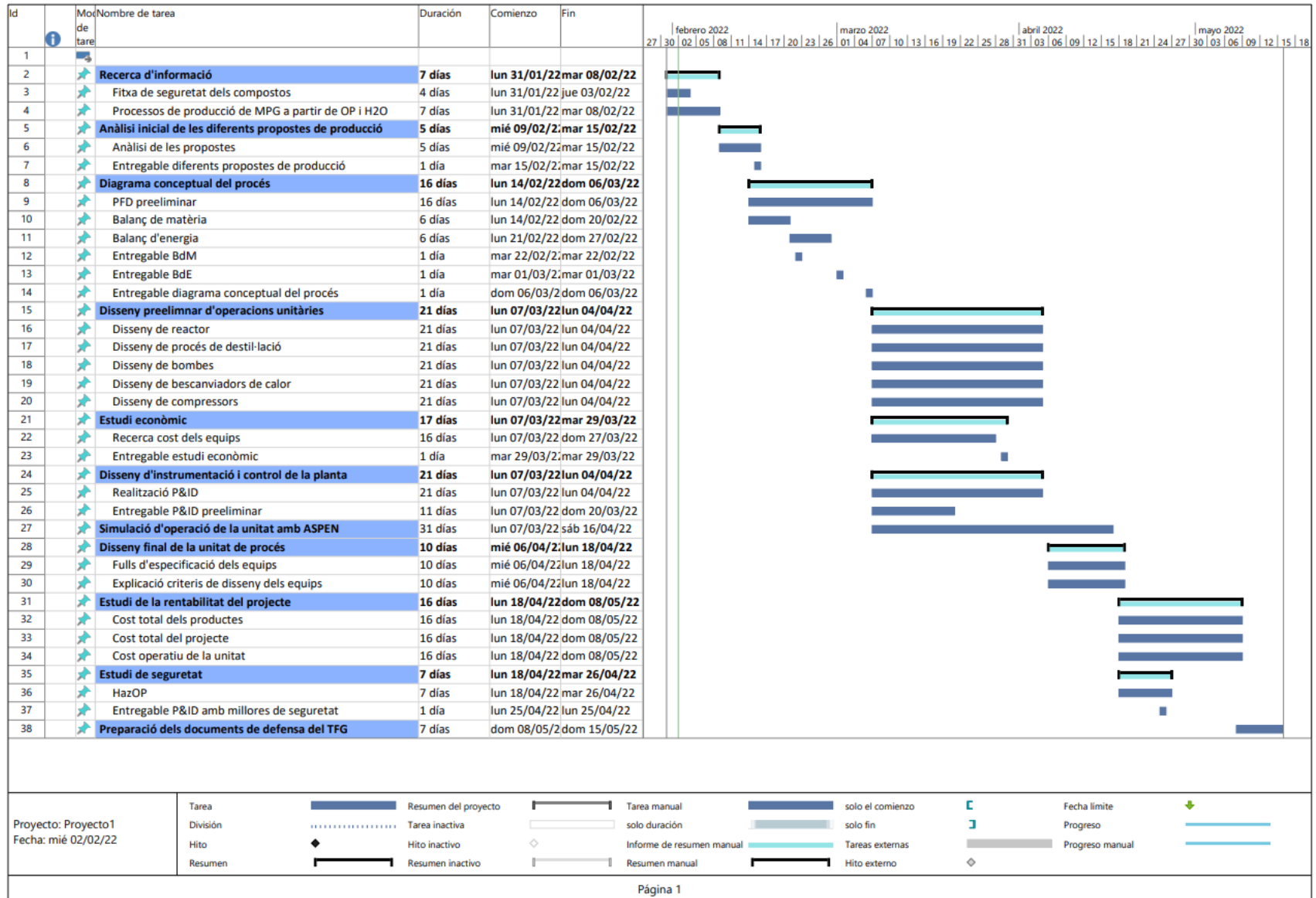


Figura 2.5. Versió inicial del diagrama de Gantt del projecte.

Disseny d'una planta petroquímica de producció de monopropilenglicol

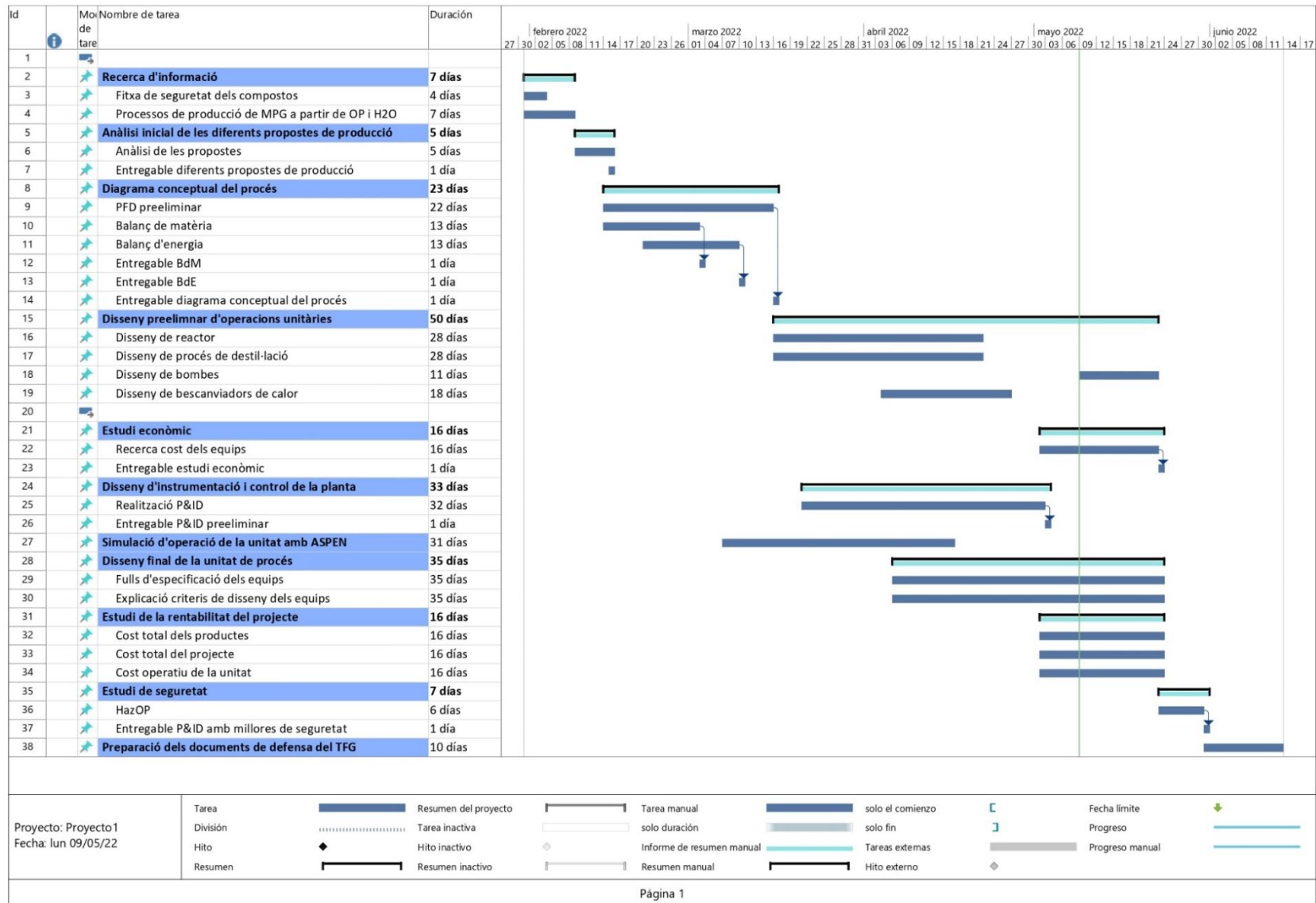


Figura 2.6. Versió modificada del diagrama de Gantt del projecte.

3. BASES DE DISSENY

3.1. Estudi de producció i mercat del propilenglicol

L'any 2010, la producció mundial de MPG va ser aproximadament d'1,60 milions de tones

(ref. 2). A continuació, en la Figura 3.1 es pot veure la distribució dels principals productors de propilenglicol durant aquells anys. Destaquen els Estats Units d'Amèrica (43%) i Europa Occidental (36%), seguidament es troben Japó (5%) i la República de Corea (3%), la resta ho formen països com Mèxic, l'Índia, Singapur, Xina...

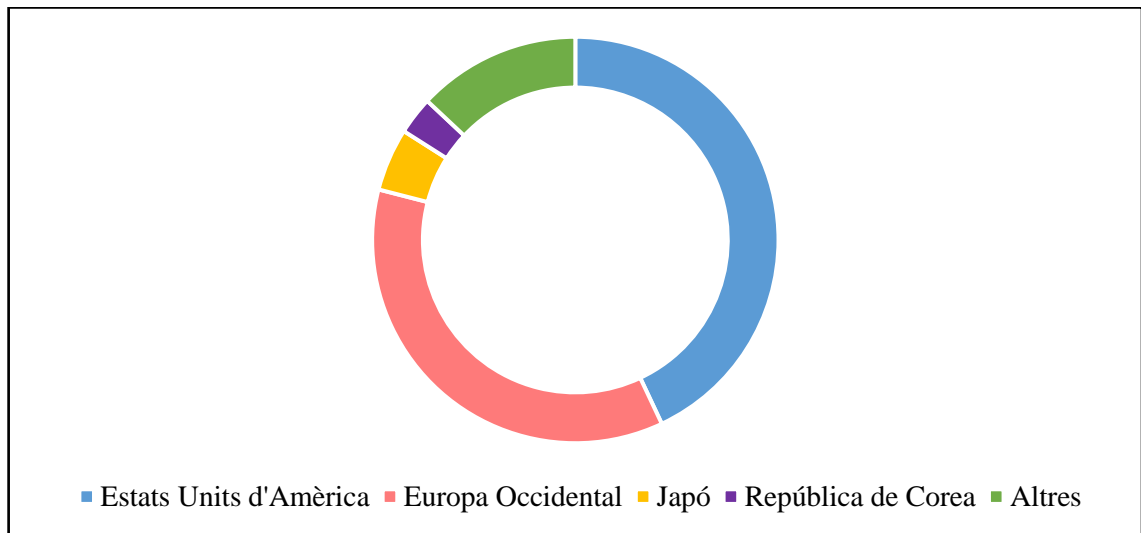


Figura 3.1. Principals productors de propilenglicol l'any 2010.

L'any 2013, la producció global de MPG va superar els 2 milions de tones produïdes. Entre els fabricants es troben DOW, Lyondell, Sinopec, Shell, BASF, Repsol, Huntsman i altres. Els dos primers són els agents dominants en la indústria del propilenglicol amb la seva capacitat basada en òxid de propilè que representa aproximadament el 29% i el 15% de la capacitat mundial respectivament. DOW, per exemple, té plantes de MPG als Estats Units d'Amèrica, Europa Occidental, Brasil, Austràlia i Tailàndia. LyondellBasell Industries té plantes als Estats Units d'Amèrica i Europa Occidental (ref. 3).

Cal destacar tres productors de MPG, Archer Daniels Midland Company (Estats Units d'Amèrica), Global BioChem Technology Group (Xina) i Oleon (Bèlgica), fabriquen propilenglicol a partir de recursos renovables.

L'any 2020 el MPG va ser el 1.642è producte més comercialitzat del món (ref. 4), amb uns beneficis totals d'1,3 B\$. Entre el 2019 i 2020 el nombre d'exportacions va disminuir un -12,7%, d'1,49 B\$ a 1,3 B\$ a causa de la COVID-19.

Els països que més MPG van exportar durant aquell any van ser Alemanya (302 M\$), Xina (140 M\$), Estats Units d'Amèrica (138 M\$), Corea del Sud (130 M\$) i Tailàndia (116 M\$) (ref. 4).

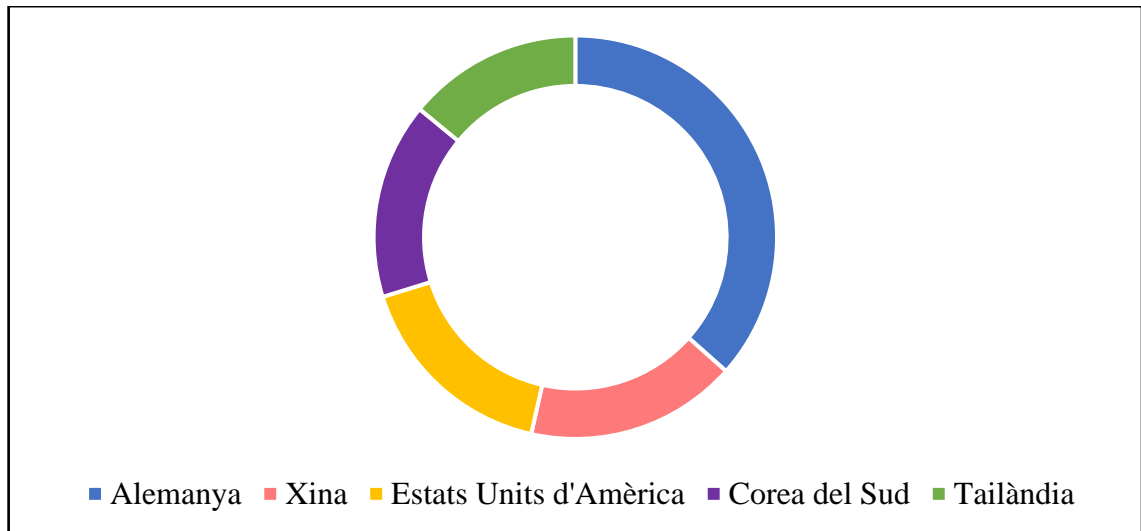


Figura 3.2. Principals exportadors de propilenglicol l'any 2020.

Els països que més MPG van importar durant el 2020 van ser Xina (92 M\$), França (91,6 M\$), Itàlia (70,6 M\$), Índia (68,5 M\$) i Bèlgica (57,2 M\$) (ref. 4).

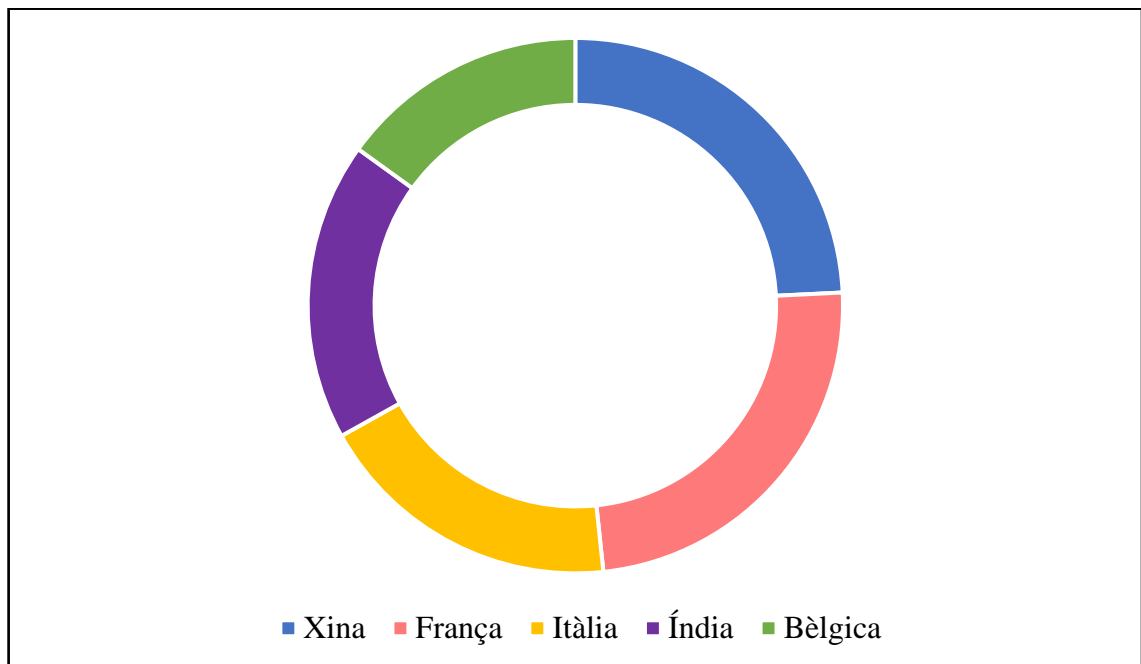


Figura 3.3. Principals importadors de propilenglicol l'any 2020.

3.2. Usos i aplicacions del MPG

El propilenglicol troba el seu major ús en la fabricació de resines de polièster insaturat. Aquest es fa reaccionar amb àcids carboxílics aromàtics saturats i insaturats, com l'àcid isoftàlic. A més a més, té moltes aplicacions en la indústria alimentària i farmacèutica com es podrà veure a continuació (ref. 5):

3.2.1. Aplicacions a la indústria alimentària humana

El MPG, d'acord amb el Reglament 231/2012, està classificat com additiu alimentari, amb el codi E-1520. És utilitzat com a dissolvent de sabors i colors a la indústria de concentrats alimentaris; com humectant, com estabilitzador i conservant a la indústria d'alimentació humana, en aplicacions com brioixeria, begudes, amaniments...

3.2.2. Aplicacions a la indústria alimentària animal

Gràcies a la seva classificació com a ingredient a l'alimentació animal, és possible la incorporació del producte en la dieta animal, excepte en els gats.

3.2.3. Aplicacions a la indústria cosmètica

Les seves propietats químiques permeten la incorporació del propilenglicol en la seva formulació com a dissolvent, transportador, humectant, agent dispersant... També és un component en cremes i locions, ja que permet una distribució homogènia dels ingredients. A més a més, participa en la formació de: desodorants, mascaretes, maquillatges, perfums...

3.2.4. Aplicacions a la indústria farmacèutica

El propilenglicol és utilitzat com a excipient a la indústria farmacèutica complint les corresponents monografies detallades a la Farmacopea Europea (ref. 6) i Americana (ref. 7). Gràcies a la seva solvència, serveix com a humectant i emol·lient, propietats desitjades per a millorar l'aparença l'aplicació de productes tòpics.

3.3. Capacitat operativa

El disseny de la planta requereix una productivitat de 48.000 tones mètriques de propilenglicol anuals amb la següent especificació de producte:

Taula 3.1. Especificacions de producte del client.

Compost	Especificació
Propilenglicol	mín. 99,6 %
Aigua	màx. 0,04%
Acidesa	màx. 20 ppm
Metanol	No detectable
Color	Incolor

3.4. Factor de servei

El servei de la planta és continu, aquesta opera 8.400 hores a l'any aproximadament. Les hores restants que la planta no està en funcionament són causades per parades de planta, tasques de manteniment d'equips o simplement neteja dels diferents equips. En aquestes 8.400 hores la planta produeix un total de 48.000 tones de MPG aproximadament.

3.5. Especificació de producte

Com bé s'ha comentat a la capacitat operativa, l'objectiu del client és obtenir una producció de 48.000 tones mètriques anuals amb una puresa mínima del 99,6%.

La puresa determinada està regulada en funció de l'aplicació del propilenglicol en el mercat:

- Indústria farmacèutica: puresa regulada per la Farmacopea Americana (USP) (ref. 7) i la Farmacopea Europea (EP) (ref. 6).
- Indústria alimentària humana: puresa regulada pel Reglament 231/2012 (ref. 8), referit a l'especificació dels additius alimentaris, i per la monografia del producte present al *Food Chemical Codex* (FCC) (ref. 9).
- Indústria alimentària animal: puresa regulada pel Reglament Europeu 892/2012 (ref. 10) com a ingredient alimentari.
- Indústria cosmètica: puresa regulada per la Directiva Europea 76/768 (ref. 11), i les seves posteriors modificacions, el propilenglicol pot ser inclòs en la fabricació de cosmètics.

A més a més, per assegurar un bon funcionament de la petita planta de tractament d'aigües, com s'explica en l'apartat 6.2, és necessari evitar que el contingut de propilenglicol i metanol sigui superior al límit admissible en el tractament (ref. 12).

En la taula següent es recullen les especificacions dels productes seguint les normatives i característiques mencionades amb anterioritat, aquestes es tindran en compte a l'hora del disseny i optimització del procés de separació.

Taula 3.2. Especificacions de producte per cap i fons de la columna DC-303.

Paràmetre	Valor (% pes)
Composició de propilenglicol al destil·lat	$4,24 \cdot 10^{-4}$
Composició de propilenglicol al fons	99,8

Amb la puresa obtinguda de propilenglicol al fons de la columna DC-303 compleix la normativa per poder ser comercialitzat en la indústria farmacèutica, indústria alimentària humana, indústria alimentària animal i indústria cosmètica (ref. 5).

3.6. Serveis “utilities” disponibles

3.6.1. Especificació de serveis

Al llarg del procés, hi ha diversos serveis que garanteixen un funcionament òptim de la planta, com poden ser l'aire d'instruments, el sistema elèctric, l'aigua de torre de refrigeració, el nitrogen o el vapor. Les característiques de cadascun s'han extret de la informació que es disposa de l'assignatura *Technical Office*.

L'aire d'instruments és necessari per al funcionament del sistema pneumàtic dels instruments, ja que permet obrir i tancar les vàlvules automàtiques del sistema de control.

Referent al sistema elèctric, aquest s'utilitza en tots els equips i elements que ho requereixen, com poden ser motors, vàlvules automàtiques, enllumenat, bombes, etc.

El nitrogen té la funció de pressuritzar els tancs i reactors per tal de no emetre productes com l'òxid de propilè. Un cop parat el procés i realitzat el rentat amb aigua de torre de refrigeració, també s'encarrega d'extreure l'aigua i restes dels productes retinguts a l'interior de la planta. D'aquesta forma, tots els equips queden inertitzats per a la següent producció.

El vapor és necessari per escalfar els *reboilers* de les columnes. Aquest s'aconsegueix mitjançant la combustió de la biomassa en una caldera externa al procés.

Finalment, l'aigua de torre té la funció de refrigerar tots els bescanviadors i condensadors de les columnes del procés. A més a més, serveix per a netejar tots els equips de la planta abans de començar la producció quan es para per manteniment.

Tot seguit es mostren les característiques dels serveis disponibles que es disposen.

Taula 3.3. Característiques dels serveis disponibles.

Aire d'instruments	
Cabal	No limitat
Temperatura	Ambient
Pressió	4 barg
Qualitat	500 ppm H ₂ O
Sistema elèctric	
Potencial	380 V
Potència màxima	800 kW h
Aigua de torre	
Cabal	No limitat
Temperatura	25°C
Pressió (min/max)	2-7 barg
Nitrogen	
Cabal	No limitat
Temperatura	Ambient
Pressió	7 barg
Vapor saturat	
Cabal	No limitat
Pressió	12 barg

3.6.2. Preus dels serveis

Seguidament, en la taula es mostrarà el preu de cadascuna de les *utilities* utilitzades en el procés de producció de propilenglicol. El preu de l'aigua de torre, el nitrogen, l'aire d'instruments i el vapor s'ha extret d'informació confidencial proporcionada pel tutor del projecte. El preu de l'electricitat s'ha buscat a Espanya a data actual de la realització del projecte (ref. 13).

Taula 3.4. Preus dels serveis disponibles.

<i>Utilitie</i>	Preu (\$)
Aigua de torre de refrigeració (T)	0,56
Vapor saturat (T)	24,2
Electricitat (MW h)	219,15
Nitrogen (Nm ³)	0,03
Aire d'instruments (Nm ³)	5·10 ⁻³

3.7. Característiques de la matèria prima

A continuació, es mostraran les característiques principals de les matèries primeres. En el primer apartat es troba el cabal la temperatura i la pressió de cadascuna de les alimentacions i el segon la composició d'aquestes.

3.7.1. **Condicions de les alimentacions**

El disseny d'aquest procés consta de diverses alimentacions en diferents equips del procés.

Les dues primeres es realitzen al *mixer M-101* i corresponen a la de PO i la de metanol. Seguidament, en el *mixer M-102*, s'alimenta l'aigua per tal de dur a terme la reacció. A continuació tots aquests compostos entren al reactor R-201 on s'alimenta àcid sulfúric per tal de catalitzar la reacció. Finalment, l'àcid que surt per cap de la columna DC-301 es neutralitza en el N-301 alimentant Ba(OH)₂.

Seguidament, es mostrarà en una taula el cabal i les condicions de pressió i temperatura de cadascuna d'aquestes entrades, identificant cada número de corrent del procés amb la matèria primera que correspon.

Taula 3.5. Cabal, temperatura i pressió de cadascuna de les alimentacions.

Corrent	Cabal (kg/h)	Temperatura (°C)	Pressió (kPa)
1 (Metanol)	1,45·10 ⁻³	30,0	101,3
2 (PO)	4.358	30,0	101,3
5 (H₂O)	27.738	30,0	101,3
7 (H₂SO₄)	0,0182	30,0	131,3
11 Ba(OH)₂	0,802	30,0	101,3

3.7.2. **Composició de les alimentacions**

Referent a la composició d'aquestes alimentacions, algunes són de compostos purs i d'altres amb una solució aquosa.

Les que són compostos purs que arriben directament a l'empresa mitjançant canonades són la de metanol, òxid de propilè i aigua, amb el cabal mostrat a la Taula 3.5. A més a més, cal destacar que en l'inici del procés s'introdueix una quantitat de 1100 kg/h de metanol, els quals es recirculen per dins del procés.

Les dues entrades que arriben amb solució aquosa són la d'àcid sulfúric i la d'hidroxid de bari. Igual que amb el metanol, a l'inici del procés s'afegeix una quantitat de 30 kg/h d'àcid sulfúric que es recircula mitjançant la columna DC-301. Seguidament, es mostrarà en les taules les composicions dels corrents 7 (Taula 3.6.) i 11 (Taula 3.7.).

Taula 3.6. Composició l'alimentació d'àcid sulfúric.

Compost	Fracció màssica
H ₂ SO ₄	0,995
H ₂ O	0,005

Taula 3.7. Composició l'alimentació d'hidròxid de bari.

Compost	Fracció màssica
Ba(OH) ₂	0,466
H ₂ O	0,534

3.8. Normes de disseny

Com a base de disseny d'equips i elecció dels materials s'ha utilitzat el codi ASME VIII Div.1, ja que hi ha equips pressuritzats. Pels intercanviadors la base de disseny que s'ha seguit és la normativa TEMA i per últim per les canonades s'ha usat el codi ASME B.36.10M.

3.9. Localització i climatologia

3.9.1. Localització de l'emplaçament

La localització d'aquest procés de producció es troba al complex industrial nord, ubicat a la Pobla de Mafumet, 43140, Tarragona.



Figura 3.4. Localització de la planta de producció de propilenglicol.

El motiu pel qual s'ha seleccionat aquesta ubicació és per la gran quantitat d'importacions europees de propilenglicol, com s'ha pogut observar a l'apartat 3.1.

3.9.2. Climatologia de l'emplaçament

El clima de Tarragona és un clima temperat i suau, amb una temperatura mitjana anual de 16 °C i al voltant de 551 mm de precipitació anual. Cal destacar que aquesta zona no presenta risc sísmic.

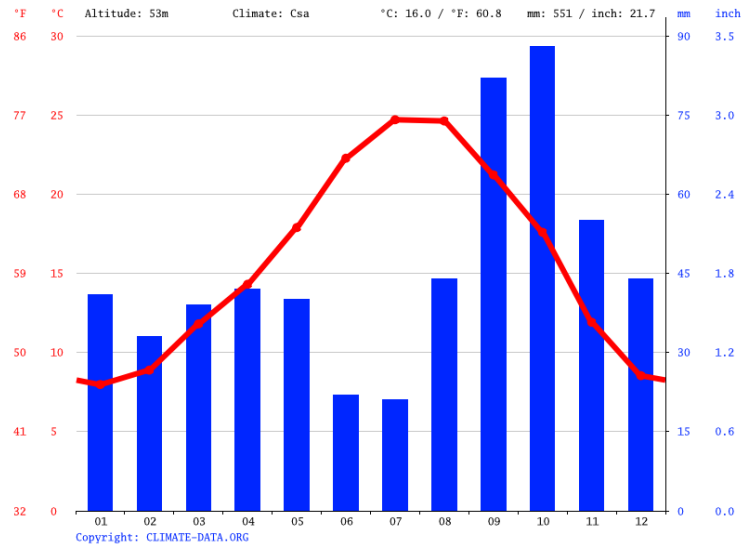


Figura 3.5. Climograma de Tarragona durant el 2021 (ref. 14).

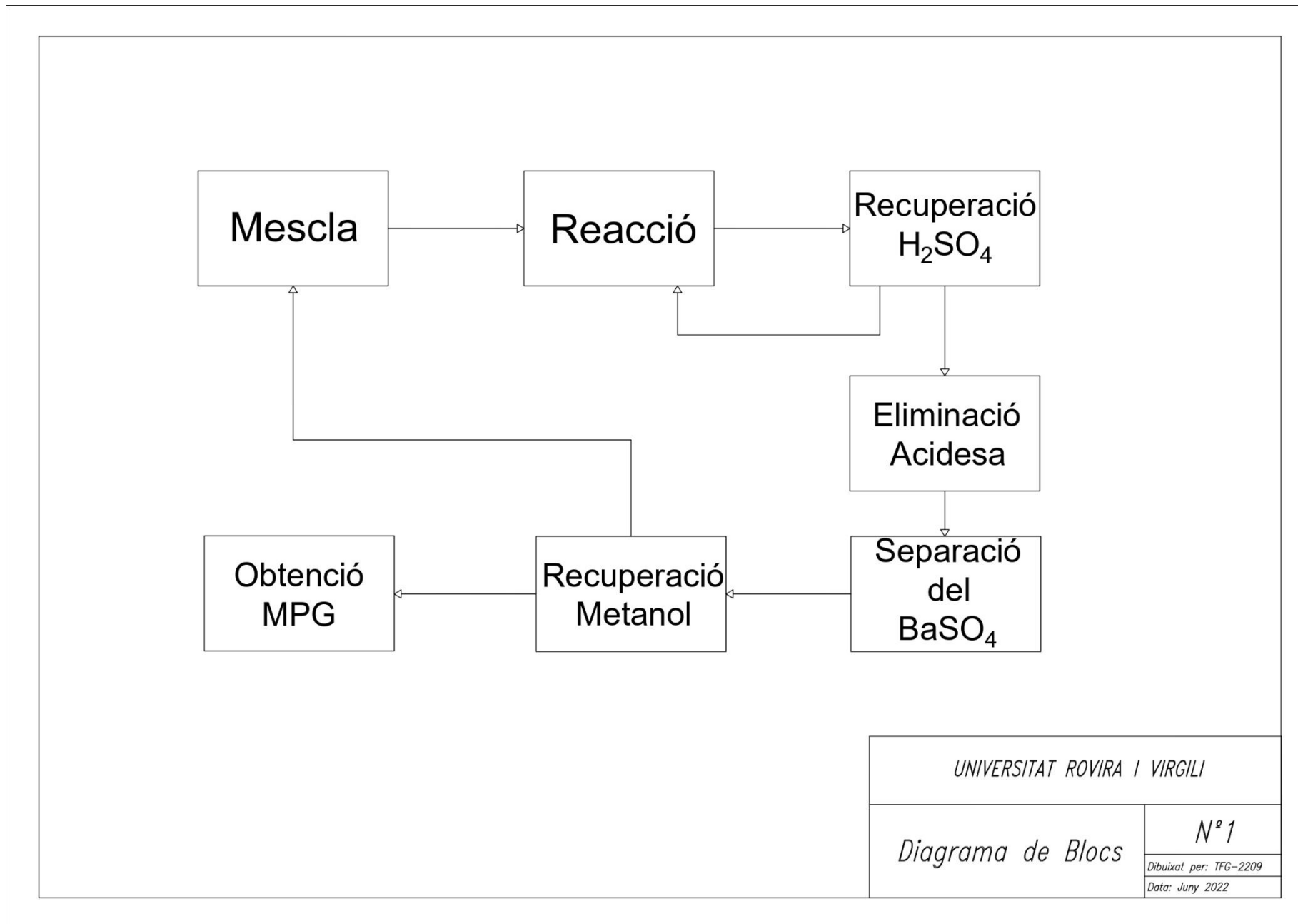
4. DESENVOLUPAMENT DE L'ENGINYERIA BÀSICA

4.1. Elaboració de diagrames

A continuació es mostraran els diferents diagrames del procés, així com el de blocs, el de la simulació, el PFD, el P&ID i el *Plot Plant*.

4.1.1. Diagrama de blocs: Disseny conceptual

Seguidament, es mostra un diagrama representatiu dels passos i operacions que se segueixen per al procés de producció de propilenglicol.



4.1.2. Diagrama de Simulació: Disseny amb *Aspen HysysTM v.11*

Es du a terme un balanç de matèria i energia del procés a partir del simulador *Aspen HysysTM v.11*, on s'obtenen el dimensionament de diferents equips, però sobretot el de les columnes, així com els cabals de sortida dels equips. A continuació, es mostren les dades utilitzades i suposicions perquè el procés convergís i s'aconseguissin resultats.

4.1.2.1 Etapa de mescles

En aquesta etapa el que s'ha fet és simular el procés de l'etapa de mescla de reactius definint els diferents equips utilitzats. En primer lloc, s'ha definit les quantitats d'entrada de metanol i PO al M-101, juntament amb les seves pressions i temperatures, seguidament s'ha definit el T-101, aquest es fa servir com a pulmó i per últim, en aquesta etapa es defineix el M-102, el *Mixer* on es barreja la mescla de metanol i PO amb l'aigua en excés, a més a més, hi ha un corrent d'entrada que serà la recirculació del metanol quan el procés estigui en continu. El corrent de sortida serà enviat al reactor *CSTR* mitjançant la bomba P-101, per dissenyar-la es defineix la pressió de sortida a la qual es vol treballar en el reactor. A la figura mostrada a sota, es veu un esquema del procés simulat en *Aspen HysysTM v.11*. A més a més, en la Taula 4.1. es pot observar el balanç de matèria on apareixen definits els corrents d'entrada i sortides dels diferents equips.

4.1.2.2 Etapa de reacció

Aquesta etapa es tracta bàsicament de la reacció que es dona en el R-201. Aquest reactor té 3 entrades diferents, el corrent que ve de l'etapa de mescles, el corrent d'entrada d'àcid sulfúric i una entrada de recirculació de l'àcid sulfúric per quan el procés estigui en continu. En aquesta etapa bàsicament s'ha definit la reacció que es du a terme, les característiques d'operació del reactor i les quantitats de cada compost de la mescla. Amb aquests paràmetres introduïts s'obté el corrent de sortida que conté MPG i aquest s'enviarà a l'etapa de separació per purificar el producte final. A la figura mostrada a sota, es veu un esquema del procés simulat en *Aspen HysysTM v.11*. A més a més, en la Taula 4.1. es pot observar el balanç de matèria on apareixen definits els corrents d'entrada i sortides dels diferents equips.

4.1.2.3 Etapa de separació

En aquesta etapa el que es busca és fer passar el corrent principal per diferents equips fins a obtenir el MPG amb una puresa del 99,8%. Per poder aconseguir això, en primer lloc, s'ha dissenyat la DC-301, la qual té la finalitat de recuperar l'àcid sulfúric per recircular-lo al R-20. L'explicació del disseny de la columna mitjançant *Aspen HysysTM v.11* apareix en detall en l'apartat 4.4.7. En la simulació s'ha hagut d'afegir una bomba abans de la DC-301 perquè aquesta convergís, aquesta bomba no entra dins del procés i en conseqüència no s'ha dissenyat, és a dir, és una bomba que només apareix en la simulació d'*Aspen HysysTM v.11* perquè en aquest apartat del procés el nostre fluid es mou per sobre emplenament del R-201.

Per tant, pel corrent de sota surt la recirculació d'àcid sulfúric, que després de passar per l'intercanviador HE-30, el qual s'ha definit el salt de temperatura, arribarà al R-201 i pel corrent de cap surt MPG, metanol, aigua i una petita resta d'àcid sulfúric. Aquest últim corrent s'envia a un neutralitzador per eliminar l'acidesa del corrent causat per l'àcid sulfúric. Abans d'arribar al N-301 passa per l'intercanviador HE-302 per baixar la temperatura abans de l'entrada al N-301. Aquest intercanviador s'ha dissenyat introduint el salt de temperatura que es vol assolir.

En el N-301 s'ha definit les entrades del corrent de procés i l'entrada d'Hidròxid de Bari, compost que servirà per neutralitzar el corrent i formar una sal amb l'àcid sulfúric que posteriorment es decantarà. Una vegada definides les entrades s'ha vist que amb tan poca quantitat d'àcid sulfúric no convergeix el reactor, per tant, s'ha hagut d'afegir un corrent de més per introduir més àcid sulfúric i a la vegada augmentar l'entrada d'Hidròxid de Bari perquè fossin equimolars i així fer que convergís el reactor. Després de definir les entrades, s'ha definit la reacció que es du a terme dintre del reactor i les seves característiques d'operació. Una vegada tot definit, del N-301 es passa al decantador per separar del corrent el Sulfat de Bari creat amb la reacció.

Aquest decantador, D-301, s'ha dissenyat utilitzant un bloc de balanç, una eina que permet definir manualment el que ha d'entrar i sortir d'aquell equip. Això s'ha hagut de fer perquè quan s'ha dissenyat el D-301 amb l'opció de decantador s'obtenien uns resultats sense sentit. Després de diverses reunions amb professors experts en *Aspen HysysTM* s'ha arribat a aquesta solució.

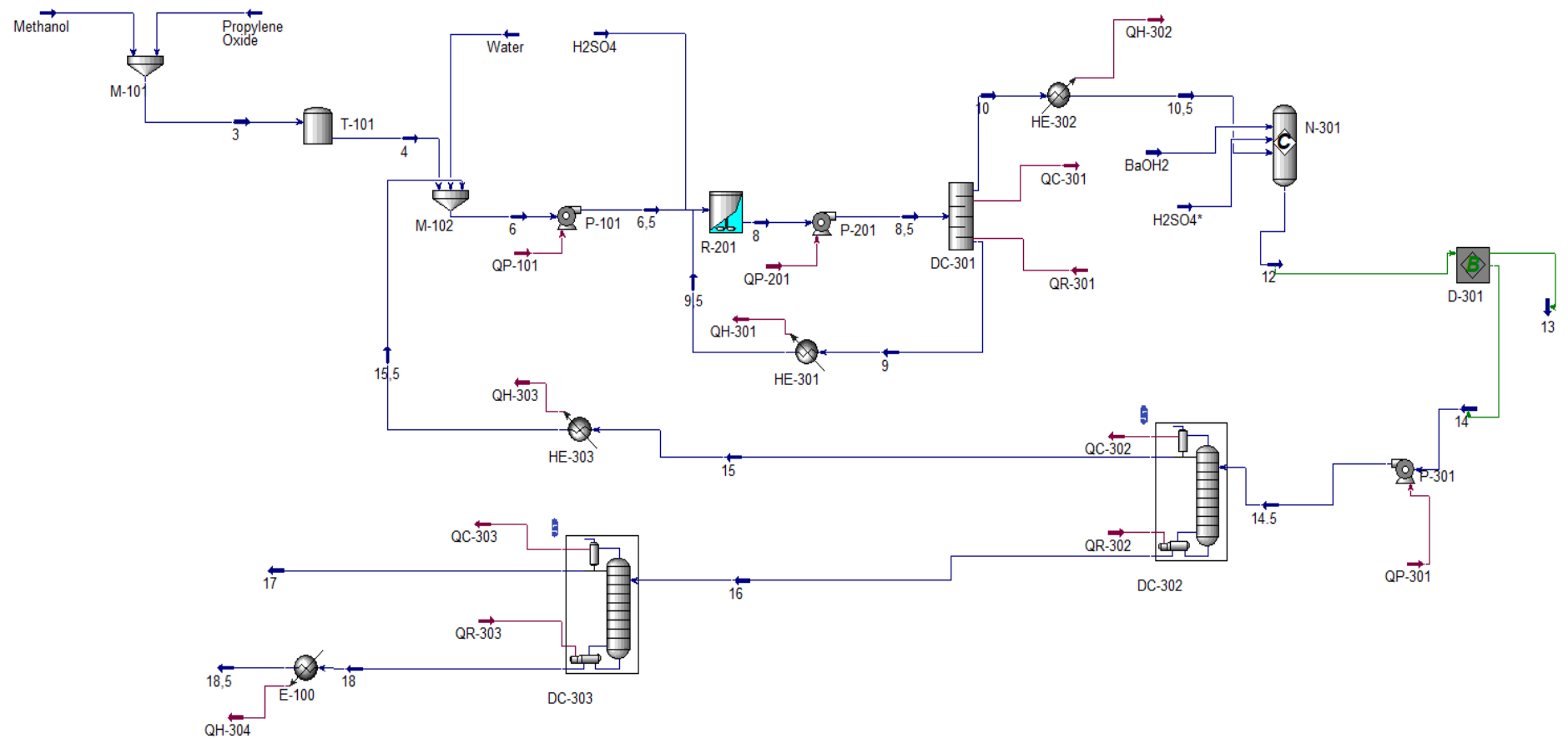
Un cop passat el decantador hi ha una bomba, P-302, on impulsa la mescla de productes cap a una primera columna, DC-302, que té la finalitat de recuperar el metanol de la mescla. Aquest metanol surt amb una petita quantitat d'aigua pel cap, on passen per l'intercanviador HE-303 abans d'arribar al M-102. Aquest intercanviador s'ha dissenyat de la mateixa manera que els altres, definint el salt de temperatura que es vol assolir.

La columna DC-302 està definida amb detall en l'apartat 4.4.12, després de la simulació s'observa que el corrent de fons només porta aigua i MPG, per tant, per poder obtindre el MPG com a producte s'ha de separar de l'aigua. Aquí entra l'última columna de la simulació, la DC-303, on té la finalitat d'extreure el MPG amb una puresa del 99,8%. Aquesta columna està definida amb detall en l'apartat 4.4.14.

Per finalitzar la simulació, pel cap de la columna surt l'aigua en excés del procés i per fons surt el MPG, on surt a una temperatura elevada i per poder-lo emmagatzemar en tancs s'ha dissenyat un últim intercanviador, HE-304, on es busca rebaixar la temperatura del MPG a temperatura ambient.

A continuació, es veu un esquema del procés simulat en *Aspen HysysTM v.11*. A més a més, en la Taula 4.1. es pot observar el balanç de matèria on apareixen definits els corrents d'entrada i sortides dels diferents equips i també les temperatures de corrents i les pressions.

Disseny d'una planta petroquímica de producció de monopropilenglicol



Taula 4.1. Balanç de matèria extret de la simulació d'Aspen HysysTM v.11.

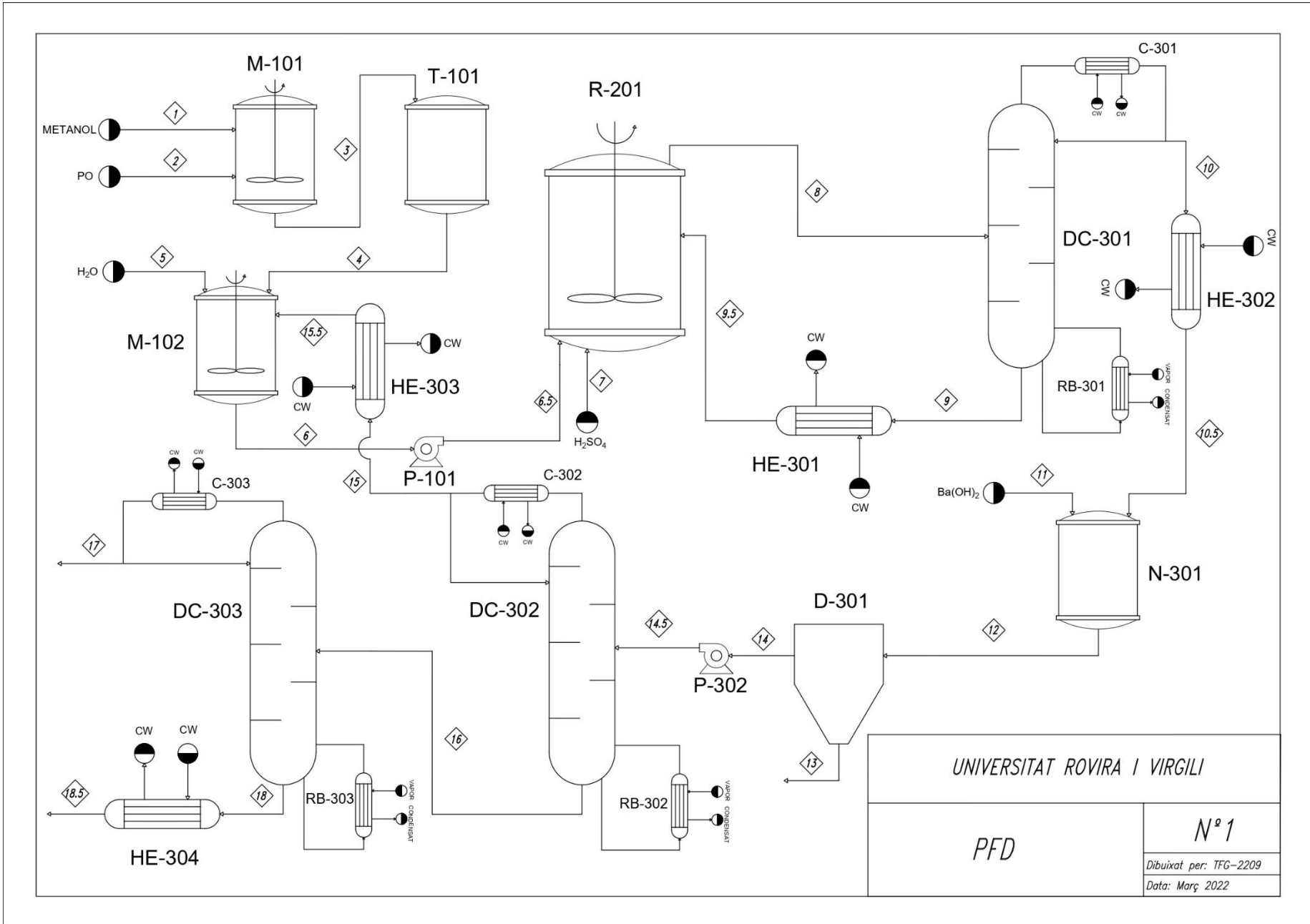
BdM	1	2	3	4	5	6	6,5	7	8	9	9,5	10
Temperatura (°C)	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	81,7	279	30	103,1
Pressió (kPa)	101,3	101,3	101,3	101,3	101,3	101,3	131,6	131,6	131,6	131,6	121,3	121,3
Q total (kg/h)	1,45E-03	4358	4358	4358	27738	33226	33226	1,83E-02	33265	38,4	38,4	33226
CH ₃ OH (Met)	1,45E-03	0	1,45E-03	1,45E-03	0	1100	1100	0	1100	0	0	1100
C ₃ H ₆ O (PO)	0	4358	4358	4358	0	4358	4358	0	0,0	0	0	0,0
H ₂ O	0	0	0	0	27738,1	27768	27768	8,92E-05	26416,2	0	0	26416,2
H ₂ SO ₄	0	0	0	0	0	0	0	1,82E-02	38,0	37,98	37,98	0,0182
Ba(OH) ₂	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
BaSO ₄	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
C ₃ H ₈ O ₂ (MPG)	0	0	0	0	0	0	0	0	5710,3	0,449	0,449	5709,8

BdM	10,5	11	12	13	14	14,5	15	15,5	16	17	18	18,5
Temperatura (°C)	32,43	30	32,4	32,4	32,4	32,4	67,5	30	106,3	102,7	190,9	30,0
Pressió (atm)	111,3	101,3	101,3	101,3	101,3	121,3	111,3	101,3	121,3	111,3	121,3	111,3
Q total (kg/h)	33226	0,460	33227	0,043	33227	33227	1130	1130	32097	26374	5723	5723
CH ₃ OH (Met)	1100	0	1100	0	1100	1100	1100	1100	1,78E-03	1,78E-03	0,0	0,0
C ₃ H ₆ O (PO)	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H ₂ O	26416,2	0,429	26416,9	0	26416,9	26416,9	29,94	29,94	26386,92	26374,0795	12,84	12,84
H ₂ SO ₄	0,0182	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ba(OH) ₂	0,0	0,032	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BaSO ₄	0,0	0	0,043	0,043	0	0	0	0	0	0	0	0
C ₃ H ₈ O ₂ (MPG)	5709,8	0	5709,8	0	5709,8	5709,8	0	0	5709,8	0,11	5709,71	5709,71

4.1.3. Diagrama de Flux de Procés (PFD)

En aquest apartat es mostra el diagrama de flux de tot el Procés de producció de MPG.

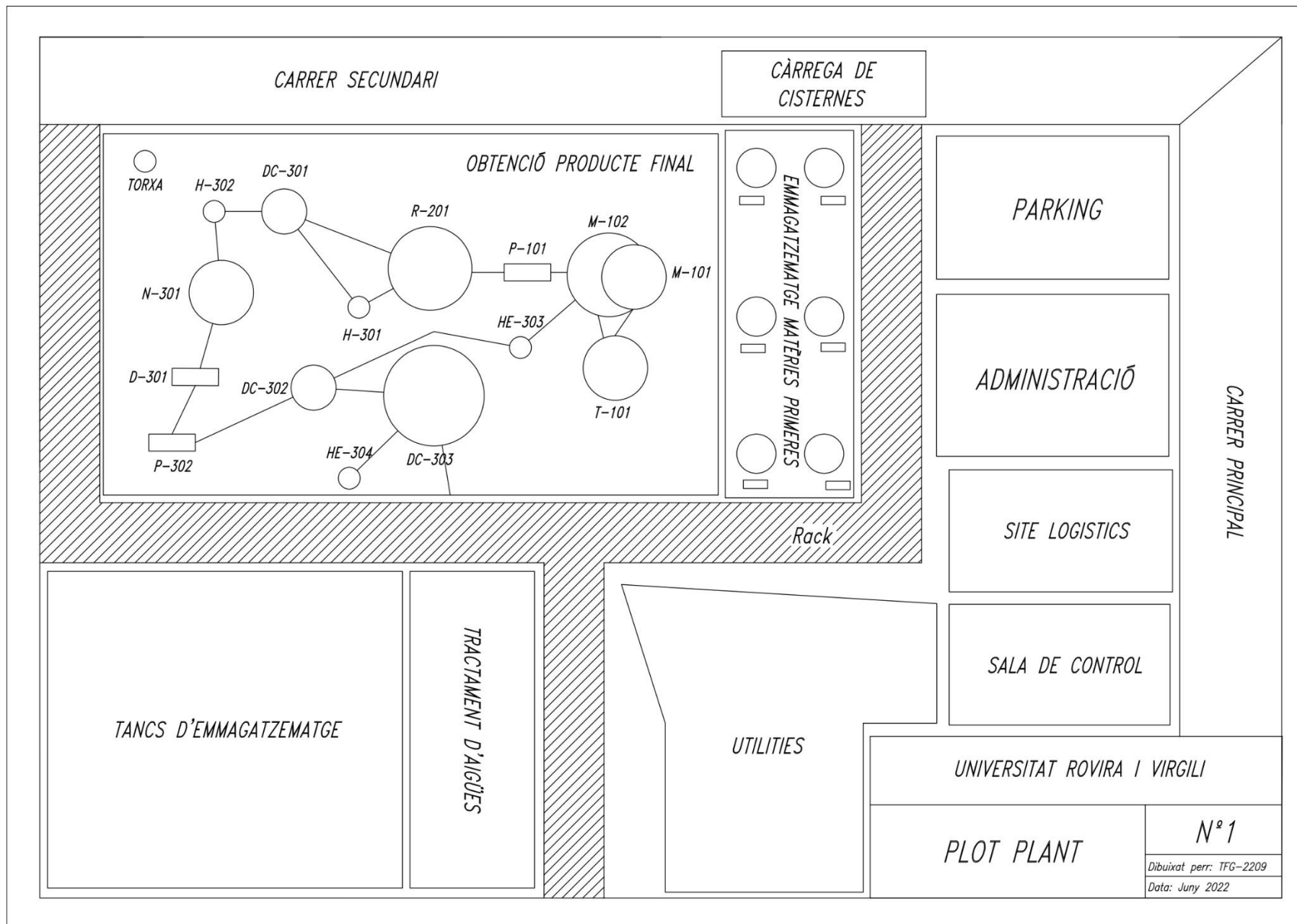
Disseny d'una planta petroquímica de producció de monopropilenglicol



4.1.4. Diagrama d'implantació (*Plot Plant*)

Tot seguit, es mostra el plànol d'implantació de la planta, que representa l'aproximació a la distribució real dels elements que conformen la planta de producció de MPG.

La distribució s'ha realitzat de forma que el procés de producció estigui el més allunyat possible dels edificis de la planta com el d'administració, el *site logistics* o la sala de control. A més a més, s'ha situat l'entrada del procés a prop dels tancs de matèries primeres. El final del procés està situat al costat dels tancs d'emmagatzematge del producte final i de la planta de tractament d'aigües, ja que són els dos corrents que surten del procés. Finalment, s'ha decidit col·locar la torxa el més allunyat possible dels llocs on hi pugui haver persones de la planta.



4.1.5. Diagrames de Canonades i instrumentació (P&ID)

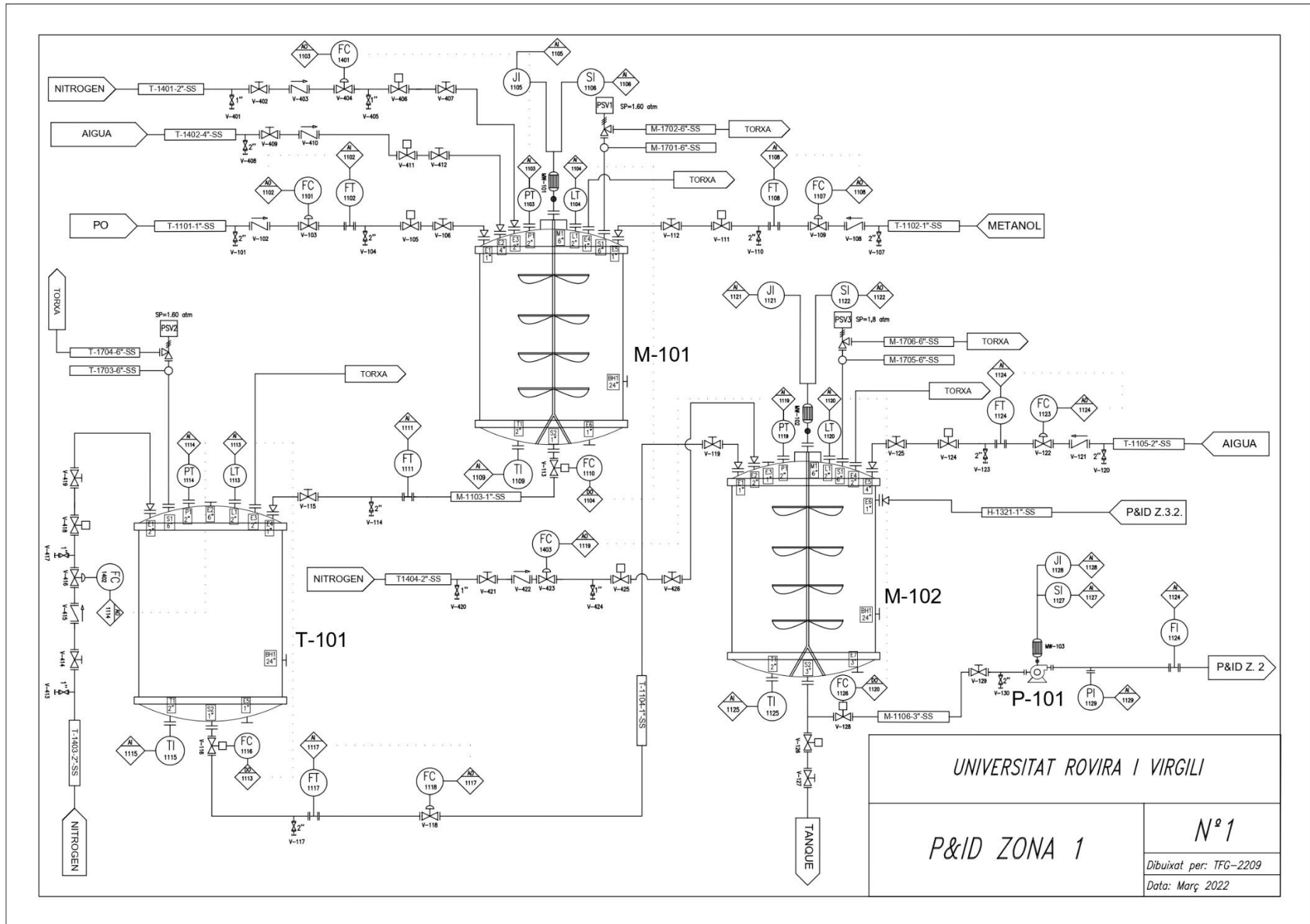
A continuació, es mostren els diagrames P&ID de cadascuna de les zones de la planta. Aquestes s'han dividit de la següent forma:

- Zona 1: Alimentació (M-101, T-101 i M-102)
- Zona 2: Reacció (R-201)
- Zona 3: Purificació (DC-301, N-301, D-301, DC-302, DC-303, HE-301, HE-302, HE-303, HE-304).
- Zona 4: *Utilities*: (Nitrogen, aigua de torre auxiliar de neteja)
- Zona 5: *Utilities*: (CW de refrigeració de bescanviadors i condensadors)
- Zona 6: *Utilities*: (VMP dels *reboilers* de les columnes)
- Zona 7: PSV

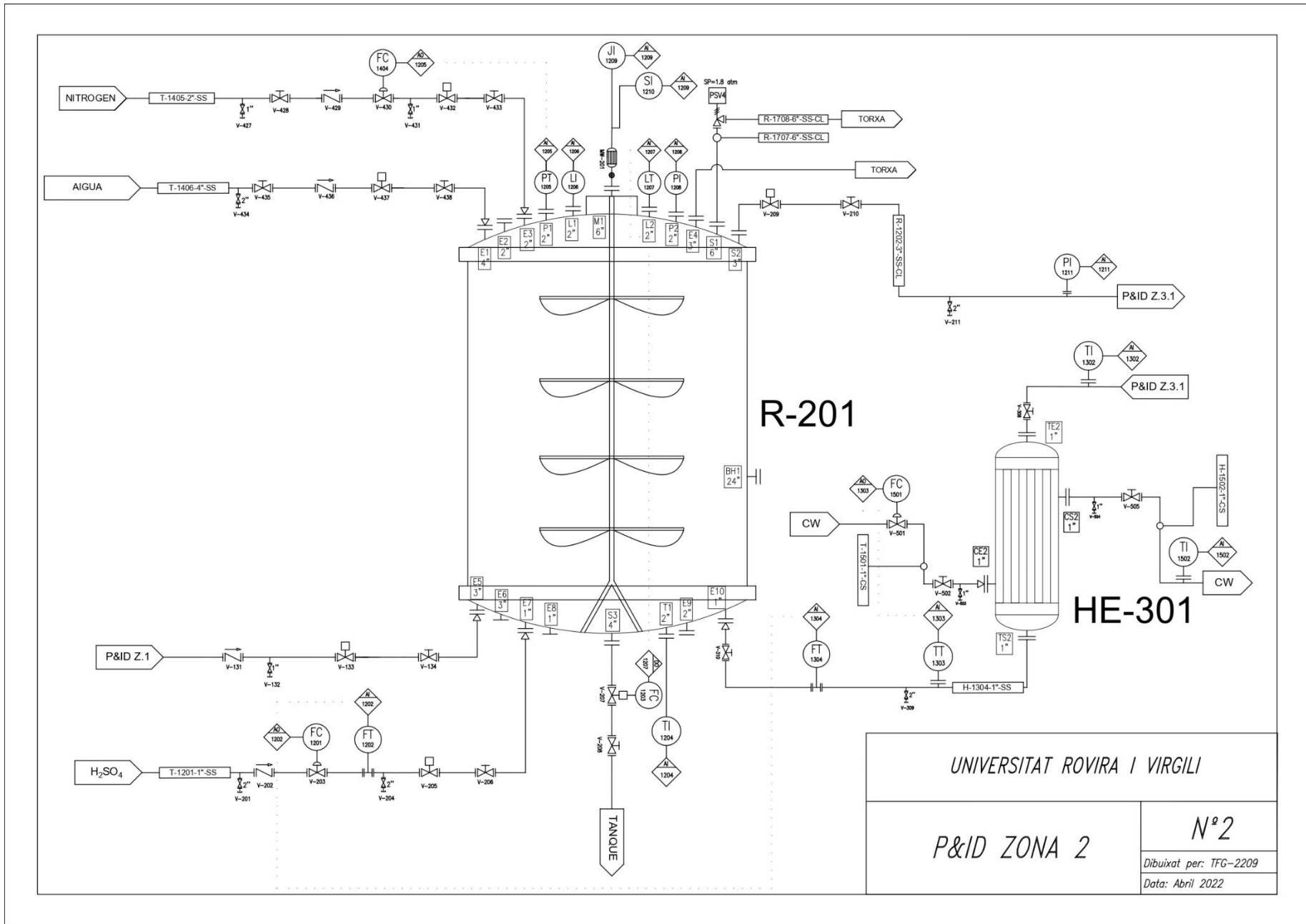
La disposició dels diagrames s'ha optimitzat per a poder observar detalladament el control de tots els equips.

Finalment, la simbologia del P&ID es pot trobar en l'Annex A.11.

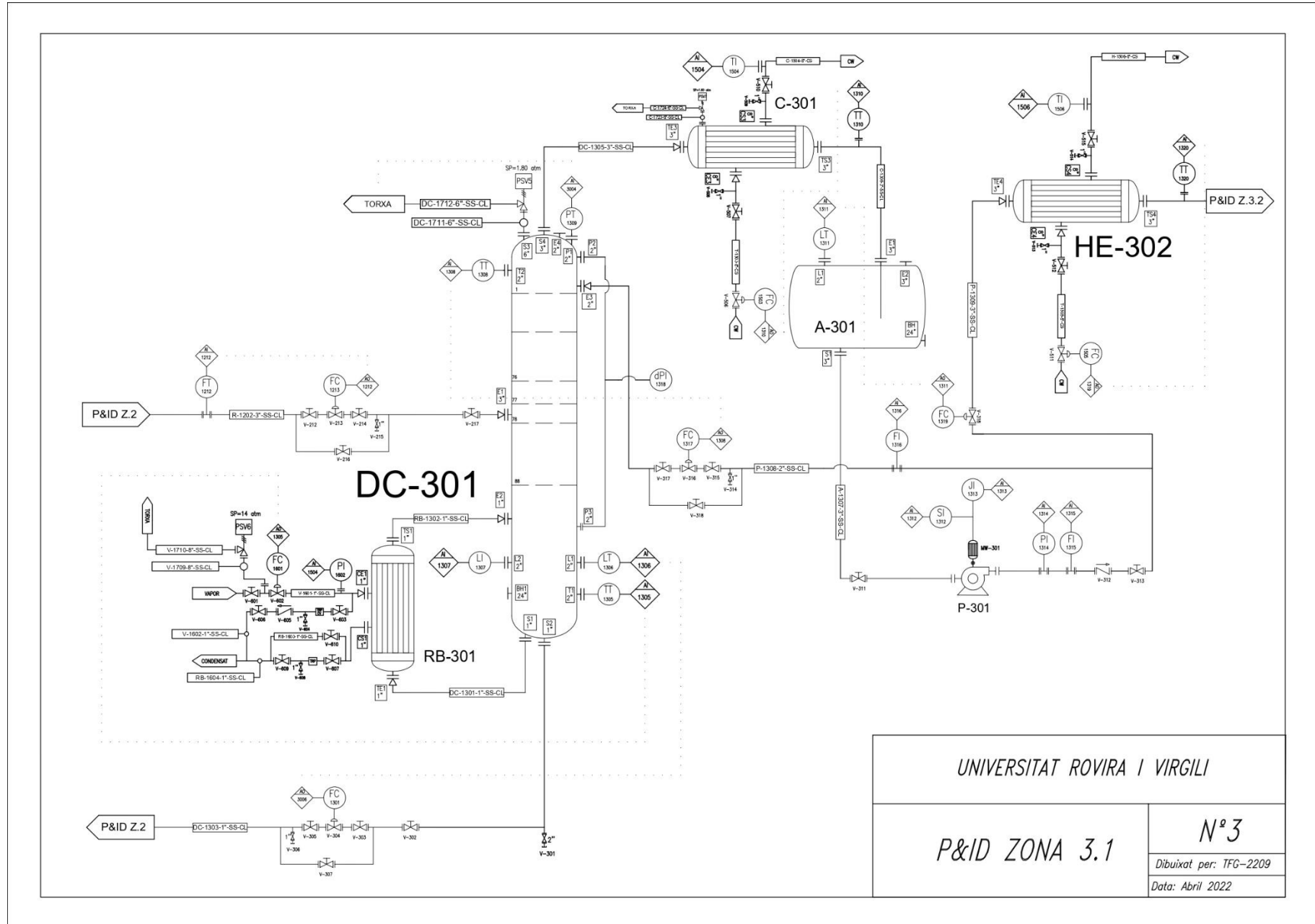
Disseny d'una planta petroquímica de producció de monopropilenglicol



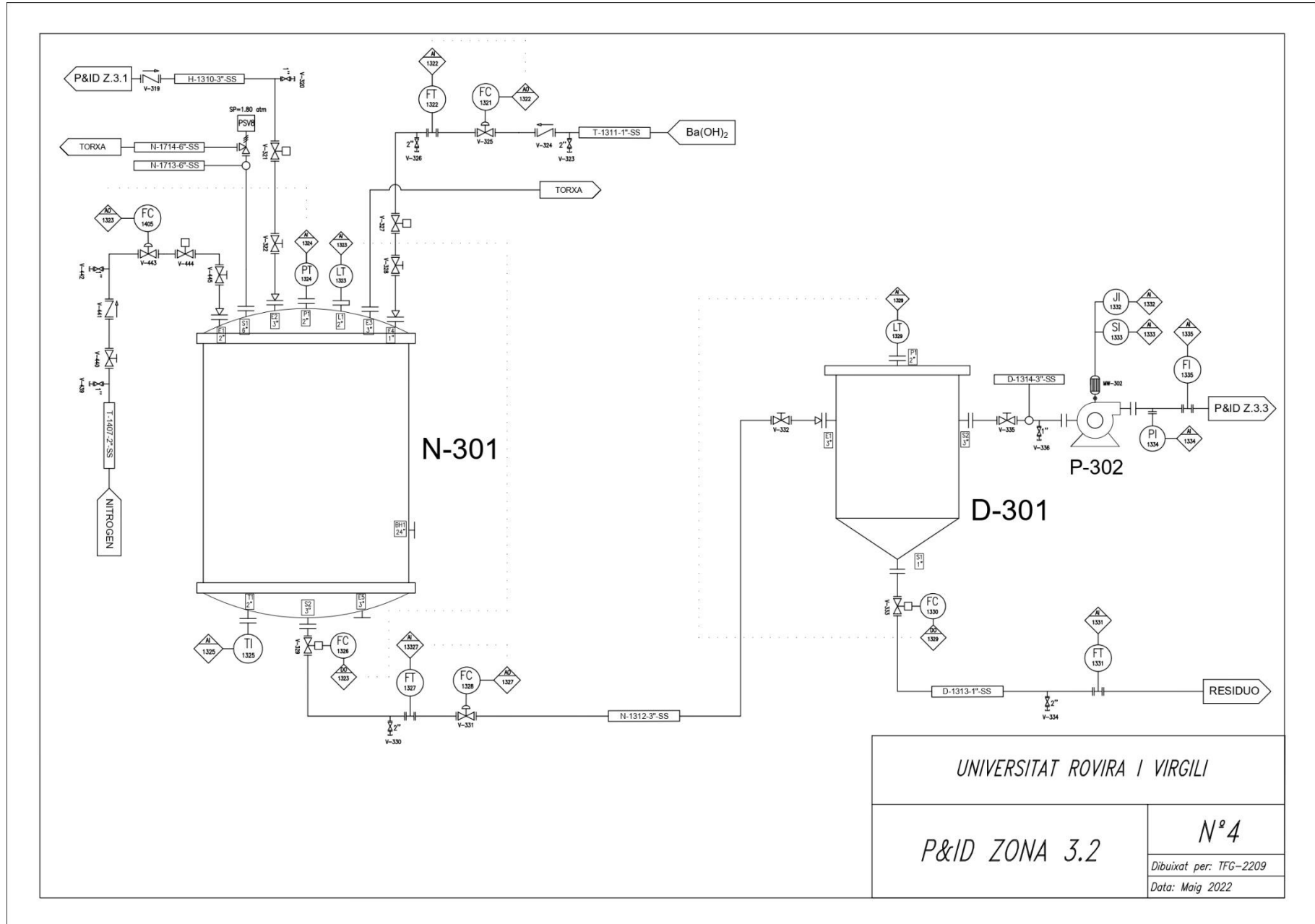
Disseny d'una planta petroquímica de producció de monopropilenglicol



Disseny d'una planta petroquímica de producció de monopropilenglicol



Disseny d'una planta petroquímica de producció de monopropilenglicol



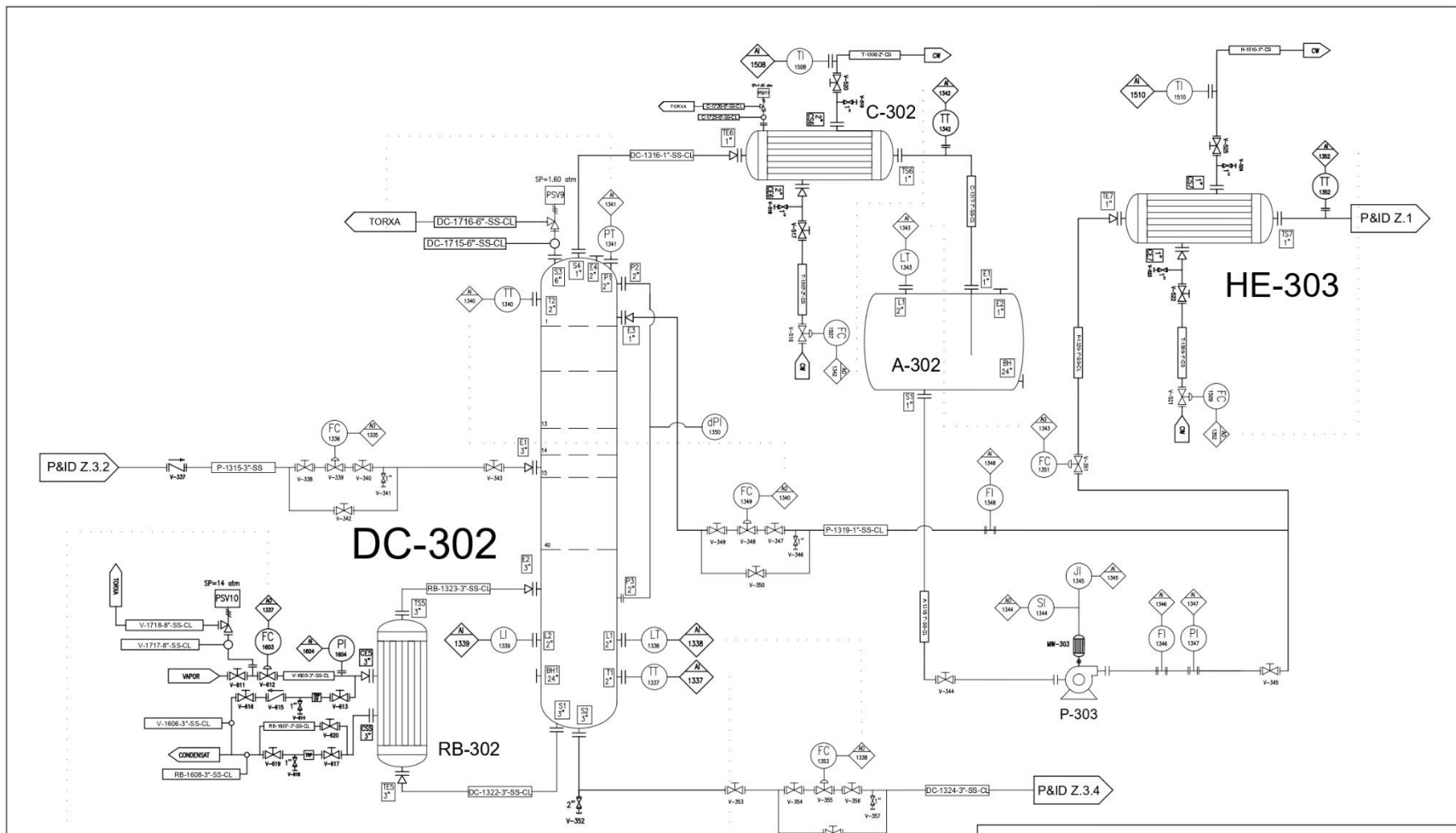
UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

P&ID ZONA 3.2

Nº 4

Dibuixat per: TFG-2209

Data: Maig 2022



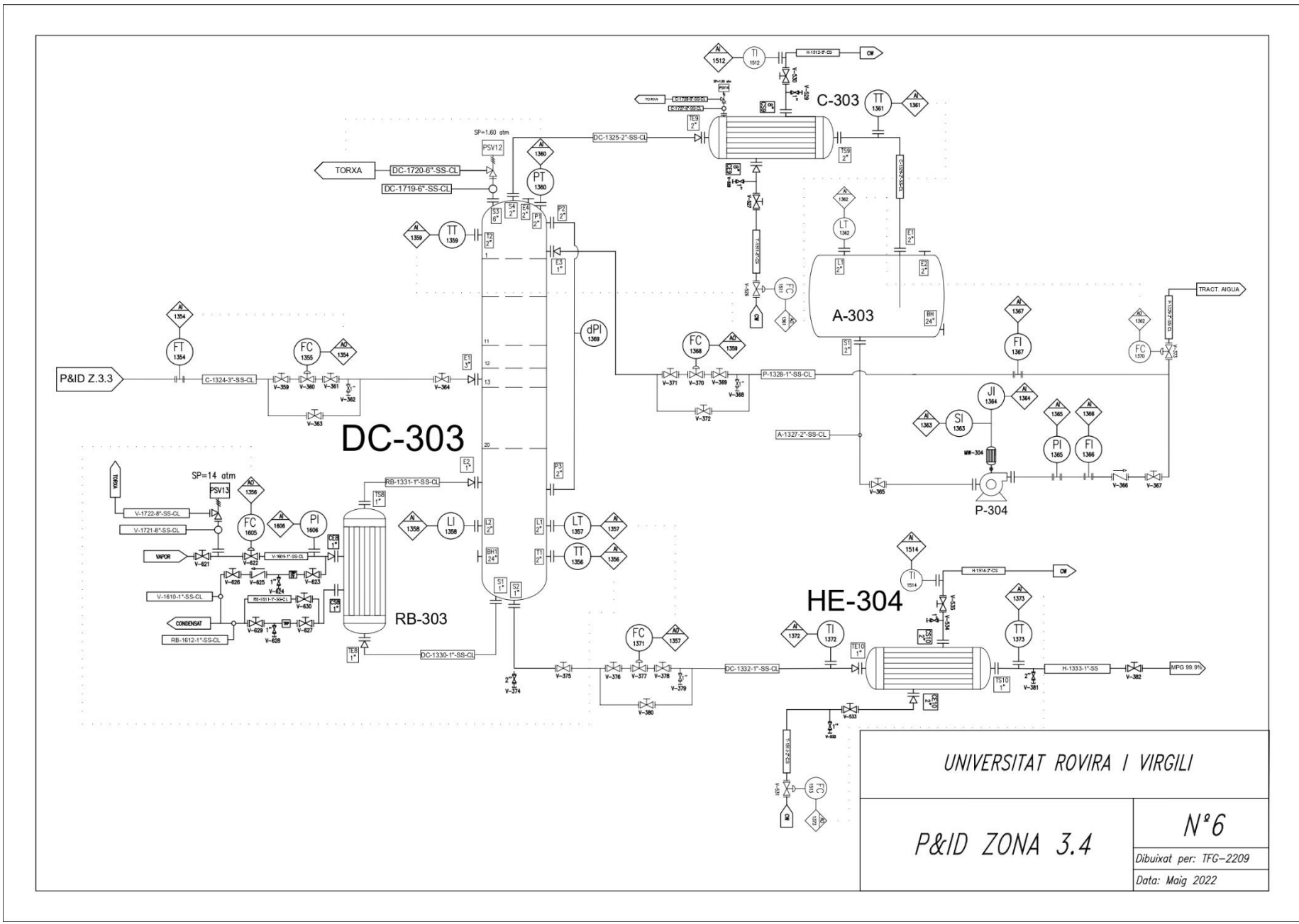
UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

P&ID ZONA 3.3

Nº 5

Dibuixat per: TFG-2209

Data: Maig 2022



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI	
P&ID ZONA 3.4	
N ^o 6	
Dibuixat per: TFG-2209	
Data: Maig 2022	

4.2. Sistema de control

Seguidament, s'explicarà el control que s'ha utilitzat en cadascun dels equips de la planta.

4.2.1. Sistema de control de la Zona 1

4.2.1.1 Sistema de control de l'alimentació al *mixer* M-101

Per tal de controlar l'alimentació de metanol i PO al *mixer* M-101, es col·loca inicialment una vàlvula de purga, just abans d'una antiretorn. Seguidament, es troba instal·lada una vàlvula reguladora automàtica la qual rep un senyal analògic del transmissor de flux que hi ha just després. Finalment, es troben una vàlvula de comporta automàtica i una de manual.

Per tal d'introduir la quantitat proporcional corresponent de cada reactiu, els senyals 1108 i 1102 estan connectades mitjançant un control de rati entre aquestes dues entrades.

4.2.1.2 Sistema de control del *mixer* M-101

El M-101 consta d'una entrada auxiliar de nitrogen per tal de pressuritzar el *mixer*, la qual té instal·lades una vàlvula de purga, una manual, una antiretorn, una reguladora de cabal automàtica, una altra de purga, una de comporta automàtica i finalment una manual. El control de cabal de la línia es realitza mitjançant la vàlvula reguladora FC-1401, la qual rep un senyal del transmissor de pressió del *mixer* PT-1103.

Seguidament, el *mixer* també consta d'un agitador, amb el seu respectiu motor (M-101). Aquest motor està protegit mitjançant una doble tanca mecànica.

A més a més, el *mixer* consta d'un indicador de temperatura TI-1109 per tal de comprovar que la temperatura no augmenta.

Finalment, s'instal·la un transmissor de nivell LT-1104, el qual li envia el senyal a la vàlvula automàtica del fons del tanc FC-1110, obrint-se o no quan hi ha un cert nivell dins el tanc.

4.2.1.3 Sistema de control del T-101

El T-101 consta d'una entrada auxiliar de nitrogen per tal de pressuritzar el tanc, la qual té instal·lades una vàlvula de purga, una manual, una antiretorn, una reguladora de cabal automàtica, una altra de purga, una de comporta automàtica i finalment una manual. El control de cabal de la línia es realitza mitjançant la vàlvula reguladora FC-1402, la qual rep un senyal del transmissor de pressió del tanc PT-1114.

El tanc també consta d'un indicador de temperatura TI-1115 per tal de comprovar que la temperatura no augmenta.

A més a més, s'instal·la un transmissor de nivell LT-1113, el qual li envia el senyal a la vàlvula automàtica del fons del tanc FC-1116, obrint-se o no quan hi ha un cert nivell dins el tanc.

4.2.1.4 Sistema de control de l'alimentació al *mixer* M-102

Per tal de controlar l'alimentació de la barreja de metanol i PO i d'aigua al *mixer* M-102, es troba instal·lada una vàlvula reguladora automàtica la qual rep un senyal analògic del transmissor de flux que hi ha just després en cadascuna de les línies.

Per tal d'introduir la quantitat proporcional corresponent de cada reactiu, els senyals 1117 i 1124 estan connectades mitjançant un control de rati entre aquestes dues entrades, tenint en compte la recirculació.

4.2.1.5 Sistema de control del mixer M-102

El M-102 consta d'una entrada auxiliar de nitrogen per tal de pressuritzar el mixer, la qual té instal·lades una vàlvula de purga, una manual, una antiretorn, una reguladora de cabal automàtica, una altra de purga, una de comporta automàtica i finalment una manual. El control de cabal de la línia es realitza mitjançant la vàlvula reguladora FC-1403, la qual rep un senyal del transmissor de pressió del mixer PT-1119.

Seguidament, el mixer també consta d'un agitador, amb el seu respectiu motor (M-102). Aquest motor està protegit mitjançant una doble tanca mecànica.

A més a més, el mixer consta d'un indicador de temperatura TI-1125 per tal de comprovar que la temperatura no augmenta.

Finalment, s'instal·la un transmissor de nivell LT-1120, el qual li envia el senyal a la vàlvula automàtica del fons del tanc FC-1126. Quan el tanc s'ha de netejar amb aigua de torre, la vàlvula V-128 es tanca i s'obre la V-126 per tal de buidar l'aigua bruta en un tanc.

4.2.1.6 Sistema de control de la P-101

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

Per a mantenir la pressió desitjada, hi ha un indicador (PI-1129) que segons el valor donat, l'indicador de potència de la bomba (JI-1128) efectuarà més o menys energia per a poder variar la pressió de sortida.

El transmissor de cabal FT-1124 envia el senyal de manera indicativa per a poder comprovar el correcte funcionament de la bomba d'impulsió.

Prèviament a la bomba es troba una vàlvula manual per si fes falta aïllar l'equip i posteriorment es troba una vàlvula antiretorn (V-131).

4.2.2. Sistema de control de la Zona 2

4.2.2.1 Sistema de control de l'alimentació del reactor R-201

Per tal de controlar l'entrada de reactius al reactor, a la línia de procés procedent de la P-101 solament hi ha una automàtica de bloqueig. En quant a l'addició d'àcid sulfúric, es regula mitjançant una proporció realitzada amb els senyals dels transmissors de flux 1202 i 1304, ja que la quantitat que s'afegeix depèn de la que entra provinent del fons de la DC-301.

4.2.2.2 Sistema de control del reactor R-201

El R-201 consta d'una entrada auxiliar de nitrogen per tal de pressuritzar el reactor, la qual té instal·lades una vàlvula de purga, una manual, una antiretorn, una reguladora de cabal automàtica, una altra de purga, una de comporta automàtica i finalment una manual. El control de cabal de la línia es realitza mitjançant la vàlvula reguladora FC-1404, la qual rep un senyal del transmissor de pressió del reactor PT-1205.

Seguidament, el reactor també consta d'un agitador, amb el seu respectiu motor (M-201). Aquest motor està protegit mitjançant una doble tanca mecànica.

A més a més, el reactor consta d'un indicador de temperatura TI-1204 per tal de comprovar que la temperatura no augmenta. També consta d'un indicador de pressió PI-1208 i un de nivell 1206.

Finalment, s'instal·la un transmissor de nivell LT-1207, el qual li envia el senyal a la vàlvula automàtica del fons del tanc FC-1203, obrint-se quan es realitzen tasques de manteniment per a la neteja del reactor.

4.2.3. Sistema de control de la Zona 3.1

4.2.3.1 Sistema de control de l'alimentació a la columna DC-301

Per al control de l'alimentació de la columna s'utilitza un transmissor de cabal (FT-1212) que envia el senyal a la vàlvula controladora V-213 per tal de poder manipular el cabal, en cas que fos necessari, per obtenir la separació desitjada a la columna.

Prèviament a la V-213 es troba una vàlvula manual que en el cas que es trobés tancada temporalment, pel bloqueig de la línia principal, l'alimentació passaria pel *bypass*, sinó, en condicions normals, la vàlvula manual V-216 es trobaria tancada. Posterior a la V-213 es troba una altra manual, una purga i una última manual just abans de la columna DC-301 per si fos necessari tallar l'alimentació.

4.2.3.2 Sistema de control del fons de la columna DC-301

En el fons de la columna es controla tant la temperatura com el nivell d'aquesta. La primera variable es controla mitjançant un transmissor de temperatura (TT-1305) que envia directament el senyal a la vàlvula reguladora de l'entrada de vapor d'aigua del *reboiler* (V-602). En el cas que fos necessari augmentar la temperatura la vàlvula V-602 s'obriria deixant passar més vapor per augmentar l'intercanvi de calor en el *reboiler*.

Quant al nivell, aquest es controla mitjançant el transmissor de nivell (LT-1306) connectat al controlador de flux (FC-1301). Quan es detecta més nivell del desitjat la vàlvula V-304, on es situa el controlador esmentat anteriorment, obrirà deixant pas a la sortida de pesats i així disminuir el nivell de la columna. A més a més, hi ha instal·lat un indicador de nivell (1307) per donar informació respecte al nivell de la columna a la pròpia planta.

Pel que fa al corrent de sortida pel fons de columna (recuperació de l'àcid sulfúric cap al reactor), en aquest es troba una purga, una vàlvula manual que en el cas que es trobés tancada temporalment, pel bloqueig de la línia principal, l'alimentació passaria pel *bypass*, sinó, en condicions normals, la vàlvula manual V-307 es trobaria tancada. Posterior a la V-303 es troba la reguladora que va en funció del nivell de la columna, una altra manual i una última purga.

4.2.3.3 Sistema de control bescanviador HE-301

El bescanviador HE-301, situat entre el corrent de fons de columna esmentat anteriorment i el reactor, la principal variable a controlar és la temperatura a la sortida del fluid del procés. Prèviament, a l'entrada de l'HE-301 es troba un indicador de temperatura (TI-1302) a mode informatiu i una vàlvula manual (V-308) per si fos necessari tallar l'alimentació d'aquest.

A la sortida del bescanviador està la variable principal a controlar que es fa mitjançant un transmissor de temperatura (TT-1303) que envia el senyal a la vàlvula reguladora d'entrada de cabal d'aigua de refrigeració (V-501), obrint la vàlvula en cas de necessitar refredar més el fluid de procés o tancant la vàlvula en cas contrari. Després del transmissor de temperatura es troba una purga i un últim transmissor de cabal (FT-1304), abans d'entrar al reactor, on el seu senyal està connectat a la vàlvula reguladora de cabal de l'alimentació d' H_2SO_4 per afegir la quantitat necessària en funció de la recirculació obtinguda.

A mode informatiu també es troba un indicador de temperatura (TI-1502) a la sortida del corrent d'aigua de refrigeració per detectar possibles anomalies.

4.2.3.4 Sistema de control al cap de la columna DC-301

Al cap de la columna DC-301 es controla principalment la pressió de cap. Aquesta es controla manipulant el cabal del corrent de torxa, obrint o tancant la vàlvula associada a aquell corrent augmentarà o disminuirà la pressió de la columna. A més a més, es troba un indicador de temperatura TI-1308 on es mesura la temperatura de cap de columna. També hi ha un indicador de pressió diferencial (DPI-1318) instal·lat en la columna, connectat en dos punts diferents (cap i fons) que serveix per tenir un mesurador de la diferència de pressions i evitar que la columna s'inundi.

4.2.3.5 Sistema de control del condensador C-301

La variable a controlar en el condensador C-301 és la temperatura a la sortida del fluid de procés. El transmissor de temperatura (TT-1310) envia el senyal a la vàlvula reguladora d'entrada de cabal d'aigua de refrigeració (V-506), obrint la vàlvula en cas de necessitar refredar més el fluid de procés o tancant la vàlvula en cas contrari.

A mode informatiu també es troba un indicador de temperatura (TI-1504) a la sortida del corrent d'aigua de refrigeració per detectar possibles anomalies.

4.2.3.6 Sistema de control del reflux de la columna DC-301

El reflux de la columna es controlarà amb la vàlvula reguladora V-316 que li arriba el senyal de l'indicador TI-1308. Aquest control permet ajustar el valor de reflux per a mantenir la separació amb la composició de producte desitjat.

4.2.3.7 Sistema de control de l'acumulador de reflux A-301

En l'acumulador el paràmetre important a controlar és el nivell d'aquest, ja que s'ha de mantenir a un cert nivell per a tenir, primerament, reflux necessari i que no s'inundi la columna. Aquest nivell es controla amb el corrent de sortida de destil·lat. Segons el nivell que sigui necessari, la V-318 connectada al FC-1319 obrirà o tancarà.

4.2.3.8 Sistema de control de la bomba P-301

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

Per a mantenir la pressió desitjada, hi ha un indicador (PI-1314) que segons el valor donat, l'indicador de potència de la bomba (JI-1313) efectuarà més o menys energia per a poder variar la pressió de sortida.

El transmissor de cabal FT-1315 envia el senyal de manera indicativa per a poder comprovar el correcte funcionament de la bomba d'impulsió.

Prèviament a la bomba es troba una vàlvula manual per si fes falta aïllar l'equip i posteriorment es troba una vàlvula antiretorn (V-312) i una vàlvula manual.

4.2.3.9 Sistema de control bescanviador HE-302

La principal variable a controlar del bescanviador HE-302 és la temperatura a la sortida del fluid del procés. Aquest control es fa mitjançant un transmissor de temperatura (TT-1320) que envia el senyal a la vàlvula reguladora d'entrada de cabal d'aigua de refrigeració (V-511), obrint la vàlvula en cas de necessitar refredar més el fluid de procés o tancant la vàlvula en cas contrari.

A mode informatiu també es troba un indicador de temperatura (TI-1506) a la sortida del corrent d'aigua de refrigeració per detectar possibles anomalies.

4.2.4. Sistema de control de la Zona 3.2

4.2.4.1 Sistema de control de l'alimentació del neutralitzador N-301

Per tal de controlar l'entrada de reactius al reactor, a la línia de procés procedent de l'intercanviador HE-302 solament hi ha una vàlvula antiretorn V-319, una purga i una automàtica de bloqueig V-321. En quant l'addició d'hidròxid de bari, es regula mitjançant una vàlvula reguladora de cabal V-324, la qual rep un senyal del transmissor de flux FT-1322.

4.2.4.2 Sistema de control del neutralitzador N-301

El N-301 consta d'una entrada auxiliar de nitrogen per tal de pressuritzar el neutralitzador, la qual té instal·lades una vàlvula de purga, una manual, una antiretorn, una reguladora de cabal automàtica, una altra de purga, una de comporta automàtica i finalment una manual. El control de cabal de la línia es realitza mitjançant la vàlvula reguladora FC-1405, la qual rep un senyal del transmissor de pressió del neutralitzador PT-1324.

El tanc també consta d'un indicador de temperatura TI-1325 per tal de comprovar que la temperatura no augmenta.

A més a més, s'instal·la un transmissor de nivell LT-1323, el qual li envia el senyal a la vàlvula automàtica del fons del tanc FC-1326.

4.2.4.3 Sistema de control de l'alimentació al decantador D-301

Per tal de controlar l'entrada al decantador, es regula mitjançant una vàlvula reguladora de cabal V-331, la qual rep un senyal del transmissor de flux FT-1327.

4.2.4.4 Sistema de control del decantador D-301

El sistema de control del decantador s'ha realitzat mitjançant un transmissor de nivell d'interfase LT-1329, el qual funciona mitjançant la detecció de les densitats dels fluids. Com en aquest cas el líquid i el sòlid tenen densitats molt diferents, el detector és capaç de diferenciar on comença un i acaba l'altre.

D'aquesta forma, el transmissor envia un senyal a la vàlvula automàtica del fons del decantador V-333 la qual obrirà i tancarà depenent del nivell de sòlid que hi hagi, per exemple, quan hi hagi un 40% de nivell d'interfase la vàlvula obrirà i quan arribi al 10% tornarà a tancar. Sempre es deixarà un marge de seguretat per tal que el líquid no surti pel fons del decantador i així assegurar un òptim funcionament del decantador.

4.2.4.5 Sistema de control de la bomba P-302

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

Per a mantenir la pressió desitjada, hi ha un indicador (PI-1334) que segons el valor donat, l'indicador de potència de la bomba (JI-1332) efectuarà més o menys energia per a poder variar la pressió de sortida.

El transmissor de cabal FT-1335 envia el senyal de manera indicativa per a poder comprovar el correcte funcionament de la bomba d'impulsió.

4.2.5. Sistema de control de la Zona 3.3

4.2.5.1 Sistema de control de l'alimentació a la columna DC-302

Per al control de l'alimentació de la columna s'utilitza un controlador de cabal (FC-1336) que envia el senyal a la vàlvula controladora V-339 per tal de poder manipular aquesta variable, en cas que fos necessari, per obtenir la separació desitjada a la columna.

Prèviament a la V-338 es troba una vàlvula manual que en el cas que es trobés tancada temporalment, pel bloqueig de la línia principal, l'alimentació passaria pel *bypass*, si no, en condicions normals, la vàlvula manual V-342 es trobaria tancada. Posterior a la V-339 es troba una altre manual, una purga i una última manual just abans de la columna DC-302 per si fos necessari tallar l'alimentació.

4.2.5.2 Sistema de control del fons de la columna DC-301

En el fons de la columna es controla tant la temperatura com el nivell d'aquesta. La primera variable es controla mitjançant un transmissor de temperatura (TT-1337) que envia directament el senyal a la vàlvula reguladora de l'entrada de vapor d'aigua del *reboiler* (V-612). En el cas que fos necessari augmentar la temperatura la vàlvula V-612 s'obriria deixant passar més vapor per augmentar l'intercanvi de calor en el *reboiler*.

Respecte al nivell, aquest es controla mitjançant el transmissor de nivell (LT-1338) connectat al controlador de flux (FC-1353). Quan es detecta més nivell del desitjat la vàlvula V-355, on es situa el controlador esmentat anteriorment, obrirà deixant pas a la sortida de pesats i així disminuir el nivell de la columna. A més a més, hi ha instal·lat un indicador de nivell per donar informació respecte del nivell de la columna a la mateixa planta.

Pel que fa al corrent de sortida pel fons de columna (corrent amb propilenglicol i aigua), en aquest es troba una purga, una vàlvula manual que en el cas que es trobés tancada temporalment, pel bloqueig de la línia principal, l'alimentació passaria pel *bypass*, si no, en condicions normals, la vàlvula manual V-358 es trobaria tancada. Posterior a la V-354 es troba la reguladora que va en funció del nivell de la columna, una altre manual i una última purga.

4.2.5.3 Sistema de control al cap de la columna DC-302

Al cap de la columna DC-302 es controla principalment la pressió de cap. Aquesta es controla manipulant el cabal del corrent de torxa, obrint o tancant la vàlvula associada a aquell corrent augmentarà o disminuirà la pressió de la columna. A més a més, es troba un indicador de temperatura TI-1340 on es mesura la temperatura de cap de columna. També hi ha un indicador de pressió diferencial (DPI-1350) instal·lat en la columna, connectat en dos punts diferents (cap i fons) que serveix per tenir un mesurador de la diferència de pressions i evitar que la columna s'inundi.

4.2.5.4 Sistema de control del condensador C-302

La variable a controlar en el condensador C-302 és la temperatura a la sortida del fluid de procés. El transmissor de temperatura (TT-1342) envia el senyal a la vàlvula reguladora d'entrada de cabal d'aigua de refrigeració (V-516), obrint la vàlvula en cas de necessitar refredar més el fluid de procés o tancant la vàlvula en cas contrari.

A mode informatiu també es troba un indicador de temperatura (TI-1508) a la sortida del corrent d'aigua de refrigeració per detectar possibles anomalies.

4.2.5.5 Sistema de control del reflux de la columna DC-302

El reflux de la columna es controlarà amb la vàlvula reguladora V-348 que li arriba el senyal de l'indicador TI-1340. Aquest control permet ajustar el valor de reflux per a mantenir la separació amb la composició de producte desitjat.

4.2.5.6 Sistema de control de l'acumulador de reflux A-302

En l'acumulador el paràmetre important a controlar és el nivell d'aquest, ja que s'ha de mantenir a un cert nivell per a tenir, primerament, reflux necessari i que no s'inundi la columna. Aquest nivell es controla amb el corrent de sortida de destil·lat. Segons el nivell que sigui necessari, la V-351 connectada al FC-1351 obrirà o tancarà.

4.2.5.7 Sistema de control de la bomba P-303

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

Per a mantenir la pressió desitjada, hi ha un indicador (PI-1347) que segons el valor donat, l'indicador de potència de la bomba (JI-1345) efectuarà més o menys energia per a poder variar la pressió de sortida.

El transmissor de cabal FT-1346 envia el senyal de manera indicativa per a poder comprovar el correcte funcionament de la bomba d'impulsió.

Prèviament a la bomba es troba una vàlvula manual per si fes falta aïllar l'equip i posteriorment es troba una vàlvula manual.

4.2.5.8 Sistema de control bescanviador HE-303

La principal variable a controlar del bescanviador HE-303 és la temperatura a la sortida del fluid del procés. Aquest control es fa mitjançant un transmissor de temperatura (TT-1352) que envia el senyal a la vàlvula reguladora d'entrada de cabal d'aigua de refrigeració (V-521), obrint la vàlvula en cas de necessitar refredar més el fluid de procés o tancant la vàlvula en cas contrari.

A mode informatiu també es troba un indicador de temperatura (TI-1510) a la sortida del corrent d'aigua de refrigeració per detectar possibles anomalies.

4.2.6. Sistema de control de la Zona 3.4

4.2.6.1 Sistema de control de l'alimentació a la columna DC-303

Per al control de l'alimentació de la columna s'utilitza un transmissor de cabal (FT-1354) que envia el senyal a la vàlvula controladora V-360 per tal de poder manipular el cabal, en cas que fos necessari, per obtenir la separació desitjada a la columna.

Prèviament a la V-360 es troba una vàlvula manual que en el cas que es trobés tancada temporalment, pel bloqueig de la línia principal, l'alimentació passaria pel *bypass*, si no, en condicions normals, la vàlvula manual V-363 es trobaria tancada. Posterior a la V-360 es troba una altre manual, una purga i una última manual just abans de la columna DC-303 per si fos necessari tallar l'alimentació.

4.2.6.2 Sistema de control del fons de la columna DC-303

En el fons de la columna es controla tant la temperatura com el nivell d'aquesta. La primera variable es controla mitjançant un transmissor de temperatura (TT-1356) que envia directament el senyal a la vàlvula reguladora de l'entrada de vapor d'aigua del *reboiler* (V-622). En el cas que fos necessari augmentar la temperatura la vàlvula V-622 s'obriria deixant passar més vapor per augmentar l'intercanvi de calor en el *reboiler*.

Respecte al nivell, aquest es controla mitjançant el transmissor de nivell (LT-1357) connectat al controlador de flux (FC-1371). Quan es detecta més nivell del desitjat la vàlvula V-377, on es situa el controlador esmentat anteriorment, obrirà deixant pas a la sortida de pesats i així disminuir el nivell de la columna. A més a més, hi ha instal·lat un indicador de nivell per donar informació respecte el nivell de la columna a la mateixa planta.

Pel que fa al corrent de sortida pel fons de columna (propilenglicol), en aquest es troba una purga, una vàlvula manual que en el cas que es trobés tancada temporalment, pel bloqueig de la línia principal, l'alimentació passaria pel *bypass*, si no, en condicions normals, la vàlvula manual V-380 es trobaria tancada. Posterior a la V-376 es troba la reguladora que va en funció del nivell de la columna, una altre manual i una última purga.

4.2.6.3 Sistema de control bescanviador HE-304

La principal variable a controlar del bescanviador HE-304 és la temperatura a la sortida del fluid del procés. Prèviament, a l'entrada de l'HE-304 es troba un indicador de temperatura (TI-1372) a mode informatiu.

A la sortida del bescanviador està la variable principal a controlar que es fa mitjançant un altre transmissor de temperatura (TT-1373) que envia el senyal a la vàlvula reguladora d'entrada de cabal d'aigua de refrigeració (V-531), obrint la vàlvula en cas de necessitar refredar més el fluid de procés o tancant la vàlvula en cas contrari. Després del transmissor de temperatura es troba una purga i una vàlvula manual.

A mode informatiu també es troba un indicador de temperatura (TI-1514) a la sortida del corrent d'aigua de refrigeració per detectar possibles anomalies.

4.2.6.4 Sistema de control al cap de la columna DC-303

Al cap de la columna DC-303 es controla principalment la pressió de cap. Aquesta es controla manipulant el cabal del corrent de torxa, obrint o tancant la vàlvula associada a aquell corrent augmentarà o disminuirà la pressió de la columna. A més a més, es troba un indicador de temperatura TI-1359 on es mesura la temperatura de cap de columna. També hi ha un indicador de pressió diferencial (DPI-1369) instal·lat en la columna, connectat en dos punts diferents (cap i fons) que serveix per tenir un mesurador de la diferència de pressions i evitar que la columna s'inundi.

4.2.6.5 Sistema de control del condensador C-303

La variable a controlar en el condensador C-303 és la temperatura a la sortida del fluid de procés. El transmissor de temperatura (TT-1361) envia el senyal a la vàlvula reguladora d'entrada de cabal d'aigua de refrigeració (V-526), obrint la vàlvula en cas de necessitar refredar més el fluid de procés o tancant la vàlvula en cas contrari.

A mode informatiu també es troba un indicador de temperatura (TI-1512) a la sortida del corrent d'aigua de refrigeració per detectar possibles anomalies.

4.2.6.6 Sistema de control del reflux de la columna DC-303

El reflux de la columna es controlarà amb la vàlvula reguladora V-370 que li arriba el senyal de l'indicador TI-1359. Aquest control permet ajustar el valor de reflux per a mantenir la separació amb la composició de producte desitjat.

4.2.6.7 Sistema de control de l'acumulador de reflux A-303

En l'acumulador el paràmetre important a controlar és el nivell d'aquest, ja que s'ha de mantenir a un cert nivell per a tenir, primerament, reflux necessari i que no s'inundi la columna. Aquest nivell es controla amb el corrent de sortida de destil·lat. Segons el nivell que sigui necessari, la V-373 connectada al FC-1370 obrirà o tancarà.

4.2.6.8 Sistema de control de la bomba P-304

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

Per a mantenir la pressió desitjada, hi ha un indicador (PI-1365) que segons el valor donat, l'indicador de potència de la bomba (JI-1364) efectuarà més o menys energia per a poder variar la pressió de sortida.

El transmissor de cabal FT-1366 envia el senyal de manera indicativa per a poder comprovar el correcte funcionament de la bomba d'impulsió.

Prèviament a la bomba es troba una vàlvula manual per si fes falta aïllar l'equip i posteriorment es troba una vàlvula antiretorn (V-366) i una vàlvula manual.

4.3. Disseny bàsic d'instruments i canonades

4.3.1. Vàlvula de control V-103

En aquest apartat es troba la fulla d'especificació de la vàlvula de control V-103, ubicada a l'inici del procés de producció a la canonada T-1101-1"-SS. A l'Annex A.12 es podrà observar el seu càlcul corresponent.

1	PROYECTO	TFG_2209	ESPECIFICACIÓN		Nº	1,00
2	EMPRESA	-			HOJA Nº	1 de 1
3	FÁBRICA	-			FECHA	29/05/2022
4	PLANTA	PROD. MPG			PREPARADO	29/05/2022
5					REVISADO	07/06/2022
6			APROBADO	07/06/2022		
7						
8	ITEM	V-103				
9	REFERENCIA P&ID		V-103			
10	SERVICIO		Válvula de control			
11	DIAMETRO LINEA	inch	1			
12	FASE		Liquid			
13	VAPORIZACION EN VALVULA	(SI/NO)	NO			
14	CAUDAL	NORMAL	kg/h	4358		
15	CAUDAL	MINIMO/MAXIMO	kg/h	3486 5230		
16	PERDIDA CARGA NORMAL		m	0,092		
17	PERDIDA CARGA MINIMA/MAXIMA		m	0,01 1,8		
18						
20	PRESIÓN DE ENTRADA		kPa	101,3		
21	TEMPERATURA ENTRADA		°C	30		
22						
23	Fase GAS					
24	DENSIDAD		kg/m ³	-		
25	VISCOSIDAD		cP	-		
26	PESO MOLECULAR			-		
27	RELACIÓN CP/CV			-		
28	FACTOR COMPRESIBILIDAD Z			-		
29						
30	Fase LÍQUIDA					
31	DENSIDAD		kg/m ³	815,3		
32	VISCOSIDAD		cP	0,3327		
33	PRESIÓN VAPOR		kg/cm ^{2a}			
34						
35						
36	VÁLVULA					
37	Cv CALCULADO			54,2		
38	Cv INSTALADO			56,91		
39	ESTANQUEIDAD REQUERIDA			-		
40	ACCIÓN A FALLO DE AIRE			OBRE		
41						
42	Notas	Válvula situada a la canonada T-1101-1"-SS				
43						

Figura 4.1. Full d'especificació de la vàlvula de control V-103.

4.3.2. Detalls de canonades

A l'hora de llistar les canonades s'ha tingut en compte les condicions a les quals es troben els diferents corrents per a seleccionar els diàmetres nominals. Un altre factor important és el material (316L) de les canonades, ja que s'ha tingut en compte la corrosió generada pels compostos del procés. S'han dissenyat seguint la normativa ASME, obtenint l'espessor de les canonades d'aquest material. Degut a la corrosió per estrès produïda pels compostos del procés, s'ha escollit una Schedule 40. Els diàmetres nominals s'han extret de la taula ASME/ANSI B36.10/19-Stainless Steel Pipes-Dimension.

A més a més es col·locarà un calorifugat en les línies que hi hagi una temperatura major a 50°C ja siguin reactius, producte, vapor, etc. Amb aquest sistema el que es busca és millorar i facilitar el control i la qualitat del procés, ja que no hi haurà canvis bruscos de temperatura en els trams de canonades i per últim millorar la seguretat per a l'operari de la planta, és a dir, intentar evitar cremades que podrien ocasionar el contacte amb les canonades.

Taula 4.2. Espessor del calorifugat segons el diàmetre i la temperatura.

Diàmetre (\emptyset) exterior [mm] de la canonada	Espessor mínim de l'aïllament en funció de la temperatura màxima del fluid		
	40-60°C	60-100°C	100-250°C
60 < \emptyset ≤ 90	30 mm	30 mm	40 mm
90 < \emptyset ≤ 140	30 mm	40 mm	50 mm
140 < \emptyset	35 mm	40 mm	50 mm

4.4. Disseny bàsic d'equips

4.4.1. Mixer M-101

Aquest *mixer* és l'encarregat de mesclar l'òxid de propilè amb el metanol, aquest últim encarregat de diluir el PO. La mescla resultant anirà al T-101, equip que fa la funció de pulmó per tal d'homogeneïtzar encara més la mescla.

El disseny d'aquest equip s'ha realitzat mitjançant la norma ASME Secció VIII Div.1. (ref. 15). Aquesta metodologia es podrà observar a l'Annex A.2.

A continuació, es mostrarà una taula amb el balanç de matèria dels corrents d'entrada i sortida del *mixer* M-101.

Taula 4.3. Balanç de matèria del *mixer* M-101.

Compost	1 (Metanol) (kg/h)	2 (Òxid de propilè) (kg/h)	3 (Sortida) (kg/h)
Metanol	$1,45 \cdot 10^{-3}$	0,00	$1,45 \cdot 10^{-3}$
Òxid de propilè	0,00	4.358	4.358
TOTAL	$1,45 \cdot 10^{-3}$	4.358	4.358

Cal destacar que la quantitat que entra de metanol és tan petita, ja que es tracta de la diferència entre la quantitat que hauria d'entrar a la posada en marxa del procés i la recirculació pel cap de la columna DC-302 d'aquest compost.

Pel que fa a l'agitador d'aquest *mixer* aquest es tracta d'un agitador vertical GFL dissenyat per l'empresa Inoxmim, les característiques d'aquest es poden veure a l'Annex A.1.

Finalment, es mostra el full d'especificació del *mixer* M-101.

4.4.2. Tanc T-101

Aquest tanc és l'encarregat d'homogeneïtzar la mescla provinent del *mixer* M-101 composta per òxid de propilè i metanol. Seguidament, aquesta mateixa anirà al M-102, equip que fa la funció de mesclar el metanol i l'òxid de propilè amb l'aigua.

El disseny d'aquest equip s'ha realitzat mitjançant la norma ASME Secció VIII Div.1. (ref. 15). Aquesta metodologia es podrà observar a l'Annex A.2.

A continuació, es mostrarà una taula amb el balanç de matèria dels corrents d'entrada i sortida del tanc T-101.

Taula 4.4. Balanç de matèria del tanc T-101.

Compost	3 (Entrada) (kg/h)	4 (Sortida) (kg/h)
Metanol	$1,45 \cdot 10^{-3}$	$1,45 \cdot 10^{-3}$
Òxid de propilè	4.358	4.358
TOTAL	4.358	4.358

Cal destacar que la quantitat que entra de metanol és tan petita, ja que es tracta de la diferència entre la quantitat que hauria d'entrar a la posada en marxa del procés i la recirculació pel cap de la columna DC-302 d'aquest compost.

Finalment, es mostra el full d'especificació del tanc T-101.

Disseny d'una planta petroquímica de producció de monopropilenglicol

1	GENERAL	Item:	T-101			
2		Service:	Acabar de mesclar la barreja de metanol i òxid de propilè per tal d'assegurar que aquesta sigui perfecta			
3		Type of roof:	1:2 eHipsoidal			
4		Diameter:	2 m			
5		Capacity:	25,2 m ³			
6	OPERAT. COND.	Operating Pressure		121,3	kPa	
7		Operating Temperature		30	°C	
8		Liquid Density		812,8337	kg/m ³	
9		Inlet flow		5.458	m ³ /h	
10		Outlet flow		5.458	m ³ /h	
11		Design Pressure (eff.)		186,7	kPa	
12		Vacuum (abs.)			kPa	
13		Design Temperature		121,1	°C	
14		Corr. Allow.	Shell/Heads	3	mm	
15		Courses:			Nº	
16		Joint Eff.	Shell/Heads			
17		Code:		ASME VIII Div I		
18		Radiograph:		85	%	
19		Stress Relieve:	X Yes Parts:		No	
20		Insulation:	Yes Thickness (mm.):		X No	
21		Fireproofing:	Yes		X No	
22		Sandblast:	Yes Grade:		X No	
23		Paint:	Yes Parts:		X No	
24		Wt. Empty:		577	kg	
25		Wt. Full of product:		21.045	kg	
26		Wt. Full of water:		25.758	kg	
27		Hydrostatic Test (eff.)		267	kPa	
28	MATERIALS		Thickness (mm.)	Mat'l Class		
29		Perimetral ring	4,92	316L		
30		Shell course	4,92	316L		
31		Partition Plate	-	316L		
32		Circuit Breaker	-	316L		
33		Brackets for internals	-	316L		
34		Screws/Nuts int.	-	316L		
35		External Screws/Nuts	-	316L		
36		Internal Gaskets	-	316L		
37		External Gaskets	-	316L		
38		External Supports	-	316L		
39		Roof	4,91	316L		
40		Bottom	4,91	316L		
41	NOZZLES	Service	Mark	No.	Dia.	Rating
42		Nitrogen	E	1	2"	Entrada
43		-	E	2	6"	Entrada
44		-	E	3	2"	Entrada
45		Corrent procés	E	4	1"	Entrada
46		-	E	5	1"	Entrada
47		Torxa	S	1	6"	Sortida
48		Corrent procés	S	2	1"	Sortida
49		Nivell	L	1	2"	Transmissor
50		Pressió	P	1	2"	Transmissor
51		Temperatura	T	1	2"	Transmissor
52		Boca de home	BH	1	24"	Entrada
53						
54						
55	NOTES:	El radiografiat del tanc es per punts (PARCIAL)				
56						
57						
58						
59						
60						
61						
62	0					
63	REV.	DATE	PREP.	APPR.		
64						

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

Figura 4.3. Full d'especificació del tanc T-101.

4.4.3. Mixer M-102

Aquest *mixer* és l'encarregat de mesclar l'òxid de propilè i el metanol amb l'aigua. La mescla resultant anirà al R-201, equip on es produeix la reacció i la producció del propilenglicol.

El disseny d'aquest equip s'ha realitzat mitjançant la norma ASME Secció VIII Div.1. (ref. 15). Aquesta metodologia es podrà observar a l'Annex A.2.

A continuació, es mostrarà una taula amb el balanç de matèria dels corrents d'entrada i sortida del *mixer* M-102.

Taula 4.5. Balanç de matèria del *mixer* M-102.

Compost	4 (Sortida T-101) (kg/h)	5 (Aigua) (kg/h)	15.5 (Recirculació metanol) (kg/h)	6 (Sortida) (kg/h)
Metanol	$1,45 \cdot 10^{-3}$	0,00	1.100	1.100
Òxid de propilè	4.358	0,00	0,00	4.358
Aigua	0,00	27,738	29,9	27.768
TOTAL	4.358	27.738	1.130	33.226

Pel que fa a l'agitador d'aquest *mixer* aquest es tracta d'un agitador vertical GFL dissenyat per l'empresa Inoxmim, les característiques d'aquest es poden veure a l'Annex A.1.

Finalment, es mostra el full d'especificació del *mixer* M-102.

4.4.4. Bomba P-101

La bomba P-101 impulsa el corrent que surt del M-102 fins a la DC-301, passant pel R-201. Aquest corrent està format per PO, aigua i metanol. El disseny d'aquesta bomba s'ha fet mitjançant l'empresa INOXPA.

Es va enviar uns paràmetres inicials de la bomba per poder rebre alguna proposta de l'empresa, també es va comentar que era una bomba que treballava en càrrega i havia de ser ATEX. Els paràmetres enviats apareixen a la següent taula.

Taula 4.6. Paràmetres inicials pel disseny de la bomba P-101.

Paràmetres	Valor	Unitat
Caudal	34,42	m ³ /h
Temperatura	30,00	°C
Densitat	977,6	kg/m ³
Viscositat	0,7604	cP
Pressió aspiració	101,3	kPa
Velocitat Fluid	3	m/s

A més a més, l'empresa va demanar els següents paràmetres per calcular la pèrdua de càrrega de la línia d'impulsió i així dissenyar finalment la bomba.

Taula 4.7. Paràmetres per calcular la pèrdua de càrrega de la bomba P-101.

Paràmetres	Valor
Diàmetre de la canonada (")	3
Longitud total horitzontal (m)	10
Longitud total vertical (m)	16
Quantitat de colzes 90°	3
Quantitat de vàlvules	9

També s'ha calculat el NPSH disponible de la bomba P-101, el qual s'ha obtingut un valor d'11,4. El càlcul detallat apareix en l'Annex A.3.

A continuació es mostra el full d'especificació de la bomba P-101 la qual subministra INOXPA:

PUMP CALCULATION SUMMARY SHEET

1	Nº OF PUMPS	1	RUN:	SPARE:	<p>Pump Curve</p>
2	SERVICE	Impulsió cap el R-201			
3	ITEM	P-101			
4	MODEL	HYGINOX SE 26			
5	FLUID PUMPED	Reactius			
6	OPER. TEMP	30	°C		
7	DENSITY	977,6	kg/m ³		
8	VISCOSITY	1	cP		
9	VAPOR PRESS.	1	kPa a		
10	NORM. CAPACITY	34	m ³ /h		
11	MAX. CAPACITY	44	m ³ /h		
12					
13	SUCTION CONDITIONS				
14	TOTAL SUCT. PR.	101,3	kPa		
15	NPSH (m.w.c.)	11	m		
16					
17	DISCHARGE CONDITIONS				
18	LIQUID HEAD	18	m.c.a		
19	TOTAL DISCH. PR.	306	kPa		
20	DIFF. PRESSURE	174,3	kPa		
21	DIFF. HEAD (m.w.c.)	18	m		
22	PUMP REQUIREMENTS				
23	TYPE PUMP	Centrífuga (C1426)			
24	ESTIMATED EFF.	59	%		
25	ESTIMATED Rot. freq.	39	s-1		
26	ESTIMATED Power	3	kW		
27	TYPE DRIVER	Motor Elèctric			
28	STEAM (abs.)		kg/cm ² g °C		
29	ELECTRICITY	V: 230/400	PH: 50	Hz	
30					
31					
32	PUMP MATERIALS				
33	CASE	AISI316L			
34	IMPELLER				
35	SHAFT	316L			
36	SHAFT SLEEVE	316L			
37	SEAL/PACKING	Doble tanca mecànica			
38	PISTON				
39					
40	Nozzles	Mark	Nº	Dia.	Rating
41	Suction		6	65	mm
42	Discharge		6,5	50	mm
43					
44					
45	0				
46	REV.	DATE	PREP.	APPR.	
47					
					<p>Gen. Arr. Drawin</p>
					<p>UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química Departament d'Enginyeria Química</p>

Figura 4.5. Full d'especificació de la bomba P-101.

4.4.5. Reactor R-201

El reactor és l'equip on es produeix la reacció entre l'òxid de propilè i l'aigua per la formació del propilenglicol. A part dels dos reactius també es troben dins del reactor el metanol i l'àcid sulfúric, aquest últim fa la funció de catalitzador.

El disseny d'aquest equip s'ha realitzat mitjançant la norma ASME Secció VIII Div.1. (ref. 15). Aquesta metodologia es podrà observar a l'Annex A.2.

A continuació, es mostrarà una taula amb el balanç de matèria dels corrents d'entrada i sortida del reactor R-201.

Taula 4.8. Balanç de matèria del reactor R-201.

Compost	6,5 (Sortida M-102) (kg/h)	7 (H₂SO₄) (kg/h)	9,5 (Recirculació H₂SO₄) (kg/h)	8 (Sortida) (kg/h)
Metanol	1.100	0,00	0,00	1.100
Òxid de propilè	4.358	0,00	0,00	0,00
Aigua	27.768	$8,92 \cdot 10^{-5}$	0,00	26.416
Àcid sulfúric	0,00	$1,82 \cdot 10^{-2}$	38,0	38,0
Propilenglicol	0,00	0,00	0,50	5.710
TOTAL	33.226	$1,83 \cdot 10^{-2}$	38,5	33.265

Cal destacar que la quantitat que entra d'àcid sulfúric és tan petita, ja que es tracta de la diferència entre la quantitat que hauria d'entrar a la posada en marxa del procés i la recirculació pel fons de la columna DC-301 d'aquest compost.

Pel que fa a l'agitador d'aquest *mixer* aquest es tracta d'un agitador vertical GFL dissenyat per l'empresa Inoxmim, les característiques d'aquest es poden veure a l'Annex A.1.

Finalment, es mostra el full d'especificació del reactor R-201.

4.4.6. Bescanviador HE-301

Aquest bescanviador rep el corrent de procés provinent del fons de la columna de destil·lació DC-301 i es dirigeix cap al reactor R-201 amb l'objectiu de refrigerar la recuperació d'H₂SO₄ fins als 30°C.

Primerament, es va fer un primer disseny amb el mètode Kern, a l'Annex A.4.1.2 es podrà observar la metodologia. A continuació es mostren les dades inicials pel disseny de l'HE-301.

Taula 4.9 Paràmetres introduïts a l'*Aspen EDRTM v11* pel disseny de l'HE-301.

Paràmetre	Valor
Temperatura entrada procés (°C)	279
Pressió entrada procés (kPa)	131
Cabal entrada procés (kg/h)	38,5
Temperatura entrada aigua refrigeració (°C)	25,0
Temperatura sortida aigua refrigeració (°C)	28,6
Longitud tubs (mm)	1.219
Diàmetre tubs (mm)	19,1
Patró dels tubs	30 triangular
<i>Pitch</i> (mm)	23,8
Nombre de passos per tubs	2,00
Nombre de passos per carcassa	1,00

Un cop obtingudes aquestes dades es va realitzar el disseny rigorós mitjançant *Aspen EDRTM* i el mètode Kern. A continuació, es mostraran els resultats i la fulla d'especificació de l'equip:

Taula 4.10. Paràmetres obtinguts amb l'*Aspen EDRTM* i mètode Kern pel disseny de l'HE-301.

Paràmetre	<i>Aspen EDRTM</i>	Mètode Kern
Calor bescanviada (kW)	4,20	4,23
Àrea (m ²)	1,80	2,00
U (W/m ² K)	37,0	37,0
Nº tubs	26,0	36,0
Caiguda de pressió carcassa (kPa)	13,8	2,27·10 ⁻⁴
Caiguda de pressió tubs (kPa)	20,7	5,39·10 ⁻²
Cabal d'entrada d'aigua (kg/h)	1.000	1.000

Es pot observar que tot i la diferència en el nombre de tubs obtinguts mitjançant l'*Aspen* i els càlculs amb el mètode Kern, la resta de característiques són prou similars. Aquestes diferències són degudes a les divergències amb les propietats dels compostos.

Adicionalment, a l'Annex A.4.1.3.1 es mostraran tots els resultats aconseguits amb el mètode Kern i a l'Annex A.4.2.1 la Tema Sheet obtinguda de l'*Aspen EDRTM*.

HEAT EXCHANGER DATA SHEET

1	ITEM No.: HE-301				
2	Service: Refredar el producte dels fons de la columna DC-301 abans d'entrar al R-201.				
3	Type: BEM	Position: Horizontal			Total surface / unit: 1,8 (m²)
4	No. Shell: 1				
5	PERFORMANCE OF UNIT				
6			Shell side		Tube side
7			Inlet	Outlet	Inlet Outlet
8	Fluid name		9		AIGUA REFRIGERACIO
9	Fluid total flow		38,52		1000,08
10	Vapour		0	0	0 0
11	Liquid		38,52	38,52	1000,08 1000,08
12	Noncondensables		0	0	0 0
13					
14	Temperature		279,0	30,9	25 28,63
15	Density (L/V)		1547,67 / 0	1805,52 / 0	998,26 / 0 997,63 / 0
16	Viscosity (L/V)		0,000354 / 0	0,01923 / 0	0,000898 / 0 0,000825 / 0
17	Vapour molecular weight		0	0	0 0
18	Specific heat (L/V)		1,708 / 0	1,442 / 0	4,192 / 0 4,191 / 0
19	Thermal conductivity (L/V)		0,4107 / 0	0,34 / 0	0,6004 / 0 0,6052 / 0
20	Latent heat		0		0
21	Pressure (abs)		1,213	1,177	1,01 0,851
22	Velocity (mean / max)		0,26 / 0,27		2,37 / 2,37
23	Pressure drop (allowable / calculated)		0,1379	0,00003	0,20684 0,01627
24	Fouling resistance (min)		0,0001		0,0001
25	Heat exchanged:		kW		4,2
26	Heat transfer rate (W/m ² K)		Service: 37	Clean: 73,3	
27	CONSTRUCTION PER SHELL				
28	Codes:	Shell side	Tube side	ASME	ASME
29	Design pressure	barg	3,447	3,447	
30	Design temperature	°C	315,56	315,56	
31	No. of passes		1	2	
32	Stress relief				
33	Radiograph.		0	0	
34	Corrosion allowance	mm	0	0	
35	Nozzles	Service	Mark	Dia (")	Rating
36		9	TE2	1	150ANSI
37		9,5	TS2	1	150ANSI
38		CW in	CE2	1	150ANSI
39		CW out	CS2	1	150ANSI
40					
41					
42					
43					
44					
45	MATERIALS			SKETCH	
46		Dia.	Thick. (mm.)	Spec. Mat.	
47	Shell: (mm)	162,7	2,77	SS316L	
48	Channel:			SS316L	
49	Tubesheets:			SS316L	
50	Baffles: n° / mat.		6	SS316L	
51	Baffles spacing:	146,05	mm.		
52					
53	Tubes:				
54	N°		26		
55	OD	0,75	inches		
56	BWG:	16			
57	Length	1219,2	mm		
58	Pitch:	23,81	mm	30 - Triangular ▲	
59					
60					
61					
62					
63					
64	NOTES:				
65					
66					
67					
0		26/04/2022	J.Güixens	D.Martí	
REV.		DATE	PREP.	APPR.	

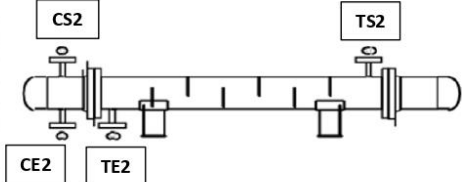


Figura 4.7. Full d'especificació del bescanviador HE-301.

4.4.7. Columna DC-301

Aquesta columna és l'encarregada de destil·lar l'àcid sulfúric pel fons per tal de recircular-lo al reactor i poder aprofitar el catalitzador de la major manera possible, ja que no es consumeix en el procés.

La columna DC-301 no s'ha dissenyat rigorosament com les altres dues, ja que no s'ha trobat forma de poder convergir-la dins l' *Aspen HysysTM v.11* ni dins l' *Aspen PlusTM v.11*. D'aquesta forma s'ha realitzat una aproximació mitjançant la funció columna *shortcut* del programari amb el nombre de plats extret de la bibliografia (ref. 16). Els resultats de la simulació de la columna *shortcut* es poden observar en l'Annex A.5.

Seguidament, es mostrarà una taula amb el balanç de matèria de la columna dels corrents d'alimentació, de cap i de fons.

Taula 4.11. Balanç de matèria de la columna DC-301.

Compost	8,5 (F) (kg/h)	9 (D) (kg/h)	10 (B) (kg/h)
Metanol	1.100	1.100	0
Àcid sulfúric	38,0	0,018	38,0
Aigua	26.416	26.416	0
Propilenglicol	5.710	5.710	0,450
TOTAL	33.264	33.226	38,4

A continuació, es mostra una taula amb les temperatures de cap i fons de la columna DC-301.

Taula 4.12. Temperatures de la columna DC-301.

Paràmetre	Valor
T ^a condensador (°C)	103,1
T ^a reboiler (°C)	279

Ja que no s'ha dissenyat rigorosament la columna, s'ha estimat el valor del diàmetre i del *Tray-spacing* per tal de poder emplenar el full d'especificació i realitzar càlculs posteriors com el cost d'aquesta.

Finalment, es mostra el full d'especificació de la columna DC-301.

Disseny d'una planta petroquímica de producció de monopropilenglicol

TOWER DATA SHEET

TOWER DATA SHEET											
1	GENERAL	Manufacturer:									
2		Item:	DC-301								
3		Service:	Recuperació H ₂ SO ₄								
4		Type:	Plats perforats								
5	OPER. CONDIT.	Product	Metanol-H ₂ O-MPG-H ₂ SO ₄								
6		Temper.	81,8 °C								
7		Pressure	131,3 kPa								
8		Liquid Density	932,6 kg/m ³								
9		Liquid Viscosity	0,5005 cP								
10		Tray Number (Top Tray=No.1)	88								
11		Tower Inside Diameter	1500 mm.								
12		Tray Spacing	609,6 mm.								
13		Max. ΔP per Tray	0,3 kPa								
14		Minimum Area/Downcomer	0,177 m ²								
15	Valves, Bubble Caps / Tray	0									
16	Perforations / Tray	900									
17											
18	DESIGN DATA	Des.Pr. (eff.)	200,3 kPa								
19		Des.Temp.	300 °C								
20		Liquid Density	1637 kg/m ³								
21		Design Range	%								
22		Hydr. Test	181,3 kPa								
23		Code:	ASME Secció VIII Div 1								
24		Corr.Allow.mm: Shell / Heads	2,5 / 2,5 mm.								
25		Joint Efficiency:	%								
26		Stress.Rel.:	X	Yes	No						
27		Radiograph:	X	Yes	No						
28		Sandblast:		Yes	X	No					
29		Paint:	X	Yes	No						
30		Insulation:		Yes	X	No					
31	Fireproofing:	X	Yes	No							
32	Wind Load:	N/m ²									
33	Seismic:		Yes	X	No						
34	Wt.Empty:	3621 kg									
35	Wt.Full Water:	97891 kg									
36	I N T E R N A T I O N A L & L O C A L	Tray No.	Diam.	Spacing	Material						
37		Thru 1 to 78	1,5 m	0,6096 m	SS316L						
38		Thru 79 to 88	1,5 m	0,6096 m	SS316L						
39		Thru to									
40		Thru to									
41	S N A & L S	Contact Device:									
42			Bubble Caps	0							
43			Valves	0							
44			Perfor.	Sieve							
45		Packing:	0								
46		Demister:	0								
47	M A T E R I A L		Thick. (mm.)	Matl Class							
48		Shell-Top									
49		Intermed	10	SS316L							
50		Bottom	10	SS316L							
51											
52		Head-Top									
53		Intermed	10	SS316L							
54		Bottom	10	SS316L							
55											
56											
57											
58											
59	N O O Z L E	Service	Mark	No.	Size	Rating	Service	Mark	No.	Size	Rating
60		Corrent de procés	E	1	3"	Entrada	Pressió	P	3	2"	Transmis
61		Corrent Reboiler procés	E	2	1"	Entrada	Temperatura	T	1	2"	Transmis
62		Corrent Reflux	E	3	2"	Entrada	Temperatura	T	2	2"	Transmis
63		-	E	4	2"	Entrada					
64		Corrent Reboiler procés	S	1	1"	Sortida					
65		Corrent de procés	S	2	1"	Sortida					
66		Torxa	S	3	6"	Sortida					
67		Corrent de procés recirculació	S	4	3"	Sortida					
68		Nivell	L	1	2"	Transmis					
69	Nivell	L	2	2"	Transmis						
70	Pressió	P	1	2"	Transmis						
71	Pressió	P	2	2"	Transmis						
72	NOTES:										
73											
74											
75											
76											
77											
78											
79	0	25/05/2022									
80	REV.	DATE	PREP.	APPR.							
81											

TOWER SKETCH

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

Figura 4.8. Full d'especificació de la columna DC-301.

4.4.8. Bescanviador HE-302

Aquest bescanviador rep el corrent de procés provinent del cap de la columna de destil·lació DC-301 i es dirigeix cap al neutralitzador N-301 amb l'objectiu de refrigerar el corrent de procés fins als 35°C mitjançant aigua sub-refredada.

Primerament, es va fer un primer disseny amb el mètode Kern, a l'Annex A.4.1.2 es podrà observar la metodologia. A continuació es mostren les dades inicials pel disseny de l'HE-302.

Taula 4.13. Paràmetres introduïts a l'*Aspen EDR™ v11* pel disseny de l'HE-302.

Paràmetre	Valor
Temperatura entrada procés (°C)	103
Pressió entrada procés (kPa)	121
Cabal entrada procés (kg/h)	33.256
Temperatura entrada aigua sub-refredada (°C)	5,00
Temperatura sortida aigua sub-refredada (°C)	10,1
Longitud tubs (mm)	2.438
Diàmetre tubs (mm)	19,1
Patró dels tubs	30 triangular
<i>Pitch</i> (mm)	23,8
Nombre de passos per tubs	1,00
Nombre de passos per carcassa	1,00

Un cop obtingudes aquestes dades es va realitzar el disseny rigorós mitjançant *Aspen EDR™* i el mètode Kern. A continuació, es mostraran els resultats i la fulla d'especificació de l'equip:

Taula 4.14. Paràmetres obtinguts amb l'*Aspen EDR™* i el mètode Kern pel disseny de l'HE-302.

Paràmetre	<i>Aspen EDR™</i>	Mètode Kern
Calor bescanviada (kW)	2.394	2.362
Àrea (m ²)	34,6	34,0
U (W/m ² K)	1.238	1.204
Nº tubs	244	239
Caiguda de pressió carcassa (kPa)	12,1	17,2
Caiguda de pressió tubs (kPa)	20,7	22,7
Cabal d'entrada d'aigua (kg/h)	404.845	404.845

Es pot observar que tot i la diferència en el nombre de tubs obtinguts mitjançant l'*Aspen* i els càlculs amb el mètode Kern, la resta de característiques són prou similars. Aquestes diferències són degudes a les divergències amb les propietats dels compostos.

Adicionalment, a l'Annex A.4.1.3.2 es mostraran tots els resultats aconseguits amb el mètode Kern i a l'Annex A.4.2.2 la Tema Sheet obtinguda de l'*Aspen EDR™*.

HEAT EXCHANGER DATA SHEET

1	ITEM No.: HE-302					
2	Service: Refredar el producte de la DC-301 abans d'entrar al neutralitzador					
3	Type: BEM	Position: Horizontal		Total surface / unit: 34,6 (m ²)		
4	No. Shell: 1					
5	PERFORMANCE OF UNIT					
6		Shell side		Tube side		
7		Inlet	Outlet	Inlet	Outlet	
8	Fluid name	10		AIGUA SUBREFREDADA		
9	Fluid total flow	33256		404845		
10	Vapour	0	0	0	0	
11	Liquid	33256	33256	404845	404845	
12	Noncondensables	0	0	0	0	
13						
14	Temperature	103,1	35,1	5	10,1	
15	Density (L/V)	947,9 / 0	992,3 / 0	998,1 / 0	998,8 / 0	
16	Viscosity (L/V)	0,307 / 0	0,847 / 0	1,55 / 0	1,33 / 0	
17	Vapour molecular weight	0	0	0	0	
18	Specific heat (L/V)	3,96 / 0	3,86 / 0	4,20 / 0	4,20 / 0	
19	Thermal conductivity (L/V)	0,577 / 0	0,531 / 0	0,573 / 0	0,58 / 0	
20	Latent heat	0		0		
21	Pressure (abs)	1,213	1,177	1,01	0,851	
22	Velocity (mean / max)	0,26 / 0,27		2,37 / 2,37		
23	Pressure drop (allowable / calculated)	0,21	0,036	0,207	0,162	
24	Fouling resistance (min)	0,0001		0,0001		
25	Heat exchanged:	kW		2394		
26	Heat transfer rate (W/m ² K)	Service: 1237,5	Clean: 1703,2			
27	CONSTRUCTION PER SHELL					
28	Codes:	Shell side	Tube side	ASME	ASME	
29	Design pressure barg	3,45	3,45			
30	Design temperature °C	143,3	48,89			
31	No. of passes	1	1			
32	Stress relief					
33	Radiograph	0	0			
34	Corrosion allowance mm	0	0			
35		Service	Mark	Dia (")	Rating	
36	Nozzles	10	TE4	3	150ANSI	
37		10,5	TS4	3	150ANSI	
38		CW in	CE4	8	150ANSI	
39		CW out	CS4	8	150ANSI	
40						
41						
42						
43						
44						
45	MATERIALS			SKETCH		
46		Dia.	Thick. (mm.)			
47	Shell: (mm)	431,8	4,76			SS316L
48	Channel:					SS316L
49	Tubesheets:					SS316L
50	Baffles: n° / mat.		8			SS316L
51	Baffles spacing:	222,25	mm.			
52						
53	Tubes:					
54	N°	244				
55	OD	0,75	inches			
56	BWG:	16				
57	Length	2438,4	mm			
58	Pitch:	23,81	mm	30 - Triangular ▲		
59						
60						
61						
62						
63						
64	NOTES:					
65						
66						
67						
0		20/04/2022	M.Segura	D.Martí		
REV.		DATE	PREP.	APPR.		

Figura 4.9. Full d'especificació del bescanviador HE-302.

4.4.9. Neutralitzador N-301

El neutralitzador és l'equip encarregat de baixar l'acidesa provocada per l'àcid sulfúric mitjançant hidròxid de bari i així poder complir amb l'especificació del producte final. Després del neutralitzador el corrent de procés anirà cap al decantador.

El disseny d'aquest equip s'ha realitzat mitjançant la norma ASME Secció VIII Div.1. (ref. 15). Aquesta metodologia es podrà observar a l'Annex A.2.

A continuació, es mostrarà una taula amb el balanç de matèria dels corrents d'entrada i sortida del neutralitzador N-301.

Taula 4.15. Balanç de matèria del neutralitzador N-301.

Compost	10,5 (Sortida cap DC-301) (kg/h)	11 (Ba(OH)₂) (kg/h)	12 (Sortida) (kg/h)
Metanol	1.100	0,00	1.100
Aigua	26.416	0,429	26.417
Àcid sulfúric	$1,82 \cdot 10^{-2}$	0,00	0,00
Propilenglicol	5.710	0,00	5.710
Hidròxid de bari	0,00	0,374	0,00
Sulfat de bari	0,00	0,00	1,19
TOTAL	33.226	0,802	33.228

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

4.4.10. Decantador D-301

Aquest equip és l'encarregat de dur a terme la separació del sulfat de bari format al neutralitzador.

El decantador D-301 no s'ha dissenyat ni dimensionat com la resta d'equips per falta de coneixements adquirits al llarg de la carrera. Per tal de demostrar que mitjançant un decantador es pot eliminar el sòlid del procés, s'ha realitzat un assaig al laboratori d'Enginyeria Química de la URV, el procés del qual es pot observar en l'Annex A.10.

Seguidament, es mostra una taula amb el balanç de matèria del decantador.

Taula 4.16. Balanç de matèria del decantador D-301.

Compost	12 (FEED) (kg/h)	13 (SÒLID) (kg/h)	14 (PROCÉS) (kg/h)
Metanol	1.100	0,00	1.100
Sulfat de Bari	1,19	1,19	0,00
Aigua	26.417	0,00	26.417
Propilenglicol	5.710	0,00	5.710
TOTAL	33.228	1,19	33.227

A continuació, es mostren algunes imatges fetes al laboratori de la realització de l'experiment i del resultat final d'aquest.

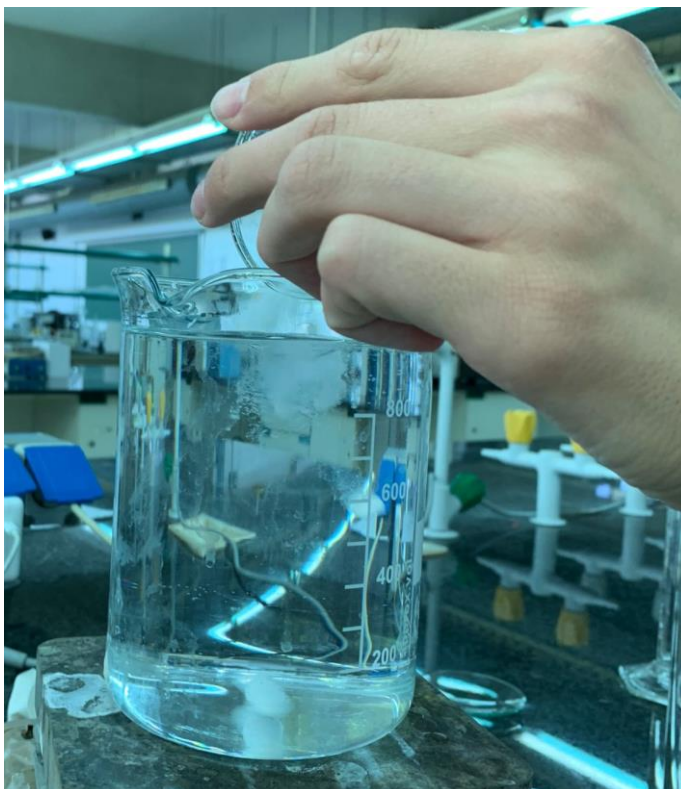


Figura 4.11. Mescla d'aigua, metanol, MPG i àcid amb l'addició de l'hidròxid de Bari.

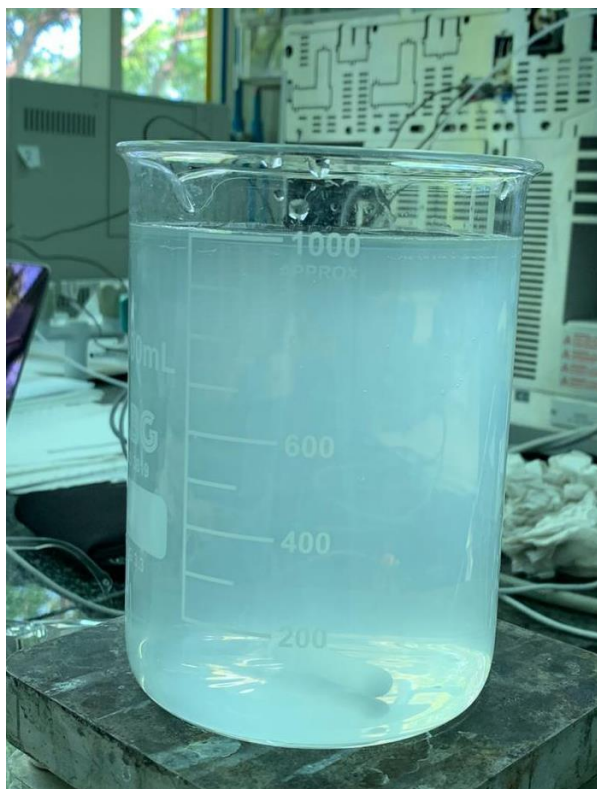


Figura 4.12. Mescla d'aigua, metanol, MPG i sulfat de Bari al cap d'un moment de realitzar la reacció.

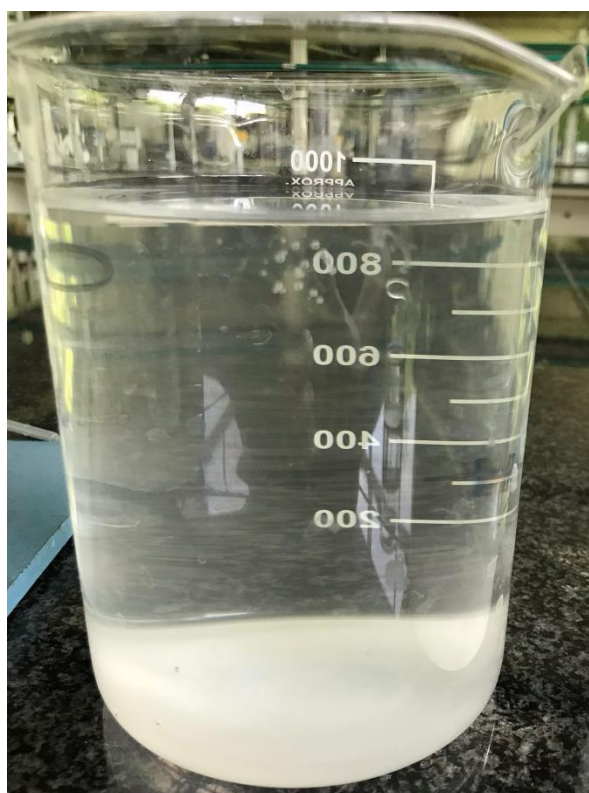


Figura 4.13. Mescla d'aigua, metanol, MPG i sulfat de Bari un cop decantada la sal al fons dels vas de precipitats.

4.4.11. Bomba P-302

La bomba P-302 impulsa el corrent que surt del D-301 fins a la DC-302. Aquest corrent està format per MPG, aigua i metanol. El disseny d'aquesta bomba s'ha fet mitjançant l'empresa INOXPA.

Es va enviar uns paràmetres inicials de la bomba per poder rebre alguna proposta de l'empresa, també es va comentar que era una bomba que treballava en càrrega i havia de ser ATEX. Els paràmetres enviats apareixen a la següent taula.

Taula 4.17. Paràmetres inicials pel disseny de la bomba P-302.

Paràmetres	Valor	Unitat
Caudal	33,44	m ³ /h
Temperatura	32,43	°C
Densitat	973,2	kg/m ³
Viscositat	1,123	cP
Pressió aspiració	101,3	kPa
Velocitat Fluid	3	m/s

A més a més, l'empresa va demanar els següents paràmetres per calcular la pèrdua de càrrega de la línia d'impulsió i així dissenyar finalment la bomba.

Taula 4.18. Paràmetres per calcular la pèrdua de càrrega de la bomba P-302.

Paràmetres	Valor
Diàmetre de la canonada (")	3
Longitud total horitzontal (m)	10
Longitud total vertical (m)	24
Quantitat de colzes 90°	5
Quantitat de vàlvules	6

També s'ha calculat el NPSH disponible de la bomba P-302, el qual s'ha obtingut un valor d'11,7. El càlcul detallat apareix en l'Annex A.3.

A continuació es mostra el full d'especificació de la bomba P-302 la qual subministra INOXPA:

PUMP CALCULATION SUMMARY SHEET

1	Nº OF PUMPS	1	RUN:	SPARE:	<p>Pump Curve</p>
2	SERVICE	Impulsió cap a la DC-302			
3	ITEM	P-302			
4	MODEL	HYGINOX SE 26			
5	FLUID PUMPED	MPG+Metanol+H2O			
6	OPER. TEMP	32	°C		
7	DENSITY	973	kg/m3		
8	VISCOSITY	1	cP		
9	VAPOR PRESS.	1	kPa a		
10	NORM. CAPACITY	33	m3/h		
11	MAX. CAPACITY	52	m3/h		
12					
13	SUCTION CONDITIONS				
14	TOTAL SUCT. PR.,	101,3	kPa		
15	NPSH (m.w.c.)	11	m		
16					
17	DISCHARGE CONDITIONS				
18	LIQUID HEAD	26	m.c.a		
19	TOTAL DISCH. PR.,	374,6	kPa		
20	DIFF. PRESSURE	253,2	kPa		
21	DIFF. HEAD (m.w.c.)	26	m		
22	PUMP REQUIREMENTS				
23	TYPE PUMP	Centrifuga (C1426)			
24	ESTIMATED EFF.	59	%		
25	ESTIMATED Rot. freq.	45	s-1		
26	ESTIMATED Power	4	kW		
27	TYPE DRIVER	Motor Elèctric			
28	STEAM (abs.)		kg/cm ² g °C		
29	ELECTRICITY	V: 230/400	PH: 50	Hz	
30					
31					
32	PUMP MATERIALS				
33	CASE	AISI 316L			
34	IMPELLER				
35	SHAFT	316L			
36	SHAFT SLEEVE	316L			
37	SEAL/PACKING	Doble tanca mecànica			
38	PISTON				
39					
40	Nozzles	Mark	Nº	Dia.	Rating
41	Suction		14	65	mm
42	Discharge		14,5	50	mm
43					
44					
45	0				
46	REV.	DATE	PREP.	APPR.	<p>Gen. Arr. Drawin</p>
47					

Figura 4.14. Full d'especificació de la bomba P-302.

4.4.12. Columna DC-302

Aquesta columna és l'encarregada de destil·lar el metanol de la mescla amb propilenglicol i aigua. La finalitat d'aquesta separació és la recirculació del metanol fins al *mixer* M-102 per tal d'aprofitar-lo, ja que la seva funció és afavorir la mescla entre l'aigua i el PO a l'inici del procés.

El disseny de la columna DC-302 s'ha realitzat mitjançant l'*Aspen HysysTM v.11*. Primerament, s'ha fet un disseny mitjançant la funció de columna *shortcut* del programari amb el nombre de plats extret de la bibliografia (ref. 16). Els resultats obtinguts s'han introduït en la *distillation column* per tal d'obtenir millors resultats i, posteriorment, optimitzar-la. Els resultats amb detall de la simulació de la columna es poden observar en l'Annex A.6.

Seguidament, es mostrarà una taula amb el balanç de matèria de la columna dels corrents d'alimentació, de cap i de fons.

Taula 4.19. Balanç de matèria de la columna DC-302.

Compost	14,5 (F) (kg/h)	15 (D) (kg/h)	16 (B) (kg/h)
Metanol	1.100	1.100	0,002
Aigua	26.417	29,9	26.387
Propilenglicol	5.710	0	5.710
TOTAL	33.227	1.130	32.097

A continuació, es mostra una taula amb algunes de les característiques i paràmetres hidràulics obtinguts de la simulació final de la columna.

Taula 4.20. Característiques i Paràmetres hidràulics de la columna DC-302.

Paràmetre	Valor
Diàmetre (m)	1,50
Tray-spacing (m)	0,609
Alçada total (m)	24,4
Tipus de condensador	Total
Tipus de reboiler	<i>Kettle</i>
T^a condensador (°C)	67,5
T^a reboiler (°C)	106
Nombre de perforacions	900
Pèrdua de càrrega (mbar)	304
Diàmetre perforacions (mm)	12,7

Finalment, es mostra el full d'especificació de la columna DC-302.

TOWER DATA SHEET

TOWER DATA SHEET												
1	GENERAL		Manufacturer:									
2			Item:		DC-302							
3			Service:		Recuperació Metanol							
4			Type:		Plats perforats							
5	OPER. CONDIT.		Product		Metanol-Aigua-MPG		<p>TOWER SKETCH</p>					
6			Temper.		32.4 °C							
7			Pressure		121,3 kPa							
8			Liquid Density		973,2 kg/m ³							
9			Liquid Viscosity		1,123 cP							
10			Tray Number (Top Tray=No.1)		40							
11			Tower Inside Diameter		1500 mm.							
12	Tray Spacing		609,6 mm.									
13	Max. ΔP per Tray		0,3 kPa									
14	Minimum Area/Downcomer		0,177 m ²									
15	Valves, Bubble Caps / Tray		0									
16	Perforations / Tray		900									
17												
18	DESIGN DATA		Des.Pr.(eff.)		181,95 kPa							
19			Des. Temp.		130 °C							
20			Liquid Density		973,2 kg/m ³							
21			Design Range									
22			Hydr. Test		161,3 kPa							
23			Code:		ASME Secció VIII Div 1							
24			Corr.Allow.mm: Shell / Heads		2,5 / 2,5 mm.							
25			Joint Efficiency:									
26			Stress.Rel.:		X Yes No							
27			Radiograph:		X Yes No							
28	Sandblast:		Yes X No									
29	Paint:		X Yes No									
30	Insulation:		Yes X No									
31	Fireproofing:		X Yes No									
32	Wind Load:				N/m ²							
33	Seismic:		Yes X No									
34	WT.Empty:		1499 kg									
35	WT.Full Water:		44133 kg									
36	T N R T A E Y R S N & L S		Tray No.		Diam.		Spacing		Material			
37			Thru 1 to 15		1,5 m		0,6096 m		SS316L			
38			Thru 16 to 40		1,5 m		0,6096 m		SS316L			
39			Thru to									
40			Thru to									
41	Contact Device:											
42			Bubble Caps		0							
43			Valves		0							
44			Perfor.		Sieve							
45	Packing:		0									
46	Demister:		0									
47	M S T E R I F A L				Thick. (mm.)		Matl Class					
48			Shell-Top									
49			Intermed		10		SS316L					
50			Bottom		10		SS316L					
51												
52			Head-Top									
53	Intermed		10		SS316L							
54	Bottom		10		SS316L							
55												
56	Cone Section											
57												
58	Cladding, Lining											
59	N O O Z Z L E		Service		Mark		No.		Size		Rating	
60			Corrent de procés		E		1		3"		Entrada	
61			Corrent Reboiler procés		E		2		3"		Entrada	
62			Corrent Reflux		E		3		1"		Entrada	
63					E		4		2"		Entrada	
64			Corrent Reboiler procés		S		1		3"		Sortida	
65			Corrent de procés		S		2		3"		Sortida	
66			Toixa		S		3		6"		Sortida	
67			Corrent de procés recirculació		S		4		1"		Sortida	
68			Nivell		L		1		2"		Transmis	
69			Nivell		L		2		2"		Transmis	
70			Pressió		P		1		2"		Transmis	
71			Pressió		P		2		2"		Transmis	
72	NOTES:											
73												
74												
75												
76												
77												
78												
79	o		25/05/2022									
80	REV.		DATE		PREP.		APPR.					
81												

Figura 4.15. Full d'especificació de la columna DC-302.

4.4.13. Bescanviador HE-303

Aquest bescanviador rep el corrent de procés provinent del cap de la columna de destil·lació DC-302 i es dirigeix cap al *mixer* M-102 amb l'objectiu de refrigerar el corrent de recuperació del CH₃OH fins als 30°C mitjançant aigua de refrigeració.

Primerament, es va fer un primer disseny amb el mètode Kern, a l'Annex A.4.1.2 es podrà observar la metodologia. A continuació es mostren les dades inicials pel disseny de l'HE-303.

Taula 4.21. Paràmetres introduïts a l'*Aspen EDRTM v11* pel disseny de l'HE-303.

Paràmetre	Valor
Temperatura entrada procés (°C)	67,5
Pressió entrada procés (kPa)	111
Cabal entrada procés (kg/h)	1.130
Temperatura entrada aigua de refrigeració (°C)	25,0
Temperatura sortida aigua de refrigeració (°C)	38,8
Longitud tubs (mm)	5.486
Diàmetre tubs (mm)	19,1
Patró dels tubs	30 triangular
<i>Pitch</i> (mm)	23,8
Nombre de passos per tubs	1,00
Nombre de passos per carcassa	1,00

Un cop obtingudes aquestes dades es va realitzar el disseny rigorós mitjançant *Aspen EDRTM* i el mètode Kern. A continuació, es mostraran els resultats i la fulla d'especificació de l'equip:

Taula 4.22. Paràmetres obtinguts amb l'*Aspen EDRTM* i mètode Kern pel disseny de l'HE-303.

Paràmetre	<i>Aspen EDRTM</i>	Mètode Kern
Calor bescanviada (kW)	32,2	32,2
Àrea (m ²)	10,1	10,2
U (W/m ² K)	212	212
Nº tubs	31,0	36,0
Caiguda de pressió carcassa (kPa)	11,1	8,38·10 ⁻²
Caiguda de pressió tubs (kPa)	20,7	0,820
Cabal d'entrada d'aigua (kg/h)	2.000	2.000

Es pot observar que tot i la diferència en el nombre de tubs obtinguts mitjançant l'*Aspen* i els càlculs amb el mètode Kern, la resta de característiques són prou similars. Aquestes diferències són degudes a les divergències amb les propietats dels compostos.

Adicionalment, a l'Annex A.4.1.3.3 es mostraran tots els resultats aconseguits amb el mètode Kern i a l'Annex A.4.2.3 la Tema Sheet obtinguda de l'*Aspen EDRTM*.

HEAT EXCHANGER DATA SHEET

1	ITEM No.: HE-303					
2	Service: Refredar el producte del cap de la DC-302 abans de ser recirculat al M-102					
3	Type: BEM	Position: Horizontal		Total surface / unit:	10,1 (m ²)	
4	No. Shell: 1					
5	PERFORMANCE OF UNIT					
6			Shell side		Tube side	
7			Inlet	Outlet	Inlet Outlet	
8	Fluid name	15		AIGUA REFRIGERACIO		
9	Fluid total flow	1130		2000		
10	Vapour	kg/h	0	0	0	
11	Liquid	kg/h	1130	1130	2000	
12	Noncondensables	kg/h	0	0	0	
13						
14	Temperature	°C	67,5	31,1	25,0 38,8	
15	Density (L/V)	kg/m ³	752,0 / 0	786,2 / 0	998,3 / 0 994,9 / 0	
16	Viscosity (L/V)	cP	0,379 / 0	0,560 / 0	0,897 / 0 0,668 / 0	
17	Vapour molecular weight		0	0	0	
18	Specific heat (L/V)	kJ/kg.K	3,04 / 0	2,62 / 0	4,19 / 0 4,19 / 0	
19	Thermal conductivity (L/V)	W/mK	0,207 / 0	0,219 / 0	0,600 / 0 0,618 / 0	
20	Latent heat	kJ/kg	0		0	
21	Pressure (abs)	bar	1,113	1,102	1,01 0,992	
22	Velocity (mean / max)	m/s	0,08 / 0,10		0,09 / 0,09	
23	Pressure drop (allowable / calculated)	bar	0,21	0,036	0,207 0,162	
24	Fouling resistance (min)	m ² -K/W	0,0001		0,0001	
25	Heat exchanged:					
26	Heat transfer rate (W/m ² K)	Service:	212,4	Clean:	228,7	
27	CONSTRUCTION PER SHELL					
28	Codes:	Shell side	Tube side	ASME	ASME	
29	Design pressure	bar	3,45	3,45		
30	Design temperature	°C	104,44	104,44		
31	No. of passes		1	1		
32	Stress relief					
33	Radiograph.		0	0		
34	Corrosion allowance	mm	0	0		
35	Nozzles	Service	Mark	Dia (")	Rating	
36		15	TE7	1	150ANSI	
37		15,5	TS7	1	150ANSI	
38		CW in	CE7	1	150ANSI	
39		CW out	CS7	1	150ANSI	
40						
41						
42						
43						
44						
45	MATERIALS			SKETCH		
46		Dia.	Thick. (mm.)			
47	Shell: (mm)	162,7	2,77			SS316L
48	Channel:					SS316L
49	Tubesheets:					SS316L
50	Baffles: n° / mat.		44			SS316L
51	Baffles spacing:	222,25	mm.			
52						
53	Tubes:					
54	N°	31				
55	OD	0,75	inches			
56	BWG:	16				
57	Length	5486,4	mm			
58	Pitch:	121	mm	30 - Triangular ▲		
59						
60						
61						
62						
63						
64	NOTES:					
65						
66						
67						
0		20/04/2022	D.Martí	M.Segura	 UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química Departament d'Enginyeria Química	
REV.		DATE	PREP.	APPR.		

Figura 4.16. Full d'especificació del bescanviador HE-303.

4.4.14. Columna DC-303

Aquesta columna és l'encarregada de destil·lar la mescla final entre aigua i propilenglicol per a l'obtenció d'aquest darrer amb una puresa del 99,8% per fons i tota l'aigua amb la resta de propilenglicol que quedi per cap per realitzar un posterior tractament.

El disseny de la columna DC-303 s'ha realitzat mitjançant l'*Aspen Hysys™ v.11*. Primerament, s'ha fet un disseny mitjançant la funció de columna *shortcut* del programari amb el nombre de plats extret de la bibliografia (ref. 16). Els resultats obtinguts s'han introduït en la *distillation column* per tal d'obtenir millors resultats i, posteriorment, optimitzar-la. Els resultats amb detall de la simulació de la columna es poden observar en l'Annex A.7.

Seguidament, es mostrarà una taula amb el balanç de matèria de la columna dels corrents d'alimentació, de cap i de fons.

Taula 4.23. Balanç de matèria de la columna DC-303.

Compost	16 (F) (kg/h)	17(D) (kg/h)	18 (B) (kg/h)
Metanol	0,002	0,002	0,00
Aigua	26.387	26.374	13,0
Propilenglicol	5.710	0,112	5.710
TOTAL	32.097	26.374	5.723

A continuació, es mostra una taula amb algunes de les característiques i paràmetres hidràulics obtinguts de la simulació final de la columna.

Taula 4.24. Característiques i Paràmetres hidràulics de la columna DC-303.

Paràmetre	Valor
Diàmetre (m)	3,00
Tray-spacing rec./str. (m)	0,914 / 0,609
Alçada total (m)	16,2
Tipus de condensador	Total
Tipus de reboiler	<i>Kettle</i>
T^a condensador (°C)	102,7
T^a reboiler (°C)	190,9
Nombre de perforacions	4.464
Pèrdua de càrrega (mbar)	132,1
Diàmetre perforacions (mm)	12,7

Finalment, es mostra el full d'especificació de la columna DC-303.

TOWER DATA SHEET

1	GENERAL	Manufacturer:									
2		Item:	DC-303								
3		Service:	Obtenció MPG 99,9%								
4		Type:	Plats perforats								
5	OPER. CONDIT.	Product	Aigua-MPG								
6		Temper.	106,3 °C								
7		Pressure	121,3 kPa								
8		Liquid Density	918,2 kg/m ³								
9		Liquid Viscosity	0,3636 cP								
10		Tray Number (Top Tray=No.1)	20								
11		Tower Inside Diamenter	3000 mm.								
12		Tray Spacing	914,4 mm.								
13		Max. ΔP per Tray	0,3 kPa								
14		Minimum Area/Downcomer	0,707 m ²								
15	Valves, Bubble Caps / Tray	0									
16	Perforations / Tray	4464									
17											
18	DESIGN DATA	Des.Pr.(eff.)	181,95 kPa								
19		Des.Temp.	200 °C								
20		Liquid Density	945,7 kg/m ³								
21		Design Range									
22		Hydr.Test	161,3 kPa								
23		Code:	ASME Secció VIII Div 1								
24		Corr.Allow.mm: Shell / Heads	2,5 / 2,5 mm.								
25		Joint Efficiency:									
26		Stress.Rel.:	X	Yes		No					
27		Radiograph:	X	Yes		No					
28	Sandblast:		Yes	X	No						
29	Paint:	X	Yes		No						
30	Insulation:		Yes	X	No						
31	Fireproofing:	X	Yes		No						
32	Wind Load:			N/m ²							
33	Seismic:		Yes	X	No						
34	Wt.Empty:	4168 kg									
35	Wt.Full Water:	120740 kg									
36	I N T E R N A T I O N A L & L O C A L S T A N D A R D S	Tray No.	Diam.	Spacing	Material						
37		Thru 1 to 13	3 m	0,9144 m	SS316L						
38		Thru 14 to 20	3 m	0,6096 m	SS316L						
39		Thru to									
40		Thru to									
41	Contact Device:										
42		Bubble Caps	0								
43		Valves	0								
44		Perfor.	Sieve								
45	Packing:	0									
46	Demister:	0									
47	M A T E R I A L S		Thick. (mm.)	Mat'l Class							
48		Shell-Top									
49		Intermed	10	SS316L							
50		Bottom	10	SS316L							
51		Head-Top									
52		Intermed	10	SS316L							
53	Bottom	10	SS316L								
54											
55											
56											
57											
58											
59	N O O Z Z L E	Service	Mark	No.	Size	Rating	Service	Mark	No.	Size	Rating
60		Corrent de procés	E	1	3"	Entrada	Pressió	P	3	2"	Transmis
61		Corrent Reboiler procés	E	2	1"	Entrada	Temperatura	T	1	2"	Transmis
62		Corrent Reflux	E	3	1"	Entrada	Temperatura	T	2	2"	Transmis
63			E	4	2"	Entrada					
64		Corrent Reboiler procés	S	1	1"	Sortida					
65		Corrent de procés	S	2	1"	Sortida					
66		Toxa	S	3	6"	Sortida					
67		Corrent de procés recirculació	S	4	2"	Sortida					
68		Nivell	L	1	2"	Transmis					
69		Nivell	L	2	2"	Transmis					
70		Pressió	P	1	2"	Transmis					
71	Pressió	P	2	2"	Transmis						
72	NOTES:										
73											
74											
75											
76											
77											
78											
79	0	25/05/2022					 UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química Departament d'Enginyeria Química				
80	REV.	DATE	PREP.	APPR.							
81											

Figura 4.17. Full d'especificació de la columna DC-303.

4.4.15. Bescanviador HE-304

Aquest bescanviador rep el corrent de procés provinent del fons de la columna de destil·lació DC-303 i es l'obtenció del propilenglicol amb una puresa 99,9%. L'objectiu és refrigerar el corrent final fins als 30°C mitjançant aigua de refrigeració.

Primerament, es va fer un primer disseny amb el mètode Kern, a l'Annex A.4.1.2 es podrà observar la metodologia. A continuació es mostren les dades inicials pel disseny de l'HE-304.

Taula 4.25. Paràmetres introduïts a l'*Aspen EDR™ v11* pel disseny de l'HE-304.

Paràmetre	Valor
Temperatura entrada procés (°C)	191
Pressió entrada procés (kPa)	121
Cabal entrada procés (kg/h)	5.723
Temperatura entrada aigua de refrigeració (°C)	25,0
Temperatura sortida aigua de refrigeració (°C)	84,2
Longitud tubs (mm)	6.096
Diàmetre tubs (mm)	19,1
Patró dels tubs	30 triangular
<i>Pitch</i> (mm)	23,8
Nombre de passos per tubs	1,00
Nombre de passos per carcassa	1,00

Un cop obtingudes aquestes dades es va realitzar el disseny rigorós mitjançant *Aspen EDR™* i el mètode Kern. A continuació, es mostraran els resultats i la fulla d'especificació de l'equip:

Taula 4.26. Paràmetres obtinguts amb l'*Aspen EDR™* i mètode Kern pel disseny de l'HE-304.

Paràmetre	<i>Aspen EDR™</i>	Mètode Kern
Calor bescanviada (kW)	757	758
Àrea (m ²)	116	125
U (W/m ² K)	158	158
Nº tubs	322	361
Caiguda de pressió carcassa (kPa)	12,1	0,714
Caiguda de pressió tubs (kPa)	20,7	2,81·10 ⁻²
Cabal d'entrada d'aigua (kg/h)	11.000	11,000

Es pot observar que tot i la diferència en el nombre de tubs obtinguts mitjançant l'*Aspen* i els càlculs amb el mètode Kern, la resta de característiques són prou similars. Aquestes diferències són degudes a les divergències amb les propietats dels compostos.

Adicionalment, a l'Annex A.4.1.3.4 es mostraran tots els resultats aconseguits amb el mètode Kern i a l'Annex A.4.2.4 la Tema Sheet obtinguda de l'*Aspen EDR™*.

HEAT EXCHANGER DATA SHEET

1	ITEM No.: HE-304					
2	Service: Refredar el producte final (MPG) dels fons de la DC-303					
3	Type: BEM	Position: Horizontal		Total surface / unit: 116,1 (m ²)		
4	No. Shell: 1					
5	PERFORMANCE OF UNIT					
6			Shell side		Tube side	
7			Inlet	Outlet	Inlet	Outlet
8	Fluid name		18		AIGUA REFRIGERACIO	
9	Fluid total flow		5723		11000	
10	Vapour		0	0	0	0
11	Liquid		5723	5723	11000	11000
12	Noncondensables		0	0	0	0
13						
14	Temperature		190,9	32,5	25	84,17
15	Density (L/V)		896,58 / 0	1030,4 / 0	998,27 / 0	970,57 / 0
16	Viscosity (L/V)		0,3478 / 0	29,5792 / 0	0,8974 / 0	0,3354 / 0
17	Vapour molecular weight		0	0	0	0
18	Specific heat (L/V)		3,482 / 0	2,562 / 0	4,192 / 0	4,189 / 0
19	Thermal conductivity (L/V)		0,1483 / 0	0,2143 / 0	0,6004 / 0	0,6661 / 0
20	Latent heat		0		0	
21	Pressure (abs)		1,213	1,196	1,01	0,989
22	Velocity (mean / max)		0,04 / 0,04		0,05 / 0,05	
23	Pressure drop (allowable / calculated)		0,12066	0,01745	0,20684	0,02453
24	Fouling resistance (min)		0,0001		0,0001	
25	Heat exchanged:		kW		757	
26	Heat transfer rate (W/m ² K)		Service: 157,5	Clean: 163,9		
27	CONSTRUCTION PER SHELL					
28	Codes:		Shell side	Tube side	ASME	ASME
29	Design pressure barg		3,45	3,45		
30	Design temperature °C		226,67	226,67		
31	No. of passes		1	1		
32	Stress relief					
33	Radiograph.		0	0		
34	Corrosion allowance mm		0	0		
35			Service	Mark	Dia (")	Rating
36			18	TE10	1	150ANSI
37			18,5	TS10	1	150ANSI
38			CW in	CE10	2	150ANSI
39			CW out	CS10	2	150ANSI
40						
41						
42						
43						
44						
45	MATERIALS			SKETCH		
46			Dia.	Thick. (mm.)	Spec. Mat.	
47	Shell: (mm)		482,6	4,76	SS316L	
48	Channel:				SS316L	
49	Tubesheets:				SS316L	
50	Baffles: n° / mat.		18	SS316L		
51	Baffles spacing:		304,8	mm.		
52						
53	Tubes:					
54	N°		322			
55	OD		0,75	in		
56	BWG:		16			
57	Length		6096 mm			
58	Pitch:		23,81	mm 30 - Triangular ▲		
59						
60						
61						
62						
63						
64	NOTES:					
65						
66						
67						
0			22/04/2022	M.Segura	J.Güixens	
REV.			DATE	PREP.	APPR.	

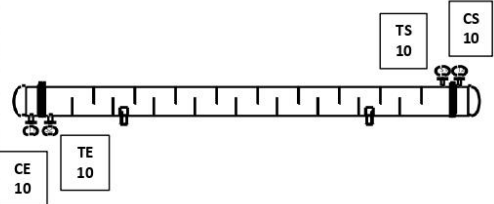


Figura 4.18. Full d'especificació del bescanviador HE-304.

4.5. Llistats de la planta

4.5.1. Llistat d'equips

A continuació es mostra una taula amb el nom de l'equip, la zona on es troba i una breu descripció.

Equip	Zona de la planta	P&ID	Descripció
M-101	P&ID1100	1000	<i>Mixer</i>
T-101	P&ID1100	1000	Tanc
M-102	P&ID1100	1000	<i>Mixer</i>
P-101	P&ID1100	1000	Bomba centrífuga
R-201	P&ID1200	1000	Reactor CSTR
HE-301	P&ID1300	1000	Bescanviador de tubs i carcassa
DC-301	P&ID1300	1000	Columna de destil·lació de plats perforats
RB-301	P&ID1300	1000	<i>Reboiler</i>
C-301	P&ID1300	1000	Condensador
A-301	P&ID1300	1000	Acumulador de reflux
P-301	P&ID1300	1000	Bomba centrífuga
HE-302	P&ID1300	1000	Bescanviador de tubs i carcassa
N-301	P&ID1300	1000	Neutralitzador
D-301	P&ID1300	1000	Decantador
P-302	P&ID1300	1000	Bomba centrífuga
DC-302	P&ID1300	1000	Columna de destil·lació de plats perforats
RB-302	P&ID1300	1000	<i>Reboiler</i>
C-302	P&ID1300	1000	Condensador
A-302	P&ID1300	1000	Acumulador de reflux
P-303	P&ID1300	1000	Bomba centrífuga
HE-303	P&ID1300	1000	Bescanviador de tubs i carcassa
DC-303	P&ID1300	1000	Columna de destil·lació de plats perforats
C-303	P&ID1300	1000	Condensador
A-303	P&ID1300	1000	Acumulador de reflux
P-304	P&ID1300	1000	Bomba centrífuga
RB-303	P&ID1300	1000	<i>Reboiler</i>
HE-304	P&ID1300	1000	Bescanviador de tubs i carcassa

4.5.2. Llistat de vàlvules

A continuació es mostra el llistat de vàlvules de la planta. Només es mostra un exemple de cada tipus de vàlvula del procés.

Referència de la vàlvula	Zona de la planta	Equip o línia	En fallada	Tipus	Descripció
V-101	P&ID1100	T-1101-1"-SS		Comporta manual	Purga
V-102	P&ID1100	T-1101-1"-SS		Antiretorn	Evitar contracorrent
V-103	P&ID1100	T-1101-1"-SS	Tanca	Automàtica reguladora	Regular cabal d'entrada
V-105	P&ID1100	T-1101-1"-SS	Tanca	Comporta automàtica	Tanca pas del flux
V-106	P&ID1100	T-1101-1"-SS	Tanca	Comporta manual	Manteniment
PSV 1	P&ID1200	M-1702-6"-SS	Obre	Comporta automàtica	Allibera pressió
V-377	P&ID1300	DC-1332-1"-SS-CL	Obre	Automàtica reguladora	Regular cabal d'entrada
V-382	P&ID1300	H-1333-1"-SS	Obre	Comporta manual	Manteniment
TRP CV	P&ID1600	V-1610-1"-SS-CL		Trampa de vapor	Evita pas de vapor
TRP	P&ID1600	RB-1612-1"-SS-CL		Trampa de vapor de condensats	Evita pas dels condensats

Unió a la canonada	Diàmetre de la vàlvula [“]	Acció de la vàlvula
Bridada	1,00	Manual
Bridada	1,00	-
Bridada	1,00	Control
Bridada	1,00	Control
Bridada	1,00	Manual
Bridada	6,00	Control
Bridada	1,00	Control
Bridada	1,00	Manual
Bridada	1,00	Automàtica
Bridada	1,00	Automàtica

4.5.3. Llistat d'instruments

A continuació es mostra el llistat d'instruments de la planta. Només es mostra un exemple de cada tipus de transmissor instal·lat en el procés.

Referència de l'instrument	Zona de la planta	Equip o línia	Tipus	Descripció	Unió a la canonada	Rang		Unitats
						Mínim	Màxim	
FT-1102	P&ID1100	T-1101-1"-SS	Coriolis	Mesurador de flux	Bridada	0,50	5.000	kg/h
LT-1104	P&ID1100	M-101	Ultrasò	Mesurador de nivell	Bridada	0,00	10,0	m
VSD	P&ID1100	M-101	VSD elèctric	Variador de velocitat	Bridada	0,00	100	%
PT-1103	P&ID1100	M-101	Piezoelèctric	Mesurador de pressió	Bridada	1,00	3,00	atm
JI-1105	P&ID1100	M-101	-	Transmissor de potencia del motor		0,00	1,00	kW
SI-1106	P&ID1100	M-101	-	Mesurador de velocitat del motor	Bridada	0,00	250	rpm
TI-1109	P&ID1100	M-101	Termoparell	Mesurador de temperatura	Bridada	0,00	200	°C

Material	Temp. Permesa [°C]		Pressió permesa [kPa]	
	Mínima	Màxima	Mínima	Màxima
SS	0,00	350	101	304
SS	0,00	350	101	304
SS	0,00	350	101	304
SS	0,00	350	101	304
SS	0,00	350	101	304
SS	0,00	350	101	304
SS	0,00	350	101	304

4.5.4. Llistat de canonades

A continuació es mostra el llistat de canonades de la planta. Només es mostra un exemple de cada tipus de canonada dissenyada en el procés, amb totes les seves especificacions.

Nom de la línia	Diàmetre nominal [“]	Inici	Final	Flux	Fase de línia	Temperatura normal d'operació (MÍN-MÀX) [°C]
M-1104-1”-SS	1,00	M-101	T-101	PO i Metanol	Líquid	30,0
T-1105-2”-CS	2,00	Tanc H ₂ O	M-102	H ₂ O	Líquid	30,0
H-1310-3”-SS	3,00	HE-302	N-301	Producte	Líquid	32,5
C-1324-3”-SS-CL	3,00	DC-302	DC-303	Productes	Líquid	106
C-1329-2”-SS-CL	2,00	DC-303	Tractament H ₂ O	H ₂ O	Condensat	103
H-1502-1”-CS	1,00	H-301	Torre de refrigeració	H ₂ O	Líquid	29,0
H-1506-8”-CS	8,00	H-302	Torre de refrigeració	H ₂ O	Líquid	10,0
H-1514-2”-CS	2,00	H-304	Torre de refrigeració	H ₂ O	Líquid	84,0
C-1601-1”-SS-CL	1,00	Caldera	Rb-301	Vapor	Gas	125
C-1605-3”-SS-CL	3,00	Caldera	Rb-302	Vapor	Gas	125
T-1404-2”-SS	2,00	Tanc N ₂	M-102	Nitrogen	Gas	25,0
T-1402-4”-SS	4,00	Tanc H ₂ O	M-101	H ₂ O	Líquid	25,0

Pressió normal d'operació [kPa]	Pressió de disseny [kPa]	Material d'aïllament	Espessor d'aïllament [mm]	Diàmetre extern [mm]	Espessor línia	Pes [kg/m]
121	182	-	-	33,4	3,38	2,54
101	152	-	-	60,3	3,91	5,44
111	167	-	-	88,9	5,49	11,5
121	182	Llana de roca	40,0	88,9	5,49	11,5
101	152	Llana de roca	40,0	60,3	3,91	5,52
101	152	-	-	33,4	3,38	2,50
101	152	-	-	219	8,18	42,5
101	152	-	-	60,3	3,91	5,44
1.200	1.800	Llana de roca	30,0	33,4	3,38	2,54
1.200	1.800	Llana de roca	40,0	88,9	5,49	11,5
121	182	-	-	60,3	3,91	5,52
101	152	-	-	114	6,02	16,3

5. SEGURETAT EN EL DISSENY DE LES INSTAL·LACIONS

5.1. Seguretat de processos

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

5.1.1. HazOP + Mini LOPA

S'ha dut a terme el HazOP i la Mini LOPA dels diferents equips del procés analitzant diferents escenaris de risc i valorant-los.

A continuació es podrà observar els HazOP del reactor R-201 i de la columna DC-301. En l'Annex A.13. es trobaran els altres HazOP dels equips restants.

5.1.1.1 HazOP + Mini LOPA del reactor R-201

Paraula Guia	Desviació	Causes	Conseqüències	C	F	R	Salvaguardes	C	F	R	Accions
Més	Més nivell a R-201	Fallada en llaç de control 1207 (llegeix menys nivell del real)	Cabal de sortida cap a la DC-301 no controlat. Sense conseqüències de seguretat								
Menys	Menys nivell a R-201	Fallada en llaç de control 1207 (llegeix més nivell del real)	No flux a la DC-301. Inestabilitat de la columna. Sense conseqüència de seguretat								
No	No flux a R-201	Fallada Controlador FC-1126 (totalment tancat)	Sense entrada de reactius. No reacció. No conseqüència de seguretat								Posar alarma de baix caudal en FC-1126
		Fallada Controlador LT-1207 (totalment tancat)	Augment de temperatura i possible sobrepressió. Risc de pressió per sobre de la de disseny	4	-1	A	- PT-1205 -Vàlvula de seguretat PSV4	4	-5	C	-Dissenyar PSV4 per aquest cas -Posar alarma d'alt nivell en LT-1207

Menys	Menys flux a R-201	Fallada Controlador FC-1118 (parcialment tancat)	Ídem No flux								Posar alarma de baix caudal en FC-1118
		Fallada Controlador LT-1207 (llegeix més nivell del real)	Ídem No flux								-Dissenyar PSV4 per aquest cas -Posar alarma d'alt nivell en LT-1207
Més	Més flux a R-201	Fallada Controlador FC-1126 (totalment obert)	Sobrepresió a R-201. Risc de pressió per sobre disseny	4	-1	A	- PT-1205 -Vàlvula de seguretat PSV4	4	-5	C	-Dissenyar PSV4 per aquest cas -Posar alarma d'alt caudal en FC-1126
		Fallada Controlador LC-1207 (llegeix menys nivell del real)	Dificultats en la reacció. No conseqüència de seguretat								Posar alarma de baix nivell en LT-1207
Més	Més pressió a R-201	Fallada Controlador PT-1205 (llegeix menys pressió de la real)	Augment de la pressió del reactor per sobre de la de disseny i ruptura catastròfica. Possible explosió del reactor	4	-1	A	Vàlvula de seguretat PSV4	4	-5	C	Dissenyar PSV4 per aquest cas
		Fallada Controlador FC-1126 (totalment obert)	Ídem Més flux								-Dissenyar PSV4 per aquest cas -Posar alarma d'alt cabal en FC-1126

		Fallada Controlador LT-1207 (llegeix menys nivell del real)	Ídem No flux								
		Fallada Controlador FC-1213 (parcialment tancat)	Augment de la pressió del reactor per sobre de la de disseny i ruptura catastròfica. Possible explosió del reactor	4	-1	A	- PT-1205 -Vàlvula de seguretat PSV4	4	-5	C	Posar alarma d'alta pressió
Menys	Menys pressió a R-201	Fallada Controlador PT-1205(Aturada)	Dificultats en la reacció. No conseqüència de seguretat								
		Fallada Controlador FC-1126 (parcialment tancada)	Ídem Menys Flux								Posar alarma de baix cabal en FC-1126
		Fallada Controlador LT-1207 (parcialment obert)	Dificultats en la reacció. No conseqüència de seguretat								Posar alarma de baix nivell en LT-1207
		Fallada Controlador FC-1213 (parcialment obert)	Buidat del reactor, incompliment de especificació. No conseqüència de seguretat								

Més	Més temperatura a R-201	Fallada Controlador PT-1205 (parcialment tancat)	Sobrepresió a R-201. Risc de pressió per sobre disseny	4	-1	A	-Vàlvula de seguretat PSV4	4	-5	C	-Dissenyar PSV4 per aquest cas -Posar alarma de alta pressió en PT-1205
		Fallada Controlador LT-1206(Tanca Parcialment)	Sobrepresió a R-201. Risc de pressió per sobre disseny	4	-1	A	- PT-1205 -Vàlvula de seguretat PSV4	4	-5	C	-Dissenyar PSV4 per aquest cas -Posar alarma de baix nivell en LT-1206
		Fallada Controlador TI-1204 (Ilegeix menys temperatura de la real)	Augment de pressió. Risc de pressió per sobre disseny	4	-1	A	- PT-1205 -Vàlvula de seguretat PSV4	4	-5	C	-Dissenyar PSV4 per aquest cas. -Posar alarma TI-1204
Menys	Menys temperatura a R-201	Fallada Controlador PT-1205 (parcialment obert)	No conseqüència de seguretat								Posar alarma de baixa pressió en PT-1205
		Fallada Controlador LT-1206 (parcialment obert)	No conseqüència de seguretat								Posar alarma de baix nivell en LT-1206
		Fallada Controlador TI-1204 (Ilegeix més temperatura de la real)	No conseqüència de seguretat								

Altra	Altra composició a R-201	Fallada control rati	Contaminació de reacció. No conseqüència de seguretat							
	Altra fase a R-201	No aplica								
<i>As well as</i>	<i>As well as</i> corrosió	No s'identifiquen causes	Corrosió dels equips (possibilitat de fractures i fugues)							Ús d'equips d'acer inoxidable i realització d'inspeccions periòdiques
	<i>As well as</i> erosió	No s'identifiquen causes								
No	No utilities	Fallada local d'aire en els instruments	Pèrdua de control del procés V-133 tanca V-203 tanca V-207 obre V-213 obre V-501 obre							
		Fallada en l'aigua de refrigeració	Ídem No flux							Posar alarma de baix nivell en LT-1206

		Fallada de subministrament elèctric	Pèrdua de control del procés								Valorar la necessitat de generadors auxiliars discontinus
			Aturada de bomba P-101								
No	No contenció	Fuita de producte per corrosió, trencament, etc	Vessament de producte inflamable. Risc d'atmosfera explosiva								Instal·lació de detectors d'atmosfera explosiva

5.1.1.2 HazOP + Mini LOPA de la columna DC-301

Paraula Guia	Desviació	Causes	Conseqüències	C	F	R	Salvaguardes	C	F	R	Accions
Més	Més nivell a fons DC-301	Fallada en llaç de control 1306 (llegeix menys nivell del real)	Inundació de la columna. Sense conseqüència de seguretat								Ficar alarma d'alt nivell al controlador LT-1306
	Més nivell a A-301	Fallada en llaç de control 1311 (llegeix menys nivell del real)	Possible inundació de A-301 i C-301. Si PT-1309 no és capaç d'alleujar tot el producte, augmenta la pressió per sobre de la de disseny i ruptura catastròfica de la columna. Possibilitat d'explosió	4	-1	A	-S'obre la vàlvula de control V-304 -La vàlvula de seguretat PSV5 s'obrirà a 1,6 atm	4	-5	C	-Dissenyar la PSV5 per aquest cas -Ficar alarma d'alt nivell al controlador LT-1306
Menys	Menys nivell a fons DC-301	Fallada en llaç de control 1306 (llegeix més nivell del real)	La taxa de recirculació al <i>reboiler</i> disminueix on hi haurà més lleugers al fons. No es produirà l'intercanvi i no es complirà l'especificació								Ficar alarma de baix nivell al controlador LT-1306

	Menys nivell a A-301	Fallada en llaç de control 1311 (llegeix més nivell del real)	Cavitació de la bomba P-301. Possible deterioració de la tanca mecànica i fuga del producte al exterior. Possibilitat d'explosió	3	-1	B	Doble tanca mecànica, encapsulament o bomba d'arrossegament magnètic	1	-1	D	Ficar alarma de baix nivell al controlador LT-1311
No	Sense flux d'alimentació DC-301	-Fallada en llaç de control 1212 -Falta d'alimentació	Inestabilitat de la columna. Sense conseqüència de seguretat								Ficar alarma de baix cabal al controlador FT-1212
	Sense flux de reflux a DC-301	Fallada en llaç de control 1316	Major temperatura en cap de la columna i producte fora d'especificació. Sense conseqüència de seguretat								Ficar alarma de baix cabal al controlador FT-1316
	Sense flux de destil·lat cap a torxa	Fallada en llaç de control 1311	Ídem més nivell en A-301								
	Sense flux de sortida cap a R-201	Fallada en llaç de control 1306	Escalfament del líquid amb el temps arribant a evaporar-se. Possibilitat d'explosió	2	-1	C	Vàlvula de control V-602 tancarà per tallar l'entrada de vapor	1	-1	D	Col·locar orifici de restricció de cabal mínim
Menys	Menys flux d'alimentació DC-301	Fallada en llaç de control 1212	Ídem no flux d'alimentació DC-301								Ficar alarma de baix cabal al controlador FT-1212

	Menys flux de reflux a DC-301	Fallada en llaç de control 1316	Ídem no reflux a DC-301							Ficar alarma de baix cabal al controlador FT-1316
	Menys flux de destil·lat cap a la torxa	Fallada en llaç de control 1311	Ídem no flux de destil·lat cap a la torxa							Ficar alarma de baix nivell en LT-1306
	Menys flux de rebuig cap a R-201	Fallada en llaç de control 1306	Ídem no flux de rebuig cap a R-201							Ficar alarma de baix nivell en LT-1306
Més	Més flux d'alimentació	Llaç de control 1212 queda totalment oberta	Disminució de la capacitat de separació cap-fons de la columna DC-301. Sense conseqüència de seguretat							Ficar alarma d'alt cabal en FT-1212
	Més flux de reflux a DC-301	Llaç de control 1316 queda totalment oberta	Disminueix la temperatura en cap de la columna. Sense conseqüència de seguretat							Ficar alarma d'alt cabal en FT-1316
	Més flux de destil·lat cap a la torxa	Llaç de control 1311 queda totalment oberta	Possibilitat de buidarse							Ficar alarma de baix nivell en LT-1311

	Més flux de rebuig cap a R-201	Llaç de control 1306 totalment oberta	Possibilitat de buidar la columna DC-301. Producció fora d'especificació. Sense conseqüència de seguretat								
	Més flux de vapor d'aigua en RB-301	Fallada en llaç de control 1305, la vàlvula de control queda totalment oberta	Augment de la taxa de recirculació del <i>reboiler</i> amb possible inundació de la columna DC-301								Ficar alarma de temperatura alta en TT-1305
Més	Més pressió en DC-301	Foc extern	Vaporització de la fase líquida de la columna. Ruptura catastròfica de la columna i A-301 amb possibilitat d'explosió	4	-2	B	Vàlvula de seguretat PSV5	4	-6	D	Dissenyar PSV5 per a aquest cas
		Fallada l'aigua de refrigeració en C-301	Augment de pressió per no condensació al condensador amb possibilitat de ruptura catastròfica i explosió	4	-1	A	Vàlvula de seguretat PSV5	4	-5	C	Dissenyar PSV5 per a aquest cas
		Fallada de la bomba P-301	Ídem més nivell en A-301				Vàlvula de seguretat PSV5				Dissenyar PSV5 per a aquest cas

		Ruptura tubs del <i>reboiler</i> RB-301	Possibilitat d'augment de pressió depenent en la capacitat de condensació de C-301 i cabal màxim del llaç de control 1309. Possible ruptura catastròfica	4	-4	C	-Vàlvula de seguretat PSV5 -Llaç de control 1309	4	-8	D	Dissenyar PSV5 per a aquest cas
		Ruptura tubs condensador C-301	Entrada d'aigua de refrigeració al sistema. Possibilitat d'augment de pressió i ruptura catastròfica de C-301 i A-301	4	-4	C	-Vàlvula de seguretat PSV7 -Llaç de control 1309	4	-8	D	Dissenyar PSV5 per a aquest cas
		Fallada en llaç de control 1316	Augment de pressió lleuger. Sense conseqüència de seguretat								
Menys	Menys pressió en DC-301	Fallada en llaç de control 1309. Vàlvula totalment oberta	Sense conseqüència de seguretat								Ficar alarma de baixa pressió en PT-1309
		Fallada en llaç de control 1305. Vàlvula totalment tancada	Disminució de la producció de vapor en el <i>reboiler</i> RB-301. Sense conseqüències de seguretat								Ficar alarma de baix cabal en TT-1305

Més	Més temperatura en DC-301 i A-301	Ruptura del <i>reboiler</i> RB-301	Ídem més pressió en DC-301							Posar alarma d'alta temperatura en TT-1305
		Fallada en llaç de control 1305. Vàlvula totalment oberta	Ídem més flux de vapor d'aigua a DC-301							
		Fallada en aigua de refrigeració en C-301	Ídem més pressió a DC-301							
Menys	Menys temperatura en DC-301	Llaç de control 1309 totalment oberta	Disminueix la pressió i la temperatura del cap de la columna. Sense conseqüències de seguretat							
		Ruptura tubs C-301	Entrada aigua de refrigeració al sistema. Sense conseqüències de seguretat							
Un altre	Un altre composició en alimentació	Diferent composició a la dissenyada a l'alimentació de la columna DC-301	Sense conseqüència de seguretat							
	Un altre fase en DC-301	Ruptura tubs de <i>reboiler</i> RB-301	Ídem més pressió a DC-301							
	Un altre fase en flux de rebuig cap R-201	Ruptura tubs de <i>reboiler</i> RB-301	Ídem sense flux de rebuig cap R-201							

	Un altre fase en flux de destil·lat cap a la torxa	Ruptura tubs del bescanviador HE-302	Sense conseqüència de seguretat								
	Un altre fase en A-301	Ruptura tubs del condensador C-301	Ídem més pressió a A-301								
<i>As well as</i>	<i>As well as</i> corrosió/erosió en C-301 i A-301	Corrosió sota l'aïllament	Fuga del producte al exterior i possibilitat d'explosió	2	-1	C	Programa de inspecció en vigor	2	-2	C	
		Erosió en tubs de RB-301	Ruptura dels tubs <i>reboiler</i> RB-301. Ídem més pressió a DC-301								Posar placa protectora a l'entrada de vapor
No	<i>No utilities</i>	Fallada d'energia elèctrica	Parada de bomba P-301. Ídem més nivell a A-301								
		Fallada l'aigua de refrigeració	Fallada en C-301, sense condensació i augmenta la pressió de DC-301 i A-301 amb possibilitat de ruptura catastròfica i explosió	4	-1	A	-Vàlvula de seguretat PSV5 -Llaç de control 1309 -Vàlvula de seguretat PSV7	4	-5	C	Dissenyar PSV5 per a aquest cas Dissenyar PSV7 per a aquest cas
		Fallada vapor d'aigua	Fallada en RB-301. Ídem menys pressió en DC-301								

		Fallada aire de instruments	Pèrdua de control del procés V-304 obre V-316 tanca V-318 obre V-506 obre V-602 tanca									
--	--	-----------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

5.1.2. Zones ATEX (ATmosfera EXplosiva)

Conèixer les zones ATEX del procés és molt important, és per aquest motiu que en aquest apartat s'han determinat, ja que en les ubicacions on poden aparèixer quantitats i concentracions perilloses de gas o vapor inflamables, és necessari aplicar mesures de protecció amb l'objectiu de reduir el risc a possibles explosions. En aquest procés de producció de propilenglicol hi ha compostos inflamables com és el cas de l'òxid de propilè o del mateix MPG.

Per tal de poder determinar les zones explosives del procés s'han cercat els valors de les substàncies inflamables i s'han realitzat els càlculs seguint la normativa espanyola UNE 202007 (ref. 17) i UNE 60079-10-1-2016 (ref. 18).

Primerament, les àrees de la planta que es consideren zones d'atmosfera explosiva s'han de classificar segons la seva perillositat, a continuació es podran observar les diferents zones que es poden trobar (ref. 19):

- Zona 0: Àrea de treball en la que una atmosfera explosiva consistent en una mescla d'aire i gas o vapor o una boira inflamable està present de manera permanent o per un període de temps prolongat o amb freqüència (>1000 hores/Any) → Categoria 1.
- Zona 1: Àrea de treball en la que és probable, en condicions normals d'explotació, la formació ocasional d'una atmosfera explosiva (de 10 a 1000 hores/any) → Categoria 2.
- Zona 2: Àrea de treball en la que no és probable, en condicions normals d'explotació, la formació d'una atmosfera explosiva (0,1 a 10 hores/any) → Categoria 3.
- Per pols combustible: Zona 20, 21 i 22 respectivament.

Per altra banda, la classificació d'equips instal·lats en zones ATEX es poden classificar per: l'estat de la substància combustible, per l'ambient industrial, per la sensibilitat de la substància a la iniciació de l'explosió per arc elèctric o flama i per la sensibilitat de la substància a l'explosió per contacte amb una superfície calenta (ref. 19). En aquest cas, s'han classificat seguint les dues últimes maneres esmentades:

Per la sensibilitat de la substància a la iniciació de l'explosió per arc elèctric o flama:

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

Per la sensibilitat de la substància a l'explosió per contacte amb una superfície calenta:

Taula 5.1. Classificació d'equips instal·lats en zones ATEX per sensibilitat de la substància a l'explosió per contacte amb superfície calenta.

Classe de temperatura	Temperatura superficial màxima (°C)
T1	< 450
T2	< 300
T3	< 200
T4	< 135
T5	< 100
T6	< 85,0

Seguidament, s'han classificat els diferents compostos de la planta. A continuació, a la Taula 5.2, es podran observar les característiques, de tots els compostos inflamables de la planta, com el punt d'inflamabilitat, el límit inferior (LIE) i superior (LSE) d'explosibilitat en aire, la temperatura d'inflamabilitat i el grup i classe de temperatura:

Taula 5.2. Característiques dels compostos inflamables del procés (ref. 17).

Compost	Punt d'inflamabilitat	LIE (% vol.)	LSE (% vol.)	Temp. Inflamabilitat	Subgrup
Metanol	9,00 °C	6,06	31,0	385 °C	IIA T2
Òxid de propilè	< 0,00 °C	2,86	37,0	430 °C	IIB T2
Propilenglicol	99,0 °C	2,60	12,5	421 °C	IIB T2

Finalment, com tots els equips de la planta de disseny tenen algun dels tres compostos esmentats anteriorment es pot determinar que:

- Zona 0: s'identifica aquesta àrea de treball en l'interior de tots els equips, ja que una atmosfera explosiva consistent en una mescla d'aire i gas o vapor o una boira inflamable està present de manera permanent o per un període de temps prolongat o amb freqüència (>1000 hores/Any) → Categoria 1.
- Zona 1: s'identifica aquesta àrea de treball en totes aquelles connexions/noscel·les dels equips, ja que és probable, en condicions normals d'exploració, la formació ocasional d'una atmosfera explosiva (de 10 a 1000 hores/any) → Categoria 2.
- Zona 2: s'identifica aquesta àrea de treball en aquella distància entre l'exterior de l'equip i la distància de seguretat estipulada, pel fet que no és probable, en condicions normals d'exploració, la formació d'una atmosfera explosiva (0,1 a 10 hores/any) → Categoria 3.

La metodologia que s'ha seguit per determinar les zones ATEX es mostra en l'Annex A.14. A continuació, es mostra el *plot plant* amb la ubicació de les zones ATEX de la planta de producció.

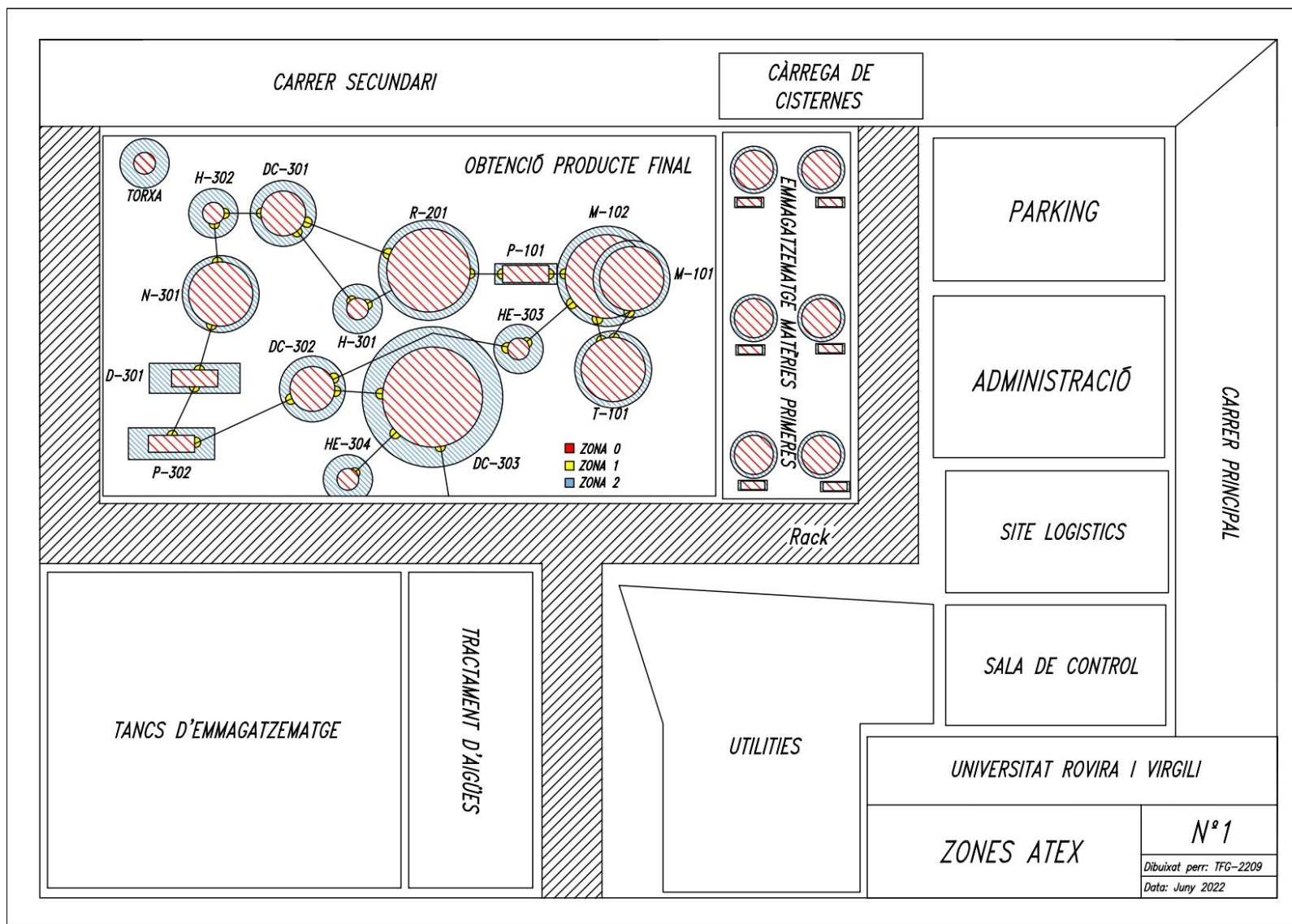


Figura 5.1. Plot plant amb les diferents zones ATEX.

5.1.3. Protecció d'equips a sobrepressions

Garantir la seguretat de la planta, dels equips i del personal és un pilar fonamental pel correcte funcionament, per aquest motiu s'han dissenyat les vàlvules de seguretat, encarregades de protegir als equips de sobrepressions.

El disseny de les PSV (*Pressure Safety Valve*) és essencial per mantenir la pressió per sota del límit establert. Gràcies als diferents HazOp, s'ha determinat que molts dels equips requereixen aquesta vàlvula de seguretat. A continuació es podrà observar els diferents equips amb els possibles escenaris per al disseny de les PSV.

Taula 5.3. Equips amb possibles escenaris pel disseny de les vàlvules de seguretat

EQUIP	POSSIBLES ESCENARIS
M-101, T-101, M-102, R-201	Sortida tancada, sobre omplert del dipòsit, expansió tèrmica i foc extern.
DC-301, DC-302, DC-303	Sortida tancada, fallo aigua de refrigeració, fallo reflux de cap, sobre omplert del dipòsit, foc extern, pèrdua de <i>reboiler</i> , fallo elèctric.

Cada una d'elles ha estat dissenyada suposant el foc extern com a factor indicador, ja que es considera l'escenari més crític a tenir en compte (ref. 20). La metodologia d'aquest disseny es podrà veure reflectit a l'Annex A.15.

A continuació, es mostrarà la pressió de dispar de cada una de les PSV de la planta:

Taula 5.4. *Set point* de les diferents vàlvules de seguretat dels equips.

PSV	EQUIP	SET POINT (atm)
PSV1	M-101	1,60
PSV2	T-101	1,60
PSV3	M-102	1,80
PSV4	R-201	1,80
PSV5	DC-301	1,80
PSV6	RB-301	14,0
PSV7	C-301	1,80
PSV8	N-301	1,80
PSV9	DC-302	1,60
PSV10	RB-302	14,0
PSV11	C-302	1,60
PSV12	DC-303	1,60
PSV13	RB-303	14,0
PSV14	C-303	1,60

Finalment, es mostrarà la fulla d'especificació tant de la PSV4 com de la PSV12.

5.1.3.1 Fulla d'especificació PSV4

1	PROYECTO	TFG_2209	ESPECIFICACIÓN Válvula de seguretat		Nº	1,00
2	EMPRESA	-			HOJA Nº	1 de 1
3	FÁBRICA	-			FECHA	29/05/2022
4	PLANTA	PROD. MPG			PREPARADO	29/05/2022
5					REVISADO	07/06/2022
6					APROBADO	07/06/2022
7						
8	ITEM	PSV4				
9	REFERENCIA P&ID		PSV4			
10	SERVICIO		Válvula descàrrega			
11	EQUIPO PROTEGIDO		R-201			
12	PRESION DISEÑO EQUIPO PROTEGIDO	kPa	212,60			
13	ESCENARIO PARA DIMENSIONADO					
14	FASE		Gas			
15						
16	PRESIÓN DISPARO	kPa	191,30			
17	PRESIÓN DISPARO + SOBREPRESIÓN	kPa	231,47			
18	TEMP. DE DISPARO + SOBREPRESIÓN	°C	190,00			
19						
20	CONTRAPRESIÓN DEL SISTEMA	kg/cm2g	-			
21	CONTRAPRESIÓN MÁXIMA	%	-			
22						
23	PRESIÓN DE ENTRADA	kPa	121,60			
24	TEMPERATURA ENTRADA	°C	30,00			
25						
26	Fase GAS					
27	CAUDAL	kg/h	33.265,00			
28	DENSIDAD	kg/m3	977,60			
29	VISCOSIDAD	cP	0,76			
30	PESO MOLECULAR		20,13			
31	RELACIÓN CP/CV		1,19			
32	FACTOR COMPRESIBILIDAD Z		1,00			
33						
34	Fase LÍQUIDA					
35	CAUDAL	kg/h	-			
36	DENSIDAD	kg/m3	-			
37	VISCOSIDAD	cP	-			
38	PRESIÓN VAPOR	kg/cm2a	-			
39						
40						
41	VÁLVULA					
42	ÁREA CALCULADA	cm2	217,20			
43	TAMAÑO REQUERIDO	plz	6,00			
44						
45						
46						
47	Notas S'ha considerat un percentatge del 21% de sobrepressió					
48						
49						
50						

Figura 5.2. Full d'especificació de la vàlvula de seguretat PSV4 ubicada al R-201.

5.1.3.2 Fulla d'especificació PSV12

1	PROYECTO	TFG_2209	ESPECIFICACIÓN		Nº	2,00
2	EMPRESA	-			HOJA Nº	1 de 1
3	FÁBRICA	-			FECHA	29/05/2022
4	PLANTA	PROD. MPG			PREPARADO	29/05/2022
5					REVISADO	07/06/2022
6			APROBADO	07/06/2022		
7						
8	ITEM	PSV12	Válvula de seguretat			
9	REFERENCIA P&ID	PSV12				
10	SERVICIO	Válvula descàrrega				
11	EQUIPO PROTEGIDO	DC-303				
12	PRESIÓN DISEÑO EQUIPO PROTEGIDO	kPa	201,30			
13	ESCENARIO PARA DIMENSIONADO					
14	FASE		Gas			
15						
16	PRESIÓN DISPARO	kPa	181,30			
17	PRESIÓN DISPARO + SOBREPRESIÓN	kPa	320,70			
18	TEMP. DE DISPARO + SOBREPRESIÓN	°C	190,00			
19						
20	CONTRAPRESIÓN DEL SISTEMA	kg/cm2g	-			
21	CONTRAPRESIÓN MÁXIMA	%	-			
22						
23	PRESIÓN DE ENTRADA	kPa	121,60			
24	TEMPERATURA ENTRADA	°C	30,00			
25						
26	Fase GAS					
27	CAUDAL	kg/h	32.097,00			
28	DENSIDAD	kg/m3	918,20			
29	VISCOSIDAD	cP	0,36			
30	PESO MOLECULAR		20,85			
31	RELACIÓN CP/CV		1,19			
32	FACTOR COMPRESIBILIDAD Z		1,00			
33						
34	Fase LÍQUIDA					
35	CAUDAL	kg/h	-			
36	DENSIDAD	kg/m3	-			
37	VISCOSIDAD	cP	-			
38	PRESIÓN VAPOR	kg/cm2a	-			
39						
40						
41	VÁLVULA					
42	ÁREA CALCULADA	cm2	211,50			
43	TAMAÑO REQUERIDO	plz	6,00			
44						
45						
46						
47	Notas S'ha considerat un percentatge del 21% de sobrepressió					
48						
49						
50						

Figura 5.3. Full d'especificació de la vàlvula de seguretat PSV12 ubicada a la DC-303.

5.1.4. Equips de protecció contra incendis

La instal·lació d'equips contra incendis per les diferents zones del *site* és també primordial per tal de garantir la seguretat de la planta i dels treballadors.

Aquest sistema de protecció contra incendis ha de ser capaç de subministrar l'aigua necessària per cobrir les necessitats de la planta. És per aquest motiu que la planta disposarà d'un tanc d'aigua per poder fer front a possibles incendis i, a més a més, un sistema d'impulsió de bombes que proporcionarà el cabal d'aigua adequat.

Adicionalment, s'ha aplicat sistemes de protecció d'incendi d'equips individualitzats com per exemple, en els casos de la columna hi haurà instal·lat un sistema d'aigua polvoritzada entre d'altres.

Finalment, també s'instal·len extintors degudament senyalitzats amb escuma, com agent extintor, per tota la planta.

5.1.5. Pla d'autoprotecció

La planta, per tal de donar resposta a totes les possibles situacions de risc, ha de disposar d'un pla d'emergència que segueixi el marc de la legalitat vigent. Aquest pla d'autoprotecció ha de complir els objectius marcats per ministeri d'Interior i Protecció Civil. Aquests, de forma resumida, són els següents (ref. 21):

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

A continuació, es veuran resumidament reflectides les actuacions proposades en cas d'emergència com pot ser el cas d'un incendi.

5.1.5.1 Detecció d'alerta

Avisar de la manera més ràpida possible als equips d'emergència distribuïts per la planta i sol·licitar, si es requereix, ajuda externa és de vital importància. Aquesta detecció pot ser de manera automàtica mitjançant equips tècnics de prevenció, o bé, manual mitjançant polsadors o la mateixa comunicació entre treballadors.

5.1.5.2 Mecanisme d'alarma

Per tal d'informar el personal responsable de seguretat i a tots els treballadors que es trobin en aquell moment a la planta de producció quina sèrie de pautes s'han de seguir davant de la situació d'emergència, l'avís d'alarma ha de ser clar i precís.

És per aquest motiu que, s'han de coordinar de manera ràpida totes aquelles actuacions i comunicacions d'emergència. Si es requereix s'ha de notificar ràpidament l'avís d'alarma a les autoritats d'emergència especialitzades.

5.1.5.3 Evacuació i/o confinament

Aquest pla d'autoprotecció també ha de donar resposta si la situació d'emergència requereix evacuació i/o confinament. Per aquest motiu, és molt important identificar ràpidament les ordres de seguretat, ja sigui mitjançant alertes sonores, avisos lumínics per tal de garantir la seguretat de tots els treballadors de la planta.

Adicionalment, s'ha establert un punt de reunió a la planta per tal d'assegurar que tots els treballadors, en cas d'evacuació, es dirigiran al mateix punt. En el cas de confinament també s'ha de conèixer els punts habilitats en els quals s'haurà de dirigir tot el personal.

5.1.6. **Toxicitat de productes**

En la planta de producció de propilenglicol hi ha un producte el qual la seva inhalació és nociva per a l'ésser humà. Aquest és l'òxid de propilè La seva emissió es regeix mitjançant el VLA-ED[®] (Valor Límit Ambiental d'Exposició Diària). Aquesta és la concentració en el temps de l'agent químic a la que la majoria dels treballadors poden estar exposats durant 8h al dia i 40 setmanals al llarg de la seva vida sense sofrir conseqüències. En el cas del PO és de 2 ppm o 4,8 mg/m³ (ref. 22) (ref. 23) .

5.2. **Seguretat laboral**

La seguretat dels treballadors ha de ser l'objectiu més crucial de l'empresa, per aquest motiu és de primordial importància assegurar la seguretat dels treballadors a la planta de producció.

5.2.1. **Avaluació de riscos laborals**

Les activitats laborals sempre estan subjectes a un cert risc segons el tipus de tasca a realitzar. Per tal de reduir aquest risc, s'apliquen constants mesures correctives amb el propòsit d'evitar aquests accidents.

Els cops, les caigudes, cremades... Són alguns dels exemples més comuns d'accidents que es poden produir en una planta. Aplicar mesures correctives perquè no torni a succeir i mesures protectores com l'ús correcte de les instal·lacions de la planta, la correcta utilització d'equips EPI per a cada tipus de tasca reduiran el nombre d'aquests accidents.

5.2.2. **Equips de protecció personal**

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

Es poden diferenciar tres categories depenent del risc:

- Categoria 1 → Riscs menors.
- Categoria 2 → Riscs intermedis.
- Categoria 3 → Riscs greus o irreversibles.

El Reial Decret 1407/1992, de 20 de novembre (ref. 24), va regular les condicions per a la comercialització i lliure circulació intracomunitària d'equips de protecció individual.

La correcta utilització d'equips EPI corresponents a cada tasca és absolutament obligatòria. A més, per caràcter general, el calçat adient, casc, ulleres de protecció, guants... Seran obligatoris en tota la planta de producció.

5.2.3. Incidents i accidents

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

Adicionalment, la formació d'un informe del succés deixarà constància dels fets i d'aquesta forma es podran plantejar millores en el sistema de seguretat de la planta.

5.2.4. Formació en seguretat

La formació en seguretat és una de les activitats que l'empresa ha de proporcionar amb la finalitat d'establir un coneixement bàsic en cas d'emergència i quin protocol s'ha de seguir en cada cas.

Aquesta formació es realitzarà anualment mitjançant cursos de seguretat i diversos simulacres per tal de recordar a tot el personal de la planta el procediment a seguir en situacions d'emergència. Adicionalment, mensualment es proporcionaran circulars a tots els treballadors de la planta en les quals es mostraran el nombre d'accidents i s'observaran accidents d'altres empreses, amb el propòsit de conscienciar als treballadors de possibles situacions que poden ocasionar accidents.

6. ANÀLISI MEDIAMBIENTAL DE LA PLANTA

En aquest apartat s'analitzen i es tracten els diferents aspectes mediambientals relacionats amb el disseny de la planta.

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

Aquest projecte es caracteritza per treballar amb unes condicions de temperatura i pressió relativament baixes. Per aquest motiu, la major part del procés es realitza en estat líquid. D'aquesta forma, les emissions gasoses a l'atmosfera seran reduïdes. Aquestes es donaran en els següents casos:

- Emissions fugitives: Consisteixen en petites fuites gasoses de forma contínua a través de vàlvules de control, brides o bombes. Aquest tipus d'emissions no es perceben amb els sentits, per tant, no es poden controlar ni quantificar.
- Emissions en vàlvules de seguretat: Aquest tipus d'emissions són puntuals i solament es donaran en el cas que la pressió d'operació superi la pressió de disseny. Si es dona el cas que salta la vàlvula de seguretat, la sortida d'aquest corrent s'envia directament a torxa per tal de no emetre els gasos directament a l'atmosfera. En aquest projecte, les PSV estan protegides amb un disc de ruptura abans de l'entrada d'aquesta per tal d'evitar l'emissió contínua de productes que formen atmosfera explosiva, com l'òxid de propilè.

6.2. Identificació i avaluació dels efluents líquids

En aquest procés, solament es genera un corrent residual en estat líquid. Aquest és el 17, format majoritàriament per aigua i una petita quantitat de MPG. Pel fet que aquest efluent no es pot llençar directament al clavegueram industrial o una superfície aquosa per superar la quantitat permesa pel DECRET 198/2015 (ref. 25), primerament es realitza un pretractament de l'aigua en una petita planta de tractament d'aigües situada dins de la mateixa empresa. Aquesta consta d'un evaporador de baixa temperatura que treballa al buit (ref. 26). Com que l'aigua té un punt d'ebullició més baix que el propilenglicol, s'evapora fins al punt on la quantitat de MPG a l'aigua permet el seu abocament sense cap mena de problema. Amb el concentrat de MPG restant, es recull en un tanc per la seva posterior venda, ja que s'obté amb una puresa molt elevada.

D'altra banda, també s'han de tenir en compte les aigües pluvials a l'hora d'avaluar els efluents líquids de la planta, ja que poden contenir petites quantitats de deixalles o compostos que arrosega al seu pas. Les aigües de pluja són recollides i enviades en basses on es desinfecten mitjançant ozó a causa de la petita quantitat de contaminants que conté (ref. 27).

6.3. Identificació i avaluació dels residus sòlids

En el procés de producció de propilenglicol no es generen residus sòlids que s'hagin de tractar. A la planta, hi pot haver residus de diferents materials que es generen a l'hora de realitzar el manteniment. Aquests poden ser envasos de plàstic, embalatges de paper i cartó, partícules metàl·liques dels treballs de manteniment, brides, canvis de reblliment, entre d'altres. Aquests residus seran tractats i enviats a bases de recollida específiques per a casa residu.

6.4. Contaminació lumínica

Pel fet que la planta opera 24 hores al dia durant la major part de l'any, menys quan s'efectua la parada per al manteniment de la planta, la contaminació lumínica és un factor que s'ha de tenir en compte. Per evitar-ho en la major part possible, s'aplicarà la llei 15/2010 de prevenció de la contaminació lumínica del BOE (ref. 28) i s'efectuarà un ús eficient de l'enllumenat de la planta, mantenint al màxim possible les condicions naturals de les hores nocturnes.

6.5. Contaminació acústica

Per tal que el soroll que es genera a la planta estigui dins dels límits legals establerts, s'ha seguit la llei 7/2002 del BOE (ref. 29). Aquesta fixa els llindars màxims en 65 dB durant el període diürn i 55 dB durant el nocturn. Per tal de complir amb aquests valors i protegir les persones que treballen a la planta o les que puguin passar a prop, es construiran caixes de protecció acústica en aquells equips que estiguin per sobre dels llindars establerts.

7. MANTENIMENT DE LES INSTAL·LACIONS

Totes les plantes petroquímiques necessiten un manteniment regular, això s'entén com accions necessàries per conservar o restablir un sistema en un estat que permeti garantir el funcionament de l'equip amb el mínim cost possible.

Dins del manteniment es poden diferenciar tipus de tasques, mostrades a continuació:

- Prevenir i corregir possibles avaries.
- Quantificar i avaluar l'estat de les instal·lacions.
- Quantificar i avaluar possible despesa econòmica.

Els principals objectius tècnics i econòmics del manteniment es podran observar a continuació:

- Evitar accidents i garantir la seguretat de la planta.
- Optimitzar el funcionament dels equips.
- Ampliar, en la mesura del possible, la vida útil dels equips.
- Reparar de la manera més ràpida possible les emergències que puguin ocasionar-se mitjançant mètodes definits.

Un cop establerts els propòsits s'ha d'aplicar el tipus de manteniment més adient per l'ocasió. De manteniments es poden diferenciar de tres tipus: correctiu, preventiu i predictiu.

7.1. Manteniment correctiu

El manteniment correctiu consisteix en un conjunt d'activitats de reparació i substitució d'elements deteriorats, realitzat després de la identificació i reconeixement de fallades. La finalitat d'aquest tipus de manteniment és afegir/reparar un article en un estat que pugui garantir i realitzar la funció necessària.

L'acció del manteniment correctiu es pot dur a terme de dues formes diferents:

- Manteniment correctiu diferit: manteniment correctiu que no es du a terme immediatament després de la detecció de la fallada, sinó que es retarda en funció del que s'indica a les normes de manteniment.
- Manteniment correctiu immediat: es porta a cap immediatament després de detectar la fallada per evitar l'agreujament en les conseqüències.

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

7.2. Manteniment preventiu

El manteniment preventiu es realitza a intervals predeterminats o segons criteris prescrits destinats a reduir la probabilitat d'error i la degradació del funcionament d'un element. Com en el cas del manteniment correctiu, aquí, també existeixen dos tipus:

- Manteniment preventiu sistemàtic: efectuat a intervals regulars de temps, segons un programa establert i tenint en compte les condicions crítiques de cada equip i l'existència d'equips de reserva.
- Manteniment preventiu condicional: subordinat a un esdeveniment predeterminat.

Quan es duen a terme les inspeccions es procedeix al desmuntatge total o parcial de l'equip amb el fi de revisar l'estat dels elements de l'equip, substituint aquells que s'estimi oportú.

Aquest tipus de manteniment es sol aplicar en equips on la relació entre probabilitat de fallades i duració de vida és coneguda, ja que el principal avantatge d'aquest tipus de manteniment és la reducció de parades imprevistes en equips.

Un dels inconvenients que presenta l'aplicació d'aquest tipus de manteniment és l'elevat cost de les inspeccions i el "no aprofitament" de la vida útil completa de l'equip. En aquest cas, pel que fa als equips, les revisions periòdiques a realitzar seran les següents:

- Revisions visuals diàries de les canonades i vàlvules, per evitar fuites de fluid i el bon funcionament de les mateixes vàlvules.
- Control i calibratge setmanal dels instruments del procés.
- Revisió mensual de l'estat de les vàlvules de seguretat.

7.3. Manteniment predictiu

El manteniment predictiu consta d'un conjunt d'activitats de seguiment continu que permet una intervenció immediata en la detecció d'alguna anomalia en el procés. Addicionalment, s'utilitza com a resposta a la necessitat de reduir els costos dels mètodes més convencionals (preventius i correctius). A continuació, es mostraran els principals avantatges d'aquest tipus de manteniment:

- Determinació òptima del temps per a dur a terme el manteniment preventiu.
- Execució sense interrompre el funcionament normal de l'equip i les instal·lacions.
- Millora del coneixement i control dels estats dels equips.

Tot i això, hi ha fallades que no són apercebibles, ja que el monitoratge significatiu no és del tot viable i per aquest motiu poden presentar-se avaries no detectades pel programa de vigilància.

7.4. Reliability Centered Maintenance (RCM)

S'ha dut a terme l'estudi del manteniment centrat en la fiabilitat (RCM). Aquest estudi consisteix a focalitzar els recursos de manteniment, que es poden observar en l'Annex A.17.1.2, en aquelles fallades més crítiques per la seguretat, el medi ambient i la productivitat de les instal·lacions. L'objectiu principal és millorar el rendiment econòmic de la planta mitjançant la reducció de la pèrdua ocasionada per la no fiabilitat i/o indisponibilitat dels equips de producció.

L'aplicació del *Reliability Centered Maintenance* s'ha efectuat a la columna de destil·lació DC-303, ja que les columnes representen la unitat de procés en la que s'engloben més equips i es tracta d'aquella on s'aconsegueix el propilenglicol. La metodologia de l'aplicació del RCM consisteix en sis passos extrets de la (ref. 30) i es podrà seguir a l'Annex A.16.

Taula 7.1. Fulla d'anàlisi de formes i causes de fallada tècniques.

Element a mantenir	Tipus de fallada	Causa de fallada	Conseqüència	D	F	C	S	Total	Tasca	Freqüència	Cost anual (\$)
Carcassa	Pèrdua de l'espessor	Corrosió sota aïllament	Fuita del fluid a l'exterior	1	2	2	3	12	Manteniment preventiu		
Tubuladures (costat carcassa)	Fallada de la junta	Error humà del muntatge	Fuita del fluid a l'exterior	1	2	2	3	12	Manteniment preventiu		
		Deteriorament del material de la junta	Fuita del fluid a l'exterior	1	2	2	3	12	Manteniment preventiu		
Feix tubular	Pèrdua de l'espessor	Erosió per aigua	Fuita del fluid a l'exterior	2	1	2	1	4	Control de la qualitat del condensat	Setmanal	1.500
									Mesurar espessors residuals	Setmanal	3.000
Capçal superior	Pèrdua de l'espessor	Erosió per aigua	Fuita d'aigua a l'exterior	2	1	2	1	4	Manteniment correctiu		
Tubuladures (aigua)	Fallada de la junta	Error humà del muntatge	Fuita del fluid a l'exterior	1	2	2	3	12	Inspecció del muntatge	Anual	200

7.4.1. Resultats del *Reliability Centered Maintenance* (RMC)

Com a resultat del RMC realitzat, el sistema més crític de la columna de destil·lació DC-303 és la condensació. Tant a la Taula A.20 com a la Taula 7.1 es pot observar el valor de la criticitat calculada i el tipus de fallada, la causa i l'efecte, la tasca que s'ha de portar a cap amb la freqüència del manteniment i el cost anual d'aquest, respectivament.

Cal remarcar que el mètode RMC serveix per a dur a terme una anàlisi detallada dels equips que componen el procés de producció, això és degut a la definició de les fallades funcionals i tècniques de les unitats fixant unes tasques de manteniment preventiu, predictiu o correctiu en funció d'un valor assignat.

8. MANUAL D'OPERACIÓ

Aquest manual inclou el manual d'operació de la planta, és a dir, l'explicació de posada en marxa i la parada. Aquest manual inclou les parades per la situació de manteniment i per la situació d'emergència.

8.1. Comprovacions prèvies

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

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

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

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

8.2. Posada en marxa de serveis

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

8.3. Posada en marxa procés

Un cop revisat que tot funciona correctament es procedeix a posar en marxa el procés. El primer pas que s'ha de fer és alimentar el *mixer* M-101 amb PO i metanol per poder començar a crear aquesta mescla, cal destacar que en primera instància la vàlvula de sortida ha d'estar tancada. Aleshores, s'ha considerat que s'ha d'estar 3h esperant que s'ompli el tanc i es formi la barreja, un cop arribat aquest temps determinat s'obrirà la vàlvula de sortida perquè la barreja de reactius pugui passar al següent tanc.

Un cop comenci a emplenar-se el T-101 amb la vàlvula de sortida tancada també s'haurà d'esperar 3 hores que s'ompli el tanc, que actuarà com a pulmó i acabarà de formar aquesta barreja de metanol i PO. Un cop assolit el temps determinat, s'obrirà la vàlvula de sortida i s'enviarà el corrent cap al segon *mixer*, M-102.

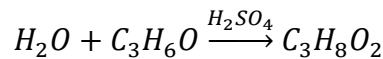
En el M-102 hi ha 3 entrades de reactius. Per una banda, hi ha un corrent que prové del T-101. Per altra banda, el corrent d'entrada d'aigua que s'utilitza en la reacció i per últim un corrent de recirculació de metanol, el qual durant la posada en marxa no aportarà res perquè encara no haurà arribat cap component a l'equip de separació. Per tant, tot el metanol del procés durant la posada en marxa haurà de ser subministrat des de l'entrada del component. El M-102 tarda 1 hora a omplir-se, quan aquest estigui ple s'obrirà la vàlvula de sortida i s'enviarà a la bomba P-101.

Cal destacar que el corrent des del M-101 fins al M-102 es mou per gravetat, és a dir, el M-101 és l'equip que està més amunt dels tres, tot seguit, procedeix el T-101 i per últim hi ha el M-102 que està 2 metres per sobre la superfície.

Aleshores, un cop comença a enviar-se corrent per la sortida del M-102 aquest és enviat a una bomba, on impulsarà la barreja de fluids fins a l'entrada de la columna DC-301, la qual està a uns 15 metres d'alçada, però abans de la DC-301 ha de passar pel reactor R-201.

L'entrada del reactor està posicionada pel fons, a una alçada de 5 metres. Aleshores, en aquest reactor arriba, per una banda, la mescla de PO, aigua en excés i metanol i, per altra banda, l'àcid sulfúric que servirà com a catalitzador, cal destacar que aquests components entren a una temperatura de 30°C aproximadament. A més a més, també hi ha una recirculació d'àcid sulfúric, la qual no aportarà res fins que el procés no estigui en estat estacionari.

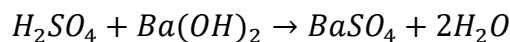
Un cop s'ajunten els reactius amb el catalitzador comença a produir-se la reacció, la qual treballa a 131,6 kPa i assoleix una temperatura de 82°C, i com a conseqüència es comença a formar el MPG. La reacció és la següent:



El R-201 tarda a omplir-se 1 hora, amb aquest temps se suposa que tot el PO ja ha estat reaccionat i s'ha format el MPG. Aleshores, quan el reactor està ple aquest corrent de productes surt pel cap, ja que funciona per sobre emplenament, és a dir, que la sortida estarà oberta i quan el nivell del reactor estigui a l'altura de la sortida aquest començarà a alimentar la columna DC-301.

La DC-301 és una columna que treballa a 131,6 kPa i té la finalitat de recuperar la màxima quantitat possible de catalitzador, ja que com aquest no reacciona es pot recircular. Quan la columna comença a funcionar, pel fons es treu la recirculació d'àcid sulfúric a una temperatura de 280°C i 131,6 kPa. Aquest corrent surt a una temperatura molt elevada, per tant, perquè compleixi les característiques de les entrades del R-201, 30°C, s'ha de passar aquest corrent per un intercanviador, el HE-301. Pel cap surt la resta de compostos, és a dir, MPG, aigua, metanol i una petita quantitat d'àcid sulfúric, ja que aquesta separació no té una eficiència del 100%. Aquest corrent surt a una pressió de 121,3 kPa i a una temperatura de 103,1°C, on seguidament passa per l'intercanviador HE-302 i es rebaixa la temperatura a 32°C.

Després de l'HE-302 el corrent de productes entra al neutralitzador, el N-301. La finalitat d'aquest equip és l'eliminació del PH àcid del corrent, i això es du a terme neutralitzant l'àcid sulfúric amb hidròxid de Bari. La reacció és la següent:



Amb aquesta reacció es forma un subproducte que és el sulfat de bari, el qual té la peculiaritat que és insoluble amb la resta de components del corrent, per tant, el corrent producte del N-301 s'envia al decantador D-301 per a eliminar aquesta sal.

Tornant al neutralitzador, aquest té dues entrades. Una d'elles és el corrent que prové del HE-302 i l'altre és una entrada d'hidròxid de bari, on anteriorment s'ha explicat la seva funció. Aquest equip tardarà 1 hora a omplir-se, un cop assolit el temps determinat s'obrirà la vàlvula de sortida que està posicionada al fons del neutralitzador i el corrent procedirà a anar fins al decantador.

Un cop el corrent arriba al decantador, aquest separarà el sulfat de bari del corrent de productes, només deixant aigua, metanol i MPG. Cal remarcar que des de la sortida per cap de la DC-301 fins al decantador D-301 el corrent es mou per gravetat, és a dir, els equips estan posicionats de tal manera que el corrent sempre anirà cap a baix.

Seguidament, el corrent de sortida del D-301 arriba a la bomba P-302, on aquesta impulsarà el corrent fins a l'entrada de la columna DC-302. Aquesta bomba es troba a l'altura de la superfície i impulsarà el corrent a 23 metres d'alçada, on es troba l'entrada de la DC-302.

La DC-302 és una columna que treballa a 121,3 kPa i té la finalitat de recuperar la màxima quantitat possible de metanol, ja que com aquest no reacciona es pot recircular. Quan aquesta columna assoleix el estat estacionari, pel cap treu el metanol recuperat a 111,3 kPa i a una temperatura de 68°C. Prèviament d'arribar al M-102 passa per l'intercanviador HE-303 per rebaixar la temperatura a 30°C. Per fons de la columna surt MPG i aigua a 121,3 kPa i 106,3°C, aquest corrent anirà directament a l'última columna, la DC-303. Aquest corrent per anar des del fons de la DC-302 fins a l'entrada de la DC-303 es mou per gravetat, és a dir, la sortida per fons de la columna DC-302 està posicionada més alta que l'entrada de la DC-303.

La DC-303 és una columna que treballa a 121,3 kPa i té com a finalitat obtenir el MPG amb una puresa del 99,8%. Aleshores, en aquesta columna pel cap sortirà l'aigua en excés del procés i per fons el producte de la planta, el MPG, a una temperatura de 190,9 °C on abans d'emmagatzemar-ho passa per l'intercanviador HE-304 per rebaixar la temperatura a 30°C.

8.4. Parada per manteniment

Per l'aturada de planta per manteniment el primer pas a seguir és parar el subministrament de matèries als equips, és a dir, es tanquen les vàlvules d'entrada dels equips. Seguidament, es buiden tots els equips de manera regulada i posteriorment s'apaguen tots els equips i els serveis de planta. Per finalitzar aquesta parada s'ha de fer un tractament químic als equips i canonades de procés per evitar la pèrdua de la qualitat del material. Un cop realitzats aquests passos ja es pot dur a terme les diferents tasques de manteniment.

8.5. Parada d'emergència

8.5.1. Fallada subministrament elèctric

La fallada del subministrament elèctric suposa haver d'aturar la planta, ja que els equips que depenen de l'energia elèctrica es pararien i tant els agitadors com les bombes no funcionarien. En definitiva, els equips afectats són prou importants perquè el procés funcioni, per tant, la seva aturada suposaria un gran problema.

8.5.2. Fallada d'aire d'instruments

La falla de l'aire d'instruments suposaria una fallada en totes les vàlvules de control del procés, aleshores el funcionament de la planta no estaria controlat i això suposaria una parada immediata de la planta.

8.5.3. Fallada del vapor d'aigua

La fallada del servei de vapor d'aigua principalment afectaria el funcionament dels *reboilers* i si aquests deixen d'evaporar una quantitat del líquid del fons de columna, aquesta s'inundaria provocant l'obertura de totes les vàlvules de sortida de la columna i d'aquesta forma el producte no sortiria amb l'especificació fixada.

8.5.4. Fallada aigua de refrigeració.

La fallada del subministrament d'aigua de refrigeració afectaria sobretot als intercanviadors de calor, on aquests no podrien rebaixar la temperatura del corrent del procés i això suposaria un gran problema, ja que la temperatura del procés no es podria controlar.

9. ESTUDI ECONÒMIC DE LA PLANTA

L'estudi econòmic és imprescindible en qualsevol estudi de la viabilitat d'una planta. S'ha realitzat aquest estudi econòmic per a les tres unitats de procés, determinant el cost estimat de la instal·lació i construcció de cada unitat i el VAN, la TIR i el *Pay-back Period*.

Aquest estudi s'ha fet seguint la metodologia del Turton (ref. 31). En l'estudi s'ha utilitzat la moneda \$, pel fet que al Turton (ref. 31) totes les dades utilitzaven aquesta moneda. La conversió és, per cada \$ equival a 0,93€.

9.1. Cost dels equips

Aquest apartat és molt important perquè a part de saber el cost dels equips, aquest capital a invertir serà necessari per a poder calcular la inversió inicial de la planta.

El preu dels equips s'ha extret mitjançant diferents càlculs referenciats en el Turton (ref. 31). En l'Annex A.17. es mostren tots els càlculs detallats pels diferents equips.

A continuació hi ha una taula amb tots els equips estudiats i els preus de cada un:

Taula 9.1. Resum del preu de tots els equips del procés.

Equips	Preu (\$)
M-101	411.170
M-102	585.577
R-201	2.256.114
N-301	2.212.108
DC-301	1.445.696
DC-302	719.182
DC-303	1.558.901
HE-301	10.965
HE-302	142.975
HE-303	45.641
HE-304	485.820
P-101	3.622
P-302	3.549

9.2. Estimació Inversió Inicial

L'estimació econòmica de la inversió inicial de la planta permet determinar la quantitat de capital que es necessita per construir la planta química i poder-la posar en funcionament. Per dur a terme aquesta estimació s'ha dividit els costos en directes i indirectes. A la Taula 9.2 es pot observar quins costos pertanyen a directes i quins a indirectes.

En l'apartat anterior s'ha determinat els costos dels equips del procés, això ha permès poder estimar la inversió inicial utilitzant el mètode de percentatges. Aquest mètode està descrit en el Turton (ref. 31), on es defineixen uns rangs de percentatges per cada tipus de cost, aleshores amb el preu dels equips i el percentatge del cost dels equips respecte a la inversió inicial es pot extreure l'estimació de capital necessari per fer la inversió inicial. Per tant, un cop definida la inversió inicial ja es pot extreure tots els altres costos. A continuació es mostrarà la taula amb els percentatges determinats i les estimacions de costos.

Taula 9.2. Costos directes de la inversió inicial.

Tipus de cost	Variable	Percentatge	Cost (\$)
Costos Directes	Equips	37	10.230.554
	Instal·lació equips	14	3.871.020
	Control i Instrumentació	7	1.935.510
	Canonades	20	5.530.029
	Sistemes elèctrics	3	829.504
	Edificis	7	1.935.510
	Terreny	3	829.504
	Equips de utilitats	9	2.488.513
TOTAL		100	27.650.146

Un cop definits els costos directes, es defineixen els indirectes. S'ha suposat que els costos directes són el 61% de la inversió inicial i a la resta són diferents costos indirectes que estan definits en la següent taula.

Taula 9.3. Costos directes i indirectes de la inversió inicial.

Tipus de cost	Variable	Percentatge	Cost (\$)
Costos Directes	Tots	61	27.650.146
Costos Indirectes	Mà d'obra d'instal·lació	22	9.972.184
	Mà d'obra d'estructures	7	3.172.968
	Enginyeria	4	1.813.124
	Supervisió	6	2.719.686
TOTAL		100	45.328.108

9.3. Ingressos i costos

Per poder completar l'avaluació econòmica apart de la inversió inicial cal saber els ingressos anuals i els costos fixos i variables de cada any. S'ha definit que la planta està en funcionament 350 dies l'any, per tant, les estimacions es suposen per un total de 8.400 hores a l'any.

9.3.1. Ingressos

Els ingressos que s'obtenen en la planta es basen en la venda de MPG amb una puresa del 99,8%. Aquesta puresa permet tindre un ventall d'opcions de venda molt més àmplies, ja que es pot fer servir des del sector industrial, el que menys puresa necessitaria, fins al sector alimentari, on es necessita una puresa alta. Aquest ventall permet vendre el MPG a diferents preus segons el destí del producte, on el més barat és l'industrial i el més car l'alimentari.

El preu del propilenglicol s'ha extret bibliogràficament, en la taula que hi ha a continuació es mostren els ingressos anuals.

Taula 9.4. Preu del propilenglicol i ingressos d'aquest.

Producte	Cabal (kg/h)	Producció (T/any)	Preu (\$/T)	Ingressos (\$/any)
MPG	5.710	47.962	1.600	76.738.483

9.3.2. Costos

Els costos anuals de la planta es divideixen en dos grups, els fixos i variables. Els fixos són aquells que no varien durant l'any, és a dir els sous dels treballadors de la planta i el manteniment programat de les màquines. En canvi, els variables sí que poden variar durant l'any, ja que van lligats amb la quantitat de producció que te la planta, a més a més, el preu depèn del mercat, per tant, aquest pot variar segons com estigui l'economia mundial. Aquests costos variables són les matèries primeres i les diferents *utilities* de la planta. A l'Annex A.17.2. es troben tots els costos ben definits.

A continuació es mostra una taula amb el total dels costos fixos i variables:

Taula 9.5. Costos Fixes i Variables.

Tipus	Cost (\$)
Costos Fixes	2.645.416
Costos Variables	46.453.776

9.4. Avaluació econòmica

L'avaluació econòmica s'efectua calculant el VAN, Valor Actual Net, la TIR, Taxa Interna de Rendibilitat i el *Pay-back Period*. Coneixent aquests paràmetres, es pot determinar si la implementació d'aquestes unitats de procés és rentable. El cost d'oportunitat és del 16% i la vida útil s'ha considerat de 10 anys. En l'Annex A.17.3. està tota la metodologia detallada del càlcul dels paràmetres.

Taula 9.6. VAN, TIR i *Pay-back Period* de la planta.

Paràmetre	Valor
VAN	\$ 52.071.687
TIR	43 %
Pay-back Period	2 anys i 3 mesos

10. CONCLUSIONS

L'objectiu inicial d'aquest treball de final de grau és dissenyar una planta de producció de propilenglicol de 48 kton/any amb una especificació de producte de 99,6%.

S'ha aconseguit dissenyar el procés amb el simulador *Aspen HysisTM v.11*. Un cop obtingut aquest, s'ha realitzat els diferents diagrames de flux, d'instrumentació i canonades.

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

S'ha dissenyat cadascun dels equips que formen el procés de producció incloent-hi la seva fitxa d'especificació. Pels *mixers*, tancs i reactors s'ha seguit el codi ASME Secció VIII Div.1, pels intercanviadors s'ha seguit el codi TEMA mitjançant el programa *Aspen EDRTM v.11*, per les columnes s'ha fet servir el simulador *Aspen HysisTM v.11* i per les bombes s'ha utilitzat diferents catàlegs per determinar els paràmetres necessaris de les corbes característiques.

S'ha elaborat el manual de seguretat incloent-hi el *HazOp + miniLOPA* de cada un dels equips del procés, l'estudi de les zones ATEX i un pla d'autoprotecció de la planta. A més a més, s'han dissenyat vàlvules de seguretat de diferents equips per a possibles casos de foc a la planta.

S'ha comptabilitzat els diferents tipus d'emissions que es poden arribar a produir en el procés de producció. S'ha identificat i avaluat les emissions a l'aire, els efluent líquids i residus sòlids.

S'ha estudiat diferents mètodes de manteniment: correctiu, predictiu, preventiu. Addicionalment, s'ha dut a terme un estudi RCM a la columna de destil·lació DC-303, on s'ha definit l'etapa de condensació com la més crítica.

S'ha efectuat el manual d'operació per tal de conèixer el protocol que s'ha de seguir tant per a la posada en marxa com per la parada del procés de producció. A més, aquest manual inclou el procediment de parada en cas d'emergència.

S'ha realitzat un estudi econòmic per tot el procés a partir dels paràmetres econòmic del VAN la TIR i el *Pay-back Period*. On s'ha obtingut un VAN de \$ 52 M, TIR de 43% i un *Pay-back Period* de 2 anys i 3 mesos. D'aquest estudi es conclouen uns resultats viables econòmicament.

Finalment, s'han aplicat tots els conceptes adquirits durant la carrera per tal de dur a terme el projecte, assolin la producció fixada en els objectius inicials i una especificació de producte del 99,8%, la qual està per sobre del propòsit inicial.

11. BIBLIOGRAFIA

- (ref. 1) Espallargas García, José. (2019). *Análisis tecnoeconómico de la producción de propilenglicol a partir de óxido de propileno* [Trabajo Fin de Grado, Universidad de Sevilla].
- (ref. 2) Kirk-Othmer (2013) *Chemical Technology of cosmetics*. John Wiley & Sons, INC., Publication.
- (ref. 3) Dow Chemical. *Dow Propylene Glycol (PG) USP/EP*. Último acceso: 7 de Mayo de 2022. <https://www.dow.com/es-es/pdp.propylene-glycol-pg-uspep.59518z.html#overview>
- (ref. 4) OEC. *Propylene glycol (propane-1,2-diol)*. Último acceso: 7 de Mayo de 2022. <https://oec.world/en/profile/hs/propylene-glycol-propane-12-diol>
- (ref. 5) Repsol (Abril 2018). *Propilenglicol USP/EP*. Repsol.
- (ref. 6) European pharmacopoeia online. (s/f). Edqm. Eu. Último acceso: 1 de Mayo de 2022. <https://pheur.edqm.eu/home>
- (ref. 7) USP en Español. (s/f). Uso. Org. Último acceso: 1 de Mayo de 2022. <https://www.usp.org/espanol>
- (ref. 8) Reglamento (UE) 231/2012 (9 de marzo de 2012). *Especificaciones para los aditivos alimentarios que figuran en los anexos II y III del Reglamento nº 1333/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo*.
- (ref. 9) Food Chemicals Codex (FCC). (01-Mar-2022). Último acceso: 1 de Mayo de 2022. <https://www.foodchemicalscodex.org/>
- (ref. 10) Reglamento de ejecución (UE) nº 892/2012 (27 de septiembre de 2012). *Precios representativos y los importes de los derechos adicionales de importación de determinados productos del sector del azúcar en la campaña 2012/13*.
- (ref. 11) EUR-Lex. (2011). *Productos cosméticos (hasta 2013)*. Último acceso: 1 de Mayo de 2022. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/LSU/?uri=CELEX:31976L0768>
- (ref. 12) K. Verschuere (1983), *Handbook of environmental data on organic chemicals*. Van Nostrand Reinhold Company, Nova York.
- (ref. 13) Omie. (s/f). *Resultados del mercado*. Último acceso: 7 de Junio de 2022. <https://www.omie.es/>
- (ref. 14) Climate-Data. (s/f). *Clima Tarragona*. Último acceso: 7 de Junio de 2022. <https://es.climate-data.org/europe/espana/cataluna/tarragona-1565/>
- (ref. 15) Megyesy, E. F. (2001). *Pressure vessel handbook*. USA.
- (ref. 16) Hanifah, Aisyah. (2016). *Preliminary design of propylene glycol plant from propylene oxide and water using acid catalyst capacity of 50,000 ton/year*. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- (ref. 17) Norma UNE 202007. (s.f.). Guía de aplicación de la norma EN 60079-10.
- (ref. 18) Norma UNE 60079-10-1-2016. (s.f.). ATEX Clasificación emplazamientos.
- (ref. 19) Seguretat Industrial Campus Virtual URV. (s.f.). *Tema 5 Document de Protecció Contra Explosions (DPCE)*. Universitat Rovira i Virgili, Tarragona.
- (ref. 20) PDVSA. (Agosto 1995). *Procedimientos para especificar y dimensionar válvulas de alivio de presión*. Manual de diseño de proceso.
- (ref. 21) Dirección General de Protección Civil y Emergencias. (Septiembre 2012). *Guía técnica para la elaboración de un plan de autoprotección*. Ministerio del Interior, Gobierno de España.

(ref. 22) Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. (s/f). *Control de la exposición a agentes químicos*. Último acceso: 12 de Mayo de 2022. <https://www.insst.es/-/control-de-la-exposicion-a-agentes-quimicos>

(ref. 23) Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. (2019). *Límites de exposición profesional para agentes químicos en España*. Ministerio de Trabajo, migraciones y Seguridad social. Gobierno de España.

(ref. 24) Real Decreto 1407/1992. (Diciembre 1992). BOE núm 311. Ministerio de relaciones con las cortes y de la secretaria del gobierno.

CONSULTES AL MAIG MATEIX (MEDIAMBIENT)

(ref. 25) Decreto 198/2015. (Septiembre 2015). *Gestión agrícola de los efluentes producidos en bodegas y almazaras*. Generalitat de Catalunya.

(ref. 26) Zewatech. (s/f). *Evaporadores para la gestión de residuos Industriales*. Último acceso: 12 de Mayo de 2022. <https://vacuumevaporator.com/>

(ref. 27) Grupo Vento. (Julio 2017). *Efluentes líquidos*. Último acceso: 12 de Mayo de 2022. <https://evaporadoresindustriales.grupovento.com/efluentes-liquidos/>

(ref. 28) Ley 15/2010. (Diciembre 2010). *Prevención de la contaminación lumínica y del fomento del ahorro y eficiencia energéticos derivados de instalaciones de iluminación*. Boletín Oficial del Estado, Agencia Estatal.

(ref. 29) Ley 7/2002. (Diciembre 2002). *Protección contra la contaminación acústica*. Boletín Oficial del Estado, Agencia Estatal.

(ref. 30) M.A. Romera Solanas (2002), *Aplicación del RCM a un proceso químico*. Mantenimiento, Derivados del Flúor, S.A.

(ref. 31) Richard Turton, Joseph A. Shaeiwitz Debangsu Bhattacharyya, Wallace B. Whiting (2018), *Analysis, Synthesis and Design of Chemical Processes*. International series in the physical and chemical engineering sciences.

(ref. 32) “Anónimo” (s/f). Capitulo 3. *Dimensionamiento de los equipos*.

(ref. 33) Valvias. (s/f). *Definición de coeficiente de caudal*. Último acceso: 5 de Mayo de 2022. <http://www.valvias.com/coeficiente-de-caudal.php>

(ref. 34) Escuelapedia. (s/f). *La gravedad específica (GE)*. Último acceso: 5 de Mayo de 2022. <https://www.escuelapedia.com/la-gravedad-especifica-ge/>

ANNEXOS

A.1. DISSENY DELS AGITADORS

A.1.1. Agitador vertical GFL

El disseny dels agitadors verticals de tipus GFL, característics per tenir unes hèlices que aconseguen el màxim d'agitació amb el mínim consum possible, s'han fet mitjançant l'empresa Inoxmim. A continuació, es podrà observar el full de càlcul de l'agitador per a cada un dels equips en funció de la densitat i viscositat del fluid.

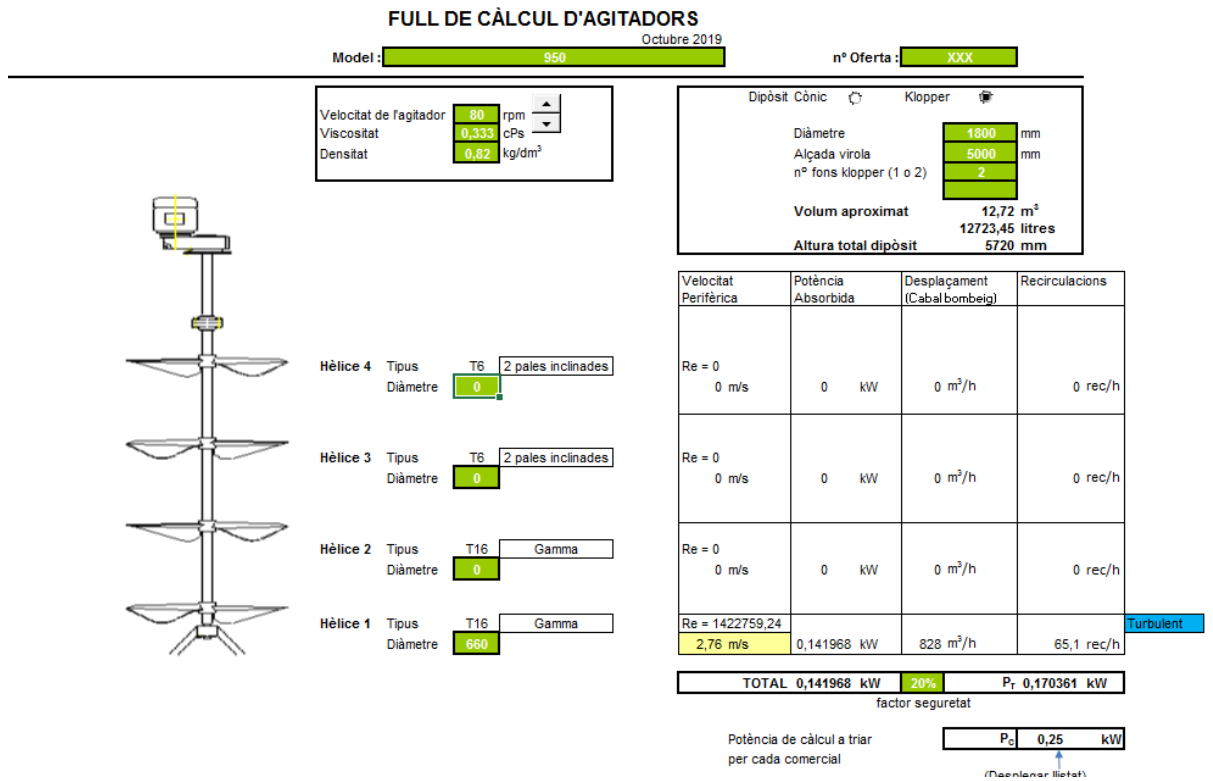


Figura A.1. Full de càlcul de l'agitador vertical tipus GFL per al *mixer* M-101.

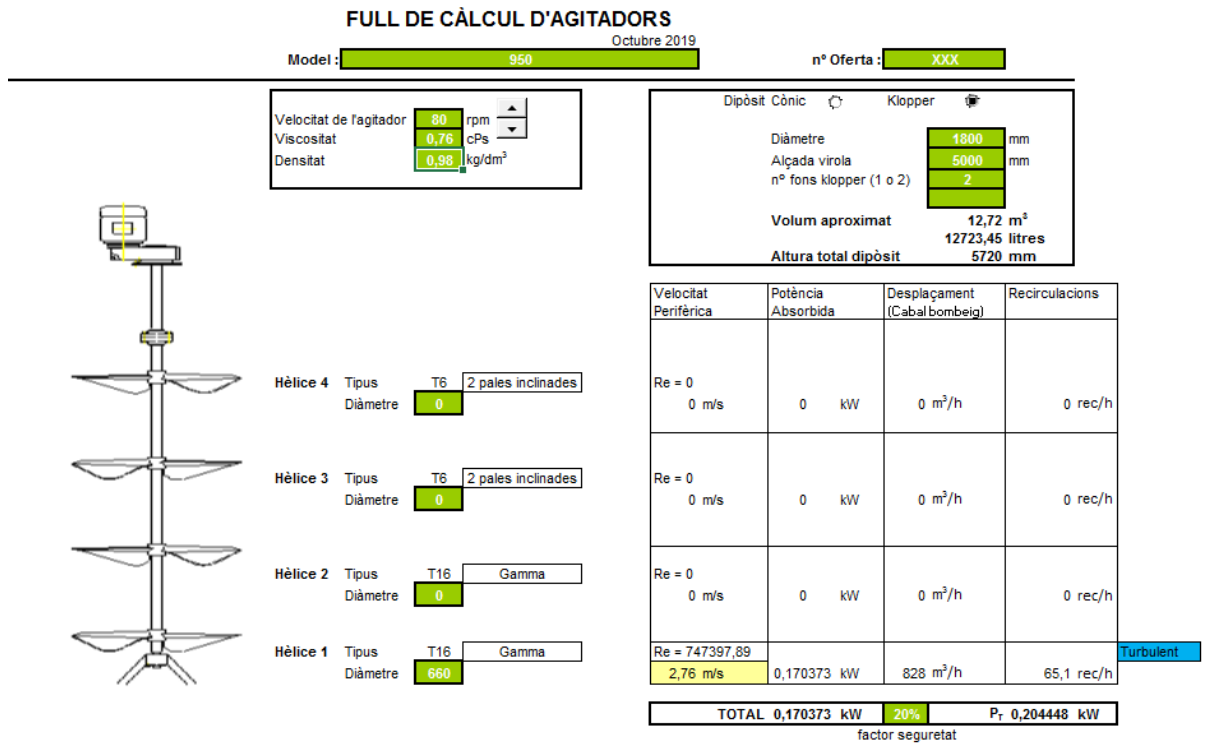


Figura A.2. Full de càlcul de l'agitador vertical tipus GFL per al mixer M-102.

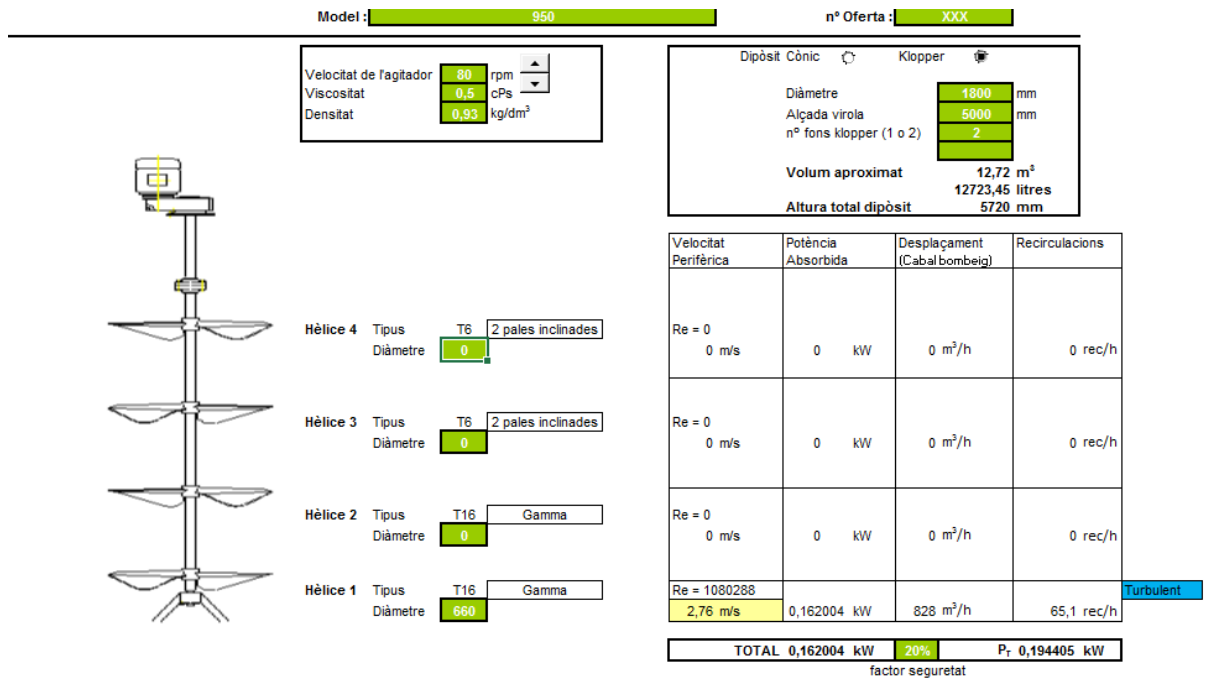


Figura A.3. Full de càlcul de l'agitador vertical tipus GFL per al reactor R-201.

A.2. DISSENY MECÀNIC D'EQUIPS A PRESSIÓ

En aquest annex es mostrarà la metodologia seguida pel disseny mecànic dels equips a pressió. Basant-se en les dades principals dels equips, es realitzen els càlculs pertinents pel disseny mecànic. El primer pas és el càlcul de la pressió i la temperatura de disseny de l'equip.

Per al càlcul de la pressió de disseny, primerament es calcula la pressió del líquid amb la següent equació:

$$P_{LIQ} = g \cdot \rho_{LIQ} \cdot h_{liq} \quad (A.1)$$

Seguidament, es realitza el càlcul seguint la següent fórmula on la pressió de disseny és la suma de la pressió del líquid, prèviament calculada, la pressió de l'equip i la P_E , que és la suma d'1 bar o el 10% de la pressió de l'equip (el valor més alt).

$$P_{disseny} = P_{LIQ} + P_{equip} + P_E \quad (A.2)$$

Per al càlcul de la temperatura de disseny, la metodologia que s'ha seguit es pot trobar en el següent *paper* (ref. 32), on:

$$T_{disseny} = T_{operació} \cdot \left(1 + \frac{A}{100}\right) + B \quad (A.3)$$

Aquestes constants A i B depenen del valor de la temperatura d'operació, a continuació es podrà observar la taula amb els valors:

Taula A.1. Valors de les constants A i B en funció de la temperatura d'operació en °F.

	Límit inferior (°F)	Límit superior (°F)	A	B
Rang 1	-460	32,0	0,00	-50,0
Rang 2	32,0	70,0	-100	70,0
Rang 3	70,0	200	-100	250
Rang 4	200	600	0,00	50,0
Rang 5	600		0,00	50,0

Per calcular l'espessor necessària d'aguantar la pressió de disseny interna de l'equip es busca l'estrès màxim permès del material, de l'equip, a la temperatura de disseny. Tot seguint les equacions de la norma ASME Secció VIII Div.1. (ref. 15):

$$t_{cilindre} = \frac{P_d \cdot R}{S \cdot E - 0,6 \cdot P_d} \quad (A.4)$$

$$t_{fons} = \frac{P_d \cdot D}{2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P_d} \quad (A.5)$$

On R és el radi de l'equip (mm), E és l'eficiència de soldadura, S tensió màxima admissible del material (MPa), P_d la pressió de disseny (MPa) i D el diàmetre de l'equip (mm).

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

Un cop calculat l'espessor de l'equip es calcula el volum (m^3) que ocupa la paret de l'equip, tant al cilindre com als capçals.

Primerament, se suposa un diàmetre de l'equip i amb la següent equació es calcula el volum dels capçals:

$$V_{capçals} = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot D \cdot \left(\frac{D}{4}\right)^2 \quad (\text{A.6})$$

Pel càlcul del volum del cilindre es calcula en funció del cabal d'entrada a l'equip, el temps de residència i un factor de seguretat:

$$V_{cilindre} = \frac{\rho_{compost}}{Q} \cdot T_r \cdot F_s - 2 \cdot V_{capçals} \quad (\text{A.7})$$

On $\rho_{compost}$ és la densitat del compost (kg/m^3), Q és el cabal (kg/h), T_r , és el temps màxim de residència (h) i F_s un factor de seguretat que en aquest cas és 1.25.

Per calcular el pes de l'equip ple d'aigua i ple de producte primerament es calcula el pes de l'equip buit amb la següent equació:

$$P_{buit,cilindre} = \pi \cdot \left(\frac{D}{2} - \left(\frac{D - \frac{t_{cilindre}}{1000}}{2}\right)\right) \cdot L \quad (\text{A.8})$$

$$P_{buit,fons} = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot \left(D - \left(D - \frac{2 \cdot t_{fons}}{1000}\right)\right) \cdot \left(\frac{D}{4}\right)^2 \quad (\text{A.9})$$

On D és el diàmetre de l'equip (m), L és la longitud de l'equip (m) i t són els gruixos calculats anteriorment (mm).

Un cop s'obté el pes buit:

$$P_{buit,equip} = P_{buit,fons} + P_{buit,cilindre} \quad (\text{A.10})$$

$$P_{aigua,equip} = V_{equip} \cdot \rho_{aigua} + P_{buit,equip} \quad (\text{A.11})$$

$$P_{producte,equip} = V_{equip} \cdot \rho_{producte} + P_{buit,equip} \quad (\text{A.12})$$

Finalment, la pressió de disseny es multiplica per 1.43 per trobar el valor de la pressió de la prova hidràulica.

$$P_{Prova Hidraulica} = 1,43 \cdot P_{disseny} \quad (\text{A.13})$$

A.3. CÀLCUL NPSH

Per calcular el NPSH disponible s'ha de seguir la següent expressió:

$$NPSHd = H_{atm} + H_g - H_{VP} - h_f \quad (A.14)$$

On:

- H_{atm} : és la pressió atmosfèrica expressada en m.c.a.
- H_g : és l'altura de succió absoluta.
- H_{vp} : és la tensió de vapor del fluid a la temperatura d'entrada expressada en m.c.a.
- H_f : és la pèrdua de càrrega a l'aspiració.

Per calcular la pèrdua de càrrega s'ha fet servir el factor K on s'utilitza la següent expressió:

$$h = K \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (A.15)$$

On:

- v : és la velocitat del fluid i és igual a 3 m/s.
- g : és la gravetat
- K : és el valor del paràmetre que apareix en la següent taula.

Aquesta expressió s'ha d'aplicar per cada vàlvula o colze i després sumar tots els resultats.

Taula A.2. Valor de K per cada vàlvula o colze.

Vàlvula	Valor de K
Vàlvula de comporta	0,2
Colze de 90°	0,75

Taula A.3. Pèrdua de càrrega per cada bomba.

Bomba	h_f
P-101	0,53
P-302	0,78

Per la línia d'aspiració de la P-101 hi ha dues vàlvules de comporta i un colze de 90°, en canvi, en la P-302 hi ha una vàlvula de comporta i dos colzes de 90°.

Un cop calculada la pèrdua de càrrega ja es pot procedir a calcular el NPSHd. En la següent taula s'observen els valors dels paràmetres fets servir i el resultat del NPSHd.

Taula A.4. Càlcul de NPSHd.

Paràmetre	P-101	P-302
H_{atm}	10,3	10,3
H_g	2,00	2,00
H_{vp}	0,10	0,10
h_f	0,53	0,78
NPSHd	11,7	11,4

A.4. DISSENY DE BESCANVIADORS

A.4.1. Mètode Kern

S'ha dimensionat els bescanviadors de carcassa i tubs sense canvi de fase de cap dels fluids mitjançant el mètode Kern. A continuació, es podrà observar la metodologia pel disseny de l'intercanviador HE-301. Pels altres bescanviadors s'ha seguit el mateix procediment.

Aquest intercanviador de calor té la funció de refrigerar el corrent de recirculació de l'H₂SO₄ mitjançant aigua de refrigeració. Per aquest càlcul, s'ha decidit que el fluid calent passa per carcassa i el fluid fred per tubs.

A.4.1.1. Extracció de dades del corrent

Per a l'extracció de dades i propietats del corrent 9, s'ha fet servir el programa *Aspen Hysys*. En la següent taula es veuen reflectits aquests resultats.

Taula A.5. Dades i propietats del corrent 9 i l'aigua de refrigeració.

Propietat	9 (fluid calent)	CW (fluid fred)
T _e (°C)	279	25,0
T _s (°C)	30,9	29,0
m (kg/h)	38,5	1.000
ΔP (bar)	0,60	1,00
ρ (kg/m ³)	1.677	998
C _p (J/kg K)	1.575	4.192
k (W/m K)	0,375	0,603
μ (kg/s m)	9,79·10 ⁻³	8,55·10 ⁻⁴
R _f (m ² K/W)	1,00·10 ⁻⁴	1,00·10 ⁻⁴

A.4.1.2. Procediment de càlcul del mètode Kern

Aquest procediment es basa en un mètode iteratiu i d'estandardització de valors per tal d'arribar a una solució final òptima. Tot seguit es mostra el procediment de càlcul.

A.4.1.2.1 Càlcul de la calor bescanviada

El primer pas és calcular la calor bescanviada (kW) a partir de l'equació i les dades del corrent fred, on m és el cabal màssic extret del balanç de matèria del procés, C_p la capacitat calorífica i T_s i T_e les temperatures de sortida i entrada respectivament.

$$Q = mC_p(T_s - T_e) \quad (\text{A.16})$$

Un cop calculada aquesta calor, es calcula la temperatura de sortida del corrent 9, ja que aquesta és la variable lliure.

A.4.1.2.2 Càlcul del ΔT_{lm}

Tot seguit, es calcula l'increment de temperatura logarítmica mitjana. En aquest cas, el fluid circula en contracorrent, per tant, l'equació és la (A.17), on T_{e,c} és la temperatura d'entrada del fluid calent, T_{s,c} és la temperatura de sortida del fluid calent, T_{e,f} és la temperatura d'entrada del fluid fred i T_{s,f} és la temperatura de sortida del fluid fred.

$$\Delta T_{lm} = \frac{(T_{e,c} - T_{s,f}) - (T_{s,c} - T_{e,f})}{\ln\left(\frac{T_{e,c} - T_{s,f}}{T_{s,c} - T_{e,f}}\right)} \quad (\text{A.17})$$

A.4.1.2.3 Càlcul de l'àrea de bescanvi

Per al càlcul de l'àrea s'utilitza la següent equació.

$$A = \frac{Q}{U_i \Delta T} \quad (\text{A.18})$$

Inicialment, se suposa un valor de U_i ($\text{W}/\text{m}^2 \text{K}$) que a mesura que es realitzin iteracions variarà. El valor inicial ha estat de 500.

A.4.1.2.4 Selecció de la geometria del tub

En la següent taula, es veu recollida la geometria de tub seleccionada a partir de la taula *tubs standart-recommended tube dimensions*.

Taula A.6. Geometria dels tubs.

Paràmetre	Valor
D (in)	0,75
BWG gauge (in)	16,0
D_i (in)	0,620
L (m)	1,22
$N_{\text{passos tub}}$	2,00
Disposició	Δ
Separació (in)	15/16

A.4.1.2.5 Càlcul del nombre de tubs

A continuació, es calcula el nombre de tubs mitjançant l'equació (A.20) a partir de a' , calculat a l'equació (A.19), l'àrea calculada i la longitud dels tubs.

$$a' = \pi D \quad (\text{A.19})$$

$$N_T = \frac{A}{L_T a'} \quad (\text{A.20})$$

A.4.1.2.6 Re-càlcul de l'àrea de bescanvi

A partir del nombre de tubs calculat, es va a la taula "*Carcasses standart*" i s'elegeix la que té el nombre de tubs més pròxim al trobat, coincidint amb la geometria dels tubs seleccionada anteriorment. En aquest cas, el diàmetre de la carcassa (DI) és de 8 in. Per al recàlcul de l'àrea, s'utilitza l'equació (A.20), amb el nombre de tubs seleccionat en aquest apartat.

A.4.1.2.7 Càlcul del coeficient de convecció dels tubs

Per al càlcul del coeficient de convecció dels tubs, es necessita saber el valor de l'àrea de pas total amb l'equació (A.22), on prèviament s'ha calculat la a'' amb l'equació (A.21).

$$a'' = \frac{\pi D^2}{4} \quad (\text{A.21})$$

$$a_{PT} = \frac{N_T a''}{N_{passos\ tub}} \quad (A.22)$$

Amb l'àrea de pas total calculada, es calcula la velocitat del fluid (m/s) dins dels tubs.

$$V_T = \frac{m}{\rho a_{PT}} \quad (A.23)$$

Després, es calculen els nombres adimensionals de Reynolds (A.24), Prandtl (A.25) i Nusselt. En funció de si el flux és laminar, segueix el comportament de la correlació (A.26) o en el cas de ser turbulent el Nusselt tindrà una equació o una altra seguint la correlació de Sieder-Tate (A.27).

$$Re = \frac{VD_i\rho}{\mu} \quad (A.24)$$

$$Pr = \frac{C_p\mu}{k} \quad (A.25)$$

$$Nu = 1.86 \left(\frac{Re Pr}{L/D} \right)^{\frac{1}{3}} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14} \quad (A.26)$$

$$Nu = 0.027 Re^{0.8} Pr^{\frac{1}{3}} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14} \quad (A.27)$$

El terme $\frac{\mu}{\mu_w}$ s'ha aproximat a 1, ja que les diferències de temperatures entre la paret i el fluid no són molt grans i es pot menysprear la relació.

Finalment, es calcula el coeficient de convecció h_{io} en W/m²K:

$$h_i = \frac{Nu k}{D_i} \quad (A.28)$$

$$h_{io} = h_i \frac{D_i}{D_o} \quad (A.29)$$

A.4.1.2.8 Càlcul de la pèrdua de càrrega dels tubs

Per tal d'estudiar la pèrdua de càrrega total, s'ha de tenir en compte la pèrdua de càrrega dels tubs i la dels canvis de passos. Amb aquestes equacions s'obté la pèrdua de càrrega en Pa.

Per a calcular la pèrdua de càrrega dels tubs es segueix l'equació (A.32), on el factor f es calcula seguint les següents equacions següents depenent si és laminar (A.30) o turbulent (A.31).

$$f = \frac{64}{Re} \quad (A.30)$$

$$f = (0.79 \ln(Re - 1.64))^{-2} \quad (A.31)$$

$$\Delta P_T = f \frac{L_T N_{passos\ tub} \rho V^2}{D \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14} 2} \quad (A.32)$$

Per altra banda, la pèrdua de càrrega en els canvis de pas es calcula de la manera següent:

$$\Delta P_r = 4 N_{passos\ tub} \frac{\rho V^2}{2} \quad (A.33)$$

D'aquesta forma, la pèrdua de càrrega total és la suma de les anteriors.

$$\Delta P_{TOTAL} = \Delta P_T + \Delta P_r \quad (A.34)$$

A.4.1.2.9 Càlcul del coeficient de convecció de la carcassa

Per realitzar el càlcul del coeficient de convecció de la part de la carcassa, és necessari el càlcul de la separació dels bafles, l'àrea de pas per carcassa, el diàmetre hidràulic, la velocitat del fluid i el Reynolds i Prandtl.

Per al càlcul de la separació de bafles (m), s'utilitza la següent expressió, on Z pren un valor entre 2 i 5.

$$B = \frac{DI}{Z} \quad (A.35)$$

Per altra banda, es calcula l'àrea de pas entre la carcassa (m²) mitjançant la fórmula (A.37). El paràmetre c' es troba amb l'equació (A.36), on P_T, anomenat *pitch*, és 1.25 cops el diàmetre extern del tub.

$$c' = P_T - D \quad (A.36)$$

$$a_{pc} = \frac{DI c' B}{P_T} \quad (A.37)$$

A l'hora de fer el disseny de la carcassa es calcula el diàmetre hidràulic (m) i aquests es calculen de manera diferent depenent de la distribució dels tubs és a dir, si estan en forma quadrangular (A.38) o en forma triangular (A.39).

$$D_H = \frac{4 \left(P_T^2 - \frac{\pi D^2}{4} \right)}{\pi D} \quad (A.38)$$

$$D_H = \frac{4 \left(\frac{P_T}{2} 0.86 P_T - \frac{\pi D^2}{2 \cdot 4} \right)}{\frac{\pi D}{2}} \quad (A.39)$$

Tot seguit es calcula la velocitat del fluid per carcassa (m/s).

$$V_C = \frac{m}{\rho a_{pc}} \quad (A.40)$$

El Reynolds (A.24) i el Prandtl (A.25) es calculen amb les equacions vistes anteriorment per tubs. L'única diferència és que el Reynolds ara es calcula amb el diàmetre hidràulic calculat.

En canvi, el Nusselt per la carcassa és diferent dels tubs i s'utilitza la correlació de Kern:

$$Nu = 0.36 Re^{0.55} Pr^{\frac{1}{3}} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14} \quad (A.41)$$

Per últim, es calcula el coeficient de convecció de la carcassa (W/m² K).

$$h_o = \frac{Nu k}{D_H} \quad (A.42)$$

A.4.1.2.10 Pèrdua de càrrega de la carcassa

La pèrdua de càrrega de la carcassa es calcula amb l'equació (A.45). Per trobar el valor de N se segueix la igualació (A.43) i per trobar el valor de f l'equació (A.44).

$$N + 1 = \frac{L_T}{B} \quad (A.43)$$

$$f = \frac{0.5}{Re^{0.2}} \quad (A.44)$$

$$\Delta P_C = 4f \frac{DI(N+1)\rho V^2}{D_H \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0.14} 2} \quad (A.45)$$

A.4.1.2.11 Comprovació tèrmica

Primerament, es calculen el coeficient global de transferència de calor net (A.46) i el coeficient global de transferència de calor de servei (A.47) mitjançant les següents fórmules en W/m² K.

$$\frac{1}{U_L} = \frac{1}{h_{io}} + \frac{1}{h_o} \quad (A.46)$$

$$\frac{1}{U_S} = \frac{1}{U_L} + R''_{fc} + R''_{ff} \quad (A.47)$$

Un cop es troben els valors, es calcula l'àrea requerida pel bescanviador amb l'equació (A.18) amb el coeficient global de transferència de calor de servei.

A.4.1.3. Resultats del mètode Kern

A continuació es mostren els resultats obtinguts a partir de la realització d'iteracions, d'estandarditzar el nombre, diàmetre i gruix de tubs, i de seleccionar un diàmetre de carcassa vàlid.

A.4.1.3.1 Bescanviador HE-301

Taula A.7. Resultats finals del bescanviador HE-301 amb el mètode Kern.

Paràmetre	Valor
N _T	36,0
V _T (m/s)	7,94·10 ⁻³
Reynolds tubs	1.459
Prandtl tubs	5,95
Nusselt tubs	10,0
h _i (W/m ² K)	228
h _{io} (W/m ² K)	188
f tubs	5,90·10 ⁻²
ΔP _T tubs (kPa)	2,88·10 ⁻²
ΔP _r tubs (kPa)	2,52·10 ⁻²
ΔP _{TOTAL} tubs (kPa)	5,39·10 ⁻²
Pitch (mm)	23,8
B (m)	0,102
DI (m)	0,0157
N _c	8,53
a _{pc} (m ²)	4,10·10 ⁻³

D_H (triangular)	0,0135
V_C (m/s)	$1,55 \cdot 10^{-3}$
Reynolds carcassa	24,4
Prandtl carcassa	41,1
Nusselt carcassa	10,0
h_o (W/m ² K)	451
N	11,0
f carcassa	0,2639
ΔP_C (kPa)	$2,27 \cdot 10^{-4}$
U_L (W/m ² K)	133
U_S (W/m ² K)	129
A (m ²)	2,00

A.4.1.3.2 Bescanviador HE-302

Taula A.8. Resultats finals del bescanviador HE-302 amb el mètode Kern.

Paràmetre	Valor
N_T	239
V_T (m/s)	2,40
Reynolds tubs	26.395
Prandtl tubs	43,3
Nusselt tubs	327
h_i (W/m ² K)	11.505
h_{io} (W/m ² K)	9.510
f tubs	$2,40 \cdot 10^{-2}$
ΔP_T tubs (kPa)	10,0
ΔP_f tubs (kPa)	11,7
ΔP_{TOTAL} tubs (kPa)	22,7
Pitch (mm)	23,8
B (m)	0,216
DI (m)	0,432
Nc	18,1
a_{pc} (m ²)	$1,86 \cdot 10^{-2}$
D_H (triangular)	0,0135
V_C (m/s)	0,50

Reynolds carcassa	4.793
Prandtl carcassa	3,98
Nusselt carcassa	53,0
h_o (W/m ² K)	546
N	10,3
f carcassa	$9,18 \cdot 10^{-2}$
ΔP_C (kPa)	17,2
U_L (W/m ² K)	516
U_S (W/m ² K)	468
A (m ²)	34,0

A.4.1.3.3 Bescanviador HE-303

Taula A.9. Resultats finals del bescanviador HE-303 amb el mètode Kern.

Paràmetre	Valor
N_T	36,0
V_T (m/s)	0,103
Reynolds tubs	2.658
Prandtl tubs	6,25
Nusselt tubs	27,0
h_i (W/m ² K)	1.056
h_{io} (W/m ² K)	873
f tubs	$4,70 \cdot 10^{-2}$
ΔP_T tubs (kPa)	$6,75 \cdot 10^{-2}$
ΔP_r tubs (kPa)	$1,63 \cdot 10^{-2}$
ΔP_{TOTAL} tubs (kPa)	$8,38 \cdot 10^{-2}$
Pitch (mm)	23,8
B (m)	0,102
DI (m)	0,203
Nc	8,53
a_{pc} (m ²)	$4,10 \cdot 10^{-3}$
D_H (triangular)	0,0135
V_C (m/s)	$7,63 \cdot 10^{-2}$
Reynolds carcassa	1.693
Prandtl carcassa	5,38

Nusselt carcassa	40,0
h_o (W/m ² K)	636
N	53,0
f carcassa	0,113
ΔP_C (kPa)	0,820
U_L (W/m ² K)	368
U_S (W/m ² K)	343
A (m ²)	10,2

A.4.1.3.4 Bescanviador HE-304

Taula A.10. Resultats finals del bescanviador HE-304 amb el mètode Kern.

Paràmetre	Valor
N_T	361
V_T (m/s)	$44,0 \cdot 10^{-2}$
Reynolds tubs	1.121
Prandtl tubs	4,04
Nusselt tubs	12,0
h_i (W/m ² K)	136
h_{io} (W/m ² K)	113
f tubs	$6,50 \cdot 10^{-2}$
ΔP_T tubs (kPa)	$2,43 \cdot 10^{-2}$
ΔP_f tubs (kPa)	$3,84 \cdot 10^{-3}$
ΔP_{TOTAL} tubs (kPa)	$2,81 \cdot 10^{-2}$
Pitch (mm)	23,8
B (m)	0,267
DI (m)	0,533
Nc	22,4
a_{pc} (m ²)	$2,85 \cdot 10^{-2}$
D_H (triangular)	0,0135
V_C (m/s)	$5,80 \cdot 10^{-2}$
Reynolds carcassa	1.267
Prandtl carcassa	249
Nusselt carcassa	180
h_o (W/m ² K)	8.437
N	21,9

f carcassa	0,120
ΔP_C (kPa)	0,714
U_L (W/m ² K)	111
U_S (W/m ² K)	109
A (m ²)	125

A.4.2. Aspen Exchanger Design & Rating

Tot seguit es mostraran les diferents *TEMA Sheet* dels bescanviadors dissenyats amb el programa *Aspen Exchanger Design & Rating*.

A.4.2.1. TEMA Sheet HE-301

1	Company:									
2	Location:									
3	Service of Unit:					Our Reference:				
4	Item No.:					Your Reference:				
5	Date:		Rev No.:			Job No.:				
6	Size: 152 - 1219,2		mm		Type: BEM		Horizontal		Connected in: 1 parallel 1 series	
7	Surf/unit(eff.)		1,8		m ²		Shells/unit 1		Surf/shell(eff.) 1,8 m ²	
8	PERFORMANCE OF ONE UNIT									
9	Fluid allocation				Shell Side			Tube Side		
10	Fluid name									
11	Fluid quantity, Total				0,0107			0,2778		
12	Vapor (In/Out)				kg/s		0		0	
13	Liquid				kg/s		0,0107		0,2778	
14	Noncondensable				kg/s		0		0	
15										
16	Temperature (In/Out)				°C		279		30,89	
17	Bubble / Dew point				°C		279,13 / 281,53		279,13 / 281,53	
18	Density Vapor/Liquid				kg/m ³		/ 1547,67		/ 1805,52	
19	Viscosity				kg/(m-s)		/ 0,000354		/ 0,01923	
20	Molecular wt, Vap									
21	Molecular wt, NC									
22	Specific heat				kJ/(kg-K)		/ 1,708		/ 1,442	
23	Thermal conductivity				W/(m-K)		/ 0,4107		/ 0,34	
24	Latent heat kJ/kg									
25	Pressure (abs)				bar		1,313		1,31297	
26	Velocity (Mean/Max)				m/s		0 / 0		0,11 / 0,11	
27	Pressure drop, allow./calc.				bar		0,1379		3E-05	
28	Fouling resistance (min)				m ² -K/W		0,0001		0,0001 0,00012 Ao based	
29	Heat exchanged		4,2		kW		MTD (corrected)		63,56 °C	
30	Transfer rate, Service		37		Dirty		72,2		Clean 73,3 W/(m ² -K)	
31	CONSTRUCTION OF ONE SHELL							Sketch		
32					Shell Side			Tube Side		
33	Design/Vacuum/test pressure		bar		3,44738 / /			3,44738 / /		
34	Design temperature / MDMT		°C		315,56 / /			315,56 / /		
35	Number passes per shell				1			2		
36	Corrosion allowance		mm		0			0		
37	Connections		In		mm 1 12,7 / -			1 12,7 / -		
38	Size/Rating		Out		1 12,7 / -			1 12,7 / -		
39	Nominal		Intermediate		/ -			/ -		
40	Tube #: 26		OD: 19,05		Tks. Average 1,65		mm		Length: 1219,2 mm Pitch: 23,81 mm Tube pattern:30	
41	Tube type: Plain		Insert:None			Fin#:		#/m Material:SS 316L		
42	Shell SS 316L		ID 162,74		OD 168,28		mm		Shell cover -	
43	Channel or bonnet SS 316L		Channel cover -							
44	Tubesheet-stationary SS 316L		Tubesheet-floating -							
45	Floating head cover -		Impingement protection None							
46	Baffle-cross SS 316L		Type		Single segmental		Cut(%d) 40,25		Hori:Spacing: c/c 146,05 mm	
47	Baffle-long -		Seal Type			Inlet		212,72 mm		
48	Supports-tube U-bend		0		Type					
49	Bypass seal		Tube-tubesheet joint			Expanded only (2 grooves)(App.A 'i)				
50	Expansion joint -		Type None							
51	RhoV2-Inlet nozzle 2		Bundle entrance 0		Bundle exit 0		kg/(m-s ²)			
52	Gaskets - Shell side -		Tube side			Flat Metal Jacket Fibe				
53	Floating head -									
54	Code requirements		ASME Code Sec VIII Div 1			TEMA class		R - refinery service		
55	Weight/Shell		125,8		Filled with water 149,4		Bundle 39,3		kg	
56	Remarks									
57										
58										

Figura A.4. TEMA Sheet bescanviador HE-301.

A.4.2.2. TEMA Sheet HE-302

1	Company:									
2	Location:									
3	Service of Unit:					Our Reference:				
4	Item No.:					Your Reference:				
5	Date:			Rev No.:			Job No.:			
6	Size: 432 - 2438,4		mm		Type: BEM Horizontal		Connected in: 1 parallel 1 series			
7	Surf/unit(eff.)		34,6		m ²		Shells/unit 1		Surf/shell(eff.) 34,6 m ²	
8	PERFORMANCE OF ONE UNIT									
9	Fluid allocation					Shell Side		Tube Side		
10	Fluid name					10		WATER		
11	Fluid quantity, Total					33256		404845		
12	Vapor (In/Out)					kg/h 0 0		0 0		
13	Liquid					kg/h 33256 33256		404845 404845		
14	Noncondensable					kg/h 0 0		0 0		
15										
16	Temperature (In/Out)					°C 103,1 35,09		5 10,07		
17	Bubble / Dew point					°C 104,88 / 127,1 104,04 / 126,29		/ /		
18	Density Vapor/Liquid					kg/m ³ / 947,94 / 992,25		/ 998,14 / 998,8		
19	Viscosity					cp / 0,3074 / 0,8465		/ 1,5466 / 1,3333		
20	Molecular wt, Vap									
21	Molecular wt, NC									
22	Specific heat					kJ/(kg-K) / 3,963 / 3,86		/ 4,2 / 4,198		
23	Thermal conductivity					W/(m-K) / 0,5768 / 0,5312		/ 0,5731 / 0,5801		
24	Latent heat					kJ/kg				
25	Pressure (abs)					bar 1,213 1,17714		1,01325 0,85113		
26	Velocity (Mean/Max)					m/s 0,26 / 0,27		2,37 / 2,37		
27	Pressure drop, allow./calc.					bar 0,12066 0,03586		0,20684 0,16212		
28	Fouling resistance (min)					m ² -K/W 0,0001		0,0001 0,00012 Ao based		
29	Heat exchanged		2394		kW		MTD (corrected)		55,86 °C	
30	Transfer rate, Service		1237,5		Dirty		1237,5		Clean 1703,2 W/(m ² -K)	
31	CONSTRUCTION OF ONE SHELL					Sketch				
32						Shell Side		Tube Side		
33	Design/Vacuum/test pressure					bar 3,44738 / /		3,44738 / /		
34	Design temperature / MDMT					°C 143,33 /		48,89 /		
35	Number passes per shell					1		1		
36	Corrosion allowance					mm 0		0		
37	Connections		In		mm 1 90,12 / -		1 304,8 / -			
38	Size/Rating		Out		1 154,05 / -		1 254,51 / -			
39	ID		Intermediate		/ -		/ -			
40	Tube #: 244		OD: 0,75		Tks. Average 0,065		in Length: 2438,4		mm Pitch: 23,81 mm Tube pattern:30	
41	Tube type: Plain		Insert:None		Fin#:		#/m		Material:SS 316L	
42	Shell SS 316L		ID 431,8		OD 441,32		mm		Shell cover -	
43	Channel or bonnet SS 316L								Channel cover -	
44	Tubesheet-stationary SS 316L								Tubesheet-floating -	
45	Floating head cover -								Impingement protection None	
46	Baffle-cross SS 316L		Type Single segmental		Cut(%d) 35,67		Hori:Spacing: c/c 222,25		mm	
47	Baffle-long -		Seal Type				Inlet 407,99		mm	
48	Supports-tube U-bend		0		Type					
49	Bypass seal		Tube-tubesheet joint		Expanded only (2 grooves)(App.A 'i')					
50	Expansion joint -		Type None							
51	RhoV2-Inlet nozzle 2213		Bundle entrance 119		Bundle exit 114		kg/(m ² -s ²)			
52	Gaskets - Shell side -		Tube side		Flat Metal Jacket Fibe					
53	Floating head -									
54	Code requirements		ASME Code Sec VIII Div 1		TEMA class R - refinery service					
55	Weight/Shell		911,1 Filled with water		1373,7 Bundle		520,4		kg	
56	Remarks									
57										
58										

Figura A.5. TEMA Sheet bescanviador HE-302.

A.4.2.3. TEMA Sheet HE-303


1	Company:										
2	Location:										
3	Service of Unit:					Our Reference:					
4	Item No.:					Your Reference:					
5	Date:		Rev No.:			Job No.:					
6	Size:	152 - 5486,4	mm	Type:	BEM	Horizontal	Connected in:	1 parallel	1 series		
7	Surf/unit(eff.)	10,1	m ²	Shells/unit	1	Surf/shell(eff.)	10,1	m ²			
8	PERFORMANCE OF ONE UNIT										
9	Fluid allocation		Shell Side				Tube Side				
10	Fluid name		15				WATER				
11	Fluid quantity, Total		1130				2000				
12	Vapor (In/Out)		kg/s		0		0		0		
13	Liquid		kg/s		0,3139		0,3139		0,5556		
14	Noncondensable		kg/s		0		0		0		
15											
16	Temperature (In/Out)		°C		67,54		31,08		25		
17	Bubble / Dew point		°C		67,85 / 69,87		67,68 / 69,67		/ /		
18	Density Vapor/Liquid		kg/m ³		/ 751,97		/ 786,2		/ 998,27		
19	Viscosity		cp		/ 0,3789		/ 0,5596		/ 0,8974		
20	Molecular wt, Vap										
21	Molecular wt, NC										
22	Specific heat		kJ/(kg-K)		/ 3,044		/ 2,623		/ 4,192		
23	Thermal conductivity		W/(m-K)		/ 0,2073		/ 0,2187		/ 0,6004		
24	Latent heat		kJ/kg								
25	Pressure (abs)		bar		1,113		1,10221		1,01325		
26	Velocity (Mean/Max)		m/s		0,08 / 0,1		0,09 / 0,09				
27	Pressure drop, allow./calc.		bar		0,11113		0,01079		0,20684		
28	Fouling resistance (min)		m ² -K/W		0,0001		0,0001		0,00012		
29	Heat exchanged		kW		32,2		MTD (corrected)		15,07		
30	Transfer rate, Service		W/(m ² -K)		212,4		Clean		228,7		
31	CONSTRUCTION OF ONE SHELL										
32						Shell Side		Tube Side		Sketch	
33	Design/Vacuum/test pressure		bar		3,44738 / /		3,44738 / /				
34	Design temperature / MDMT		°C		104,44 / /		104,44 / /				
35	Number passes per shell				1		1				
36	Corrosion allowance		mm		0		0				
37	Connections		In		mm 1 25,4 / -		mm 1 19,05 / -				
38	Size/Rating		Out		1 19,05 / -		1 19,05 / -				
39	Nominal		Intermediate		/ -		/ -				
40	Tube #: 31 OD: 19,05 Tks. Average 1,65 mm Length: 5486,4 mm Pitch: 23,81 mm Tube pattern: 30										
41	Tube type: Plain Insert: None Fin#: #/m Material: SS 316L										
42	Shell SS 316L		ID 162,74		OD 168,28		mm		Shell cover -		
43	Channel or bonnet		SS 316L						Channel cover -		
44	Tubesheet-stationary		SS 316L						Tubesheet-floating -		
45	Floating head cover								Impingement protection None		
46	Baffle-cross SS 316L		Type		Single segmental		Cut(%d) 37,33		Hori:Spacing: c/c 120,65 mm		
47	Baffle-long -		Seal Type						Inlet 117,48 mm		
48	Supports-tube		U-bend		0		Type				
49	Bypass seal				Tube-tubesheet joint		Expanded only (2 grooves)(App.A 'i')				
50	Expansion joint				Type		None				
51	RhoV2-Inlet nozzle		421		Bundle entrance 7		Bundle exit 7		kg/(m-s ²)		
52	Gaskets - Shell side				Tube side		Flat Metal Jacket Fibe				
53	Floating head										
54	Code requirements		ASME Code Sec VIII Div 1				TEMA class R - refinery service				
55	Weight/Shell		291,7		Filled with water 389,7		Bundle 148,5		kg		
56	Remarks										
57											
58											

Figura A.6. TEMA Sheet bescanviador HE-303.

A.4.2.4. TEMA Sheet HE-304


1	Company: TRYLENGLICOL																
2	Location: Tarragona, Spain																
3	Service of Unit:					Our Reference:											
4	Item No.:					Your Reference:											
5	Date:		Rev No.:			Job No.:											
6	Size:	483 - 6096	mm	Type:	BEM Horizontal	Connected in:		1 parallel	1 series								
7	Surf/unit(eff.)	116,1	m ²	Shells/unit	1	Surf/shell(eff.)		116,1	m ²								
8	PERFORMANCE OF ONE UNIT																
9	Fluid allocation				Shell Side			Tube Side									
10	Fluid name				18			WATER									
11	Fluid quantity, Total				1,5896			3,0556									
12	Vapor (In/Out)				kg/s		0	0	0	0							
13	Liquid				kg/s		1,5896	1,5896	3,0556	3,0556							
14	Noncondensable				kg/s		0	0	0	0							
15																	
16	Temperature (In/Out)				°C		190,9	32,48	25	84,17							
17	Bubble / Dew point				°C		191,91 / 195,26	191,3 / 194,71	100,09 / 100,09	99,43 / 99,43							
18	Density Vapor/Liquid				kg/m ³		/ 896,58	/ 1030,4	/ 998,27	/ 970,57							
19	Viscosity				kg/(m-s)		/,00034E	/,02957E	/,000897	/,00033E							
20	Molecular wt, Vap																
21	Molecular wt, NC																
22	Specific heat				kJ/(kg-K)		/ 3,482	/ 2,562	/ 4,192	/ 4,189							
23	Thermal conductivity				W/(m-K)		/ 0,1483	/ 0,2143	/ 0,6004	/ 0,6661							
24	Latent heat				kJ/kg												
25	Pressure (abs)				bar		1,213	1,19555	1,01325	0,98872							
26	Velocity (Mean/Max)				m/s		0,04 / 0,04		0,05 / 0,05								
27	Pressure drop, allow/calc.				bar		0,12066	0,01745	0,20684	0,02453							
28	Fouling resistance (min)				m ² -K/W		0,0001		0,0001	0,00012 Ao based							
29	Heat exchanged		757	kW		MTD (corrected)		41,39	°C								
30	Transfer rate, Service		157,5	Dirty		158,1	Clean		163,9	W/(m ² -K)							
31	CONSTRUCTION OF ONE SHELL					Sketch											
32					Shell Side		Tube Side										
33	Design/Vacuum/test pressure		bar	3,44738 / /		3,44738 / /											
34	Design temperature / MDMT		°C	226,67 /		226,67 /											
35	Number passes per shell			1		1											
36	Corrosion allowance		mm	0		0											
37	Connections		In	mm	1 38,1 / -	1 50,8 / -											
38	Size/Rating		Out		1 50,8 / -	1 38,1 / -											
39	Nominal		Intermediate		/ -	/ -											
40	Tube #:	322	OD:	0,75	Tks. Average	0,065	in	Length:			6096	mm	Pitch:	0,0238	m	Tube pattern:	30
41	Tube type: Plain		Insert:None		Fin#:		#/m				Material:SS 316L						
42	Shell SS 316L		ID	482,6	OD	492,12	mm	Shell cover		-							
43	Channel or bonnet SS 316L		Channel cover							-							
44	Tubesheet-stationary SS 316L		Tubesheet-floating							-							
45	Floating head cover -		Impingement protection							None							
46	Baffle-cross SS 316L		Type	Single segmental		Cut(%d)	41,45	Hori:Spacing: c/c		304,8	mm						
47	Baffle-long -		Seal Type				Inlet		422,28	mm							
48	Supports-tube		U-bend	0		Type											
49	Bypass seal		Tube-tubesheet joint			Expanded only (2 grooves)(App.A 'I')											
50	Expansion joint -		Type							None							
51	RhoV2-Inlet nozzle		1634	Bundle entrance		4	Bundle exit		4	kg/(m-s ²)							
52	Gaskets - Shell side -		Tube side			Flat Metal Jacket Fibe											
53	Floating head -																
54	Code requirements		ASME Code Sec VIII Div 1			TEMA class		R - refinery service									
55	Weight/Shell		2080,9	Filled with water		3042,3	Bundle		1563	kg							
56	Remarks																
57																	
58																	

Figura A.7. TEMA Sheet bescanviador HE-304.

A.5. RESULTATS DE LA SIMULACIÓ DE LA DC-301

En aquest annex es poden observar els resultats de la simulació *shortcut* de la columna DC-301. Primerament, es mostra un esquema extret de l'*Aspen Hysys™ v.11* on es mostra la columna DC-301.

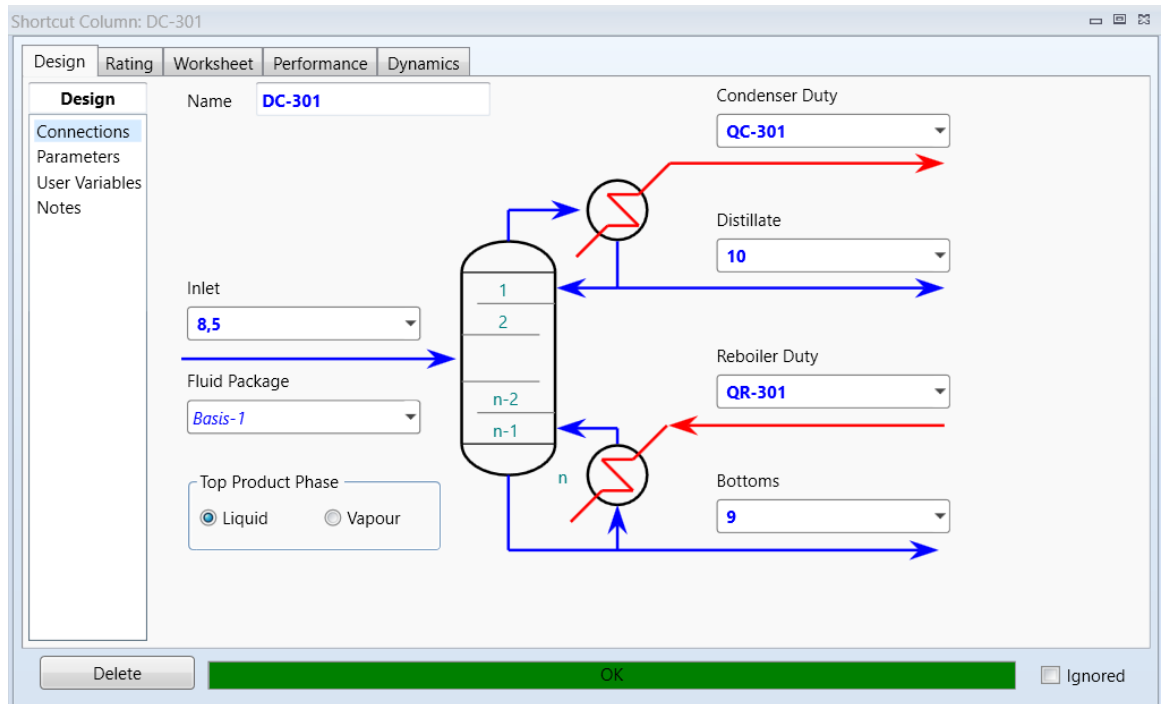


Figura A.8. Esquema de la simulació de la columna DC-301.

El primer pas que s'ha realitzat a l'hora del disseny de la columna ha estat fer una simulació prèvia mitjançant la funció *shortcut*. A aquesta columna se li ha indicat les fraccions de propilenglicol (clau lleuger) per fons i d'àcid sulfúric (clau pensant) per cap de columna, és a dir, en el destil·lat. Aquesta informació es pot observar a continuació en la figura.

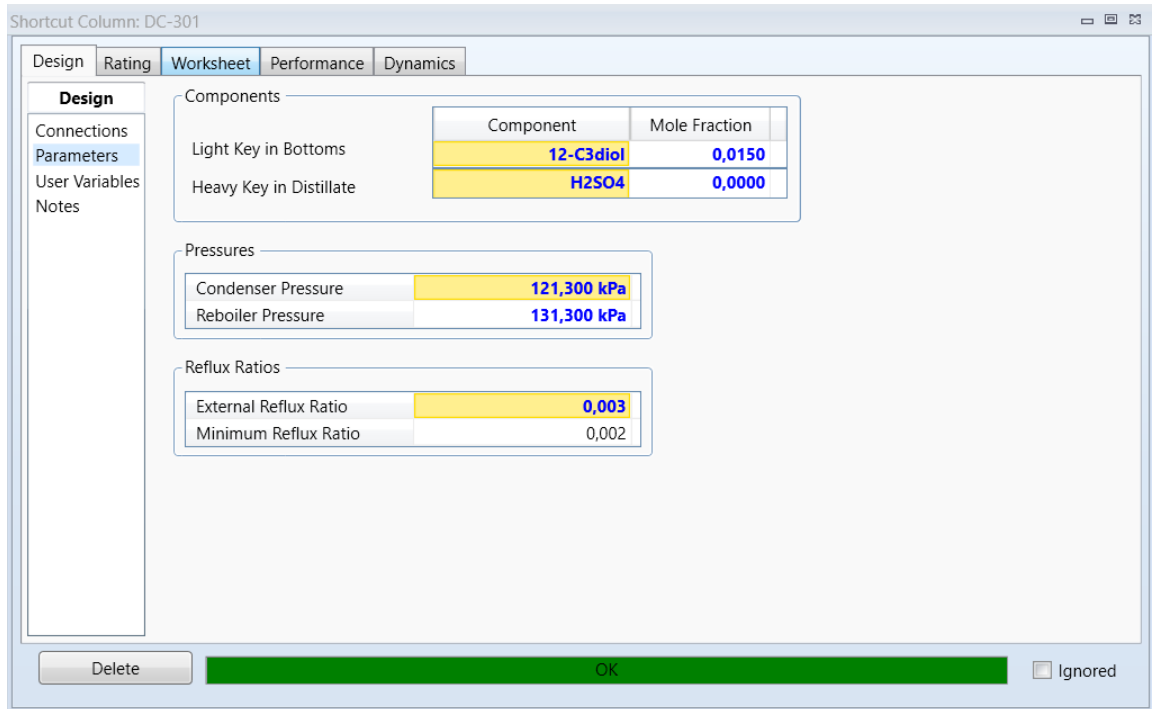


Figura A.9. Inputs de la columna DC-301.

Amb aquesta simulació s'han obtingut els valors de reflux mínim, nombre d'etapes mínim, etapes i etapa d'alimentació, entre d'altres. Aquests resultats es poden observar a continuació.

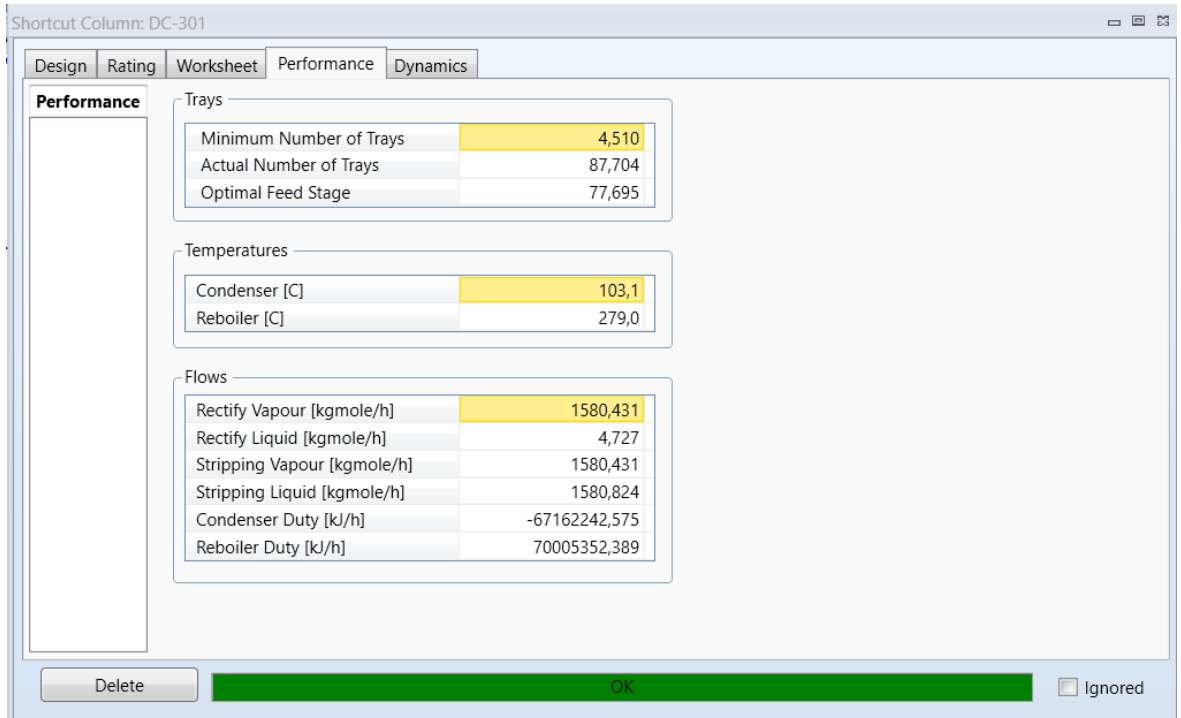


Figura A.10. Resultat de la simulació *shortcut* de la columna DC-301.

A.6. RESULTATS DE LA SIMULACIÓ DE LA DC-302

En aquest annex es poden observar els resultats de la simulació de la columna DC-302. Primerament, es mostra un esquema extret de l'*Aspen HysysTM v.11* on es mostra la simulació de la torre de destil·lació.

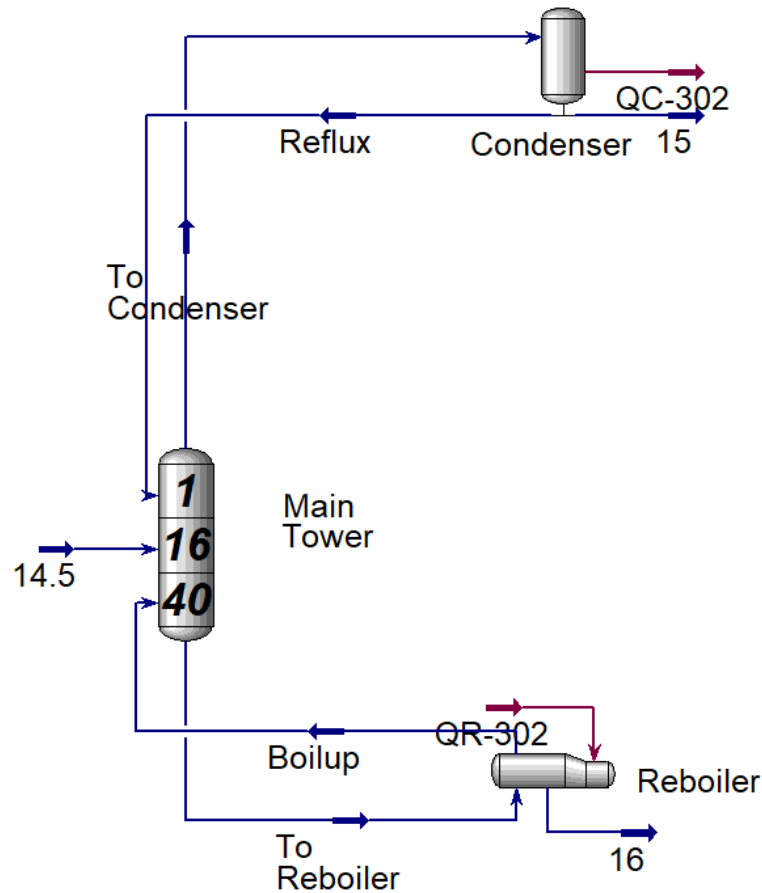


Figura A.11. Esquema de la simulació de la columna DC-302.

El primer pas que s'ha realitzat a l'hora del disseny de la columna ha estat fer una simulació prèvia mitjançant la funció *shortcut*. A aquesta columna se li ha indicat les fraccions de metanol (clau lleuger) per fons i d'aigua (clau pensant) per cap de columna, és a dir, en el destil·lat.

Amb aquesta simulació s'han obtingut els valors de reflux mínim, nombre d'etapes mínim, etapes i etapa d'alimentació.

Aquests resultats s'han col·locat a la funció *distillation column* la qual és una columna rigorosa. A més a més, s'ha especificat que es vol recuperar un 100% el metanol. L'input d'aquesta columna es pot observar a continuació.

Disseny d'una planta petroquímica de producció de monopropilenglicol

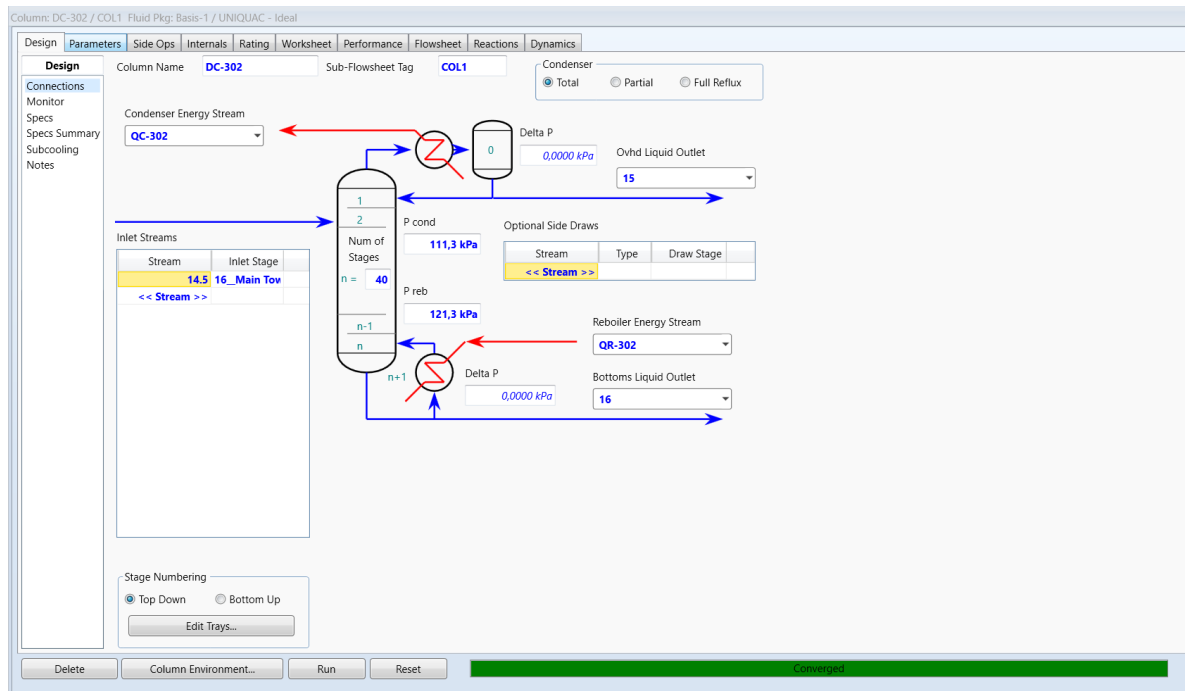


Figura A.12. Input de la simulació rigorosa de la columna DC-302.

Un cop la columna convergeix i treballa com es desitja, es realitzen els *Internals* per dissenyar la hidrodinàmica de la columna.

En primer lloc, es divideix la columna en dues seccions, la de rectificació i la de *stripping*. La de rectificació es troba per sobre de l'alimentació, Figura A.13., i la de *stripping*, Figura A.14., comença a l'alimentació fins al fons de la columna. En cadascuna d'aquestes s'ha definit la separació entre plats i el diàmetre. La resta de variables vénen definides per l'*Aspen Hysys*TM v.11. A continuació es mostren les figures.

Disseny d'una planta petroquímica de producció de monopropilenglicol

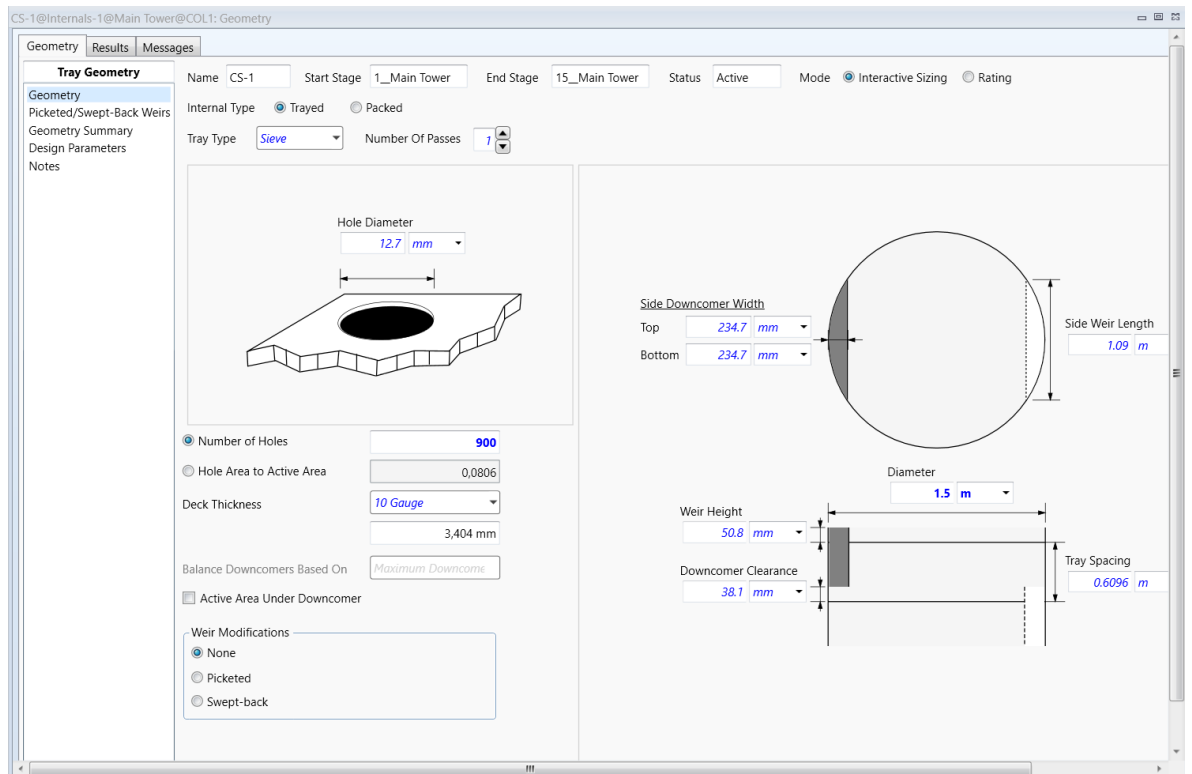


Figura A.13. Input dels *Internals* de la secció de rectificació de la columna DC-302.

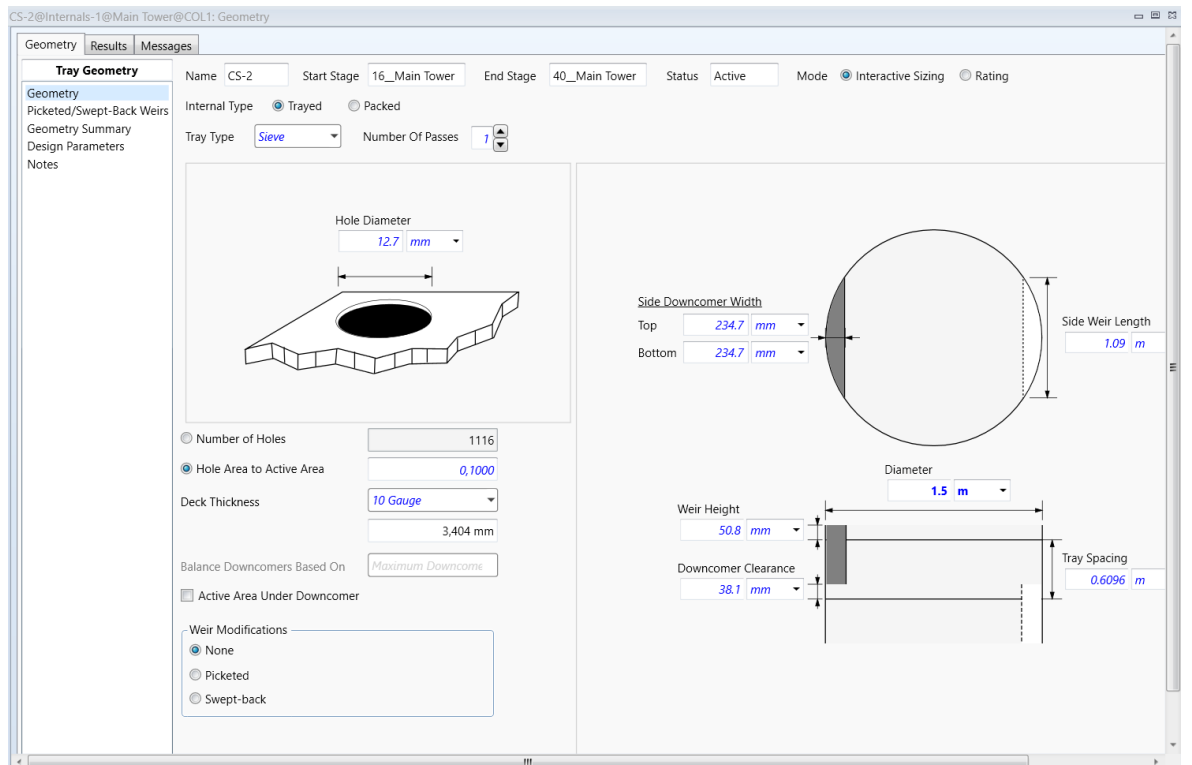


Figura A.14. Input dels *Internals* de la secció de *stripping* de la columna DC-302.

Un cop introduïdes les dades de les seccions, s'han obtingut els següents resultats dels *Hidraulic Plots*. Cal destacar que la zona marcada amb color groc a la columna, no interfereix en el seu treball i la columna funciona correctament.

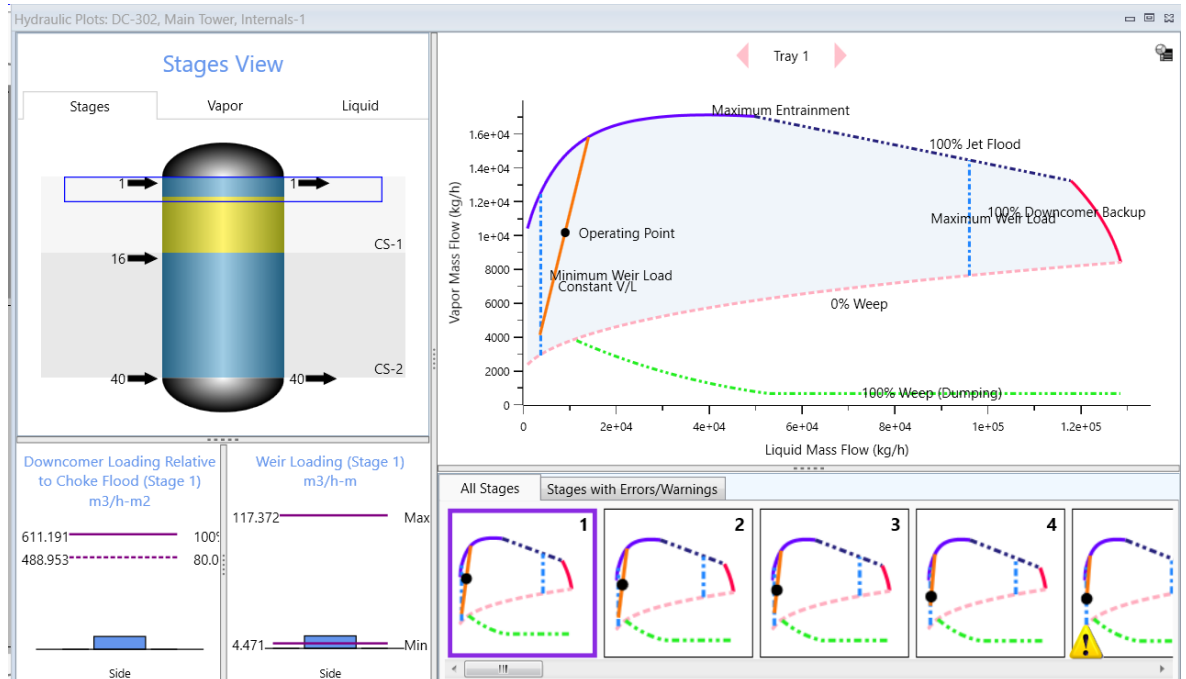


Figura A.15. *Hidraulic Plots* de la columna DC-302.

Finalment, quan es tenen els resultats hidràulics desitjats, s'observen els resultats finals de la columna. Seguidament, es mostraran individualment els resultats de la secció de rectificació, (Figura A.16.) i la secció de *stripping* (Figura A.17.).

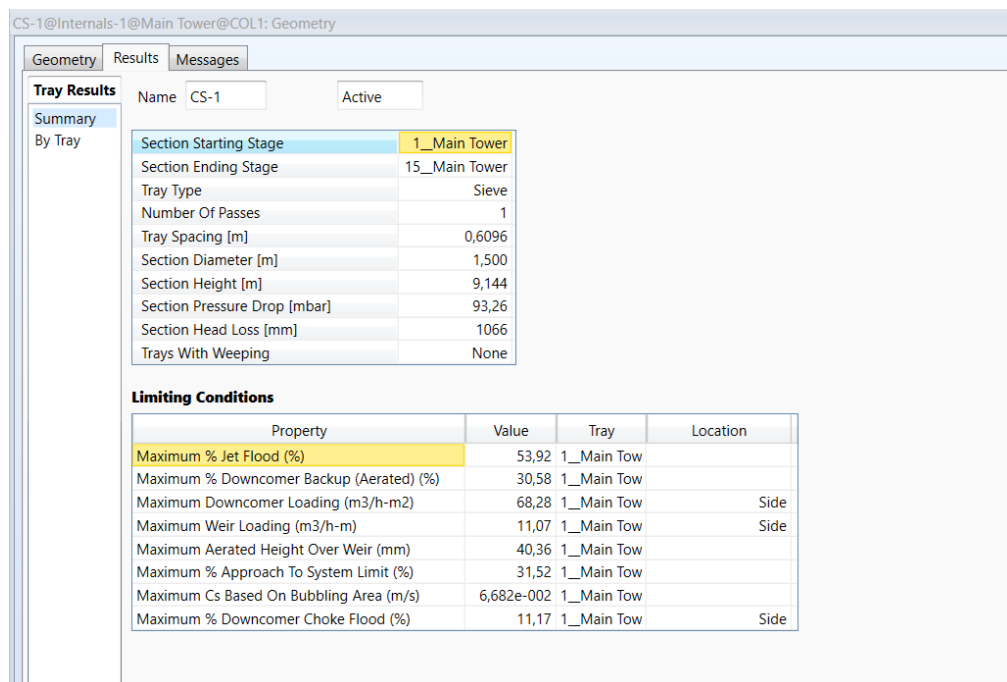


Figura A.16. Resultats de la secció de rectificació de la columna DC-302.

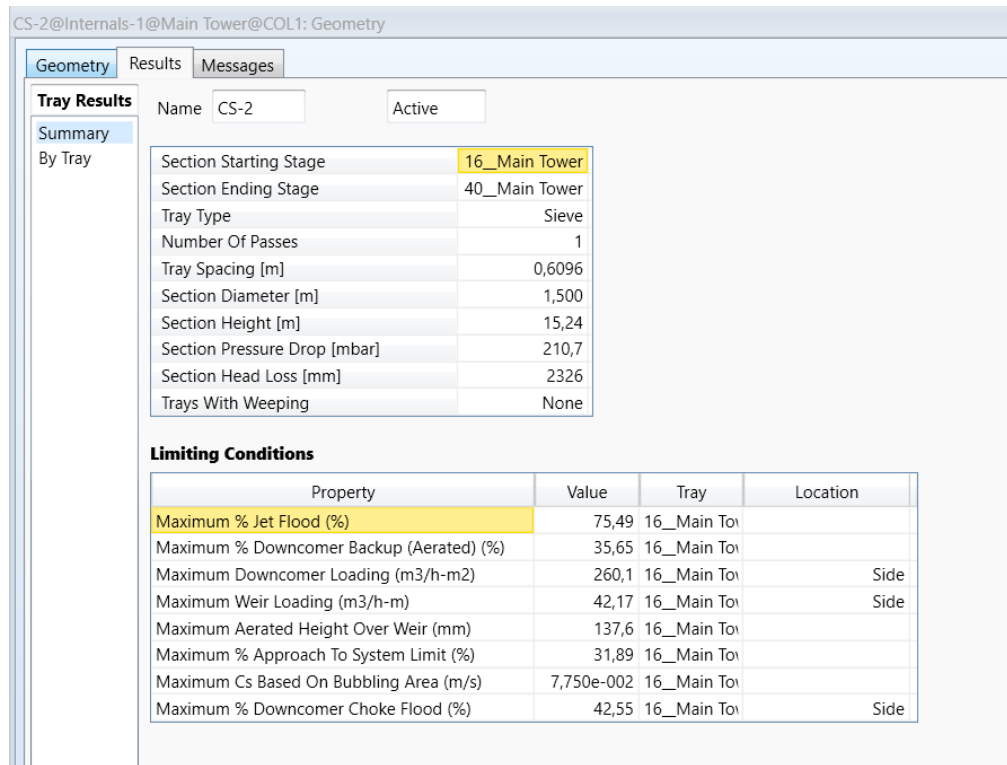


Figura A.17. Resultats de la secció de *stripping* de la columna DC-302.

A.7. RESULTATS DE LA SIMULACIÓ DE LA DC-303

En aquest annex es poden observar els resultats de la simulació de la columna DC-303. Primerament, es mostra un esquema extret de l'*Aspen HysysTM v.11* on es mostra la simulació de la torre de destil·lació.

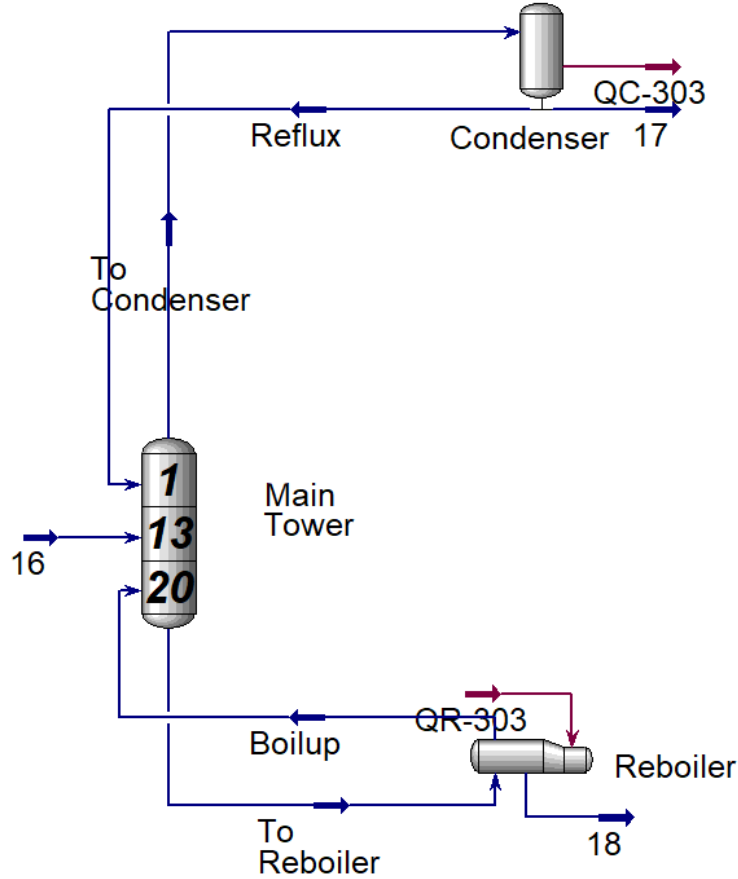


Figura A.18. Esquema de la simulació de la columna DC-303.

El primer pas que s'ha realitzat a l'hora del disseny de la columna ha estat fer una simulació prèvia mitjançant la funció *shortcut*. A aquesta columna se li ha indicat les fraccions d'aigua (clau lleuger) per fons i de propilenglicol (clau pensant) per cap de columna, és a dir, en el destil·lat.

Amb aquesta simulació s'han obtingut els valors de reflux mínim, nombre d'etapes mínim, etapes i etapa d'alimentació.

Aquests resultats s'han col·locat a la funció *distillation column* la qual és una columna rigorosa. A més a més, s'ha especificat que es vol propilenglicol amb una puresa de 99,8% pel fons de la columna. L'input d'aquesta columna es pot observar a continuació.

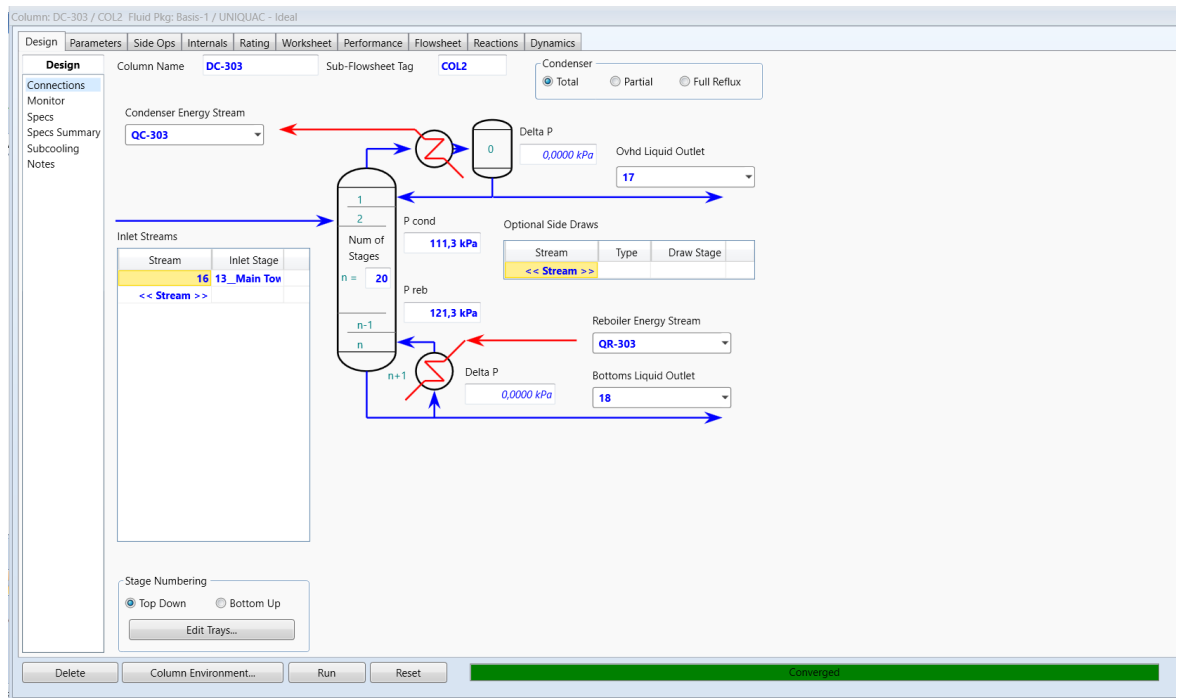


Figura A.19. Input de la simulació rigorosa de la columna DC-303.

Un cop la columna convergeix i treballa com es desitja, es realitzen els *Internals* per dissenyar la hidrodinàmica de la columna.

En primer lloc, es divideix la columna en dues seccions, la de rectificació i la de *stripping*. La de rectificació es troba per sobre de l'alimentació, Figura A.20., i la de *stripping*, Figura A.21., comença a l'alimentació fins al fons de la columna. En cadascuna d'aquestes s'ha definit la separació entre plats i el diàmetre. La resta de variables vénen definides per l'*Aspen Hysys*TM v.11. A continuació es mostren les figures.

Disseny d'una planta petroquímica de producció de monopropilenglicol

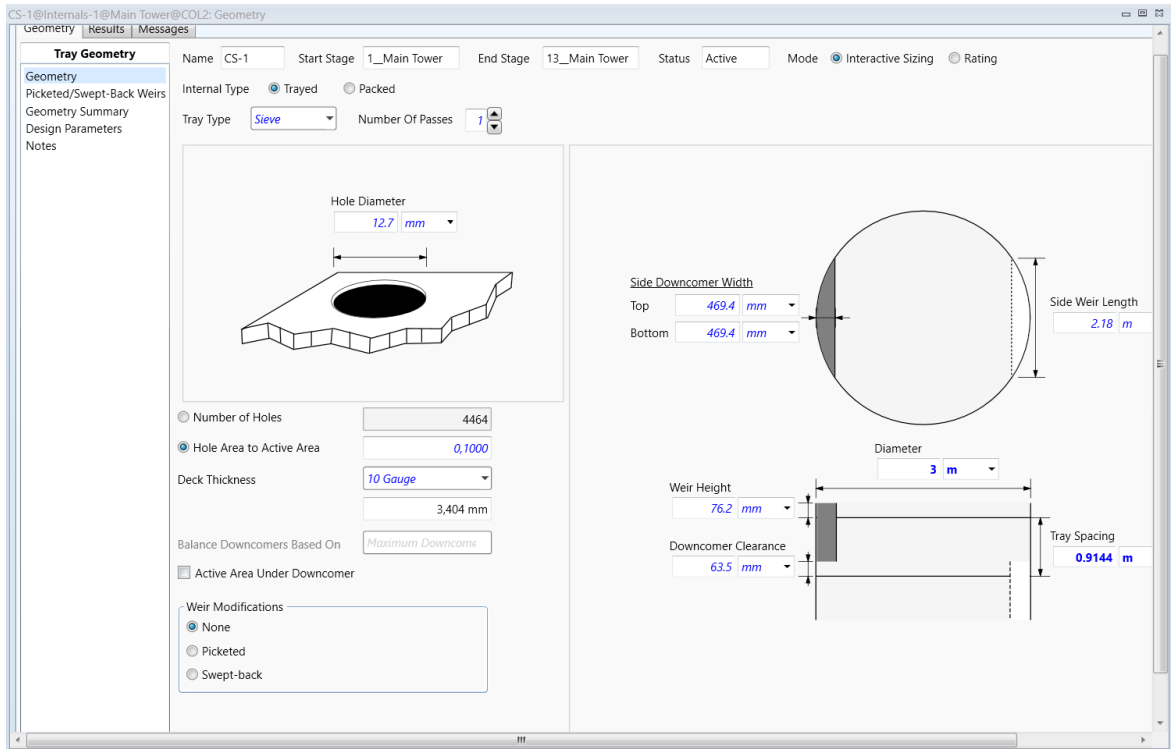


Figura A.20. Input dels *Internals* de la secció de rectificació de la columna DC-302.

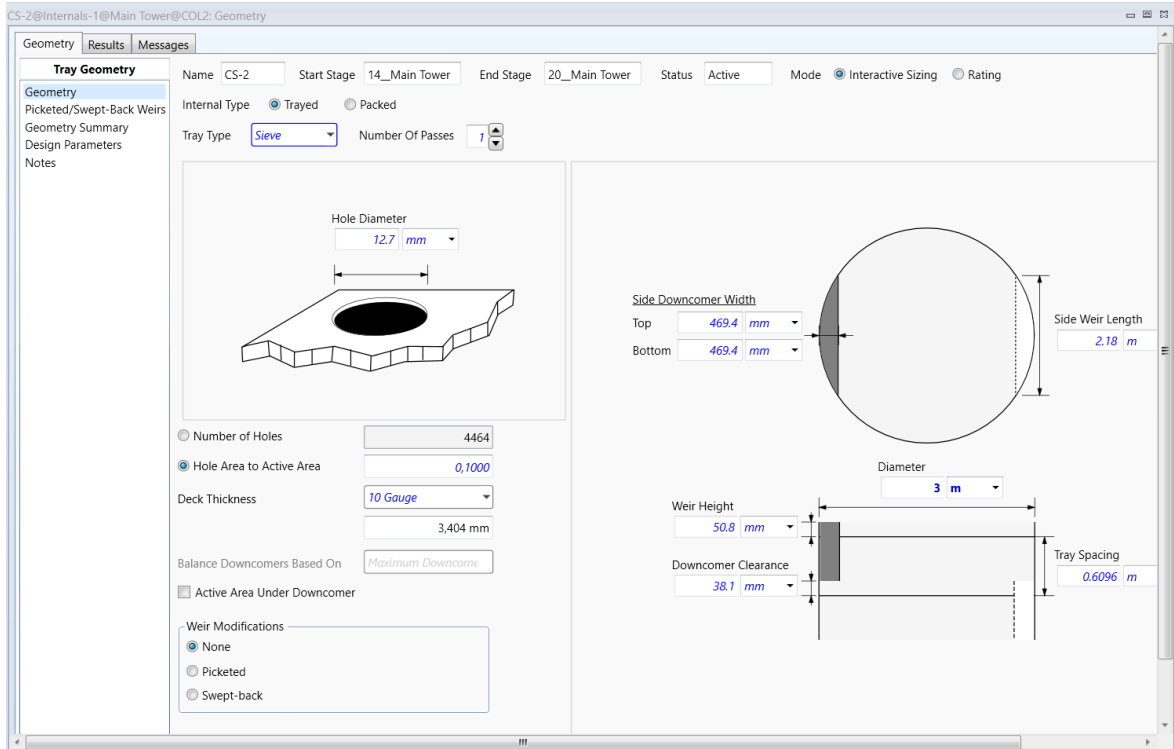


Figura A.21. Input dels *Internals* de la secció de *stripping* de la columna DC-302.

Un cop introduïdes les dades de les seccions, s'han obtingut els següents resultats dels *Hdraulic Plots*.

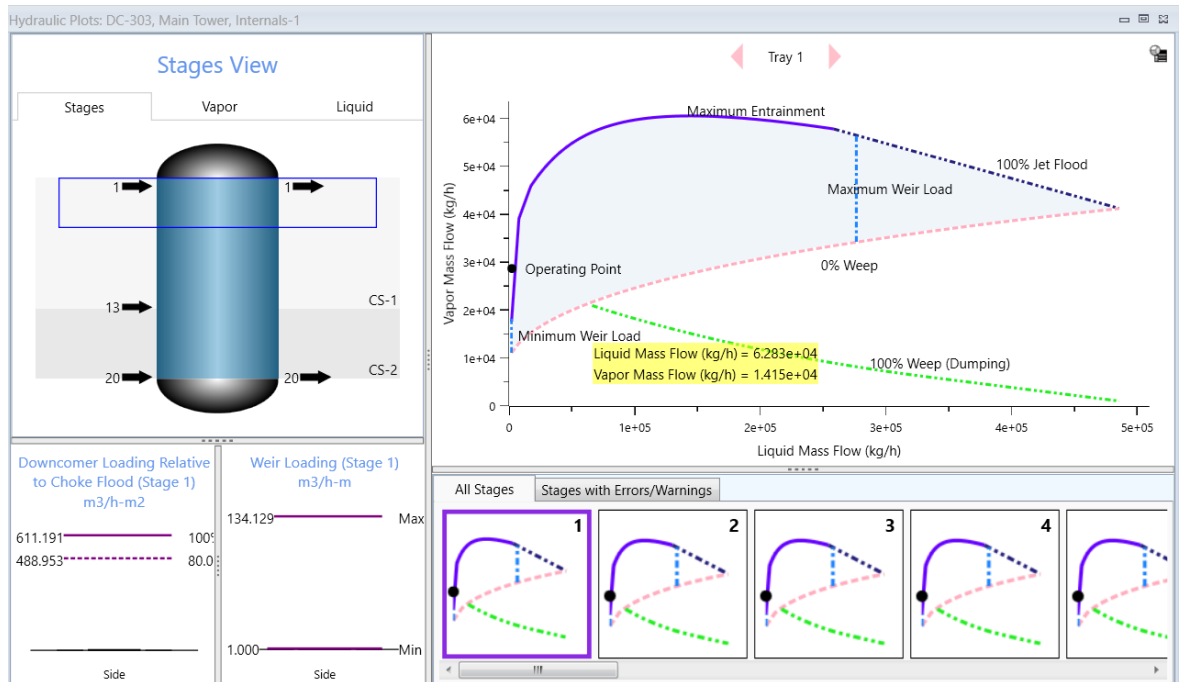


Figura A.22. *Hdraulic Plots* de la columna DC-302.

Finalment, quan es tenen els resultats hidràulics desitjats, s'observen els resultats finals de la columna. Seguidament, es mostraran individualment els resultats de la secció de rectificació, (Figura A.23.) i la secció de *stripping* (Figura A.24.).

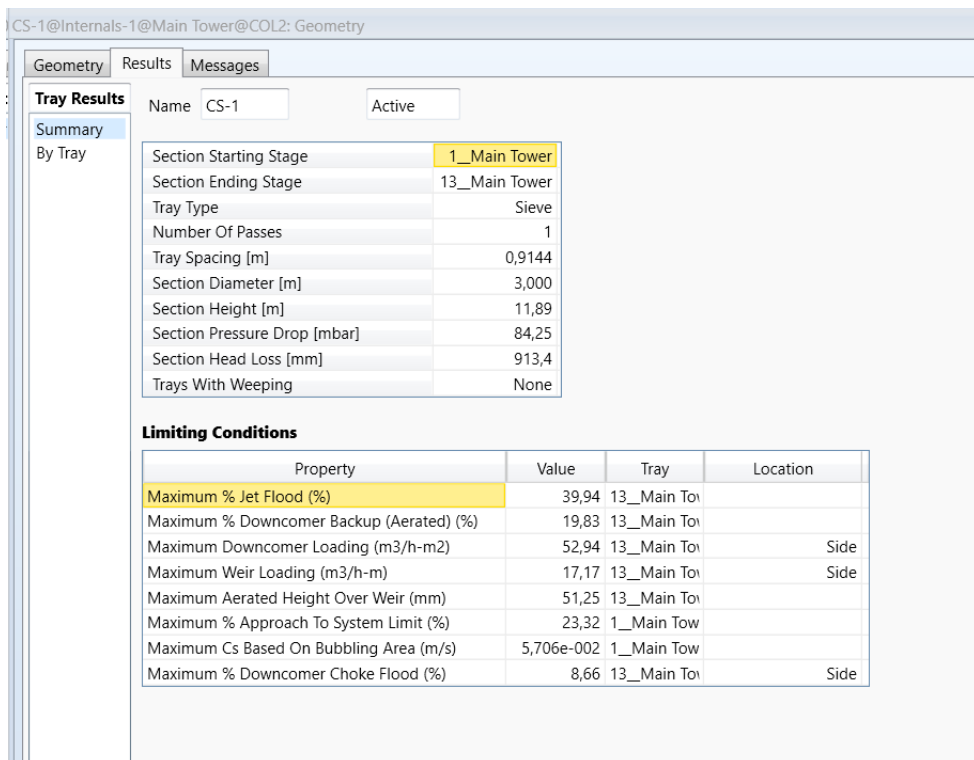


Figura A.23. Resultats de la secció de rectificació de la columna DC-302.

CS-2@Internals-1@Main Tower@COL2: Geometry

Geometry Results Messages

Tray Results Name CS-2 Active

Summary
By Tray

Section Starting Stage	14_Main Tower
Section Ending Stage	20_Main Tower
Tray Type	Sieve
Number Of Passes	1
Tray Spacing [m]	0,6096
Section Diameter [m]	3,000
Section Height [m]	4,267
Section Pressure Drop [mbar]	47,80
Section Head Loss [mm]	554,0
Trays With Weeping	None

Limiting Conditions

Property	Value	Tray	Location
Maximum % Jet Flood (%)	79,46	20_Main Toi	
Maximum % Downcomer Backup (Aerated) (%)	42,25	20_Main Toi	
Maximum Downcomer Loading (m3/h-m2)	153,9	20_Main Toi	Side
Maximum Weir Loading (m3/h-m)	49,91	20_Main Toi	Side
Maximum Aerated Height Over Weir (mm)	134,0	20_Main Toi	
Maximum % Approach To System Limit (%)	49,17	20_Main Toi	
Maximum Cs Based On Bubbling Area (m/s)	9,533e-002	20_Main Toi	
Maximum % Downcomer Choke Flood (%)	25,18	20_Main Toi	Side

Figura A.24. Resultats de la secció de *stripping* de la columna DC-302.

A.8. CÀLCUL DEL PES DE LES COLUMNES

Per tal de realitzar el càlcul del pes de la columna, primerament se n'ha calculat l'espessor del cilindre i del fons i, seguidament, el pes d'aquesta buida i plena d'aigua.

A.8.1. Càlcul de l'espessor de les columnes

Coneguda la pressió de disseny, l'alçada i el diàmetre de cadascuna de les columnes, es pot realitzar el càlcul de l'espessor dels cilindres i els fons. El material amb el qual estan construïdes les columnes és SS316L, el qual té una tensió admissible (S) de 115 MPa. Per a l'eficiència de les soldadures (E), s'ha agafat un valor de 0,85, el qual està tabulat. Mitjançant la següent equació s'ha calculat l'espessor del cilindre.

$$\tau_{cilindre} = \frac{P_{disseny} \cdot D_i / 2}{S \cdot E - 0,6 \cdot P_{disseny}} \quad (A.48)$$

Seguidament, es realitza el càlcul del gruix dels fons. Primerament, s'ha de conèixer el valor de M, el qual s'ha extret del *Pressure Vessel Handbook* (ref. 15) i té un valor de 1,32. Seguidament, s'ha de saber el valor de L, ja que aquest depèn del diàmetre extern. A l'hora del càlcul de l'espessor, s'ha utilitzat l'expressió (A.49). Finalment, en l'equació (A.50), es mostra la fórmula per calcular l'espessor dels fons.

$$L = 0,8 \cdot (D_i + 2 \cdot \tau_{fons}) \quad (A.49)$$

$$\tau_{fons} = \frac{P_{disseny} \cdot L \cdot M}{2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P_{disseny}} \quad (A.50)$$

Un cop calculats les dues espessors, s'escull el més gran dels dos, en tots els casos el de fons, i se li aplica un sobredimensionament del 10% per tal d'aplicar una mateixa espessor uniforme en tota la columna.

Finalment, en la següent taula es poden observar el valor de totes les espessors calculats per a cadascuna de les columnes.

Taula A.11. Espessors de les diferents columnes

COLUMNA	$\tau_{cilindre}$ (mm)	τ_{fons} (mm)	$\tau_{columna}$ (mm)
DC-301	1,54	1,63	1,79
DC-302	1,40	1,48	1,63
DC-303	2,80	2,95	3,25

Amb aquests valors dels gruixos, es pot precedir amb el càlcul del pes de les columnes, que es pot observar en el següent apartat.

A.8.2. Càlcul del pes de les columnes

Un cop dimensionades les columnes, es calcula el pes de cadascuna sense càrrega interna, és a dir, solament de l'estructura. Per tal de realitzar el càlcul, primerament es determina la densitat del SS316L, la qual té un valor de 8.000 kg/m³. Seguidament, es calculen els volums tant del cilindre com dels fons mitjançant les següents expressions. Per a l'alçada dels fons, s'ha utilitzat una estimació de $H_{fons} = D_i/4$.

$$V_{cilindre} = \pi \cdot h_{cilindre} \cdot \left(\frac{D_e^2}{4} - \frac{D_i^2}{4} \right) \quad (\text{A.51})$$

$$V_{fons} = 2 \cdot ((0,1298 \cdot D_e^3) - (0,1298 \cdot D_i^3)) \quad (\text{A.52})$$

Un cop obtinguts els volums de cadascuna de les columnes, es multiplica per la densitat del material per tal d'aconseguir el pes sense càrrega. Aquestes masses se sumen per tal d'obtenir la massa total de la columna.

Finalment, es calcula el pes hidràulic de la columna quan està plena d'aigua. Aquest càlcul s'ha realitzat mitjançant la següent expressió.

$$M_{Full\ Water} = \pi \cdot h_{cilindre} \cdot \frac{D_i^2}{4} + 2 \cdot (0,1298 \cdot D_i^3) + M_{total} \quad (\text{A.53})$$

A continuació, en la següent taula, es recullen els resultats de les anteriors equacions per a les diferents columnes.

Taula A.12. Volums i pes de les diferents columnes.

COLUMNA	$V_{cilindre}$ (m³)	V_{fons} (m³)	M_{total} (kg)	$M_{Full\ Water}$ (kg)
DC-301	0,446	0,00623	3.621	97.891
DC-302	0,182	0,00572	1.499	44.133
DC-303	0,475	0,0457	4.168	120.740

A.9. ESTIMACIÓ DELS CABALS DE SERVEIS DE CONDENSADORS I REBOILERS

A.9.1. Càlcul del cabal de CW en condensadors

Per realitzar l'aproximació del cabal, s'ha suposat que tots els compostos arriben en fase gas i condensen a fase líquida. D'aquesta forma, la fórmula que s'ha fet servir per a cada compost és:

$$\dot{m} \cdot \Delta H_{vap} = \dot{Q} \quad (\text{A.54})$$

On \dot{m} és el cabal de vapor que arriba al condensador de cada compost (kg/h), ΔH_{vap} l'entalpia de vaporització de cada compost (kJ/kg) i \dot{Q} la calor de cada compost al condensar (kW).

Un cop calculada la calor individual, se sumen totes per obtenir la calor total. Finalment, s'ha fixat que l'aigua de torre entra a 25 °C i surt a 40 °C amb una C_p de 4,18 kJ/kgK. Les fórmules per obtenir el cabal volumètric són les següents:

$$\frac{\dot{Q}_T \cdot 3600 \text{ s}}{C_p \cdot \Delta T} = \dot{m}_{cw} \quad (\text{A.55})$$

$$\frac{\dot{m}_{cw}}{1.000 \text{ kg}} = \dot{v}_{cw} \quad (\text{A.56})$$

On \dot{Q}_T és la calor total de tots els compostos (kW), \dot{m}_{cw} el cabal d'aigua de refrigeració (kg/h) i \dot{v}_{cw} el cabal volumètric d'aigua de torre necessari (m³/h).

Seguidament, en la taula que es troba a continuació es recullen els resultats dels càlculs realitzats.

Taula A.13. Resultats dels cabals en els diferents condensadors.

Condensador	\dot{Q}_T (kW)	\dot{m}_{cw} (kg/h)	\dot{v}_{cw} (m³/h)
C-301	1,80·10 ⁴	1,03·10 ⁶	1.035
C-302	356	2,04·10 ⁴	20,4
C-303	1,65·10 ⁴	9,49·10 ⁵	949

A.9.2. Càlcul del cabal de VMP i biomassa en reboilers

Per realitzar l'aproximació del cabal, s'ha suposat que tots els compostos arriben en fase líquida i vaporitzen a fase gas. Per calcular la calor de cada compost, s'ha fet servir l'equació (A.54) de l'apartat anterior.

Un cop calculada la calor individual, se sumen totes per obtenir la calor total. Se suposa que el vapor es genera en una caldera on es crema biomassa.

Finalment, amb les equacions que es mostren a continuació s'ha calculat el cabal de vapor i el cabal de biomassa. S'ha suposat que l'entalpia de vaporització del vapor és de 2.257 kJ/kg i la de combustió de biomassa de 2.393,24 kJ/kg.

$$\frac{\dot{Q}_T}{\Delta H_{vap. VMP}} = \dot{m}_{VMP} \quad (\text{A.57})$$

$$\frac{\dot{Q}_T}{\Delta H_{comb. biomassa}} = \dot{m}_{biomassa} \quad (\text{A.58})$$

On $\Delta H_{vap. VMP}$ és l'entalpia de vaporització del VMP, \dot{m}_{VMP} el cabal de vapor (kg/h), $\Delta H_{comb. biomassa}$ l'entalpia de combustió de la biomassa i $\dot{m}_{biomassa}$ la massa de biomassa per produir el vapor (kg/h).

Seguidament, en la taula que es troba a continuació es recullen els resultats dels càlculs realitzats.

Taula A.14. Resultats dels cabals en els diferents *reboilers*.

<i>Reboilers</i>	\dot{Q}_T (kW)	\dot{m}_{VMP} (kg/h)	$\dot{m}_{biomassa}$ (kg/h)
RB-301	0,801	1,28	1,20
RB-302	$1,77 \cdot 10^4$	$2,82 \cdot 10^4$	$2,66 \cdot 10^4$
RB-303	1.127	1.797	1.695

A.10. PROCEDIMENT DE L'ASSAIG AL LABORATORI

En aquest annex s'explicarà el procediment que s'ha seguit al laboratori, acompanyat d'imatges realitzades durant l'experiment.

Primerament, s'han calculat les concentracions de cadascun dels compostos en el corrent. Al laboratori, no es disposava d'hidròxid de bari ni d'àcid sulfúric. Per aquest motiu s'han utilitzat clorur de bari i sulfat de sodi per tal de simular un efecte el més semblant possible al que es té al procés. Els compostos fets servir formen la mateixa reacció Àcid-Base que els del procés.

Seguidament, s'ha calculat la massa i volums necessaris de cadascun dels compostos mitjançant la base de càlcul d'1 L de solució. En la taula següent es poden observar els resultats obtinguts de la concentració de cada compost. El resultat per a la massa de cadascun seria el mateix, ja que es realitza 1 L de solució.

Taula A.15. Concentració dels compostos per a la realització de l'experiment.

Compost	Concentració (g/L)
Metanol	33,1
Clorur de Bari	0,0263
Sulfat de Sodi	0,015
Aigua	795
Propilenglicol	172

El següent pas a realitzar és la preparació de cadascun dels reactius. L'aigua, el metanol i el propilenglicol són els primers a introduir-se. Aquest es mesuren amb vasos de precipitats i provetes i es mesclen sobre un agitador dins d'un vas de precipitats. Tot seguit, s'agafen les quantitats corresponents dels dos sòlids. Com són quantitats tan petites, s'utilitza una balança de precisió i un vidre de rellotge per agafar les mostres. Les quantitats de cadascuna de les sals es poden observar a sota.

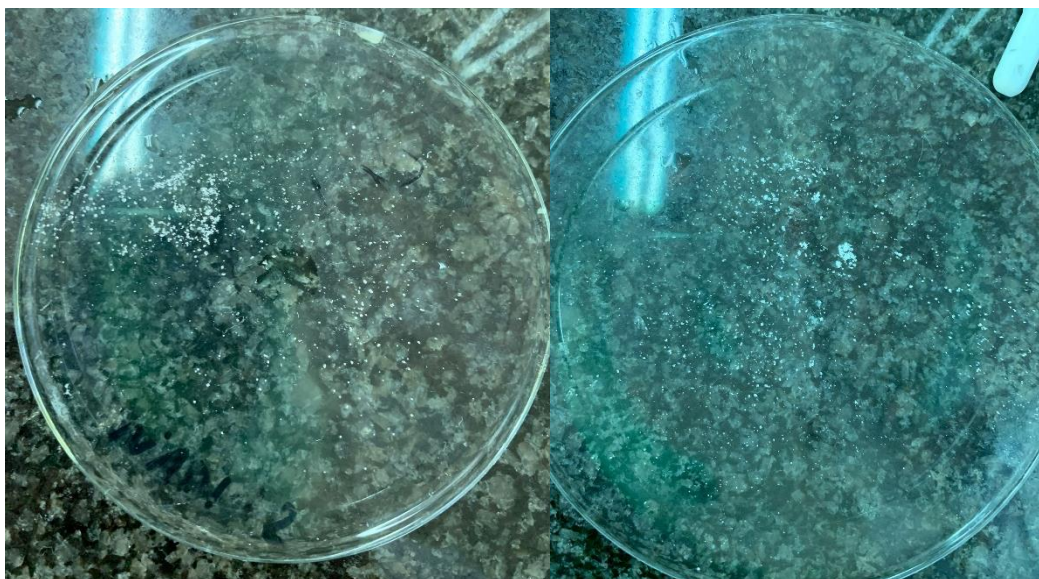


Figura A.25. Quantitat de sulfat de sodi (esquerra) i quantitat de clorur de bari (dreta) per a la realització de l'experiment.

Tot seguit, s'introdueix el sulfat de sodi al vas de precipitats on hi ha la mescla dels 3 reactius i s'agita bé perquè s'homogeneïtzi al màxim possible. Un cop preparada tota la solució d'entrada al neutralitzador, es segueix amb l'addició del clorur de bari a aquesta. A continuació, es mostrarà l'evolució de la mescla un cop afegit el clorur de bari fins que es comença a veure el precipitat format.

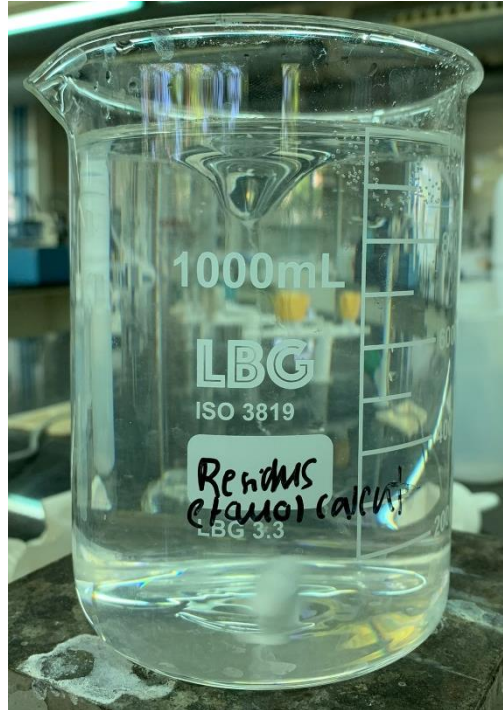


Figura A.26. Estat de la mescla al moment d'introduir el clorur de bari.

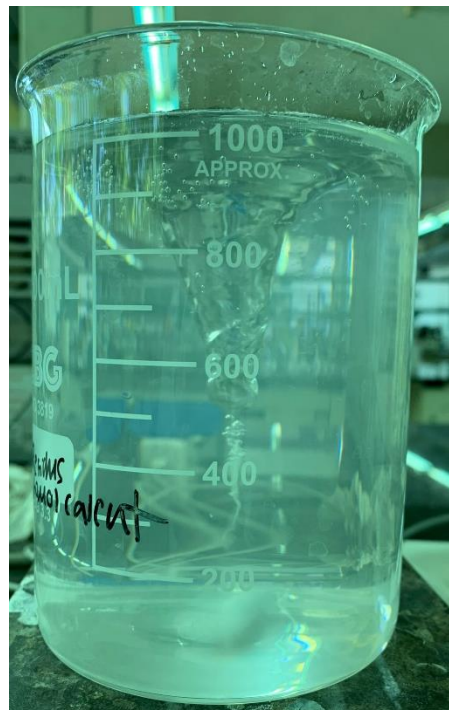


Figura A.27. Estat de la mescla passat 1 minut de l'addició del clorur de bari.

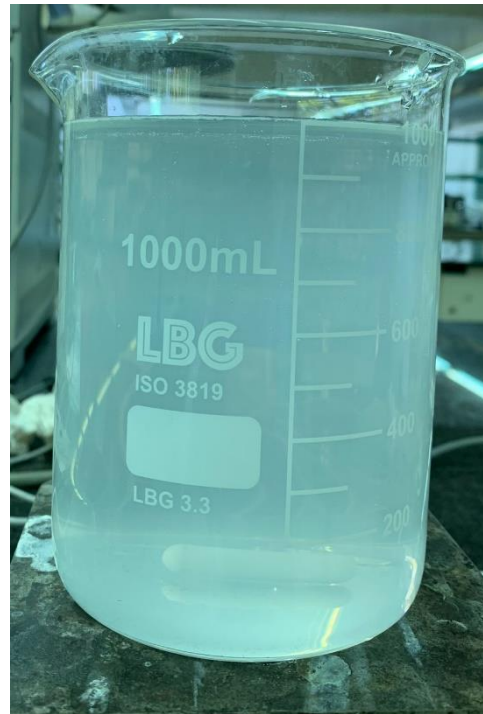


Figura A.28. Estat de la mescla passats 3 minuts de l'addició del clorur de bari.

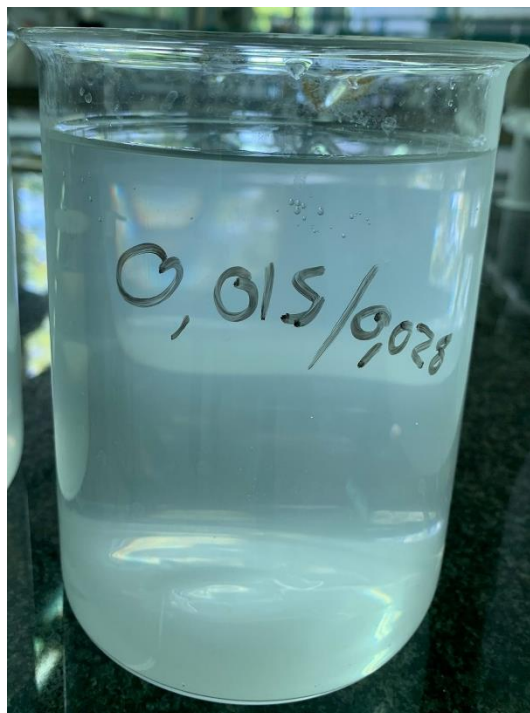


Figura A.29. Estat de la mescla passats 30 minuts de l'addició del clorur de bari.

En aquesta seqüència d'imatges, es pot observar com la reacció no es produeix instantània. Primerament, no s'observa cap mena de precipitat. Al cap d'1 minut, es comença a observar una petita terbolesa en la dissolució. Un cop passat 3 minuts s'observa que la reacció s'ha dut a terme completament, ja que s'enterboleix totalment la mostra. Finalment, quan han passat 30 minuts, s'observa que la mescla es clarifica perquè comença a precipitar.

El següent pas consisteix a deixar reposar la mescla durant 2 hores obtenint els següents resultats.

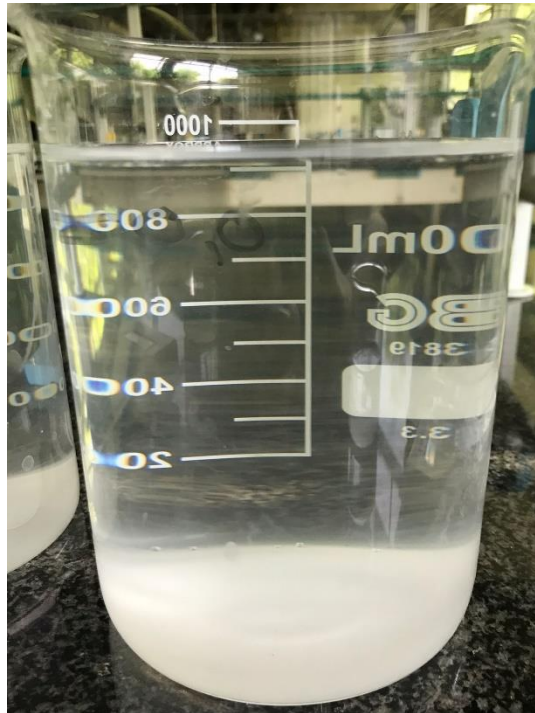


Figura A.30. Resultat final de la decantació realitzada al laboratori amb una vista lateral.

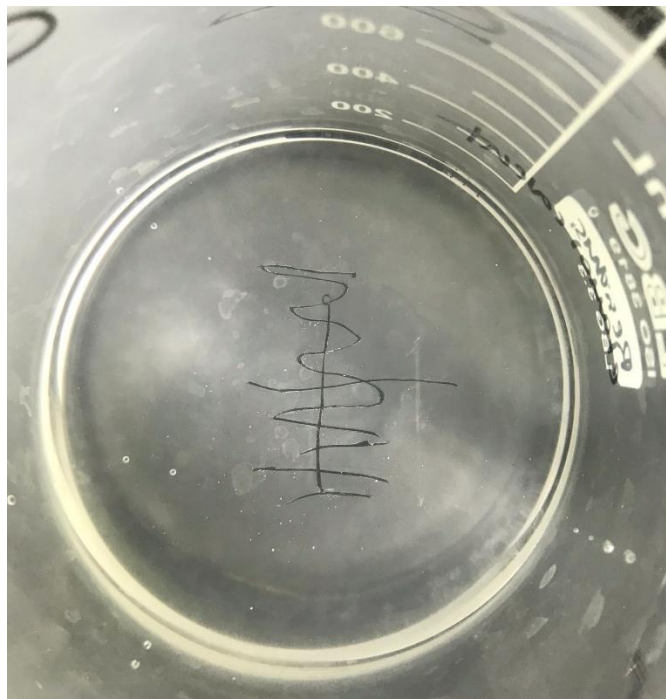


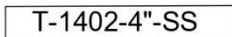










Figura A.31. Resultat final de la decantació realitzada al laboratori amb una vista superior.

Tal com s'observa en les dues figures anteriors, deixat passat el temps de decantació, la mescla es clarifica com estava abans de la reacció i el sòlid precipita tot al fons del vas.


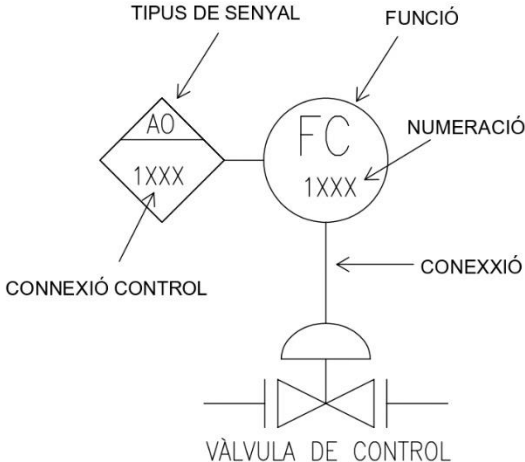









D'aquesta forma es demostra el funcionament del decantador, ja que s'observen dues fases clarament diferenciades.

A.11. SIMBOLOGIA P&ID

Seguidament, es mostra la simbologia que s'ha seguit en la realització del P&ID.

SÍMBOL	DENOMINACIÓ	DESCRIPCIÓ	EXEMPLE DE CANONADA
	X-1XXX-X"-AA-AA'	CANONADA	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <p>T-1402-4"-SS</p> <p>ORIGEN-UBICACIÓ-DIÀMETRE"- -MATERIAL-(RECOBRIMENT)</p> </div>
	M-XXX	MOTOR	
	P-XXX	BOMBA	
	CM	TANCA MECÀNICA	
	VSD	VARIADOR VELOCITAT DE LA BOMBA	
	TRP	TRAMPA DE VAPOR	
	TRP CV	TRAMPA DE VAPOR DE CONDENSATS	
		BRIDA DE CANONADA	
		MESURADOR ELEMENT DE CONTROL	
		ENTRADA O SORTIDA DE COMPOSTOS	
			<i>UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI</i>
			<i>SIMBOLOGIA P&ID</i>
			<i>Nº 1</i>
			<small>Dibuixat per: TFG-2209</small>
			<small>Data: Maig 2022</small>

SÍMBOL	DENOMINACIÓ	DESCRIPCIÓ	EXEMPLE DE CONTROL
	VC	VÀLVULA ANTI-RETORN	
	VP	VÀLVULA DE PURGA	
	VA	VÀLVULA DE COMPORTA AUTOMÀTICA	
	VR	VÀLVULA AUTOMÀTICA REGULADORA	
	VAM	VÀLVULA DE COMPORTA MANUAL	
	PSV	VÀLVULA DE SEGURETAT DE PRESSIÓ	
	PI	INDICADOR DE PRESSIÓ	
	SI	INDICADOR DE VELOCITAT DEL MOTOR	
	TI	INDICADOR DE TEMPERATURA	
			SIMBOLOGIA P&ID
			Nº 2
			Dibuixat per: TFG-2209
			Data: Maig 2022

SÍMBOL	DENOMINACIÓ	DESCRIPCIÓ	EXEMPLE D'ENLLAÇ
	Jl	INDICADOR DE POTÈNCIA DEL MOTOR	
	LI	INDICADOR DE NIVELL	
	TT	TRANSMISSOR DE TEMPERATURA	
	FT	TRANSMISSOR DE FLUX	
	PT	TRANSMISSOR DE PRESSIÓ	
	LT	TRANSMISSOR DE NIVELL	
	FC	CONTROLADOR DE FLUX	
	AI	TRANSMISSOR ANALÒGIC D'ENTRADA	
	AO	TRANSMISSOR ANALÒGIC DE SORTIDA	
	DO	TRANSMISSOR DIGITAL DE SORTIDA	
			UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI
			SIMBOLOGIA P&ID
			Nº 3
			Dibuixat per: TFG-2209
			Data: Maig 2022

A.12. DISSENY VÀLVULA DE CONTROL V-103

En aquest apartat es troba el disseny corresponent de la vàlvula controladora V-103, ubicada a l'inici del procés de producció a la canonada T-1101-1"-SS.

Per al càlcul del Cv (coeficient de cabal) s'ha suposat que per trobar el valor d'aquesta variable s'ha d'utilitzar la fórmula de Kv, ja que es tracta del coeficient de caudal en unitats mètriques. L'expressió de Kv es pot observar a continuació (ref. 33):

$$Kv = Q \cdot \sqrt{\frac{Gs}{\Delta P}} \quad (\text{A.59})$$

On: Q és el cabal de flux volumètric (m³/h), Gs és la gravetat específica (adimensional) i ΔP és la pèrdua de càrrega de la vàlvula (bar).

Primerament, s'ha calculat la gravetat específica d'aquest corrent utilitzant la densitat del corrent obtinguda amb *Aspen HysysTM v.11* dividit per la densitat de referència (densitat de l'aigua a 20°C) (ref. 34):

$$Gs = \frac{\rho_{\text{corriente}}}{\rho_{H_2O(20^\circ C)}} = \frac{0,815 \text{ g/ml}}{0,9982 \text{ g/ml}} = 0,816 \quad (\text{A.60})$$

Un cop obtingut aquest valor es busca la caiguda de pressió de la vàlvula (0,1 bar) i el cabal volumètric del corrent (5,22 m³/h) i es calcula Kv:

$$Kv = 5,22 \cdot \sqrt{\frac{0,816}{0,01}} = 47,2 \quad (\text{A.61})$$

Finalment, a partir de la relació que existeix entre Cv i Kv (ref. 33) es determina el valor del coeficient de caudal de la vàlvula V-103.

$$Cv = Kv \cdot 1,15 = 47,2 \cdot 1,15 = 54,2 \quad (\text{A.62})$$

A.13. HAZOP'S DE LA RESTA D'EQUIPS

A continuació es mostraran tots els HazOp's dels diferents equips de la planta:

A.13.1. HazOP + Mini LOPA del mixer M-101

Paraula Guia	Desviació	Causes	Conseqüències	C	F	R	Salvaguardes	C	F	R	Accions
Més	Més nivell a M-101	Fallada en llaç de control 1104 (llegeix menys nivell del real)	Cabal de sortida cap a T-101 no controlat. Sense conseqüències de seguretat.								
Menys	Menys nivell a M-101	Fallada en llaç de control 1104 (llegeix més nivell del real)	No flux a T-101. Sense conseqüència de seguretat.								
No	No flux a M-101	Fallada Controlador FC-1101 (totalment tancat)	Sense entrada de reactius. No conseqüència de seguretat								Posar alarma de baix caudal en FC-1126
		Fallada Controlador FC-1107 (totalment tancat)	Sense entrada de reactius. No conseqüència de seguretat								Posar alarma de baix caudal en FC-1126
		Fallada Controlador LT-1104 (totalment tancat)	Augment de temperatura i possible sobrepressió. Risc de pressió per sobre de la de disseny	4	-1	A	- PT-1103 -Vàlvula de seguretat PSV1	4	-5	C	-Dissenyar PSV1 per aquest cas -Posar alarma d'alt nivell en LT-1104

Menys	Menys flux a M-101	Fallada Controlador FC-1101 (parcialment tancat)	Ídem No flux								Posar alarma de baix caudal en FC-1101
		Fallada Controlador FC-1107 (parcialment tancat)	Ídem No flux								Posar alarma de baix caudal en FC-1107
		Fallada Controlador LT-1104 (llegeix més nivell del real)	Ídem No flux								-Dissenyar PSV1 per aquest cas -Posar alarma d'alt nivell en LT-1104
Més	Més flux a M-101	Fallada Controlador FC-1101 (totalment obert)	Sobrepresió a M-101. Risc de pressió per sobre disseny	4	-1	A	- PT-1103 -Vàlvula de seguretat PSV4	4	-5	C	-Dissenyar PSV1 per aquest cas -Posar alarma d'alt caudal en FC-1101
		Fallada Controlador FC-1107 (totalment obert)	Sobrepresió a M-101. Risc de pressió per sobre disseny	4	-1	A	- PT-1103 -Vàlvula de seguretat PSV1	4	-5	C	-Dissenyar PSV1 per aquest cas -Posar alarma d'alt caudal en FC-1107

		Fallada Controlador LT-1104 (Ilegeix menys nivell del real)	Dificultats en la mescla. No conseqüència de seguretat								Posar alarma de baix nivell en LT-1104
Més	Més pressió a M-101	Fallada Controlador PT-1103 (Ilegeix menys pressió de la real)	Augment de la pressió del <i>mixer</i> per sobre de la de disseny i ruptura catastròfica. Possible explosió del <i>mixer</i> .	4	-1	A	-Vàlvula de seguretat PSV1	4	-5	C	Dissenyar PSV1 per aquest cas
		Fallada Controlador FC-1101 (totalment obert)	Ídem Més flux								-Dissenyar PSV1 per aquest cas -Posar alarma d'alt cabal en FC-1101
		Fallada Controlador FC-1107 (totalment obert)	Ídem Més flux								-Dissenyar PSV1 per aquest cas -Posar alarma d'alt cabal en FC-1107
		Fallada Controlador LT-1104 (Ilegeix menys nivell del real)	Ídem No flux								

		Fallada Controlador FC-1110 (totalment tancat)	Augment de la pressió del <i>mixer</i> per sobre de la de disseny i ruptura catastròfica. Possible explosió del <i>mixer</i> .	4	-1	A	- PT-1103 -Vàlvula de seguretat PSV1	4	-5	C	Posar alarma d'alta pressió
Menys	Menys pressió a M-101	Fallada Controlador PT-1103(Aturada)	Dificultats en la mescla. No conseqüència de seguretat								
		Fallada Controlador FC-1101 (parcialment tancada)	Ídem Menys Flux								Posar alarma de baix cabal en FC-1101
		Fallada Controlador FC-1107(parcialment tancada)	Ídem Menys Flux								Posar alarma de baix cabal en FC-1107
		Fallada Controlador LT-1104 (parcialment obert)	Dificultats en la mescla. No conseqüència de seguretat								Posar alarma de baix nivell en LT-1104

		Fallada Controlador FC-1113 (parcialment obert)	Buidat del <i>mixer</i> , incompliment de especificació. No conseqüència de seguretat								
Més	Més temperatura a M-101	Fallada Controlador PT-1103 (parcialment tancat)	Sobrepresió a M-101. Risc de pressió per sobre disseny	4	-1	A	-Vàlvula de seguretat PSV1	4	-5	C	-Dissenyar PSV1 per aquest cas -Posar alarma de alta pressió en PT-1103
		Fallada Controlador LT-1104 (Tanca Parcialment)	Sobrepresió a M-101 Risc de pressió per sobre disseny	4	-1	A	- PT-1103 -Vàlvula de seguretat PSV1	4	-5	C	-Dissenyar PSV1 per aquest cas -Posar alarma de baix nivell en LT-1104
		Fallada Controlador TI-1109 (llegeix menys temperatura de la real)	Augment de pressió. Risc de pressió per sobre disseny	4	-1	A	- PT-1103 -Vàlvula de seguretat PSV1	4	-5	C	-Dissenyar PSV1 per aquest cas. -Posar alarma TI-1109
Menys	Menys temperatura a M-101	Fallada Controlador PT-1103 (parcialment obert)	No conseqüència de seguretat.								Posar alarma de baixa pressió en PT-1103

		Fallada Controlador LT-1104(parcialment obert)	No conseqüència de seguretat.								Posar alarma de baix nivell en LT-1104
		Fallada Controlador TI-1109 (llegeix més temperatura de la real)	No conseqüència de seguretat.								Posar alarma de baixa temperatura en TI-1109
Altra	Altra composició a M-101	Fallada control rati.	Contaminació de reacció. No conseqüència de seguretat								
	Altra fase a M-101	No aplica									
As well as	As well as corrosió	No s'identifiquen causes.	Corrosió dels equips (possibilitat de fractures i fugues).								Ús d'equips d'acer inoxidable i realització d'inspeccions periòdiques.
	As well as erosió	No s'identifiquen causes.									

No	No <i>utilities</i>	Fallada local d'aire en els instruments	Pèrdua de control del procés V-103 tanca V-109 tanca V-113 obre							
		Fallada de subministrament elèctric	Pèrdua de control del procés							Valorar la necessitat de generadors auxiliars discontinus.
No	No contenció	Fuita de producte per corrosió, trencament, etc.	Vessament de producte inflamable. Risc d'atmosfera explosiva.							Instal·lació de detectors d'atmosfera explosiva.

A.13.2. HazOP + Mini LOPA del tanc T-101

Paraula Guia	Desviació	Causes	Conseqüències	C	F	R	Salvaguardes	C	F	R	Accions
Més	Més nivell a T-101	Fallada en llaç de control 1113 (llegeix menys nivell del real)	Cabal de sortida cap a M-102 no controlat. Sense conseqüències de seguretat.								
Menys	Menys nivell a T-101	Fallada en llaç de control 1113 (llegeix més nivell del real)	No flux M-102. Sense conseqüència de seguretat.								
No	No flux a T-101	Fallada Controlador FC-1110 (totalment tancat)	Sense entrada de reactius. No mescla. No conseqüència de seguretat								Posar alarma de baix caudal en FC-1110
		Fallada Controlador LT-1113 (totalment tancat)	Augment de temperatura i possible sobrepressió. Risc de pressió per sobre de la de disseny	4	-1	A	- PT-1114 -Vàlvula de seguretat PSV2	4	-5	C	-Dissenyar PSV2 per aquest cas -Posar alarma d'alt nivell en LT-1113
Menys	Menys flux a T-101	Fallada Controlador FC-	Ídem No flux								Posar alarma de baix caudal en FC-1110

		1110 (totalment tancat)									
		Fallada Controlador LT-1113 (llegeix més nivell del real)	Ídem No flux								-Dissenyar PSV2 per aquest cas -Posar alarma d'alt nivell en LT-1113
Més	Més flux a T-101	Fallada Controlador FC-1110 (totalment obert)	Sobrepessió a T-101. Risc de pressió per sobre disseny	4	-1	A	- PT-1114 -Vàlvula de seguretat PSV2	4	-5	C	-Dissenyar PSV2 per aquest cas -Posar alarma d'alt caudal en FC-110
		Fallada Controlador LT-1113 (llegeix menys nivell del real)	Dificultats en la mescla. No conseqüència de seguretat								Posar alarma de baix nivell en LT-1113
Més	Més pressió a T-101	Fallada Controlador PT-1114 (llegeix menys pressió de la real)	Augment de la pressió del tanc per sobre de la de disseny i ruptura catastròfica. Possible explosió del tanc.	4	-1	A	Vàlvula de seguretat PSV2	4	-5	C	Dissenyar PSV2 per aquest cas

		Fallada Controlador FC-110 (totalment obert)	Ídem Més flux								-Dissenyar PSV2 per aquest cas -Posar alarma d'alt cabal en FC-1126
		Fallada Controlador LT-1113 (llegeix menys nivell del real)	Ídem No flux								
		Fallada Controlador FC-1118 (parcialment tancat)	Augment de la pressió del tanc per sobre de la de disseny i ruptura catastròfica. Possible explosió del tanc.	4	-1	A	- PT-1114 -Vàlvula de seguretat PSV2	4	-5	C	Posar alarma d'alta pressió
Menys	Menys pressió a T-101	Fallada Controlador PT-1114 (Aturada)	Dificultats en la mescla. No conseqüència de seguretat								
		Fallada Controlador FC-1110 (totalment tancada)	Ídem Menys Flux								Posar alarma de baix cabal en FC-1110

		Fallada Controlador LT-1113 (parcialment obert)	Dificultats en la mescla. No conseqüència de seguretat								Posar alarma de baix nivell en LT-1113
		Fallada Controlador FC-1118 (parcialment obert)	Buidat del tanc, incompliment de especificació. No conseqüència de seguretat								
Més	Més temperatura a T-101	Fallada Controlador PT-1114 (parcialment tancat)	Sobrepresió a T-101. Risc de pressió per sobre disseny	4	-1	A	Vàlvula de seguretat PSV2	4	-5	C	-Dissenyar PSV2 per aquest cas -Posar alarma de alta pressió en PT-1114
		Fallada Controlador LT-1113 (Tanca Parcialment)	Sobrepresió T-101. Risc de pressió per sobre disseny	4	-1	A	- PT-114 -Vàlvula de seguretat PSV2	4	-5	C	-Dissenyar PSV2 per aquest cas -Posar alarma de baix nivell en LT-1113
		Fallada Controlador TI-1115 (llegeix menys temperatura de la real)	Augment de pressió. Risc de pressió per sobre disseny	4	-1	A	- PT-1114 -Vàlvula de seguretat PSV2	4	-5	C	-Dissenyar PSV2 per aquest cas. -Posar alarma TI-1115

Menys	Menys temperatura a T-101	Fallada Controlador PT-1114 (parcialment obert)	No conseqüència de seguretat.								Posar alarma de baixa pressió en PT-1114
		Fallada Controlador LT-1113 (parcialment obert)	No conseqüència de seguretat.								Posar alarma de baix nivell en LT-1113
		Fallada Controlador TI-1115 (llegeix més temperatura de la real)	No conseqüència de seguretat.								Posar alarma de baixa temperatura en TI-1115
Altra	Altra composició a T-101	Fallada control rati.	Contaminació de mescla. No conseqüència de seguretat								
	Altra fase a T-101	No aplica									
<i>As well as</i>	<i>As well as</i> corrosió	No s'identifiquen causes.	Corrosió dels equips (possibilitat de fractures i fugues).								Ús d'equips d'acer inoxidable i realització d'inspeccions periòdiques.

	<i>As well as</i> erosió	No s'identifiquen causes.									
No	<i>No utilities</i>	Fallada local d'aire en els instruments	Pèrdua de control del procés V-113 obre V-116 obre								
		Fallada de subministrament elèctric	Pèrdua de control del procés								Valorar la necessitat de generadors auxiliars discontinus.
No	<i>No contenció</i>	Fuita de producte per corrosió, trencament, etc.	Vessament de producte inflamable. Risc d'atmosfera explosiva.								Instal·lació de detectors d'atmosfera explosiva.

A.13.3. HazOP + Mini LOPA del mixer M-102

Paraula Guia	Desviació	Causes	Conseqüències	C	F	R	Salvaguardes	C	F	R	Accions
Més	Més nivell a M-102	Fallada en llaç de control 1120 (llegeix menys nivell del real)	Cabal de sortida cap a R-201 no controlat. Sense conseqüències de seguretat.								
Menys	Menys nivell a M-102	Fallada en llaç de control 1120 (llegeix més nivell del real)	No flux a R-201. Sense conseqüència de seguretat.								
No	No flux a M-102	Fallada Controlador FC-1118 (totalment tancat)	Sense entrada de reactius. No conseqüència de seguretat								Posar alarma de baix caudal en FC-1118
		Fallada Controlador FC-1351 (totalment tancat)	Sense entrada de reactius. No conseqüència de seguretat								Posar alarma de baix caudal en FC-1351
		Fallada Controlador LT-1120 (totalment tancat)	Augment de temperatura i possible sobrepressió. Risc de pressió per sobre de la de disseny	4	-1	A	- PT-1119 -Vàlvula de seguretat PSV3	4	-5	C	-Dissenyar PSV3 per aquest cas -Posar alarma d'alt nivell en LT-1120

Menys	Menys flux a M-102	Fallada Controlador FC-1118 (parcialment tancat)	Ídem No flux								Posar alarma de baix caudal en FC-1118
		Fallada Controlador FC-1351 (parcialment tancat)	Ídem No flux								Posar alarma de baix caudal en FC-1351
		Fallada Controlador LT-1120 (llegeix més nivell del real)	Ídem No flux								-Dissenyar PSV3 per aquest cas -Posar alarma d'alt nivell en LT-1120
Més	Més flux a M-102	Fallada Controlador FC-1118 (totalment obert)	Sobrepresió a M-102. Risc de pressió per sobre disseny	4	-1	A	- PT-1119 -Vàlvula de seguretat PSV3	4	-5	C	-Dissenyar PSV3 per aquest cas -Posar alarma d'alt caudal en FC-1118
		Fallada Controlador FC-1351 (totalment obert)	Sobrepresió a M-102. Risc de pressió per sobre disseny	4	-1	A	- PT-1119 -Vàlvula de seguretat PSV3	4	-5	C	-Dissenyar PSV3 per aquest cas -Posar alarma d'alt caudal en FC-111351

		Fallada Controlador LT-1120 (Ilegeix menys nivell del real)	Dificultats en la mescla. No conseqüència de seguretat								Posar alarma de baix nivell en LT-1120
Més	Més pressió a M-102	Fallada Controlador PT-1119 (Ilegeix menys pressió de la real)	Augment de la pressió del <i>mixer</i> per sobre de la de disseny i ruptura catastròfica. Possible explosió del <i>mixer</i> .	4	-1	A	-Vàlvula de seguretat PSV3	4	-5	C	Dissenyar PSV3 per aquest cas
		Fallada Controlador FC-1118 (totalment obert)	Ídem Més flux								-Dissenyar PSV3 per aquest cas -Posar alarma d'alt cabal en FC-1118
		Fallada Controlador FC-1351 (totalment obert)	Ídem Més flux								-Dissenyar PSV1 per aquest cas -Posar alarma d'alt cabal en FC-1351
		Fallada Controlador LT-1120 (Ilegeix menys nivell del real)	Ídem No flux								

		Fallada Controlador FC-1126 (totalment tancat)	Augment de la pressió del <i>mixer</i> per sobre de la de disseny i ruptura catastròfica. Possible explosió del <i>mixer</i> .	4	-1	A	- PT-1119 -Vàlvula de seguretat PSV3	4	-5	C	Posar alarma d'alta pressió
Menys	Menys pressió a M-102	Fallada Controlador PT-1119(Aturada)	Dificultats en la mescla. No conseqüència de seguretat								
		Fallada Controlador FC-1118 (parcialment tancada)	Ídem Menys Flux								Posar alarma de baix cabal en FC-1118
		Fallada Controlador FC-1351 (parcialment tancada)	Ídem Menys Flux								Posar alarma de baix cabal en FC-1351
		Fallada Controlador LT-1120(parcialment obert)	Dificultats en la mescla. No conseqüència de seguretat								Posar alarma de baix nivell en LT-1120

		Fallada Controlador FC-1126 (parcialment obert)	Buidat del <i>mixer</i> , incompliment de especificació. No conseqüència de seguretat								
Més	Més temperatura a M-102	Fallada Controlador PT-1119 (parcialment tancat)	Sobrepresió a M-102. Risc de pressió per sobre disseny	4	-1	A	-Vàlvula de seguretat PSV3	4	-5	C	-Dissenyar PSV3 per aquest cas -Posar alarma de alta pressió en PT-1119
		Fallada Controlador LT-1120 (Tanca Parcialment)	Sobrepresió a M-102 Risc de pressió per sobre disseny	4	-1	A	- PT-1119 -Vàlvula de seguretat PSV3	4	-5	C	-Dissenyar PSV3 per aquest cas -Posar alarma de baix nivell en LT-1120
		Fallada Controlador TI-1125 (llegeix menys temperatura de la real)	Augment de pressió. Risc de pressió per sobre disseny	4	-1	A	- PT-1119 -Vàlvula de seguretat PSV3	4	-5	C	-Dissenyar PSV3 per aquest cas. -Posar alarma TI-1125
Menys	Menys temperatura a M-102	Fallada Controlador PT-1119 (parcialment obert)	No conseqüència de seguretat.								Posar alarma de baixa pressió en PT-1119

		Fallada Controlador LT-1120 (parcialment obert)	No conseqüència de seguretat.								Posar alarma de baix nivell en LT-1120
		Fallada Controlador TI-1125 (llegeix més temperatura de la real)	No conseqüència de seguretat.								Posar alarma de baixa temperatura en TI-1125
Altra	Altra composició a M-102	Fallada control rati.	Contaminació de reacció. No conseqüència de seguretat								
	Altra fase a M-102	No aplica									
<i>As well as</i>	<i>As well as</i> corrosió	No s'identifiquen causes.	Corrosió dels equips (possibilitat de fractures i fugues).								Ús d'equips d'acer inoxidable i realització d'inspeccions periòdiques.
	<i>As well as</i> erosió	No s'identifiquen causes.									

No	No <i>utilities</i>	Fallada local d'aire en els instruments	Pèrdua de control del procés V-118 obre V-351 tanca V-128 obre								
		Fallada de subministrament elèctric	Pèrdua de control del procés								Valorar la necessitat de generadors auxiliars discontinus.
No	No contenció	Fuita de producte per corrosió, trencament, etc.	Vessament de producte inflamable. Risc d'atmosfera explosiva.								Instal·lació de detectors d'atmosfera explosiva.

A.13.4. HazOP + Mini LOPA del neutralitzador N-301

Paraula Guia	Desviació	Causes	Conseqüències	C	F	R	Salvaguardes	C	F	R	Accions
Més	Més nivell a N-301	Fallada en llaç de control 1323 (llegeix menys nivell del real)	Cabal de sortida cap a D-301 no controlat. Sense conseqüències de seguretat.								
Menys	Menys nivell a N-301	Fallada en llaç de control 1323 (llegeix més nivell del real)	No flux a D-301. Sense conseqüència de seguretat.								
No	No flux a N-301	Fallada Controlador FC-1126 (totalment tancat)	Sense entrada de reactius. No reacció. No conseqüència de seguretat								Posar alarma de baix caudal en FC-1126
		Fallada Controlador LT-1323 (totalment tancat)	Augment de temperatura i possible sobrepressió. Risc de pressió per sobre de la de disseny	4	-1	A	- PT-1324 -Vàlvula de seguretat PSV8	4	-5	C	-Dissenyar PSV8 per aquest cas -Posar alarma d'alt nivell en LT-1323
Menys	Menys flux a N-301	Fallada Controlador FC-	Ídem No flux								Posar alarma de baix caudal en FC-1126

		1126 (totalment tancat)									
		Fallada Controlador LT-1323 (llegeix més nivell del real)	Ídem No flux								-Dissenyar PSV8 per aquest cas -Posar alarma d'alt nivell en LT-1323
Més	Més flux a N-301	Fallada Controlador FC-1126 (totalment obert)	Sobrepresió a N-301. Risc de pressió per sobre disseny	4	-1	A	- PT-1324 -Vàlvula de seguretat PSV8	4	-5	C	-Dissenyar PSV8 per aquest cas -Posar alarma d'alt caudal en FC-1126
		Fallada Controlador LC-323 (llegeix menys nivell del real)	Dificultats en la reacció. No conseqüència de seguretat								Posar alarma de baix nivell en LT-1323
Més	Més pressió a N-301	Fallada Controlador PT-1324 (llegeix menys pressió de la real)	Augment de la pressió del neutralitzador per sobre de la de disseny i ruptura catastròfica. Possible explosió del reactor.	4	-1	A	-Vàlvula de seguretat PSV8	4	-5	C	Dissenyar PSV8 per aquest cas

		Fallada Controlador FC-1126 (totalment obert)	Ídem Més flux								-Dissenyar PSV8 per aquest cas -Posar alarma d'alt cabal en FC-1126
		Fallada Controlador LT-1323 (llegeix menys nivell del real)	Ídem No flux								
		Fallada Controlador FC-1328 (parcialment tancat)	Augment de la pressió del neutralitzador per sobre de la de disseny i ruptura catastròfica. Possible explosió del reactor.	4	-1	A	- PT-1324 -Vàlvula de seguretat PSV8	4	-5	C	Posar alarma d'alta pressió
Menys	Menys pressió a N-301	Fallada Controlador PT-1324 (Aturada)	Dificultats en la reacció. No conseqüència de seguretat								
		Fallada Controlador FC-1126 (totalment tancada)	Ídem Menys Flux								Posar alarma de baix cabal en FC-1126

		Fallada Controlador LT-1323 (parcialment obert)	Dificultats en la reacció. No conseqüència de seguretat								Posar alarma de baix nivell en LT-1323
		Fallada Controlador FC-1328 (parcialment obert)	Buidat del neutralitzador, incompliment de especificació. No conseqüència de seguretat								
Més	Més temperatura a N-301	Fallada Controlador PT-1324 (parcialment tancat)	Sobrepresió a N-301. Risc de pressió per sobre disseny	4	-1	A	-Vàlvula de seguretat PSV8	4	-5	C	Dissenyar PSV8 per aquest cas Posar alarma de alta pressió en PT-1324
		Fallada Controlador LT-1323 (Tanca Parcialment)	Sobrepresió a N-301. Risc de pressió per sobre disseny	4	-1	A	- PT-1324 -Vàlvula de seguretat PSV8	4	-5	C	Dissenyar PSV8 per aquest cas Posar alarma de baix nivell en LT-1323
		Fallada Controlador TI-1325 (llegeix menys temperatura de la real)	Augment de pressió. Risc de pressió per sobre disseny	4	-1	A	- PT-1324 -Vàlvula de seguretat PSV8	4	-5	C	-Dissenyar PSV8 per aquest cas. -Posar alarma TI-1325

Menys	Menys temperatura a N-301	Fallada Controlador PT-1324 (parcialment obert)	No conseqüència de seguretat.								Posar alarma de baixa pressió en PT-1324
		Fallada Controlador LT-1323 (parcialment obert)	No conseqüència de seguretat.								Posar alarma de baix nivell en LT-1323
		Fallada Controlador TI-1325 (llegeix més temperatura de la real)	No conseqüència de seguretat.								Posar alarma de baixa temperatura en TI-1325
Altra	Altra composició a N-301	Fallada control rati.	Contaminació de reacció. No conseqüència de seguretat								
	Altra fase a N-301	No aplica									
<i>As well as</i>	<i>As well as</i> corrosió	No s'identifiquen causes.	Corrosió dels equips (possibilitat de fractures i fugues).								Ús d'equips d'acer inoxidable i realització d'inspeccions periòdiques.
	<i>As well as</i> erosió	No s'identifiquen causes.									

No	No <i>utilities</i>	Fallada local d'aire en els instruments	Pèrdua de control del procés -V-325 tanca -V-328 obre -V-331 obre								
		Fallada de subministrament elèctric	Pèrdua de control del procés								Valorar la necessitat de generadors auxiliars discontinus.
No	No contenció	Fuita de producte per corrosió, trencament, etc.	Vessament de producte inflamable. Risc d'atmosfera explosiva.								Instal·lació de detectors d'atmosfera explosiva.

A.13.5. HazOP + Mini LOPA de la columna DC-302

Paraula Guia	Desviació	Causes	Conseqüències	C	F	R	Salvaguardes	C	F	R	Accions
Més	Més nivell a fons DC-302	Fallada en llaç de control 1338 (llegeix menys nivell del real)	Inundació de la columna. Sense conseqüència de seguretat.								Ficar alarma d'alt nivell al controlador LT-1338.
	Més nivell a A-302	Fallada en llaç de control 1311 (llegeix menys nivell del real)	Possible inundació de A-302 i C-302. Si PT-1341 no és capaç d'alleujar tot el producte, augmenta la pressió per sobre de la de disseny i ruptura catastròfica de la columna. Possibilitat d'explosió.	4	-1	A	-S'obre la vàlvula de control V-355. -La vàlvula de seguretat PSV9 s'obrirà a 1,6 atm.	4	-5	C	-Dissenyar la PSV9 per aquest cas. -Ficar alarma d'alt nivell al controlador LT-1338.
Menys	Menys nivell a fons DC-302	Fallada en llaç de control 1338 (llegeix més nivell del real)	La taxa de recirculació al <i>reboiler</i> disminueix on hi haurà més lleugers al fons. No es produirà l'intercanvi i no es complirà l'especificació								Ficar alarma de baix nivell al controlador LT-1338.

	Menys nivell a A-302	Fallada en llaç de control 1338 (llegeix més nivell del real)	Cavitació de la bomba P-303. Possible deterioració de la tanca mecànica i fuga del producte al exterior. Possibilitat d'explosió	3	-1	B	Doble tanca mecànica, encapsulament o bomba d'arrossegament magnètic.	1	-1	D	Ficar alarma de baix nivell al controlador LT-1338.
No	Sense flux d'alimentació DC-302	-Fallada en llaç de control 1335 -Falta d'alimentació	Inestabilitat de la columna. Sense conseqüència de seguretat.								Ficar alarma de baix cabal al controlador FT-1335.
	Sense flux de reflux a DC-302	Fallada en llaç de control 1348	Major temperatura en cap de la columna i producte fora d'especificació. Sense conseqüència de seguretat.								Ficar alarma de baix cabal al controlador FT-1348.
	Sense flux de destil·lat cap a torxa	Fallada en llaç de control 1343	Ídem més nivell en A-302								
	Sense flux de sortida cap a DC-303	Fallada en llaç de control 1338	Escalfament del líquid amb el temps arribant a evaporar-se. Possibilitat d'explosió.	2	-1	C	-Vàlvula de control V-612 tancarà per tallar l'entrada de vapor	1	-1	D	-Col·locar orifici de restricció de cabal mínim.

Menys	Menys flux d'alimentació DC-302	Fallada en llaç de control 1335	Ídem no flux d'alimentació DC-302.							Ficar alarma de baix cabal al controlador FT-1335.
	Menys flux de reflux a DC-302	Fallada en llaç de control 1348	Ídem no reflux a DC-302.							Ficar alarma de baix cabal al controlador FT-1348.
	Menys flux de destil·lat cap a la torxa	Fallada en llaç de control 1343	Ídem no flux de destil·lat cap a la torxa.							Ficar alarma de baix nivell en LT-1343.
	Menys flux cap a DC-303	Fallada en llaç de control 1338	Ídem no flux de cap a DC-303.							Ficar alarma de baix nivell en LT-1338.
Més	Més flux d'alimentació	Llaç de control 1335 queda totalment oberta	Disminució de la capacitat de separació cap-fons de la columna DC-302. Sense conseqüència de seguretat.							Ficar alarma d'alt cabal en FT-1335.
	Més flux de reflux a DC-302	Llaç de control 1348 queda totalment oberta	Disminueix la temperatura en cap de la columna. Sense conseqüència de seguretat.							Ficar alarma d'alt cabal en FT-1348.

	Més flux de destil·lat cap a la torxa	Llaç de control 1343 queda totalment oberta.	Possibilitat de buidar-se.								Ficar alarma de baix nivell en LT-1343.
	Més flux cap a DC-303	Llaç de control 1338 totalment oberta.	Possibilitat de buidar la columna DC-301. Producció fora d'especificació. Sense conseqüència de seguretat.								
	Més flux de vapor d'aigua en RB-302	Fallada en llaç de control 1337, la vàlvula de control queda totalment oberta.	Augment de la taxa de recirculació del <i>reboiler</i> amb possible inundació de la columna DC-302.								Ficar alarma de temperatura alta en TT-1337.
Més	Més pressió en DC-301	Foc extern	Vaporització de la fase líquida de la columna. Ruptura catastròfica de la columna i A-302 amb possibilitat d'explosió.	4	-2	B	-Vàlvula de seguretat PSV9	4	-6	D	Dissenyar PSV9 per a aquest cas.

	Fallada l'aigua de refrigeració en C-303	Augment de pressió per no condensació al condensador amb possibilitat de ruptura catastròfica i explosió.	4	-1	A	-Vàlvula de seguretat PSV9	4	-5	C	Dissenyar PSV9 per a aquest cas
	Fallada de la bomba P-303	Ídem més nivell en A-302				-Vàlvula de seguretat PSV9				Dissenyar PSV9 per a aquest cas
	Ruptura tubs del <i>reboiler</i> RB-302	Possibilitat d'augment de pressió depenent en la capacitat de condensació de C-302 i cabal màxim del llaç de control 1341. Possible ruptura catastròfica.	4	-4	C	-Vàlvula de seguretat PSV9 -Llaç de control 1341	4	-8	D	Dissenyar PSV9 per a aquest cas
	Ruptura tubs condensador C-302	Entrada d'aigua de refrigeració al sistema. Possibilitat d'augment de pressió i ruptura catastròfica de C-302 i A-302.	4	-4	C	-Vàlvula de seguretat PS11 -Llaç de control 1341	4	-8	D	Dissenyar PSV9 per a aquest cas.
	Fallada en llaç de control 1348	Augment de pressió lleuger. Sense conseqüència de seguretat.								

Menys	Menys pressió en DC-302	Fallada en llaç de control 1341. Vàlvula totalment oberta.	Sense conseqüència de seguretat.								Ficar alarma de baixa pressió en PT-1341.
		Fallada en llaç de control 1337. Vàlvula totalment tancada.	Disminució de la producció de vapor en el <i>reboiler</i> RB-302. Sense conseqüències de seguretat.								Ficar alarma de baix cabal en TT-1337.
Més	Més temperatura en DC-302 i A-302	Ruptura del <i>reboiler</i> RB-302	Ídem més pressió en DC-302								Posar alarma d'alta temperatura en TT-1337.
		Fallada en llaç de control 1337. Vàlvula totalment oberta	Ídem més flux de vapor d'aigua a DC-302								
		Fallada en aigua de refrigeració en C-302	Ídem més pressió a DC-302								
Menys	Menys temperatura en DC-302	Llaç de control 1341 totalment oberta.	Disminueix la pressió i la temperatura del cap de la columna. Sense conseqüències de seguretat.								

		Ruptura tubs C-302	Entrada aigua de refrigeració al sistema. Sense conseqüències de seguretat.								
Un altre	Un altre composició en alimentació	Diferent composició a la dissenyada a l'alimentació de la columna DC-302	Sense conseqüència de seguretat.								
	Un altre fase en DC-302	Ruptura tubs de <i>reboiler</i> RB-302	Ídem més pressió a DC-302								
	Un altre fase en flux cap DC-303	Ruptura tubs de <i>reboiler</i> RB-302	Ídem sense flux cap DC-303								
	Un altre fase en flux de destil·lat cap a la torxa	Ruptura tubs del bescanviador HE-303	Sense conseqüència de seguretat.								
	Un altre fase en A-302	Ruptura tubs del condensador C-302	Ídem més pressió a A-302								
<i>As well as</i>	<i>As well as</i> corrosió/erosió en C-302 i A-302	Corrosió sota l'aïllament	Fuga del producte al exterior i possibilitat d'explosió.	2	-1	C	Programa de inspecció en vigor.	2	-2	C	

		Erosió en tubs de RB-302	Ruptura dels tubs <i>reboiler</i> RB-302. Ídem més pressió a DC-302								Posar placa protectora a l'entrada de vapor.
No	No <i>utilities</i>	Fallada d'energia elèctrica	Parada de bomba P-302. Ídem més nivell a A-302.								
		Fallada l'aigua de refrigeració	Fallada en C-302, sense condensació i augmenta la pressió de DC-302 i A-302 amb possibilitat de ruptura catastròfica i explosió.	4	-1	A	Vàlvula de seguretat PSV9 -Llaç de control 1341 -Vàlvula de seguretat PSV14	4	-5	C	Dissenyar PSV9 per a aquest cas. -Dissenyar PSV11 per a aquest cas.
		Fallada vapor d'aigua	Fallada en RB-302. Ídem menys pressió en DC-302.								
		Fallada aire de instruments.	Pèrdua de control del procés V-339 tanca V-348 tanca V-351 obre V-355 obre V-521 obre V-612 tanca								

A.13.6. HazOP + Mini LOPA de la columna DC-303

Paraula Guia	Desviació	Causes	Conseqüències	C	F	R	Salvaguardes	C	F	R	Accions
Més	Més nivell a fons DC-303	Fallada en llaç de control 1357 (llegeix menys nivell del real)	Inundació de la columna. Sense conseqüència de seguretat.								Ficar alarma d'alt nivell al controlador LT-1357.
	Més nivell a A-303	Fallada en llaç de control 1362 (llegeix menys nivell del real)	Possible inundació de A-303 i C-303. Si PT-1360 no és capaç d'alleujar tot el producte, augmenta la pressió per sobre de la de disseny i ruptura catastròfica de la columna. Possibilitat d'explosió.	4	-1	A	-S'obre la vàlvula de control V-377. -La vàlvula de seguretat PSV12 s'obrirà a 1,6 atm.	4	-5	C	-Dissenyar la PSV12 per aquest cas. -Ficar alarma d'alt nivell al controlador LT-1362.
Menys	Menys nivell a fons DC-303	Fallada en llaç de control 1357 (llegeix més nivell del real)	La taxa de recirculació al <i>reboiler</i> disminueix on hi haurà més lleugers al fons. No es produirà l'intercanvi i no es complirà l'especificació								Ficar alarma de baix nivell al controlador LT-1357.

	Menys nivell a A-303	Fallada en llaç de control 1362 (llegeix més nivell del real)	Cavitació de la bomba P-304. Possible deterioració de la tanca mecànica i fuga del producte al exterior. Possibilitat d'explosió	3	-1	B	Doble tanca mecànica, encapsulament o bomba d'arrossegament magnètic.	1	-1	D	Ficar alarma de baix nivell al controlador LT-1362.
No	Sense flux d'alimentació DC-303	-Fallada en llaç de control 1354 -Falta d'alimentació	Inestabilitat de la columna. Sense conseqüència de seguretat.								Ficar alarma de baix cabal al controlador FT-1354.
	Sense flux de reflux a DC-303	Fallada en llaç de control 1367	Major temperatura en cap de la columna i producte fora d'especificació. Sense conseqüència de seguretat.								Ficar alarma de baix cabal al controlador FT-1367.
	Sense flux de destil·lat cap a torxa	Fallada en llaç de control 1363	Ídem més nivell en A-303								
	Sense flux de sortida	Fallada en llaç de control 1357	Escalfament del líquid amb el temps arribant a evaporar-se. Possibilitat d'explosió.	2	-1	C	-Vàlvula de control V-622 tancarà per tallar l'entrada de vapor	1	-1	D	-Col·locar orifici de restricció de cabal mínim.

Menys	Menys flux d'alimentació DC-303	Fallada en llaç de control 1354	Ídem no flux d'alimentació DC-302.								Ficar alarma de baix cabal al controlador FT-1354.
	Menys flux de reflux a DC-303	Fallada en llaç de control 1367	Ídem no reflux a DC-302.								Ficar alarma de baix cabal al controlador FT-1367.
	Menys flux de destil·lat cap a la torxa	Fallada en llaç de control 1363	Ídem no flux de destil·lat cap a la torxa.								Ficar alarma de baix nivell en LT-1363.
	Menys flux de sortida	Fallada en llaç de control 1357	Ídem no flux de sortida								Ficar alarma de baix nivell en LT-1357.
Més	Més flux d'alimentació	Llaç de control 1354 queda totalment oberta	Disminució de la capacitat de separació cap-fons de la columna DC-303. Sense conseqüència de seguretat.								Ficar alarma d'alt cabal en FT-1354.
	Més flux de reflux a DC-303	Llaç de control 1367 queda totalment oberta	Disminueix la temperatura en cap de la columna. Sense conseqüència de seguretat.								Ficar alarma d'alt cabal en FT-1367.

	Més flux de destil·lat cap a la torxa	Llaç de control 1363 queda totalment oberta.	Possibilitat de buidar-se.								Ficar alarma de baix nivell en LT-1363.
	Més flux de sortida	Llaç de control 1357 totalment oberta.	Possibilitat de buidar la columna DC-303. Producció fora d'especificació. Sense conseqüència de seguretat.								
	Més flux de vapor d'aigua en RB-303	Fallada en llaç de control 1356, la vàlvula de control queda totalment oberta.	Augment de la taxa de recirculació del <i>reboiler</i> amb possible inundació de la columna DC-303.								Ficar alarma de temperatura alta en TT-1356.
Més	Més pressió en DC-303	Foc extern	Vaporització de la fase líquida de la columna. Ruptura catastròfica de la columna i A-303 amb possibilitat d'explosió.	4	-2	B	-Vàlvula de seguretat PSV12	4	-6	D	Dissenyar PSV12 per a aquest cas.

	Fallada l'aigua de refrigeració en C-303	Augment de pressió per no condensació al condensador amb possibilitat de ruptura catastròfica i explosió.	4	-1	A	-Vàlvula de seguretat PSV12	4	-5	C	Dissenyar PSV12 per a aquest cas
	Fallada de la bomba P-304	Ídem més nivell en A-303				-Vàlvula de seguretat PSV12				Dissenyar PSV12 per a aquest cas
	Ruptura tubs del <i>reboiler</i> RB-303	Possibilitat d'augment de pressió depenent en la capacitat de condensació de C-303 i cabal màxim del llaç de control 1360. Possible ruptura catastròfica.	4	-4	C	-Vàlvula de seguretat PSV14 -Llaç de control 1360	4	-8	D	Dissenyar PSV12 per a aquest cas
	Ruptura tubs condensador C-303	Entrada d'aigua de refrigeració al sistema. Possibilitat d'augment de pressió i ruptura catastròfica de C-303 i A-303.	4	-4	C	-Vàlvula de seguretat PS14 -Llaç de control 1360	4	-8	D	Dissenyar PSV12 per a aquest cas.
	Fallada en llaç de control 1367	Augment de pressió lleuger. Sense conseqüència de seguretat.								

Menys	Menys pressió en DC-303	Fallada en llaç de control 1360. Vàlvula totalment oberta.	Sense conseqüència de seguretat.								Ficar alarma de baixa pressió en PT-1360.
		Fallada en llaç de control 1356. Vàlvula totalment tancada.	Disminució de la producció de vapor en el <i>reboiler</i> RB-303. Sense conseqüències de seguretat.								Ficar alarma de baix cabal en TT-1356.
Més	Més temperatura en DC-303 i A-303	Ruptura del <i>reboiler</i> RB-303	Ídem més pressió en DC-303								Posar alarma d'alta temperatura en TT-1356.
		Fallada en llaç de control 1356. Vàlvula totalment oberta	Ídem més flux de vapor d'aigua a DC-303								
		Fallada en aigua de refrigeració en C-303	Ídem més pressió a DC-303								
Menys	Menys temperatura en DC-303	Llaç de control 1360 totalment oberta.	Disminueix la pressió i la temperatura del cap de la columna. Sense conseqüències de seguretat.								

		Ruptura tubs C-303	Entrada aigua de refrigeració al sistema. Sense conseqüències de seguretat.								
Un altre	Un altre composició en alimentació	Diferent composició a la dissenyada a l'alimentació de la columna DC-303	Sense conseqüència de seguretat.								
	Un altre fase en DC-303	Ruptura tubs de <i>reboiler</i> RB-303	Ídem més pressió a DC-303								
	Un altre fase en flux de sortida	Ruptura tubs de <i>reboiler</i> RB-303	Ídem sense flux cap DC-303								
	Un altre fase en A-303	Ruptura tubs del condensador C-303	Ídem més pressió a A-303								
As well as	As well as corrosió/erosió en C-303 i A-302	Corrosió sota l'aïllament	Fuga del producte al exterior i possibilitat d'explosió.	2	-1	C	Programa de inspecció en vigor.	2	-2	C	
		Erosió en tubs de RB-303	Ruptura dels tubs <i>reboiler</i> RB-303. Ídem més pressió a DC-303								Posar placa protectora a l'entrada de vapor.
No	No <i>utilities</i>	Fallada d'energia elèctrica	Parada de bomba P-304. Ídem més nivell a A-303.								

	Fallada l'aigua de refrigeració	Fallada en C-303, sense condensació i augmenta la pressió de DC-303 i A-303 amb possibilitat de ruptura catastròfica i explosió.	4	-1	A	Vàlvula de seguretat PSV12 -Llaç de control 1360 -Vàlvula de seguretat PSV14	4	-5	C	Dissenyar PSV12 per a aquest cas. -Dissenyar PSV14 per a aquest cas.
	Fallada vapor d'aigua	Fallada en RB-303. Ídem menys pressió en DC-303.								
	Fallada aire de instruments.	Pèrdua de control del procés V-360 tanca V-370 tanca V-373 obre V-377 obre V-531 obre V-622 tanca								

A.14. ZONES ATEX

Com bé s'ha comentat en l'apartat 0 per tal de determinar les zones ATEX s'han seguit les normatives UNE 202007 (ref. 17) i UNE 60079-10-1-2016 (ref. 18).

Primerament, s'ha definit un punt d'escapament, el grau de fuga (si és continu, primari o secundari), la durada d'aquesta, la mida de l'orifici per on sortiria a l'exterior i el coeficient de descàrrega per l'orifici de fuga.

Un cop definits aquests paràmetres es calcula el cabal del fluid que fuga seguint la següent equació:

$$W = Cd \cdot S \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot \Delta P} \quad (\text{A.63})$$

Essent W el cabal de fluid que fuga (kg/s), Cd el coeficient de descàrrega, S l'àrea d'orifici (m^2), la ρ és la densitat del líquid (kg/m^3) i ΔP la diferència de pressió entre els dos costats de l'obertura (Pa).

L'atmosfera explosiva és generada per un vapor en contacte amb aire. En cas que el fluid que s'escapa no sigui vapor, es determina la quantitat de vapor que es genera pel canvi de pressió.

Per tal de quantificar i determinar el diàmetre de l'expansió de la zona ATEX s'utilitza la figura D.1 de la normativa UNE 60079-10-1-2016 (ref. 18). Per poder llegir el gràfic de forma correcta es determina el valor de la característica d'escapament anomenada C_e (m^3/s) seguint la següent equació:

$$C_e = \frac{w_g}{\rho \cdot g} \cdot k \cdot LIE \quad (\text{A.64})$$

On w_g és el fluid en vapor que s'ha generat pel canvi de pressió (kg/s), g és la gravetat (m/s^2), k és el factor de seguretat associat a la substància en qüestió i LIE és el límit inferior d'explosibilitat del fluid en volum (% vol.). Aquest últim valor s'extreu de la Taula 5.2.

A la figura D.1 de la normativa UNE 60079-10-1-2016 (ref. 18) es determina la distància perillosa des de l'orifici de fuga.

Finalment, s'ha agafat la taula D.1 de la normativa UNE 60079-10-1-2016 (ref. 18) per determinar la zona ATEX i la taula A.1 de la normativa UNE 202007 (ref. 17) per determinar la classe, el grup i la categoria de temperatura dels diferents compostos de la planta de producció.

A.15. DISSENY VÀLVULES DE SEGURETAT

Pel dimensionament dels instruments de descàrrega, en aquest cas de la PSV4 ubicada al R-201, primerament s'ha seleccionat el foc com l'escenari a cobrir. Un cop seleccionat l'escenari s'ha calculat l'àrea d'orifici per a gasos mitjançant la següent equació (ref. 20):

$$A = \frac{W}{0.745 \cdot C \cdot K \cdot P1 \cdot Kb} \cdot \sqrt{\frac{(T + 273) \cdot Z}{M}} \quad (\text{A.65})$$

On: A és l'àrea efectiva de descàrrega requerida (cm²), W és la capacitat de descàrrega (kg/h), T és la temperatura de dispar (°C), C és el coeficient de funció de la relació de calors específiques de gas en condicions estàndard (15 °C i 1 atm), K és el coeficient de descàrrega (0,975 per a gasos), P1 és la pressió de descàrrega absoluta (kg/cm²), Kb és el factor de correcció a causa de la contrapressió, Z és el factor de compressibilitat per la desviació de gas real a gas perfecte, relació avaluada a les condicions d'entrada a la vàlvula i M és el pes molecular del gas.

Tant W com M s'han pogut extreure mitjançant l'*Aspen HysysTM v.11*.

El coeficient C s'ha calculat mitjançant la següent expressió (ref. 20):

$$C = 520 \cdot \sqrt{n \cdot \left(\frac{2}{n+1}\right)^{\frac{n+1}{n-1}}} = 520 \cdot \sqrt{1,282 \cdot \left(\frac{2}{1,282+1}\right)^{\frac{1,282+1}{1,282-1}}} = 345,3 \quad (\text{A.66})$$

On n equival a la relació de calors específiques Cp/Cv (extreta amb *Aspen HysysTM v.11*).

La temperatura de dispar T s'ha mesurat la màxima que es pot arribar a obtenir al reactor i se li ha donat un cert marge, aquesta s'ha suposat de 190 °C.

P1 es calcula sumant la pressió de dispar més la sobrepressió (ref. 20), sent S la sobrepressió en l'escenari de foc (21%):

$$P1 = P \cdot \left(1 + \frac{S}{100}\right) + 1,033 = 1,84 \cdot \left(1 + \frac{21}{100}\right) + 1,033 = 3,27 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{A.67})$$

El factor de correcció Kb s'ha extret mitjançant la Figura 2 del document (ref. 20), el seu valor és de 0,90.

El factor de compressibilitat per la desviació de gas real a gas perfecte, relació avaluada a les condicions d'entrada a la vàlvula s'ha extret mitjançant la Figura 13 del document, el seu valor és d'aproximadament 0,975.

Un cop s'han obtingut totes les dades es fa el càlcul de l'àrea efectiva de descàrrega requerida:

$$A = \frac{33265}{0,745 \cdot 345,3 \cdot 0,975 \cdot 3,27 \cdot 0,90} \cdot \sqrt{\frac{(190 + 273) \cdot 1}{19,94}} = 217,2 \text{ cm}^2 \quad (\text{A.68})$$

Un cop extreta l'àrea de l'orifici es troba que el diàmetre és de gairebé 17 cm, equivalent a 6".

A.16. RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM)

A.16.1. Separació d'àrees o sistemes

L'objectiu d'aquesta fase és dividir la unitat escollida (columna DC-303) en diferents àrees o sistemes. A la Figura A.32. es pot veure el procés de la unitat de producció de propilenglicol descompost amb les àrees llistades a la Taula A.16.

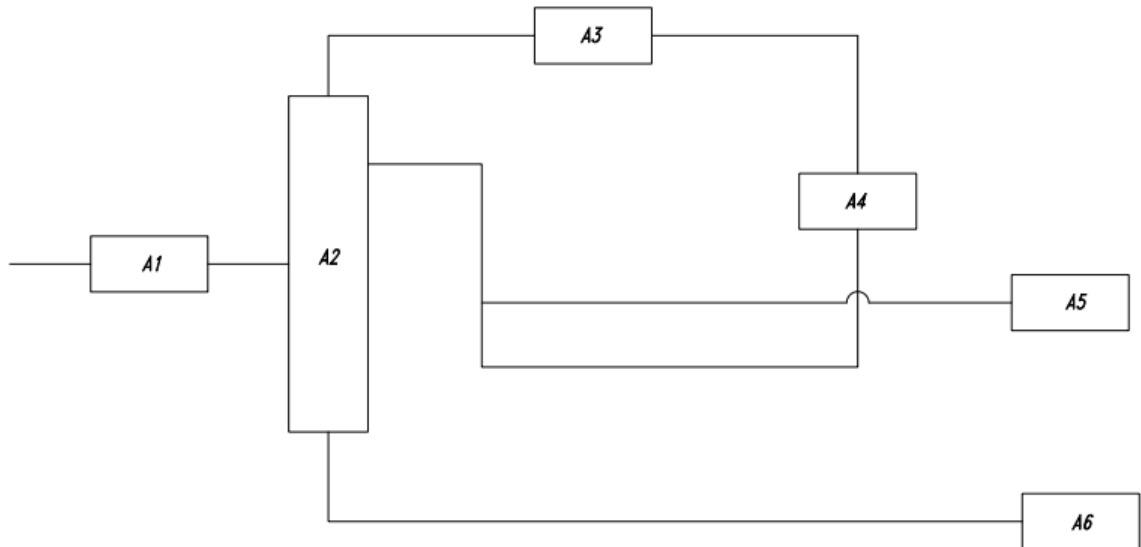


Figura A.32. Unitat de producció de propilenglicol amb les àrees corresponents.

Taula A.16. Diferents sistemes de la unitat de producció de propilenglicol.

Codi	Sistema
A1	Alimentació
A2	Sistema de separació
A3	Condensació
A4	Sistema de recirculació
A5	Recollida de destil·lat
A6	Recollida de fons de columna

A.16.2. Càlcul de la criticitat d'àrees

En aquesta fase s'analitza cada àrea segons els següents criteris: seguretat i medi ambient, disponibilitat i fiabilitat.

Es valora la probabilitat i les conseqüències d'una fallada, d'aquesta manera es determina la criticitat del sistema. S'utilitzen les taules Taula A.17 i Taula A.18 pels criteris de seguretat i medi ambient i la Taula A.19 per a criteris de fiabilitat i disponibilitat.

Taula A.17. Conseqüència per la seguretat i medi ambient.

Efectes a persones	Extensió de danys	Impacte mediambiental	Valor
Morts	Els efectes arriben a les comunitats veïnes de la planta	Molt greu i amb llarga duració en la societat	10,0
Lesions molt greus (hospitalització)	Afecta a tot el recinte de la planta	Important, societat difícil d'oblidar	6,00
Lesions que requereixen tractaments	Extensió molt localitzada	Poc important	2,00
Lesions menors	No hi ha extensió	Menor	1,00

Taula A.18. Probabilitat de fallada per la seguretat i medi ambient.

Probabilitat de fallada	Valor
Improbable	1,00
Poc probable	2,00
Probable	6,00
Molt probable	10,0

Taula A.19. Fiabilitat i disponibilitat.

	Impacte de fallada	Disponibilitat		
		Alt	Mitjà	Baix
Fiabilitat	Alt	10,0	8,00	6,00
	Mitjà	8,00	6,00	5,00
	Baix	6,00	4,00	2,00

El valor final de la criticitat relacionada amb la seguretat i medi ambient s'obté multiplicant la probabilitat de fallada per l'efecte o l'impacte d'aquesta.

A.16.3. Elecció del nivell crític d'anàlisi

A la fase final de cada anàlisi, es fixa un valor aportat pel mètode RCM. Per sota d'aquest valor es programa un manteniment correctiu, ja que la criticitat és baixa. Per contra, els sistemes que superen el valor fixat, es programa un manteniment preventiu. Es fixa com a límit inferior el 4 en criteris de seguretat i medi ambient i els 6 criteris de fiabilitat i disponibilitat. A la taula 7.5 es mostra el càlcul de la criticitat d'àrees.

Taula A.20. Càlcul de la criticitat d'àrees.

Codi	Sistema	Seguretat i medi ambient			Disponibilitat i fiabilitat
		Conseqüències	Probabilitat	Valor	
A1	Alimentació	1,00	1,00	1,00	10,0
A2	Sistema de separació	2,00	1,00	2,00	8,00
A3	Condensació	6,00	6,00	36,0	6,00
A4	Sistema de recirculació	1,00	2,00	2,00	6,00
A5	Recollida de destil·lat	6,00	2,00	12,0	2,00
A6	Recollida de fons de columna	6,00	2,00	12,0	2,00

Com es pot observar a la taula anterior l'àrea més crítica és el sistema de condensació amb un valor de 36 pel criteri de seguretat i manteniment i 6 pel criteri de disponibilitat i fiabilitat, amb una suma total de 42.

A.16.4. Anàlisi de fallades funcionals

Aquesta fase consisteix a descompondre els sistemes crítics, reconeguts en l'apartat anterior, en equips i definir les funcions que tenen aquests. S'ha de tenir en compte que els equips poden tenir tres classes de funcions:

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

Després d'haver determinat les funcions de cada equip, es necessita determinar les fallades funcionals i els modes de detecció. Posteriorment, es determina la criticitat utilitzant els següents criteris: disponibilitat, freqüència, detectabilitat, seguretat i medi ambient. Per a això, s'han utilitzat les següents taules extretes de (ref. 30):

Taula A.21. Criticitat de fallades funcionals, disponibilitat.

Disponibilitat	Valor
Parada de planta superior a 12 hores	4,00
Parada de planta de 6 a 12 hores	3,00
Parada de planta inferior a 6 hores	2,00
Sense efecte	1,00

Taula A.22. Criticitat de fallades funcionals, freqüència.

Freqüència	Valor
Menor que cada 8760 hores	4,00
Entre 8760 i 17520 hores	3,00
Entre 17520 i 35040 hores	2,00
Major que cada 35040 hores	1,00

Taula A.23. Criticitat de fallades funcionals, detectabilitat.

Detectabilitat	Valor
La fallada funcional és indetectable o la detecció no impedeix la indisponibilitat.	2,00
La detecció de la fallada funcional és possible i es pot corregir sense que produeixi la parada de la planta.	1,00

Taula A.24. Criticitat de fallades funcionals, seguretat i medi ambient.

Efectes a persones	Extensió de danys	Impacte mediambiental	Valor
Morts	Els efectes arriben a les comunitats veïnes de la planta	Molt greu i amb llarga duració en la societat	9,00
Lesions molt greus, hospitalització	Afecta a tot el recinte de la planta	Important, societat difícil d'oblidar	6,00
Lesions que requereixen tractaments	Extensió molt localitzada	Poc important	3,00
Lesions menors	No hi ha extensió	Menor	1,00

A.16.5. Anàlisi de formes i causes de fallades tècniques

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

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

Per avaluar la criticitat s'utilitzen les taules de l'anterior fase, excepte la taula de la detectabilitat i s'afegeix el concepte de cost de reparació, Taula A.25 extreta de (ref. 30).

Taula A.25. Costos de reparació.

Costos de reparació	Valor
Cost superior a 36.000 euros	8,00
Entre 18.000 i 36.000 euros	6,00
Entre 6.000 i 18.000 euros	4,00
Cost menor a 6.000 euros	2,00

Finalment, per realitzar aquesta fase s'utilitza la fulla de formes i causes de fallades tècniques (ref. 30). A la Taula 7.1 es mostra la fulla del sistema de condensació.

A.17. ESTUDI ECONÒMIC

A.17.1. Càlcul del cost dels equips

Per realitzar l'estimació dels costos dels equips s'ha seguit la metodologia del Turton (ref. 31). La finalitat d'aquest càlcul és obtenir el *Bare Module Cost* (C_{BM}) dels equips, és a dir, el cost dels equips tenint en compte el material i la pressió utilitzada. Cada equip té una metodologia diferent per al càlcul del cost, és per això que aquest estudi s'ha estructurat en diferents punts. En primer lloc, hi ha el càlcul dels *mixers*, tot seguit el Tanc, reactor, columnes i per últim els intercanviadors.

A.17.1.1. Cost de M-101 i M-102

En aquest apartat es calcula el cost total del M-101 i M-102 respectivament. Per començar s'ha de calcular un primer cost amb l'expressió (A.69) per a tindre una primera estimació de l'equip bàsic. En el cas dels *mixers* s'ha d'utilitzar l'expressió (A.69) diverses vegades, ja que l'equip s'ha de dividir en dues parts per a poder aconseguir el cost total d'aquest. La primera faria referència al recipient del *mixer*, és a dir, el tanc i l'altra part fa referència a l'agitador fet servir.

$$\log_{10} C_p^o = K_1 + K_2 \cdot \log_{10}(A) + K_3 \cdot [\log_{10}(A)]^2 \quad (\text{A.69})$$

On C_p^o (USD) representa el cost de l'equip, K_1, K_2 i K_3 són paràmetres que depenen de les característiques de cada equip que es vol estudiar, aquests valors s'obtenen de la Taula A.1 del Turton (ref. 31). A representa la capacitat de l'equip on varia la unitat de mesura segons el tipus d'equip que es vulgui estudiar.

El C_p^o que s'obté fa referència a l'any 2001, ja que els paràmetres fets servir en el mètode Turton estan referenciats a aquell any. Per tant, el que s'ha de fer, és passar el valor obtingut en l'any 2001 a l'any de l'estudi. Això es fa mitjançant l'equació (A.70) on s'aconsegueix una conversió del valor a través del paràmetre CEPCI.

$$C_p^o(2022) = C_p^o(2001) \cdot \frac{CEPCI\ 2022}{CEPCI\ 2001} \quad (\text{A.70})$$

El paràmetre CEPCI es coneix com a *Chemical Engineering Plant Cost Index*, un valor que permet actualitzar el capital requerit per dur a terme una planta química a l'any de l'estudi, en aquest cas el capital requerit per la compra d'un equip d'una planta química. El valor del CEPCI 2022 és igual a 786, mentre que el CEPCI del 2001 és igual a 394.

A continuació es troba la Taula A.26 i

Taula A.27 on apareixen els valors dels paràmetres utilitzats i obtinguts de cada *mixer*.

Taula A.26. Valors dels paràmetres i resultats obtinguts de l'estimació dels tancs dels *mixers*.

Equip	K1	K2	K3	Capacitat (m ³)	Cp ^o 2001 (\$)	Cp ^o 2022 (\$)
Tanc M-101	3,497	0,4485	0,1074	25,20	21.720	43.329
Tanc M-102	3,497	0,4485	0,1074	42,50	32.548	64.930

Taula A.27. Valors dels paràmetres i resultats obtinguts de l'estimació dels agitadors dels mixers.

Equip	K1	K2	K3	Capacitat (kW)	Cp° 2001 (\$)	Cp° 2022 (\$)
Agitador M-101	4,321	0,0359	0,1346	0,250	22.278	44.443
Agitador M-102	4,321	0,0359	0,1346	0,250	22.278	44.443

A continuació per poder obtindre l'estimació tenint en compte el material utilitzat i el factor de pressió s'ha de seguir l'expressió (A.71) pels tancs i l'expressió (A.72) pels agitadors.

$$C_{BM} = C_p^{\circ} \cdot (B_1 + B_2 F_M F_P) \quad (A.71)$$

$$C_{BM} = C_p^{\circ} \cdot F_{BM} \quad (A.72)$$

Per determinar el valor de *Factor de pressió* (F_P) del *mixer* s'ha de tindre en compte l'espessor (t) del recipient. Aquesta grossor mesurada a l'apartat 4.4 és menor a 0,0063m, per tant, el factor equival a 1. En cas que l'espessor (t) fos major a 0,0063m s'hauria de calcular el F_P mitjançant l'expressió (A.73), on P és la pressió de disseny, D és el diàmetre del recipient, S és la tensió màxima admissible, E l'eficiència de soldadura i CA la corrosió permesa.

$$F_P = \frac{(P + 1) \cdot D}{2 \cdot [S \cdot E - 0,6 \cdot (P + 1)] + CA} + CA \quad (A.73)$$

En l'expressió (A.71) el paràmetre F_M fa referència al *Factor de material* on és acer inoxidable i B_1 i B_2 són constants del mòdul bàsic. El valor de F_M s'obtenen a partir de la Taula A.3 del Turton (ref. 31) on s'aconseguirà un número d'identificació, i aplicant-lo a la Figura A.18 del Turton (ref. 31) s'obtindrà el valor del paràmetre. Per poder aconseguir els valors de B_1 i B_2 només s'ha de mirar la Taula A.4 del Turton (ref. 31).

En l'expressió (A.72) el paràmetre F_{BM} fa referència al *Factor Bare Module*, aquest factor es fa servir en gairebé tots els equips excepte alguns i equival a l'expressió $(B_1 + B_2 F_M F_P)$. Aquest paràmetre varia segons les característiques i el tipus d'equip que es vol estudiar. S'extreu de la Taula A.7 del Turton (ref. 31).

A continuació es mostren els valors de cada paràmetre necessari per a completar les equacions (A.71) i (A.72) i els resultats d'aquestes respectivament. En aquest cas el valor que s'ha d'utilitzar del C_p° és el valor de l'any d'estudi, ja que aquests nous paràmetres no varien amb el pas del temps.

Taula A.28. Valors dels paràmetres fets servir i resultats obtinguts del *Bare Module Cost* dels recipients.

Equip	F_P	Nº Identificació	F_M	B_1	B_2	Cp° 2022 (\$)	C_{BM}
Tanc M-101	1	20	3,2	2,25	1,82	43.329	349.839
Tanc M-102	1	20	3,2	2,25	1,82	64.930	524.246

Taula A.29. Valors dels paràmetres utilitzats i resultats obtinguts del *Bare Module Cost* dels agitadors

Equip	F_{BM}	Cp° 2022 (\$)	C_{BM} (\$)
Agitador M-101	1,38	44.443	61.331
Agitador M-102	1,38	44.443	61.331

Finalment per a poder aconseguir el cost total dels *mixers* s'han de sumar el cost del recipient i el cost dels agitadors, en la següent taula es mostra els costos finals de cada *mixer*.

Taula A.30. Cost final del M-101 i M-102.

Equip	C_{BM} (\$)
M-101	411.170
M-102	585.577

A.17.1.2. Cost T-101

En aquest apartat es mostra el càlcul del cost de l'equip T-101, tenint en compte el preu bàsic de l'equip, el material utilitzat, que en aquest cas és acer inoxidable i el factor de pressió.

La metodologia seguida és exactament la mateixa que pels recipients dels *mixers*, explicada en l'apartat A.17.1.1, però usant les característiques d'aquest tanc.

A continuació es troba la Taula A.31, on es mostren els valors dels paràmetres fets servir el preu de l'equip bàsic, a més a més, també s'observa la Taula A.32, on es mostren els valors dels paràmetres utilitzats per calcular el C_{BM} de l'equip i el seu respectiu resultat.

Taula A.31. Valors dels paràmetres i resultats obtinguts de l'estimació dels agitadors del tanc.

Equip	K1	K2	K3	Capacitat (m³)	Cp° 2001 (\$)	Cp° 2022 (\$)
T-101	3,4974	0,4485	0,1074	25,2	21.720	43.329

Taula A.32. Valors dels paràmetres utilitzats i resultats obtinguts del *Bare Module Cost* del tanc.

Equip	F_p	N° Identificació	F_M	B₁	B₂	Cp° 2022 (\$)	C_{BM}
T-101	1	20	3,2	2,25	1,82	43.329	349.839

A.17.1.3. Cost del R-201 i N-301

En aquest apartat es mostra el càlcul dels costos dels equips R.201 i N-301, tenint en compte el preu bàsic de l'equip, el material utilitzat, que en els dos casos és acer inoxidable i el factor de pressió.

La metodologia seguida és exactament la mateixa que pels agitadors dels *mixers*, explicada en l'apartat A.17.1.1, però usant les característiques d'un reactor.

A continuació es troba la Taula A.33 on es mostren els valors dels paràmetres fets servir pel preu de l'equip bàsic, a més a més, també s'observa la Taula A.32, on es mostren els valors dels paràmetres utilitzats per calcular el C_{BM} dels i els seus respectius resultats.

Taula A.33. Valors dels paràmetres i resultats obtinguts de l'estimació bàsica del R-201 i N-301.

Equip	K1	K2	K3	Capacitat (m ³)	Cp° 2001 (\$)	Cp° 2022 (\$)
R-201	4,7116	0,4479	0,0004	45	282.732	564.028
N-301	4,3207	0,0359	0,1346	43	277.217	553.027

Taula A.34. Valors dels paràmetres utilitzats i resultats obtinguts del *Bare Module Cost* del R-201 i N-301.

Equip	F _{BM}	Cp° 2022 (\$)	C _{BM} (\$)
R-201	4	564.028	2.256.114
N-301	4	553.027	2.212.108

A.17.1.4. Cost de DC-301, DC-302 i DC-303.

En aquest apartat es mostra el càlcul dels costos dels equips DC-301, DC-302 i DC-303, tenint en compte el preu bàsic de l'equip, el material utilitzat, que en els dos casos és acer inoxidable i el factor de pressió. En aquest punt, igual que en els dels *mixers*, s'ha de dividir en dues parts el càlcul del C_{BM} de les columnes.

La primera part del càlcul es basa a seguir exactament la metodologia dels recipients dels *mixers*, explicada en l'apartat A.17.1.1, però fent servir les mesures de les columnes i les seves característiques. A continuació es mostra la Taula A.35 i la Taula A.36 que representen el cost del recipient bàsic i el C_{BM} del recipient de la columna respectivament.

Taula A.35. Valors dels paràmetres i resultats obtinguts de l'estimació bàsica de les estructures de les columnes.

Equip	K1	K2	K3	Capacitat (m ³)	Cp° 2001 (\$)	Cp° 2022 (\$)
Estructura DC-301	3,4974	0,4485	0,1074	94	63.320	126.318
Estructura DC-302	3,4974	0,4485	0,1074	43	32.634	65.102
Estructura DC-303	3,4974	0,4485	0,1074	117	76.410	152.432

Taula A.36. Valors dels paràmetres utilitzats i resultats obtinguts del *Bare Module Cost* de les estructures de les columnes.

Equip	F _p	Nº Identificació	F _M	B ₁	B ₂	Cpº 2022 (\$)	C _{BM} (\$)
Estructura DC-301	1	20	3,2	2,25	1,82	126.318	1.019.894
Estructura DC-302	1	20	3,2	2,25	1,82	65.102	525.636
Estructura DC-303	1	20	3,2	2,25	1,82	152.432	1.230.739

La segona part del càlcul varia respecte a les anteriors. S'ha de calcular el C_{BM} dels plats de les columnes i aquests sumar-los al C_{BM} de les estructures per poder aconseguir el cost total.

Per calcular el C_{BM} dels plats, en primer lloc, s'ha de seguir l'expressió (A.69) per poder obtenir els costos dels plats bàsics. En la taula que es troba a continuació es mostren els diferents paràmetres i el cost dels plats de les diferents columnes a l'any de l'estudi.

Taula A.37. Valors dels paràmetres i resultats obtinguts de l'estimació bàsica dels plats de les columnes.

Equip	K1	K2	K3	Capacitat (m²)	Cpº 2001 (\$)	Cpº 2022 (\$)
Plats DC-301	2,9949	0,4465	0,3961	1,77	1348	2.688
Plats DC-302	2,9949	0,4465	0,3961	1,77	1348	2.688
Plats DC-303	2,9949	0,4465	0,3961	7,07	4.569	9.116

Un cop calculat el Cpº dels plats s'ha de calcular el C_{BM} amb l'expressió següent:

$$C_{BM} = C_p^\circ \cdot N \cdot F_{BM} \cdot F_q \quad (A.74)$$

On *N* és el nombre de plats que té la columna, *F_q* és un factor de quantitat pels plats, que en l'estudi és igual a 1, ja que el nombre de plats en les tres columnes és igual o superior a 20 i per últim el paràmetre *F_{BM}*, que fa referència al *Factor Bare Module*, aquest s'extreu de la Taula A.6. i la Figura A.19 del Turton (ref. 31) on els plats s'han definit com a Sieve Trays.

A continuació es mostra una taula on es recullen tots els paràmetres fets servir i els resultats obtinguts del càlcul del C_{BM} dels plats:

Taula A.38. Valors dels paràmetres utilitzats i resultats obtinguts del *Bare Module Cost* dels plats de les columnes.

Equip	N	F _q	F _{BM}	Cpº 2022 (\$)	C _{BM} (\$)
Plats DC-301	88	1	1,8	2.688	425.802
Plats DC-302	40	1	1,8	2.688	193.546
Plats DC-303	20	1	1,8	9.116	328.162

Un cop s'ha estimat el C_{BM} de les diferents parts de les columnes s'ha d'ajuntar-ho tot per a poder obtenir el cost final.

Taula A.39. Cost final de la DC-301, DC-302 i DC-303.

Equip	C _{BM} (\$)
DC-301	1.445.696
DC-302	719.182
DC-303	1.558.901

A.17.1.5. Cost dels Intercanviadors

En aquest apartat es mostra l'estimació del cost dels intercanviadors HE-301, HE-302, HE-303 i HE-304, tenint en compte el preu bàsic de l'equip, el material utilitzat, que en aquest cas és acer inoxidable i el factor de pressió.

La metodologia seguida és exactament la mateixa que pels recipients dels *mixers*, explicada en l'apartat A.17.1.1, però usant les característiques per a intercanviadors. L'únic que canvia és el factor de pressió, ja que no es calcula mitjançant l'equació (A.73) sinó que es fa amb la següent equació:

$$\log_{10}F_P = C_1 + C_2 \cdot \log_{10}(P) + C_3 \cdot [\log_{10}(P)]^2 \quad (\text{A.75})$$

On C₁, C₂ i C₃ són factors que depenen del tipus d'intercanviador i de la pressió d'operació, en aquest cas és igual a 0, ja que la pressió d'operació és menor a 40barg. Aquests valors s'extreuen de la Taula A.2 del Turton (ref. 31). Per tant, s'ha estimat un valor de F_P igual a 1.

A continuació es troba la Taula A.40, on es mostren els valors dels paràmetres fets servir el preu de l'equip bàsic, a més a més, també s'observa la Taula A.41, on es mostren els valors dels paràmetres utilitzats per calcular el C_{BM} de l'equip i el seu respectiu resultat.

Taula A.40. Valors dels paràmetres i resultats obtinguts de l'estimació bàsica dels intercanviadors.

Equip	K1	K2	K3	Capacitat (m ²)	Cp° 2001 (\$)	Cp° 2022 (\$)
HE-301	2,7652	0,7282	0,0783	1,8	904	1.804
HE-302	2,7652	0,7282	0,0783	34,6	11.788	23.516
HE-303	2,7652	0,7282	0,0783	10,1	3.763	7.507
HE-304	2,7652	0,7282	0,0783	116,1	40.054	79.905

Taula A.41. Valors dels paràmetres fets servir i resultats obtinguts del *Bare Module Cost* dels intercanviadors.

Equip	F _P	Nº Identificació	F _M	B ₁	B ₂	Cp° 2022 (\$)	C _{BM} (\$)
HE-301	1	5	2,8	1,74	1,55	1.804	10.965
HE-302	1	5	2,8	1,74	1,55	23.516	142.975
HE-303	1	5	2,8	1,74	1,55	7.507	45.641
HE-304	1	5	2,8	1,74	1,55	79.905	485.820

A.17.1.6. Cost de les bombes

En el cas de les bombes no ha fet falta fer l'estimació del C_{BM} , ja que al contactar amb l'empresa INOXPA per al disseny de la bomba, també s'ha rebut un pressupost d'aquestes. Per tant el preu de les bombes ve donada per el distribuïdor.

Taula A.42. Cost final de la DC-301, DC-302 i DC-303.

Equip	C_{BM} (\$)
P-101	3622
P-302	3549

A.17.2. Estimació costos

- Costos fixes:

En aquest apartat, com s'ha dit anteriorment, els costos fixes es divideixen entre els sous dels treballadors i les tasques de manteniment. Amb el sou dels treballadors s'ha tingut en compte els diners que ha de pagar l'empresa, ja que no és el mateix el que paga l'empresa que el que rep el treballador. Això es dona ja que hi ha uns impostos a Espanya que equival aproximadament a un 35% del sou total, aquest 30% esta descrit per l'Agencia Tributaria.

- 23% del horari normal i 12% de les hores extraordinàries.

Amb el manteniment s'ha suposat que equival a un 3% de la Inversió inicial, on dona un valor de \$ 1.359.843.

A continuació es mostren les taules dels sous dels treballadors de la planta.

Taula A.43. Cost dels treballadors anualment.

Treballadors	Total	Sou \$/any	Total \$
Operadors	12	60.856	730.275
Seguretat	5	24.311	121.554
Administració	1	29.720	29.720
Analista	2	61.669	123.337
Tècnic de Manteniment	2	42.929	85.857
Enginyers	2	47.882	95.764
<i>Plant manager</i>	1	99.066	99.066
TOTAL			1.285.573

Finalment, el valor estimat dels costos fixes és igual a \$ 2.645.416.

- Cost Matèries Primes:

En aquest apartat al haver-hi recirculacions de metanol i àcid sulfúric s'ha suposat que la quantitat total de cada compost entra un cop, ja que no ha d'haver-hi parades i el procés ha de ser continuu. Per tant, s'ha definit com una entrada gran que seria la inicial més la entrada de cada hora que és la de completar aquesta recirculació.

Taula A.44. Costos de les matèries primes anualment.

Matèria Prima	Cabal (kg/h)	Consum (T/any)	Preu (\$/T)	Cost (\$/any)
Metanol	1100	1,1	570	627
Metanol	0,00145	0,0122	570	6,96
PO	4358	36607	670	24.537.806
H ₂ O	27.738	233.000	2,82	658.108
H ₂ SO ₄	38	0,0380	231	8,79
H ₂ SO ₄	0,0183	0,154	231	33,5
Ba(OH) ₄	0,032	0,267	1000	267
TOTAL				25.196.859

- Cost Cooling Water:

Taula A.45. Costos de les utilitats de cooling water del procés.

Utility	Cabal (kg/h)	Consum (T/any)	Preu (\$/T)	Cost (\$/any)
CW HE-301	2000	16.800	0,56	9.408
CW HE-302	1000	8400	0,56	4.704
CW HE-303	404.845	3.400.698	0,56	1.904.391
CW HE-304	11.000	92.401	0,56	51.745
CW C-301	1.034.509	8.689.875	0,56	4.866.330
CW C-302	20.446	171.748	0,56	96.179
CW C-303	949.384	7.974.826	0,56	4.465.902
TOTAL				11.398.659

- Cost Electricitat:

Taula A.46. Costos de les utilitats de la electricitat del procés.

Utility	Potència (kW)	Consum (MW/any)	Preu (\$/MWh)	Cost (\$/any)
Elect. P-101	2,78	23,35	219	5.118
Elect. P-301	3,9	32,93	219	7.216
Elect. P-302	3,9	32,93	219	7.216
Elect. P-303	3,9	32,93	219	7.216
Elect. P-304	3,9	32,93	219	7.216
Elect. MW-101	0,25	2,1	219	460
Elect. MW-102	0,25	2,1	219	460
Elect. MW-201	0,25	2,1	219	460
TOTAL				35.362

- Cost. VMP:

En aquest apartat no s'ha trobat el preu del vapor de mitja pressió, per tant s'ha suposat que el vapor prové d'una caldera on es fa servir biomassa com a combustible i la finalitat és aconseguir el vapor a partir d'escalfar l'aigua.

Taula A.47. Costos de les utilitats del vapor del procés.

Utility	Cabal (kg/h)	Consum (T/any)	Preu (\$/T)	Cost (\$/any)
VMP RB-301	1,28	10,7	0,56	6,01
Biomassa RB-301	1,2	10,1	40,8	411
VMP RB-302	28.172	236.640	0,56	132.519
Biomassa RB-302	26.568	223.170	40,8	9.100.850
VMP RB-303	1.797	15.098	0,56	8.455
Biomassa RB-303	1.695	14.239	40,8	580.653
TOTAL				9.822.895

A.17.3. Avaluació econòmica

Calculada la inversió inicial, els ingressos generats anualment, i els costos fixes i variables anuals es pots calcular la avaluació econòmica del projecte.

En primer lloc, per calcular el cash flow s'ha de calcular l'amortització del projecte a 10 anys:

$$A = \frac{C_{IC}}{10} \quad (A.76)$$

$$A = \frac{26.820.641}{10} = \$ 2.682.064 \quad (A.77)$$

On C_{IC} fa referència al cost de instal·lació i construcció, és a dir els costos directes de la inversió inicial menys els terrenys.

A continuació es calcula els *Beneficios Antes de Impuestos* (BAI) de la següent manera:

$$BAI = \text{Ingressos} - \text{Costos Fixes} - \text{Costos Variables} - \text{Amortización} \quad (A.78)$$

$$BAI = 76.738.483 - 2.645.416 - 46.453.776 - 2.682.064 = \$ 24.957.227 \quad (A.79)$$

Tot seguit, es calcula els *Beneficios Despues de Impuestos* (BDI) on es suposa que hi ha un 30% a pagar d'impostos.

$$BDI = BAI - BAI * 0,3 \quad (A.80)$$

$$BDI = 24.957.227 - 7.487.168 = \$ 17.470.059 \quad (A.81)$$

Per finalitzar i acabar de calcular el *Cash Flow* s'ha de sumar l'amortització calculada en l'expressió (A.77) al BDI, a continuació es mostra:

$$\text{Cash Flow} = BDI + \text{Amort.} \quad (A.82)$$

$$\text{Cash Flow} = 17.470.059 + 2.682.064 = \$ 20.152.123 \quad (A.83)$$

Per finalitzar, es calculen els paràmetres VAN, TIR i *Pay-back period*.

Per calcular el VAN s'ha suposat un cost d'oportunitat del 16% (k).

$$VAN = -I_0 + \sum_{i=1}^n \frac{CF}{(1+k)^n} \quad (A.84)$$

$$VAN = \$ 52.071.687 \quad (A.85)$$

Per calcular la TIR:

$$0 = -I_0 + \sum_{i=1}^n \frac{CF}{(1+TIR)^n} \quad (A.86)$$

$$TIR = 43\% \quad (A.87)$$

I per finalitzar el *Pay-back Period*:

$$PBP = \frac{I_0}{CF} \quad (A.88)$$

$$PBP = 2 \text{ anys i } 3 \text{ mesos} \quad (A.89)$$