





*Revamping de la secció de  
reacció d'una planta d'acetat  
de vinil monòmer*

**Grau d'Enginyeria Química  
Treball de fi de Grau  
Curs 2021-2022**

**Identificador:** TFGEQ\_2211  
Mir García, Oriol  
Blázquez Farriol, Guillem  
**Tutor:** Dr. Josep Basco  
**TREBALL DE FI DE GRAU**  
12/06/2022



<b>Departament d'Enginyeria Química. Universitat Rovira i Virgili.</b> <b>Vist i plau pel lliurament i defensa del TFG del grau d'Enginyeria Química.</b>	
TÍTOL DEL TFGEQ: <u>REVAMPING DE LA SECCIÓ DE REACCIÓ D'UNA PLANTA D'ACETAT DE VINIL MONOMER</u>	
SUBTÍTOL .....	
AUTOR: <u>ORIOI MIR ; GUILLEM BLAZQUEZ</u>	
CURS ACADÈMIC: <u>2021-2022</u>	
<b>VIST I PLAU DEL TUTOR ACADÈMIC</b>	
En/Na <u>Dr. JOSEP BASCO</u> en la seva capacitat de tutor acadèmic fa constar que considera que el TFGEQ <input checked="" type="checkbox"/> és adequat i en conseqüència recomana la seva defensa <input type="checkbox"/> no en recomana la defensa per presentar les mancances exposades en el document annex	
Signatura: 	Data: <u>10/6/22</u>
<b>DECLARACIÓ D'ABSÈNCIA DE CONFLICTES DE CONFIDENCIALITAT</b>	
En/Na <u>Dr. JOSEP BASCO</u> , en la seva capacitat de supervisor extern <sup>(*)</sup> 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 .....	
<sup>(*)</sup> Cas que el TFGEQ no sigui extern serà el professor tutor qui emplenarà aquesta secció	
Signatura: 	Data: <u>10/6/22</u>



**NOMENCLATURA**


---

CS	Coefficient de seguretat
bara	bar absolut
barg	bar manomètric
NIST	National Institute of Standards and Technology
SR-Polar	Schwarzentruber and Renon
NRTL-HOC	Non-Random Two Liquid model amb Hayden O'Connell
VAM	Vinyl Acetate Monomer
T	Temperatura
P	Pressió
RPlug	Plug flow reactor
LHHW	Langmuir Hinshelwood Hougen Watson model
PBR	Packed bed reactor
K	Constant d'equilibri
H	Constant de Henry
r	Velocitat de reacció
k'	Constant cinètica
N	Nombre de tubs
L	Longitud
D	Diàmetre d'un tub
dP	Diferencial de pressió
SP	Set Point. Punt fix.
$\Delta P$	Pèrdua de pressió
$C_v$	Coefficient de la vàlvula
GEH	Gasos efecte hivernacle
ASME	American Society of Mechanical Engineers
TEMA	Tubular Exchanger Manufacturers Association
ISO	International Organization for Standardization

---

# ÍNDIX

<b>NOMENCLATURA .....</b>	<b>5</b>
<b>1. INTRODUCCIÓ .....</b>	<b>10</b>
<i>1.1. Agraïments .....</i>	<i>10</i>
<b>2. ETAPA PRELIMINAR.....</b>	<b>11</b>
<i>2.1. Descripció del projecte .....</i>	<i>11</i>
<i>2.2. Abast del projecte.....</i>	<i>11</i>
<i>2.3. Estudi bibliogràfic i elecció del procés.....</i>	<i>12</i>
2.3.1. Adició d'àcid acètic al acetilè.....	12
2.3.2. Procés del diacetat d'etilè.....	12
2.3.3. Reacció de l'àcid acètic amb etilè i oxigen .....	12
2.3.4. Elecció del procés.....	13
<i>2.4. Planificació inicial del projecte (Diagrama de Gantt).....</i>	<i>13</i>
<b>3. BASES PER AL DESENVOLUPAMENT DEL PROJECTE .....</b>	<b>15</b>
3.1. Bases de disseny.....	15
3.1.1. Especificacions de l'Alimentació i condicions. ....	15
3.1.2. Capacitat, flexibilitat operativa i factor de servei.....	16
3.1.3. Especificacions dels Productes i condicions. ....	16
3.2. Dades bàsiques per al desenvolupament de l'enginyeria .....	16
3.2.1. Energies (“Utilities”) disponibles.....	16
3.2.2. Preus de les energies.....	18
3.2.3. Dades de l'Emplaçament(“Site”) .....	18
3.2.4. Normes i codis de disseny .....	19
3.3. Descripcions.....	20
3.3.1. Descripció funcional del projecte.....	20
<b>4. DESENVOLUPAMENT DE L'ENGINYERIA BÀSICA.....</b>	<b>21</b>
4.1. Elaboració de diagrames .....	21
4.1.1. De Blocs: Disseny conceptual .....	21
4.1.2. De simulació: Estudi de simulació .....	22
4.1.3. De flux de procés (PFD).....	26
4.1.4. BDM del PFD-1001 .....	27
4.1.5. De canonades i instrumentació (P&ID).....	30
4.1.6. Elèctric (Unifilar) .....	36
4.2. Disseny bàsic.....	37
4.2.1. Disseny de canonades.....	37
4.2.2. Llistat de canonades .....	38
4.2.3. Disseny de la instrumentació i control .....	44
4.3. Estratègia de control.....	48
4.3.1. Control del compressor C-100 per accionament de turbina .....	48

4.3.2. Control bescanviadors E-100 A/B i E-100X.....	48
4.3.3. Control vaporitzador FA-101 .....	49
4.3.4. Control bescanviador E-102 A/B .....	49
4.3.5. Control caldera FA-103 .....	49
4.3.6. Control aerorefrigerant E-103 .....	49
4.3.7. Control fons Scrubber DA-100 .....	49
4.3.8. Control bescanviador E-104 i E-105 .....	50
4.3.9. Control bombes P-100 A/B, P-201 A/B i P-202 A/B.....	50
4.3.10. Control alimentació superior Scrubber DA-100.....	50
4.3.11. Control tanc FA-104.....	50
4.3.12. Control de l'alimentació d'oxigen.....	50
4.3.13. Estratègia de control de la columna DA-201 .....	51
4.3.14. Estratègia de control de les columnes de la zona de captura de CO <sub>2</sub> .....	51
4.3.15. Control del Flash-201 .....	52
<i>4.4. Disseny d'equips zona del reactor .....</i>	<i>53</i>
4.4.1. Disseny del reactor .....	53
4.4.2. Disseny de la caldera FA-103.....	55
4.4.3. Disseny del compressor de gasos de recirculació.....	55
4.4.4. Disseny del evaporador FA-101 .....	56
4.4.5. Disseny del depòsit de separació FA-102 .....	56
4.4.6. Disseny del bescanviadors.....	57
<i>4.5. Disseny equips zona de separació 1.....</i>	<i>58</i>
4.5.1. Disseny de la columna DA-100.....	59
4.5.2. Disseny del tanc de cru FA-104 .....	60
4.5.3. Disseny del bescanviadors.....	60
<i>4.6. Disseny equips zona separació 2 .....</i>	<i>61</i>
4.6.1. Paràmetres de la columna DA-201 .....	61
4.6.2. Bescanviador E-201.....	62
4.6.3. Bescanviador E-202.....	63
<i>4.7. Disseny equips zona d'absorció i desorció de CO<sub>2</sub> .....</i>	<i>63</i>
4.7.1. Química del procés .....	63
4.7.2. Paràmetres de la columnes DA-202 i DA-203 .....	65
4.7.3. Flash FA-201 .....	66
4.7.4. Bescanviador E-203.....	67
4.7.5. Condensador parcial E-204 .....	67
4.7.6. Bescanviador E-205.....	67
4.7.7. Reboiler E-206.....	68
<i>4.8. Disseny de les bombes P-101 A/B i P-202 A/B .....</i>	<i>68</i>
4.8.1. Elecció de la bomba.....	69
<i>4.9. Disseny d'obra civil .....</i>	<i>70</i>
4.9.1. Càrregues al sòl dels equips .....	71
<b>5. SEGURETAT DE LA PLANTA .....</b>	<b>72</b>
<i>5.1. HAZARD and operability study .....</i>	<i>72</i>

5.1.1. Introducció.....	72
5.2. Zones ATEX.....	79
5.2.1. Zona de procés.....	79
5.2.2. Classificació de les substàncies de la planta.....	80
5.2.3. Plànol de zones ATEX.....	81
5.3. Vàlvules de seguretat (PSV).....	82
5.3.1. Seguretat laboral.....	82
<b>6. MANUAL DE MANTENIMENT.....</b>	<b>85</b>
6.1. Introducció.....	85
6.2. Manteniment Correctiu.....	85
6.3. Manteniment Preventiu.....	85
6.4. Manteniment Predictiu.....	86
6.5. Manteniment basat en la fiabilitat RCM.....	86
6.5.1. Separació d'àrees o sistemes.....	86
6.5.2. Càlcul de la criticitat d'àrees.....	87
6.5.3. Elecció del nivell crític del anàlisi.....	87
6.5.4. Anàlisi de fallades funcionals.....	87
6.5.5. Anàlisi de modes i causes de fallades tècniques.....	87
6.5.6. Estratègia de manteniment.....	88
6.5.7. Taules de les fallades funcionals dels equips i mesures de manteniment.....	89
6.5.8. Canonades i vàlvules.....	93
6.5.9. Instrumentació.....	93
6.6. MANTENIMENT LEGAL.....	93
<b>7. ESTUDI D'IMPACTE AMBIENTAL.....</b>	<b>95</b>
7.1. Emissions atmosfèriques.....	95
7.1.1. Emissions directes.....	95
7.1.2. Emissions indirectes.....	95
7.2. Abocaments líquids.....	96
7.3. Residus sòlids.....	96
7.4. Sorolls i vibracions.....	96
7.5. Contaminació lumínica.....	97
7.6. Olor.....	97
7.7. Millors tècniques disponibles (MTD).....	97
7.7.1. Eficiència en l'ús dels recursos.....	97
7.7.2. Emissions.....	98
<b>8. MANUAL D'OPERACIÓ.....</b>	<b>99</b>
8.1. Posada en marxa de les unitats.....	99
8.2. Operació a baixa càrrega.....	100

---

8.3. Parada normal de la planta .....	100
8.4. Precaucions de seguretat .....	100
8.5. Procediment d'emergència .....	101
8.5.1. Situacions perilloses .....	101
8.5.2. Diversos danys.....	101
<b>9. ESTUDI ECONÒMIC.....</b>	<b>103</b>
9.1. Avaluació econòmica: Zona de reacció i primera separació .....	103
9.2. Avaluació econòmica: Zona de separació 2 i absorció i desorció de CO <sub>2</sub> .....	104
9.3. Anàlisi de sensibilitat .....	104
<b>10. CONCLUSIONS .....</b>	<b>106</b>
<b>11. REFERÈNCIES .....</b>	<b>107</b>
<b>12. FULLES D'ESPECIFICACIÓ .....</b>	<b>110</b>

## 1. INTRODUCCIÓ

Taula 1.1 Informació del projecte.

Títol	Revamping de la secció de reacció d'una planta d'acetat de vinil monòmer	
Identificador	TFGEQ_2211	
Tutor	Dr. Josep Basco Montjà	
Data	10/06/2022	
Autors:	Guillem Blázquez Farriol	Verd
	Oriol Mir García	Blau

L'acetat de vinil és un compost líquid, transparent i amb olor fruitós que té una gran demanda en l'indústria de polímers. Com a monòmer té un gran ventall d'aplicacions, com per exemple, en la síntesis d'adhesius, coles i pintures per a plàstics i papers.

Celanese Chemicals Iberica, SL. és una multinacional americana que va apostar per l'acetat de vinil amb el procés *Bayer* i va invertir en una instal·lació localitzada en el polígon de TAQSA, Tarragona, per a la seva producció. Per raons econòmiques, la planta va deixar d'estar operativa en l'any 2013 i roman inactiva.

El projecte consisteix en el desenvolupament de l'enginyeria bàsica i de detall per a la renovació d'aquesta planta de producció d'acetat de vinil grau monòmer i determinar la viabilitat econòmica. El terreny disponible és el mateix que es va utilitzar en anterioritat, però s'ha volgut fer una ampliació en la producció d'acetat de vinil, per tant, ni els equips ni les infraestructures s'han pogut aprofitar.

Per dur a terme l'estudi econòmic de la producció de 250000 tones anuals d'acetat de vinil, s'ha treballat en el disseny dels equips principals i auxiliars de la zona de reacció i rentat de gasos, on es tracten les següents operacions: l'alimentació de les matèries primes, la unitat de reacció dels gasos de procés, les unitats de rentat i compressió dels gasos de recicla i les unitats de rentat, absorció i desorció de diòxid de carboni. També es dissenyaran les canonades novament i les cimentacions dels equips.

Es simularà el procés en *Aspen Plus* i es representarà detalladament en els diagrames més rellevants de la indústria (de Blocs, PFD, P&ID i Plot Plant).

També es proposarà un sistema de control eficient i s'han elaborat els manuals de manteniment, operació, seguretat i medi ambient del procés.

### 1.1. Agraïments

Fer una especial menció a una sèrie de persones de les que estem molt agraïdes per ajustar-nos amb el desenvolupament del projecte i que ens han resolt molts dubtes sobre les matèries que són especialistes.

- Dr. Josep Basco Montjà, tutor.
- Manel Vallès Rasquera, professor de DOBC.
- Carmen Maria Torres Costa, especialista en simulació *Aspen*.

## 2. ETAPA PRELIMINAR

### 2.1. Descripció del projecte

Les unitats que es tracten en aquest treball inclouen la unitat del reactor, la unitat de rentat de gas de re-circulació, la unitat de rentat amb aigua i la unitat d'absorció i desorció de CO<sub>2</sub>. Aquesta zona s'encarrega principalment de reaccionar les matèries primes per formar el producte, separar el gas que s'ha de recircular del producte obtingut i purificar el gas de reciclar extraient el diòxid de carboni format en la reacció. En la Figura 2.1 es pot observar com s'ha distribuït la zona de reacció.

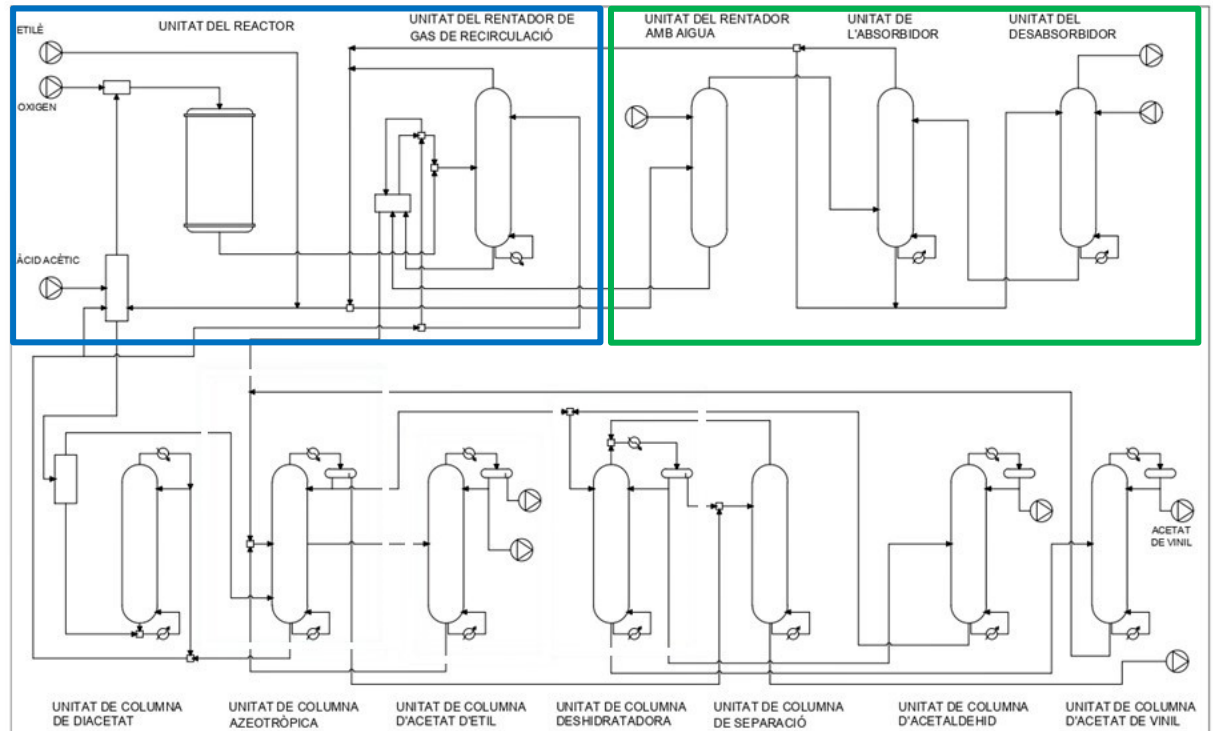


Figura 2.1 Diagrama de flux del procés Bayer. (Ref. 1)

### 2.2. Abast del projecte

La planta d'acetat de vinil de Tarragona va estar operativa durant bastant de temps abans de la seva clausura. Actualment, aquest producte ha estat pujant de preu dràsticament per la seva demanda. Per aquest motiu s'ha decidit estudiar una remodelació de l'antiga fàbrica. En primera instància s'ha fet un estudi de mercat per determinar la capacitat de la nova instal·lació. Els experts en economia d'oportunitats han proposat una producció de 250000 tones anuals per a competir en el mercat Europeu.

En aquest projecte s'ha desenvolupat l'enginyeria bàsica i de detall de la unitat de reacció i la unitat de separació del producte dels gasos no reaccionats. El principal problema del reactor és la combustió d'un dels reactius a diòxid de carboni. Aquest sub-producte actua com a inert en el procés i enverina el catalitzador. En conseqüència, també s'ha estudiat una unitat alternativa a la purga tradicional per a recuperar els reactius.

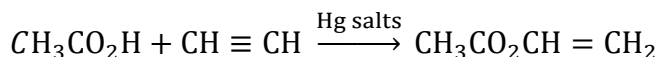
Es preveu un temps de construcció de dos anys i una posta en marxa amb dos anys més treballant al 60% de la capacitat. S'estima una inversió inicial de 27 M€ per a les unitats principals i el VAN s'ha taxat sobre uns 8 M€ amb cost d'oportunitat del 10% i en un període de 10 anys. S'ha determinat una taxa interna de rendibilitat del 16% i en aproximadament cinc anys i mig es podrà recuperar la inversió realitzada.

### 2.3. Estudi bibliogràfic i elecció del procés

La informació relativa als diversos processos de producció d'acetat de vinil s'ha extret de la enciclopèdia *Ullmann* (Ref. 1)

#### 2.3.1. Adició d'àcid acètic al acetilè

Aquest procés consisteix en l'adició d'àcids carboxílics al acetilè, utilitzant sals de mercuri com catalitzador, la reacció que ocasiona és la següent:

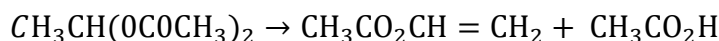
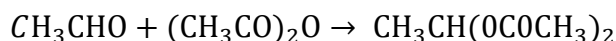


La reacció és exotèrmica ( $\Delta H = -177\text{Kj/mol}$ ) i opera a temperatures de entre 60 i 100°C.

#### 2.3.2. Procés del diacetat d'etilè

El procés va ser desenvolupat per *Celanese Corporation of America*, a ser operat industrialment als Estats Units durant els anys de 1953 a 1970, i va ser reemplaçat per el Procés Fase Gas descrit anteriorment.

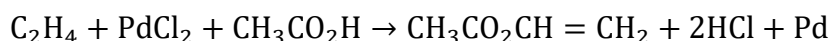
El procés consisteix en la conversió de l'anhidrid acètic amb acetaldehid en diacetat d'etilè, seguidament aquest diacetat d'etilè es talla tèrmicament per formar acetat de vinil i àcid acètic.



#### 2.3.3. Reacció de l'àcid acètic amb etilè i oxigen

##### 2.3.3.1. Procés en fase líquida

La primera reacció va ser descrita per Moiseew amb la combinació d'etilè amb àcid acètic en presència de clorur de pal·ladi, amb l'addició de benzoquinona per reoxidar el catalitzador. Posteriorment rutes similars van ser àmpliament investigades per ICI, Celanese and Tുകuyama però finalment es van aturar pel procés en fase gas.

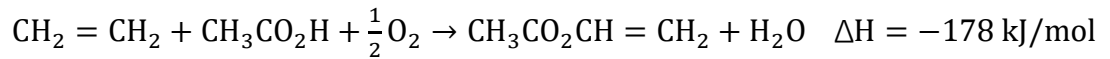


En el procés en fase líquida es duu a terme entre 3-4 MPa i 110-130°C. El corrent de recicla de etilè passa per una solució d'àcid acètic, aigua, clorur de pal·ladi, clorur de coure i altres compostos de reaccions secundàries. Aquest corrent posteriorment se li afegeix oxigen per la reoxidació del catalitzador. En el corrent resultant de la reacció surt aigua, acetat de vinil, acetaldehid, àcid acètic, etilè, àcid clorhídric, catalitzador i coproductes. Entre aquests coproductes hi es present  $\text{CO}_2$ , àcid fòrmic, àcid oxàlic i butens.

##### 2.3.3.2. Procés en fase gas

El procés va ser desenvolupat a escala industrial poc després del procés en fase líquida, des de 1968. Actualment el 80% dels processos de producció d'acetat de vinil utilitzen el procés d'etilè en fase gas. Es van desenvolupar dues variants, per National Distillers Products i per Bayer, on la segona ha predominat més i s'han fet diferents versions.

El procés d'etilè en fase gas consisteix en la reacció exotèrmica de l'etilè amb àcid acètic i oxigen en un reactor de llit fix catalític. El catalitzador que s'utilitza conté pal·ladi amb metalls alcalins o silici. Per la reoxidació del catalitzador s'utilitza una reacció redox en fase líquida amb coure, manganès o ferro.



El procés s'opera sobre els 140 °C i amb una sobrepressió de 0.5-1.2 MPa, on la coproducció de acetaldehid és mínima encara que l'àcid acètic contingui aigua. Encara i així els subproductes de reaccions secundàries són el CO<sub>2</sub>, aigua i petites quantitats de acetat d'etil, diacetat d'etilè i glicols d'acetat.

En la zona de reacció el gas de recicla consisteix principalment en etilè no reaccionat que es combina amb àcid acètic en un evaporador. El corrent resultant s'envia a un mesclador especial on s'afegeix oxigen per sota dels límits de inflamabilitat del etilè, que depèn de la pressió i temperatura. Tot seguit s'envia al reactor multitubular on les conversions del etilè i del àcid acètic són relativament baixes i la conversió del oxigen és molt alta. Un sistema de refrigeració i producció de vapor està present en el reactor. Una vegada reaccionat el corrent, es refreda i s'envia a processos de separació dels productes. L'etilè format es recircula passant per un compressor, el acetat de vinil s'emmagatzema, l'àcid acètic es recircula, l'aigua s'envia a tractar i les torres d'absorció de CO<sub>2</sub> que s'envia a incinerar.

#### 2.3.4. Elecció del procés

Finalment, després de fer l'estudi dels processos més rellevants de producció d'acetat de vinil monòmer, s'ha determinat que el millor procés actual és el que va desenvolupar **Bayer**. A part de ser ja el 80% dels processos de producció d'acetat de vinil que encara estan funcionant, les condicions d'operació són les més econòmiques i s'han trobat les conversions més grans possibles acompanyada per una de les més altes selectivitats en referència a l'acetat de vinil. A més a més es disposa un sistema de cogeneració aprofitant el calor generat de la reacció i un sistema de recuperació de reactius eliminant els inerts.

#### 2.4. Planificació inicial del projecte (Diagrama de Gantt)

Cada membre del grup farà individualment les tasques referents a la seva part de la planta, mentre que les tasques comunes tot i que es repartiran també entre els dos membres del grup per tal d'optimitzar el temps disponible, es revisaran conjuntament. L'informe es començarà a l'inici per evitar imprevistos al final del projecte. La planificació que se seguirà al llarg del projecte és mostra a la figura següent:



Figura 2.2 Diagrama de Gantt.

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

#### **3.1. Bases de disseny**

##### **3.1.1. Especificacions de l'Alimentació i condicions.**

S'alimenta al procés etilè, oxigen i àcid acètic de forma contínua amb la següent composició i condicions:

##### **3.1.1.1. Etilè**

Taula 3.1 Especificació de l'etilè

Compost	Especificació requerida
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	min. 99.8 % en volum (grau polímer)
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , CH <sub>4</sub>	balanç
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	màx. 10 ppm en volum
CO	màx. 5 ppm en volum
S	màx. 1 ppm en pes

Condicions d'alimentació:

- Pressió: 14 barg
- Temperatura: 25 °C
- Cabal: 11500 kg/h

##### **3.1.1.2. Oxigen**

Taula 3.2 Especificació de l'aire

Compost	Especificació requerida
O <sub>2</sub>	min. 99.7 % en volum
N <sub>2</sub> + Ar	màx. 0.3 % en volum

Condicions d'alimentació:

- Pressió: 14 barg
- Temperatura: 10 - 25 °C
- Cabal: 9315.7 kg/h

##### **3.1.1.3. Àcid acètic**

Taula 3.3 Especificació de l'àcid acètic

Compost	Especificació requerida
Àcid acètic	min. 99.0 % en pes
Àcid fòrmic	màx. 0.06 % en pes
Acetaldehid	màx. 0.05 % en pes
Clorats	màx. 5 ppm en pes
Aigua	balanç

Condicions d'alimentació:

- Pressió: min. 11 barg
- Temperatura: min. 25 °C
- Cabal: 22274 kg/h

#### 3.1.1.4. Potassa $K_2CO_3$ 98/100%

La qualitat ha de ser de grau industrial. Pràcticament sense presència de clors i sulfats. La porció de metalls pesats no ha de superar el 0.05% en pes.

#### 3.1.2. Capacitat, flexibilitat operativa i factor de servei.

La capacitat de producció de la planta d'acetat de vinil són de 249750 t/any d'acetat de vinil. El temps d'operació de la planta són de 8000 hores/any, per tant, la resta s'utilitza per parades de manteniment programades. El factor servei de la planta és de 0.91, així mateix amb els equips estudiats del procés.

#### 3.1.3. Especificacions dels Productes i condicions.

L'únic producte que es comercialitza en la planta és l'acetat de vinil. Les especificacions han de ser de grau polímer per tant ha de complir la següent composició:

Taula 3.4 Especificació de l'acetat de vinil

Compost	Especificació requerida
Acetat de vinil	min. 99.9 % en pes
Acetat de metil	màx. 200 ppm
Acetat de metil	màx. 150 ppm
Àcid acètic	màx. 60 ppm
Acetaldehid	màx. 100 ppm
Aigua	màx. 400 ppm
Color	Sense color

Condicions d'emmagatzematge:

- Pressió: atmosfèrica
- Temperatura: atmosfèrica
- Cabal de producte: 31218.8 kg/h

### 3.2. Dades bàsiques per al desenvolupament de l'enginyeria

#### 3.2.1. Energies (“Utilities”) disponibles

##### 3.2.1.1. Vapor d'aigua. Nivells i quantitats.

###### 3.2.1.1.1. Vapor alta pressió

Vapor lleugerament reescalfat.

- Pressió: 39 barg
- Temperatura: 350 °C

###### 3.2.1.1.2. Vapor de mitjana pressió

Vapor lleugerament reescalfat.

- Pressió: 17 barg
- Temperatura: 213 °C

**3.2.1.1.3. Vapor de baixa pressió**

Vapor lleugerament reescalfat.

- Pressió: 5 barg
- Temperatura: 164 °C

**3.2.1.1.4. Vapor de molt baixa pressió**

Vapor lleugerament reescalfat.

- Pressió: 1 barg
- Temperatura: 133 °C

**3.2.1.1.5. Vapor generat**

Vapor generat en la caldera del sistema de refrigeració del reactor, pot substituir els vapor de baixa pressió una vegada el procés arribi a l'estat estacionari.

Vapor lleugerament reescalfat.

- Pressió: 4.1 barg
- Temperatura: 155 °C

**3.2.1.2. Energia elèctrica: Nivells de tensió i aplicacions**

El corrent elèctric disponible de mitja tensió és de 6 kV, trifàsic i a 50 Hz. De baixa tensió està disponible un corrent a 890 v, trifàsic i a 50 Hz i un altre a 380 v, trifàsic i 50 Hz. S'utilitza per a les bombes de procés i l'aerorefrigerant.

**3.2.1.3. Aigües: Tipus, usos i qualitats****3.2.1.3.1. Aigua desmineralitzada**

Aquest tipus d'aigua s'utilitza normalment per alimentació de calderes o situacions en que es necessiti una conductivitat de l'aigua baixa.

Taula 3.5 Especificacions de l'aigua desmineralitzada

Propietat	Especificació
Conductivitat	max. 1 µS/cm
pH	6.5 - 7.0
Sense compostos Amino com:	Hidrazina
Clorats	max. 10 ppm
Pressió	3 barg
Temperatura	40 - 60 °C

**3.2.1.3.2. Aigua de refrigeració**

S'utilitza per als processos de bescanvi de calor del procés en condicions de no molt alta temperatura.

Taula 3.6 Especificacions de l'aigua de refrigeració

Propietat	Especificació
Contingut en clorats	150 mg/L
Pressió	5 barg
Temperatura	28 °C (màx. $\Delta T = 10$ °C)

**3.2.1.4. Aire: Especificacions i aplicacions**

S'utilitza per accionar actuadors de les vàlvules de planta.

Taula 3.7 Especificacions de l'aire d'instrumentació

Propietat	Especificació
Sense olis	150 mg/L
Pressió	5 barg
Temperatura	35 °C
Punt de rosada	-20 °C

### 3.2.2. Preus de les energies

Taula 3.8 Preus de les energies requerides pel procés de producció

Tipus d'energia	Unitat
Vapor d'aigua LP (€/t)	16.3
Vapor d'aigua MP (€/t)	21.9
Vapor d'aigua HP (€/t)	27.3
Electricitat (€/kWh)	0.04
Aigua industrial (€/t)	0.56
Aire d'instruments (€/Nm <sup>3</sup> )	0.02

### 3.2.3. Dades de l'Emplaçament("Site")

Celanese Chemicals Ibèrica, SL. és una filial de Celanese Chemicals & Acetates, una multinacional que comptava amb més de 10000 treballadors en les seves diferents factories. La planta de Tarragona situada en el Polígon Industrial TAQSA, el qual pertany al Polígon Sud de Tarragona, al costat de la carretera N-340, km 1155, codi postal 43006. Aquesta empresa va començar a funcionar en els anys setanta integrada en TAQSA, posteriorment Hoechst i actualment tancada.



Figura 3.1 Localització de la planta de producció d'acetat de vinil.

#### 3.2.3.1. Climàtics, pluviomètrics i sísmics

La regió on està situada la planta té unes condicions climàtiques suaus. La temperatura mitjana és de 16.0 °C. Hi ha al voltant de precipitacions de 551 mm.

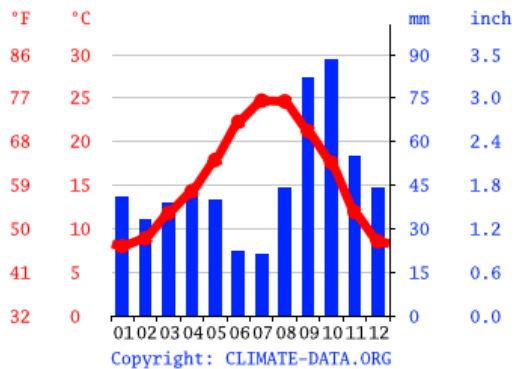


Figura 3.2 Climograma de Tarragona. (Ref. 2)

Referent al risc sismològic, efectuat pel Institut Cartogràfic i Sismològic de Catalunya (Ref. 3), la zona es considerada com a poc perillosa.

### 3.2.3.2. Elevació i Estructura del Terreny

Les característiques del terreny indiquen una capacitat de carrega de  $2 \text{ kg/cm}^2$ , una elevació sobre el nivell del mar de 23 m i la línia de congelació està situada a 0.8 m sota terra.

### 3.2.4. Normes i codis de disseny

#### 3.2.4.1. Recipients i canonades

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

#### 3.2.4.2. Bescanviadors de calor

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

#### 3.2.4.3. Bombes del procés

S'ha seguir el codi ISO 5199:2002.

#### 3.2.4.4. Instrumentació

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

#### 3.2.4.5. Seguretat industrial

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

### **3.3. Descripcions**

#### **3.3.1. Descripció funcional del projecte**

##### **3.3.1.1. Zona de reacció**

Aquesta zona està representada gràficament en el PDF 1001, més en concret, el perímetre que engloba el P&ID 1001.

L'etilè en les condicions especificades en l'apartat 3.1.1.1 entra pel corrent 1. El corrent 27 és un gas provinent de diferents separacions del procés que es torna a comprimir a les condicions pròximes al reactor, i que una part s'envia al corrent 28 cap a l'absorbir de diòxid de carboni i la resta s'envia pel corrent 2 per combinar-se amb el corrent d'alimentació d'etilè, formant el corrent 3. Aquest corrent entra en els bescanviadors E-100 A/B o E-100X segons la temperatura del corrent de sortida del reactor. En els bescanviadors E-100 A/B es produeix una integració d'energia amb el calor generat en el reactor. Posteriorment, aquest corrent escalfat numerat com a 4, s'envia al bescanviador E-101 que en combinació a la recirculació del líquid de fons de FA-101 s'escalfa a les condicions del mateix recipient, formant el corrent 5. En FA-101 entra el corrent 5, el corrent 6 amb àcid acètic a les condicions de l'apartat 3.1.1.3 i el corrent 7 que conté àcid acètic de les columnes de destil·lació. Una gran part del fons es recircula i la resta s'envia a un Flash d'àcid acètic. Per la part superior surt el gas amb una composició d'etilè i àcid acètic adients per a la reacció. Aquest corrent s'escalfa a les condicions d'entrada al reactor (160°C) i es combina amb l'alimentació d'oxigen a les condicions de l'apartat 3.1.1.2. Aquest corrent reacciona en un reactor R-100 multi-tubular catalític amb refrigeració de cicle tancat i cogeneració de vapor de baixa pressió a partir de la caldera FA-103. El corrent reaccionat bescanvia energia amb el corrent 3 fins a 135 °C.

##### **3.3.1.2. Zona de rentat del gas de recirculació**

Aquesta zona està representada gràficament en el PDF 1001, més en concret, el perímetre que engloba el P&ID 1002.

El corrent provinent del reactor entra a un bescanviador aerorefrigerant fins a condensar una part del corrent i s'envia al rentador de gasos DA-100. Per la part inferior de la columna es separa el corrent en dos efluents. El primer es bombeja amb la bomba P-100 per enviar el contingut a el bescanviador E-104 i baixar la temperatura de 60 °C a 40 °C per recircular el corrent a la columna. El segon corrent es baixa la mateixa temperatura i s'envia al tanc FA-104. El tanc FA-104 acumula producte a destil·lar de diferents seccions de la planta i s'envia pel corrent 25, bombejat per la bomba P-101. El contingut del rentador de gasos en la part superior s'envia al corrent 27 per tancar el cicle de la zona de reacció.

##### **3.3.1.3. Zona de separació 2 i absorció i desorció de CO<sub>2</sub>**

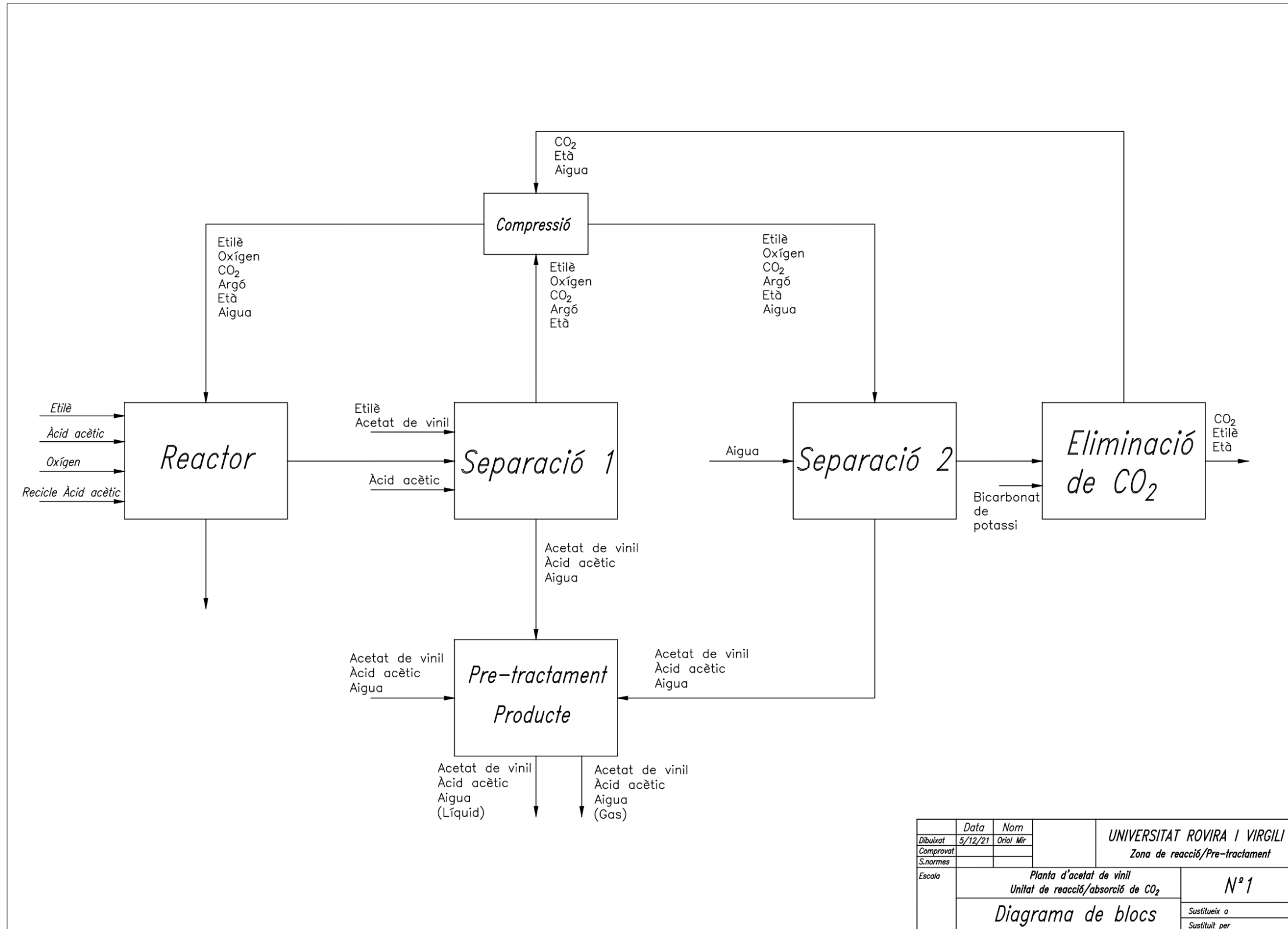
Aquesta zona està representada gràficament en el PDF 2001/2002, més en concret, el perímetre que engloba el P&ID 2001/2002.

Per tal d'eliminar el CO<sub>2</sub> format a la reacció, primer el flux de gas parcial de gas reciclat es renta amb aigua per tal d'eliminar l'àcid acètic restant, columna d'absorció DA-201. Per la part inferior de la columna s'envia la solució d'àcid acètic al tanc de cru, i per cap de columna s'envia a la zona d'absorció i desorció de CO<sub>2</sub>. El CO<sub>2</sub> s'absorbeix amb la solució de K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> a la columna DA-202, per cap d'aquesta columna es recupera reactius de valor per la reacció i amb un percentatge de CO<sub>2</sub> molt inferior, el corrent de fons s'envia a la columna DA-203, on la solució de K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> es regenera des pressuritzant a pressió atmosfèrica. Per cap s'allibera el CO<sub>2</sub>, i per fons es bombeja la solució de K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> a la columna DA-202 per tancar el cicle.

### 4. DESENVOLUPAMENT DE L'ENGINYERIA BÀSICA

#### 4.1. Elaboració de diagrames

##### 4.1.1. De Blocs: Disseny conceptual



#### 4.1.2. De simulació: Estudi de simulació

En aquest apartat s'ha estudiat la zona del reactor, el rentat del gas de recicla i el compressor del recicla de la planta d'acetat de vinil. Per dur a terme aquest estudi s'ha simulat en conjunt utilitzant el *software* d'*Aspen Plus*. L'objectiu de la simulació és agafar experiència en el programa i poder dissenyar de forma més professional els equips involucrats en el procés.

##### 4.1.2.1. Descripció de les necessitats

- Trobar la cinètica de la reacció de l'acetat de vinil.
- Adaptar la cinètica de la reacció als paràmetres requerits per *Aspen Plus* ja sigui pel mètode Powerlaw o LHHW.
- Modelar un sistema de refrigeració del reactor amb generació de vapor a mitja pressió utilitzant una caldera.
- Optimitzar les variables Longitud de tubs, Diàmetre de tubs i Número de tubs del reactor.
- Integrar energèticament el procés.
- Escollir millor model termodinàmic.
- Dissenyar un condensador parcial aerorefrigerant.
- Dissenyar un sistema de rentat dels gasos de recicla.
- Dissenyar un compressor de gasos de recicla.
- Trobar la cinètica de la reacció d'absorció de CO<sub>2</sub>.
- Dissenyar una columna d'absorció d'àcid acètic.
- Dissenyar el sistema, d'absorció i desorció de CO<sub>2</sub>.
- Dissenyar els equips complementaris al procés.

##### 4.1.2.2. Elecció del model termodinàmic

Una de les claus per a poder simular correctament el procés de producció de VAM és escollir un model termodinàmic que s'ajusti el màxim possible a les interaccions que ocorren entre els components. L'aigua i l'àcid acètic són components polars i l'acetat de vinil és apolar, la mescla és altament no-ideal. El model termodinàmic que s'ha escollit en aquest cas és NRTL-HOC.

NRTL-HOC és un model que correlaciona els coeficients d'activitat de la mescla amb les seves fraccions molars en fase líquida. NRTL s'ha escollit per l'equilibri líquid-vapor en les fases de separació de les espècies condensables. La implementació de HOC es deguda a que té en compte la dimerització del àcid acètic en la fase vapor. Finalment aquest mètode també inclou la possibilitat d'introduir la llei de Henry per a treballar amb els components no condensables.

En resum, NRTL permet predir les interaccions entre l'àcid acètic, l'aigua i l'acetat de vinil mentre que amb HOC es permet determinar els paràmetres per els gasos del etilè, oxigen i diòxid de carboni (Ref. 4).

D'altra banda en la zona d'absorció i desorció de CO<sub>2</sub>, el mètode termodinàmic utilitzat ha estat el Electrolyte NRTL que és un model amb l'equació d'estat de Redlich-Kwong, que s'utilitza per solucions amb dissolvents aquosos i mixtes, on els components són polars i electròlits, com és el nostre cas

##### 4.1.2.3. Zona del reactor

Aquesta zona està definida per les unitats de compressió, vaporització, escalfament i reacció de la mescla de gasos entre la re-circulació i alimentació, Figura 4.1.

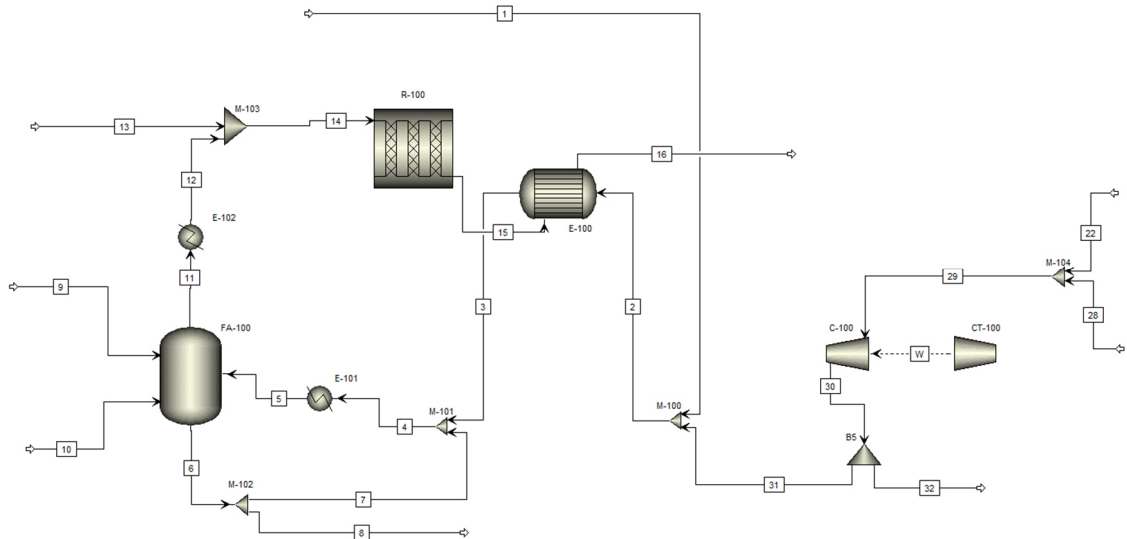


Figura 4.1 Diagrama de simulació de la zona del reactor.

Aquesta simulació és la representació del procés en estat estacionari, en conseqüència el bescanviador de l'arrancada no s'ha considerat, per tant el bescanviador E-100 és l'encarregat de fer transferències de calor entre el corrent de sortida del reactor (de 170 a 132.5 °C) i el corrent d'entrada del procés (de 67.3 a 146.5 °C). A partir dels resultats de la simulació s'ha pogut dissenyar el reactor R-100, els bescanviadors E-100, E-101, E-102 i el compressor accionat per turbina. Els paràmetres que s'han utilitzat per cada equip estan ubicats en els corresponents apartats de disseny.

#### 4.1.2.4. Zona de separació

Aquesta zona comprèn des de la sortida del producte del bescanviador E-100 fins l'absorció realitzada al equip DA-100.

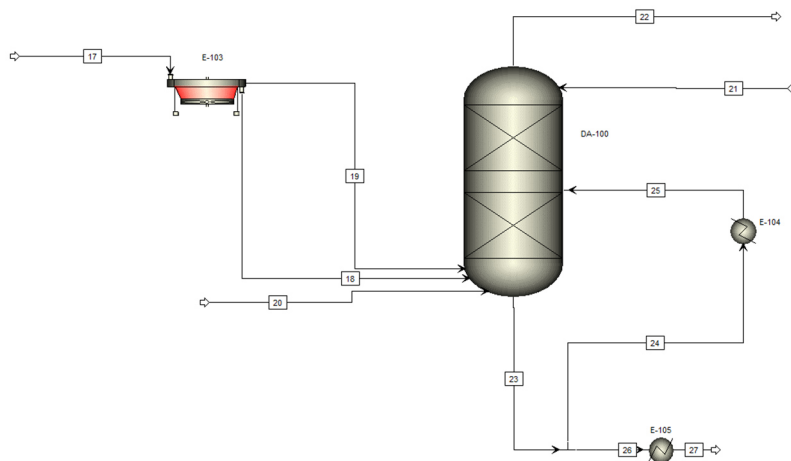


Figura 4.2 Diagrama de simulació de la zona de separació.

En aquesta part de la simulació s'ha seguit amb el corrent 16 de la Zona de Reacció per enviar-lo a través d'un aerorefrigerant E-103 i condensar-lo parcialment. Els dos corrents formats per líquid i per gas entren en combinació d'un corrent provinent d'una columna de destil·lació al Scrubber DA-100. La diferència de temperatures i pressió entre cap i fons és de 40 a 60 °C i 7.3 a 7.7 bara. Per fer l'absorció de gasos s'injecta per la part superior àcid acètic

a 40 °C en forma líquida. Per la part inferior es divideix el corrent de fons per recircular una part de volta a la columna amb una baixada de temperatura de 60 a 40 °C gràcies al bescanviador E-104.

#### 4.1.2.5. Zona de separació 2

Aquesta zona comprèn des de la sortida del compressor C-100 fins l'absorció realitzada per l'equip DA-201.

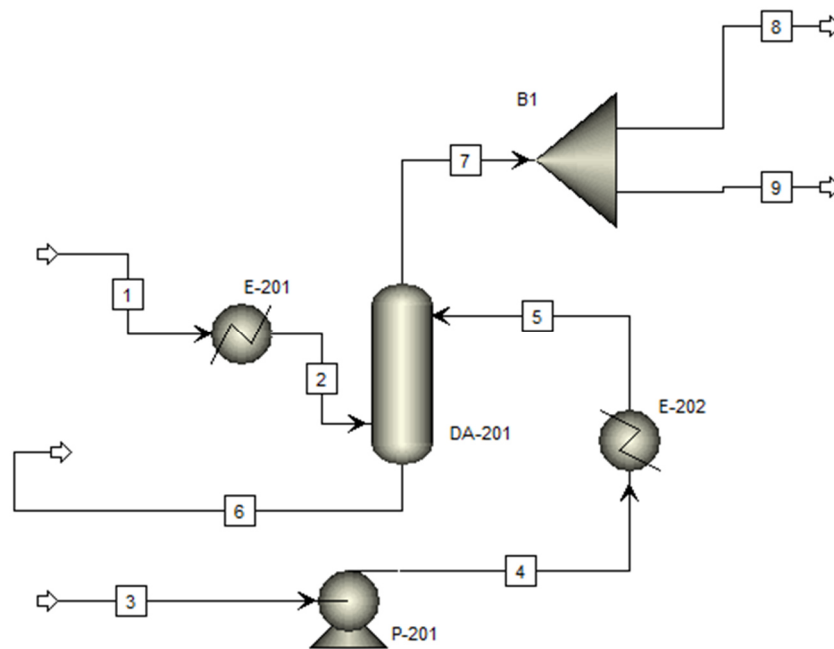


Figura 4.3 Diagrama de simulació de la zona de separació 2.

El model termodinàmic utilitzat és el mateix que en la zona del reactor i la zona de separació 1, NRTL.

El corrent d'alimentació ve a 78°C provinent del compressor, el bescanviador E-201 refreda aquest corrent sense condensar, a 50°C, l'altre entrada, es refreda a la mateixa temperatura que l'alimentació mitjançant el bescanviador E-202, l'absorbent és aigua desmineralitzada en estat líquid. La columna té un perfil de pressió de 9.32 i 9.42 barg a cap i fons respectivament. El corrent per cap, lliure d'àcid acètic, es purga per evitar excessos i s'envia a la zona d'absorció i desorció de CO<sub>2</sub>.

Per elaborar la simulació s'ha simulat l'absorbidor amb els equips complementaris, bombes, bescanviadors de calor i mixers. Els paràmetres que s'han utilitzat per cada equip estan ubicats en els corresponents apartats de disseny.

#### 4.1.2.6. Zona absorció i desorció de CO<sub>2</sub>

Aquesta zona comprèn des de el corrent provinent del cap de columna de l'absorbidor DA-201, fins la sortida a la atmosfera del desabsorbidor DA-203.

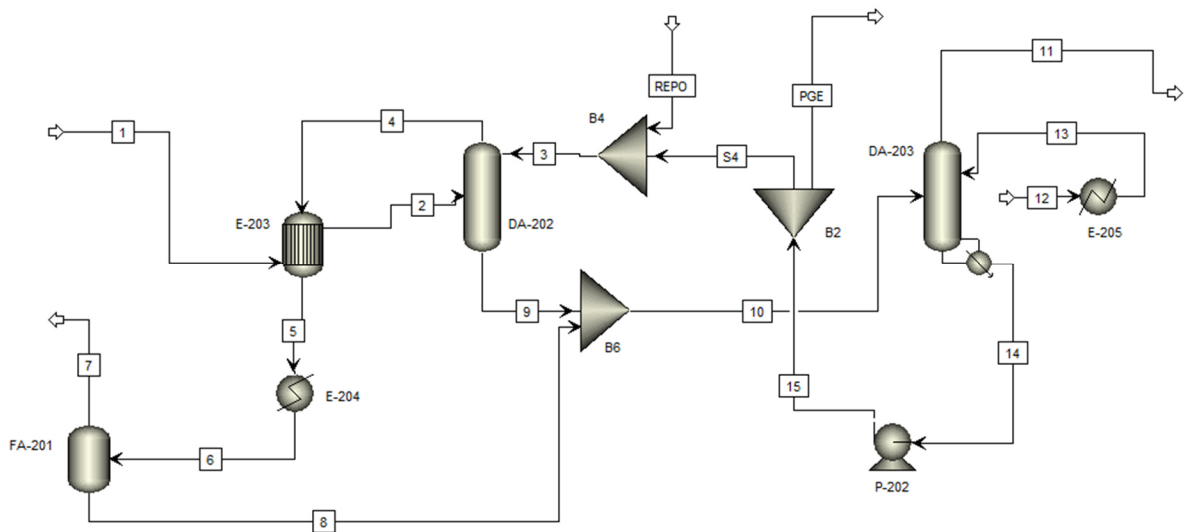


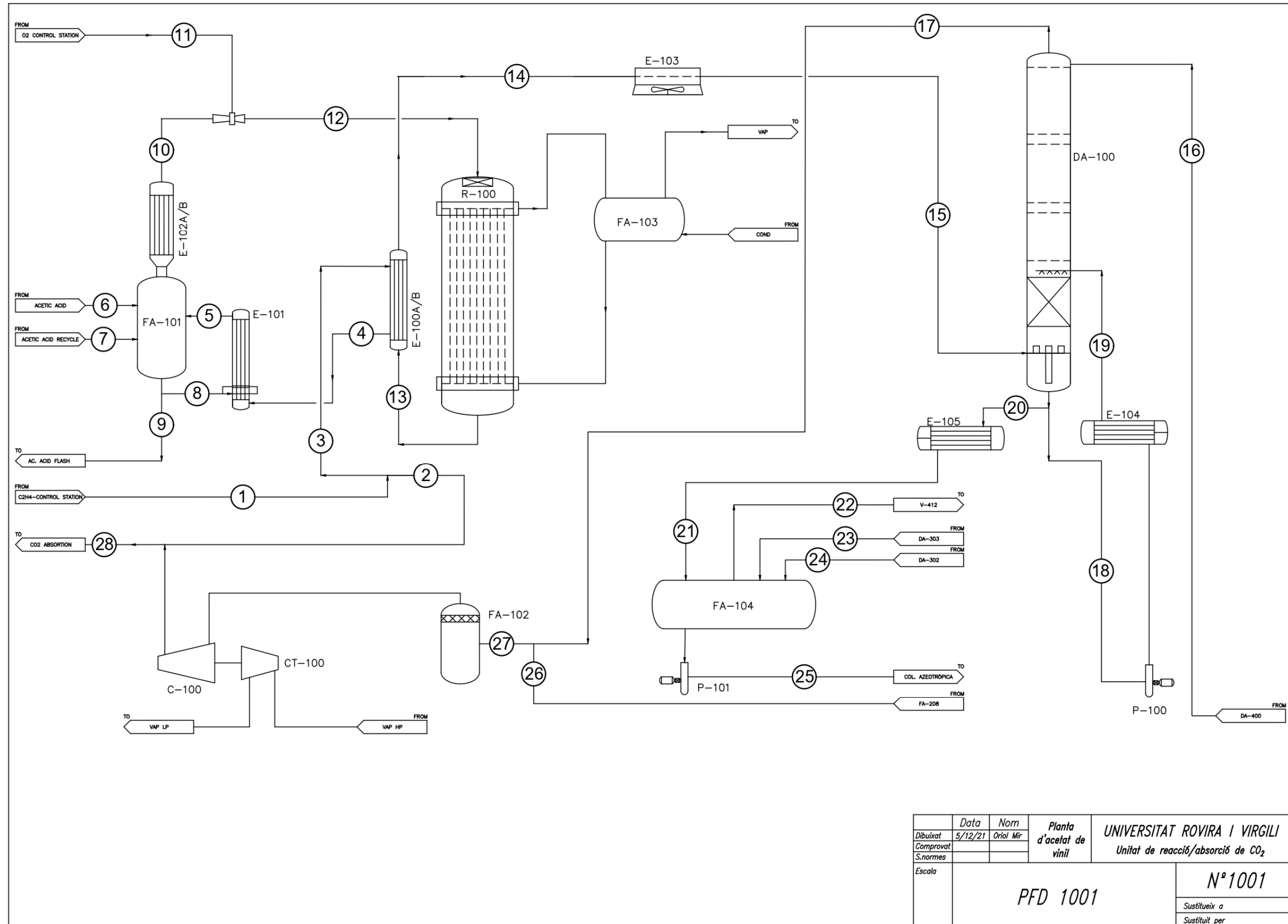
Figura 4.4 Diagrama de simulació de la zona d'absorció i desorció de CO<sub>2</sub>.

Com ja s'ha dit anteriorment el model termodinàmic utilitzat ha estat el ELECNRTL, que és un model amb l'equació d'estat de Redlich-Kwong, que s'utilitza per solucions amb dissolvents aquosos i mixtes, on els components són polars i electròlits, com és el nostre cas.

El corrent d'alimentació del absorbidor DA-202 prové del cap de columna de l'absorbidor DA-201, i es calenta de 47°C a 97°C mitjançant el bescanviador E-203, la columna DA-202 opera de 108 a 109 °C i 8.97 a 8.76 barg, el corrent de sortida per cap es refreda amb el bescanviador E-203 i mitjançant el condensador parcial E-204 es refreda a 40°C i s'envia al flash FA-201 per separar les fases, la fase gas s'envia al compressor i la fase líquida, que conté principalment aigua, es recircula a la sortida per fons de la mateixa columna DA-202, que juntament amb la sortida de fons de columna s'envia al cap de columna de DA-203. Per l'absorció de CO<sub>2</sub> s'injecta per cap de la columna DA-202 una dissolució de K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> del 20%, el qual reaccionarà de la forma que s'explica en l'apartat anterior. Per tal de recuperar l'absorbent s'injecta aigua a la columna DA-203 a 109°C. La columna opera de 99 a 109 °C i 0.05 a 0.25 barg, i el CO<sub>2</sub> surt per cap alliberant-se a l'atmosfera. Per fons sortirà la dissolució de K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> recuperada i s'enviarà al cap de columna de l'absorbidor DA-202 tancant així el cicle.

Per elaborar la simulació primerament s'ha simulat l'absorbidor i el desabsorbidor per separat amb els seus equips complementaris corresponents, bombes, bescanviadors de calor i mixers. El següent pas ha sigut unir els dos equips, la sortida per fons del absorbidor es la entrada per cap del desabsorbidor, i la sortida per fons del desabsorbidor serà la recirculació que entrarà al absorbidor per cap, per fer la recirculació s'ha hagut d'afegir diferents equips que no estan al procés original per tal que la simulació convergís, primerament es purga l'excés dels components, i seguidament mitjançant una especificació s'ajusta automàticament el cabal de reposició per tal d'obtenir la composició de cabal desitjada en el corrent de recirculació. Els equips de la recirculació només s'han tingut en compte a la simulació, ja que sinó el programa no convergia. Els paràmetres que s'han utilitzat per cada equip estan ubicats en els corresponents apartats de disseny.

4.1.3. De flux de procés (PFD)



	Data	Nom	Planta	UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI
Dibuixat	5/12/21	Oriol Mir	d'acetat de	Unitat de reacció/absorció de CO <sub>2</sub>
Comprovat			vinil	
S.normes				
Escala	PFD 1001			Nº 1001
				Sustitueix a
		Sustituit per		

## 4.1.4. BDM del PFD-1001

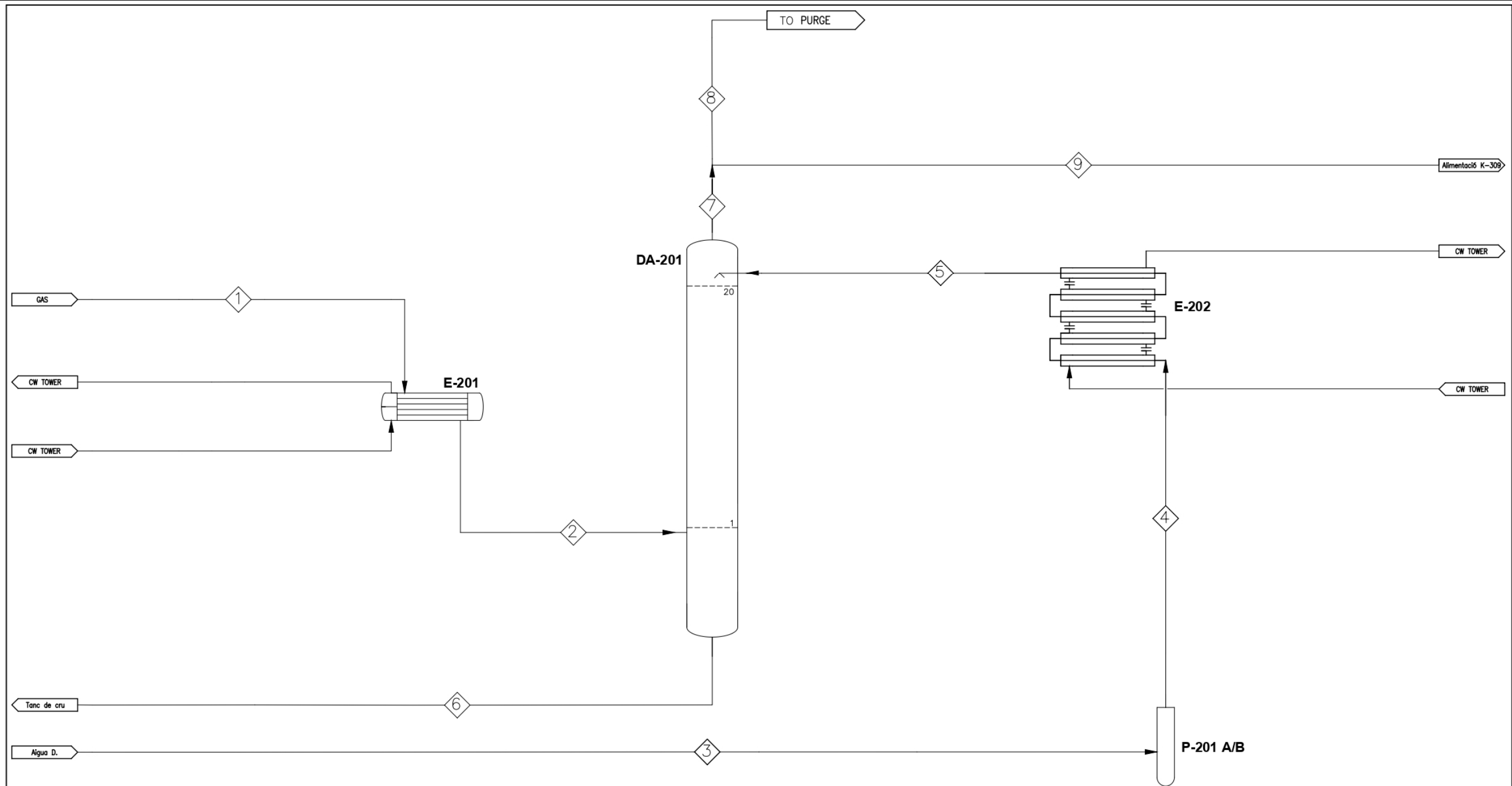
Taula 4.1 Balanç de matèria del PFD 1001.

Cabals molars (kmol/h)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
T (°C)	25.0	67.8	67.3	151.7	128.1	125.0	125.0	126.1	126.1	165.7	80.0	160.0	170.0	132.0
P (bara)	16.2	10.5	10.5	10.5	9.2	13.2	13.2	9.2	9.2	9.2	16.2	9.2	8.9	8.9
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	409.9	4523	4933	4933	4950	0.0	0.0	16.8	4.2	4929	0.0	4929	4496	4496
O <sub>2</sub>	0.0	370.8	370.8	370.8	371.0	0.0	0.0	0.2	0.1	370.7	291.1	661.9	369.9	369.9
CO <sub>2</sub>	0.0	1238	1238	1238	1239	0.0	0.0	1.5	0.4	1237	0.0	1237	1298	1298
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0.0	651.0	651.0	651.0	651.1	0.0	0.0	0.1	0.0	651.0	0.0	651.0	651.0	651.0
Ar	0.0	1394	1394.4	1394	1394	0.0	0.0	0.0	0.0	1394	0.0	1394	1394	1394
C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.3	0.0	0.3	401.9	401.9
CH <sub>3</sub> COOH	0.0	59.0	42.1	42.1	916.6	370.9	1882	874.5	218.6	2076	0.0	2076	1637	1637
H <sub>2</sub> O	0.0	28.9	28.9	28.9	58.2	0.0	119.5	29.3	7.3	141.0	0.0	141.0	602.2	602.2
Total (kmol/h)	409.9	8265	8658	8658	9581	370.9	2002	922.6	230.7	10800	291.1	11091	10851	10851
Total (kg/h)	11499	272567	4933	4933	336654	22274	115183	53600	13400	407110	9316	416426	414131	414131
Fracció de vapor	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Continuació Taula 4.1 Balanç de matèria del PFD 1001.

Cabals molars (kmol/h)	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
T (°C)	73.1	40.0	38.5	60.2	40.0	40.0	60.2	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	67.8
P (bara)	10.3	7.3	7.3	7.7	7.7	7.7	7.7	1.1	7.7	7.7	1.1	7.2	7.2	10.5
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	4496	0.0	4490	36.2	36.2	62.9	62.9	0.1	0.1	0.1	4.6	335.4	4825	301.6
O <sub>2</sub>	369.9	0.0	371.4	0.5	0.5	0.8	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	24.1	395.5	24.7
CO <sub>2</sub>	1298	0.0	1307	18.1	18.1	31.5	31.5	0.2	0.1	0.1	9.7	13.0	1320	82.5
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	651.0	0.0	645.3	7.3	7.3	12.7	12.7	0.0	0.0	0.0	1.1	49.2	694.4	43.4
Ar	1394	0.0	1393	1.7	1.7	3.0	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	94.8	1487	93.0
C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	401.9	0.0	0.0	235.2	235.2	409.2	409.2	9.8	5.9	5.9	412.1	0.0	0.0	0.0
CH <sub>3</sub> COOH	1637	870.3	56.1	1412	1412	2457	2457	60.4	36.4	36.4	2530	0.0	62.9	3.9
H <sub>2</sub> O	602.2	0.0	0.0	346.6	346.6	603.0	603.0	0.3	9.4	9.4	655.2	30.8	30.8	1.9
Total (kmol/h)	10851	870.3	8263	2058	2058	3580	3580	70.9	51.9	51.9	3613	547.3	8816	551.0
Total (kg/h)	414131	52261	273774	113405	113405	197293	197293	4762	10081	10081	212692	16635	290738	18171
Fracció de vapor	0.8	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0

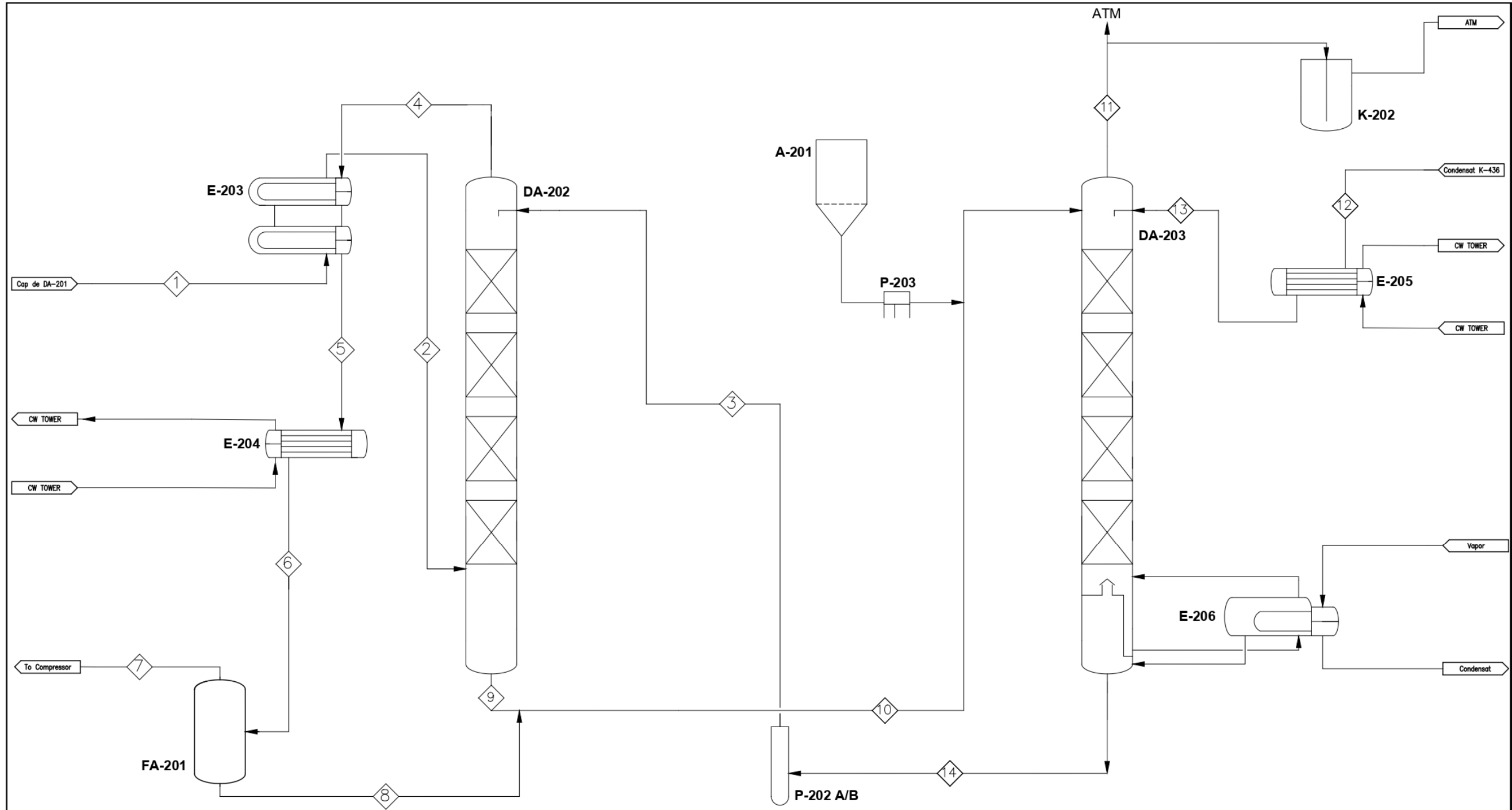
Λ



Cabals molars (kmol/h)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Temperatura (°C)	78.0	50.0	15.0	15.0	50.0	46.0	47.0	47.0	47.0
Pressió (barg)	9.4	9.4	0.0	9.2	9.2	9.4	9.2	9.2	9.2
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	302.0	302.0	0.0	0.0	0.0	0.0	302.0	2.9	299.1
O <sub>2</sub>	24.9	24.9	0.0	0.0	0.0	0.0	24.9	0.2	24.7
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	43.5	43.5	0.0	0.0	0.0	0.0	43.5	0.4	43.1
ARGÓ	92.9	92.9	0.0	0.0	0.0	0.0	92.9	0.9	92.0
CO <sub>2</sub>	82.4	82.4	0.0	0.0	0.0	0.1	82.4	0.7	81.7
H <sub>2</sub> O	1.7	1.7	116.6	116.6	116.6	112.6	5.7	1.7	4.0
CH <sub>3</sub> -COOH	2.7	2.7	0.0	0.0	0.0	2.7	0.0	0.0	0.0
Total (kmol/h)	550.0	550.0	116.6	116.6	116.6	115.4	551.2	6.6	544.6
Total (kg/h)	18105	18105	2100	2100	2100	2193	18012	175.2	17837
Fracció de vapor	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00

Dibuixat	5/12/21	Norm	Guillem B	UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI ZONA ABSORCIÓ ACID ACÈTIC
Comprovat				
S.normes				
Escola	PFD ABSORBIDOR DA-201			Nº2001
				Sustitueix a
				Sustituit per

<



Cabals molars (kmol/h)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Temperatura (°C)	47.0	97.0	108.0	108.6	93.0	40.0	40.0	40.0	109.2	108.5	98.7	130.0	95.0	109.0
Pressió (barg)	9.0	9.0	9.0	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	9.0	9.0	0.1	12.2	12.2	0.3
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	299.1	299.1	0.0	298.6	298.6	298.6	298.6	0.0	0.5	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0
O <sub>2</sub>	24.7	24.7	0.0	24.7	24.7	24.7	24.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	43.1	43.1	0.0	43.0	43.0	43.0	43.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ARGÓ	92.0	92.0	0.0	92.0	92.0	92.0	92.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
CO <sub>2</sub>	81.7	81.7	0.2	7.8	7.8	7.8	7.8	0.0	0.9	0.9	74.0	0.0	0.0	0.2
H <sub>2</sub> O	4.0	4.0	5715	63.5	63.5	63.5	4.5	59.0	5582	5641	259.6	260.0	260.0	5715
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0.0	0.0	172.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	99.9	99.9	0.0	0.0	0.0	172.9
KHCO <sub>3</sub>	0.0	0.0	194.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	340.7	340.7	0.0	0.0	0.0	194.6
Total (kmol/h)	544.6	544.6	6082	529.7	529.7	529.7	470.6	59.1	6024	6083	334.2	260.0	260.0	6082
Total (kg/h)	17837	17837	146392	15661	15661	15661	14580	1081	148568	149649	7941	4684	4684	146392
Fracció de vapor	1.00	1.00	0.00	1.00	0.98	0.93	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00

Dibuixat	5/12/21	Norm	Guillem B	UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI ZONA ELIMINACIÓ CO <sub>2</sub>
Comprovat				
S.normes				
Escola	PFD ABSORBIDOR DESABSORBIDOR CO <sub>2</sub>			Nº 2002
				Sustitueix a
				Sustituit per

4.1.5. De canonades i instrumentació (P&ID)

### Nomenclatura de línies

Línia de procés  
 Línia elèctrica  
 TO  
 Direcció i sentit del corrent  

- Especificació de la línia
- Tipus de material
- Número de la línia
- Diàmetre de la canonada (mm)

### Accessoris

- Vàlvula de papallona
- Vàlvula de tall
- Vàlvula automàtica de bola
- Junta
- Vàlvula anti-retorn
- Reductor  
4" x 2"
- Vàlvula reguladora de globus
- Zona de drenatge
- Caudalímetre tipus Coriolis
- Caudalímetre
- TRP Trampa de vapor
- Vàlvula manual
- Vàlvula manual de bola

### Nomenclatura d'instrumentació i identificació de toveres

Tipus de senyal:  
 - AI: entrada analògica  
 - AO: sortida analògica  
 - DI: entrada digital  
 - DO: sortida digital

ID de la senyal

TAG instrument XX  
 ID instrument XX

TAG de la tovera XX  
 Diàmetre d'orifici (mm) XX

### Resum de les lletres utilitzades

Nomenclatura d'equips:

- FA – Recipient
- R – Reactor
- DA – columna
- C – Compressor
- CT – Turbina
- E – Bescanviador de calor
- P – Bomba centrífuga
- M/MT – Motor
- A – Tanc d'espuma
- K – Segell hidràulic

Nomenclatura instruments:

- P – Pressió
- T – Temperatura
- F – Cabal
- PD – Diferencial de pressió
- J – Potència
- XY – Estat d'activitat
- S – Velocitat

Nomenclatura vàlvules:

- HV – Vàlvula manual
- CV – Vàlvula reguladora
- ABV – Vàlvula automàtica de bola
- CHV – Vàlvula anti-retorn

#### PSV

Pressió de tarat → SET X barG  
 TAG de la PSV → PSV-X  
 → Direcció a torxa

	Data	Nom
Dibuixat	5/12/21	Oriol Mir
Comprovat		
S.normes		
Escala		

Planta d'acetat de vinil

**UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI**

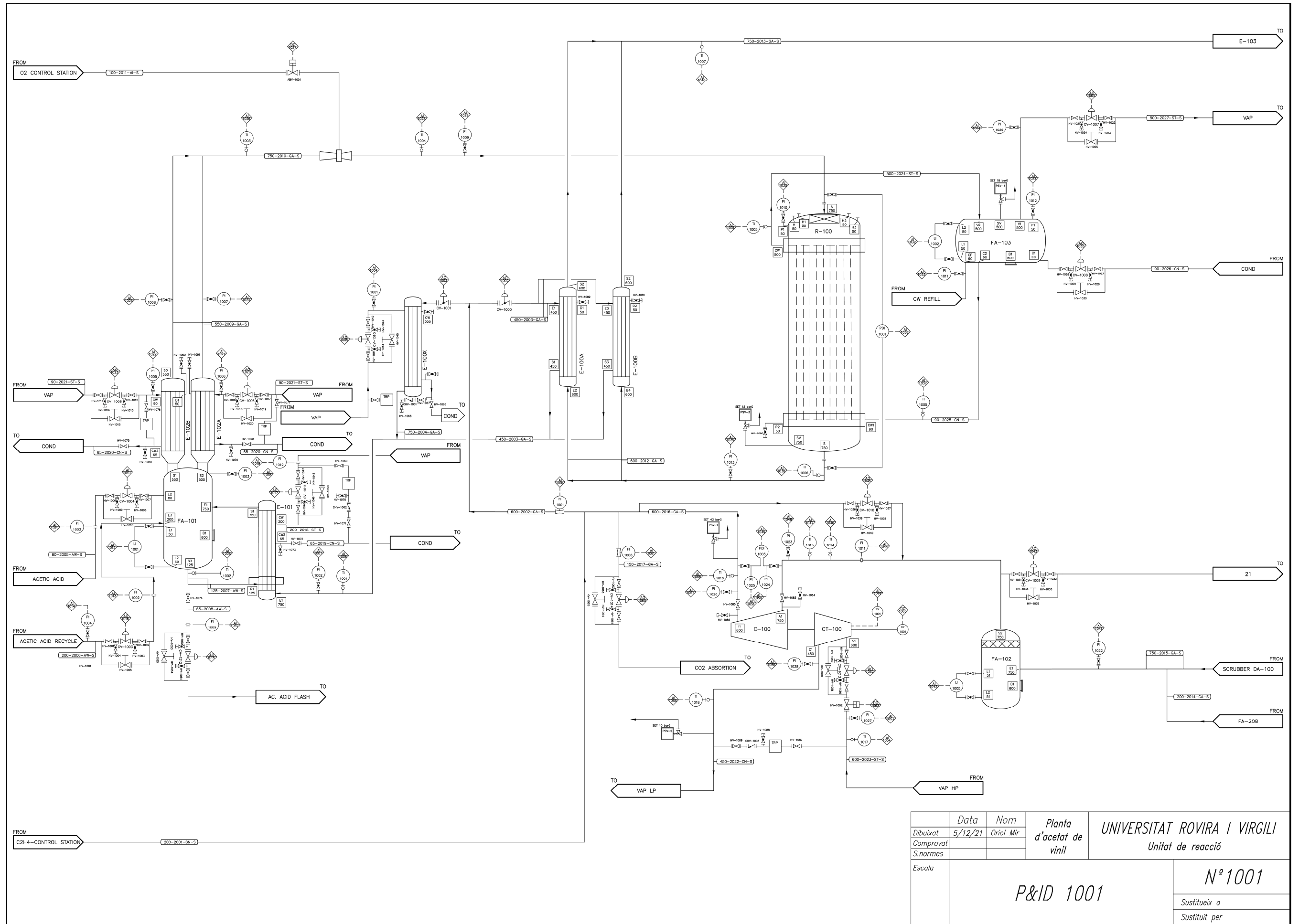
Treball Final de Grau

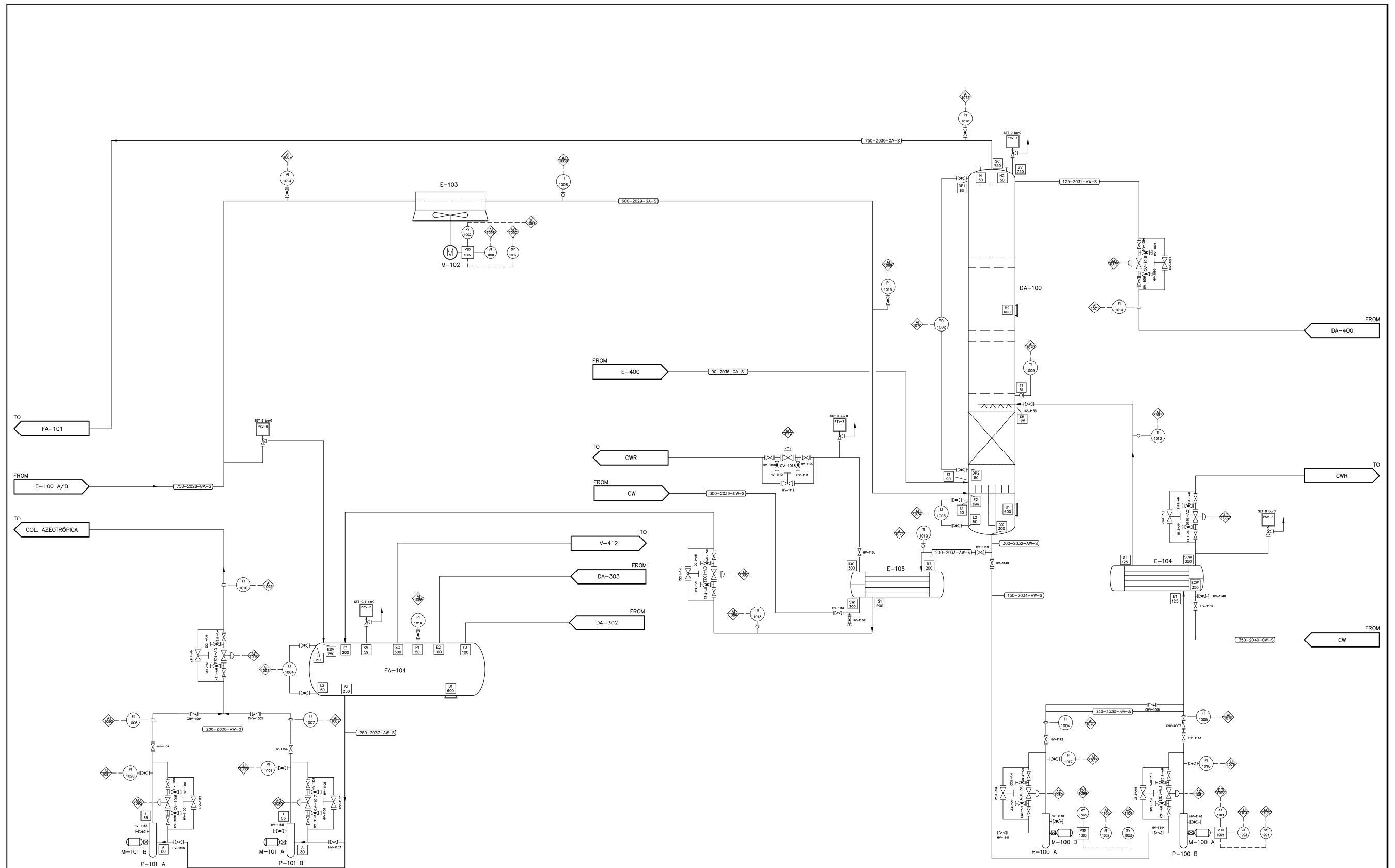
## Llegenda

Nº 1

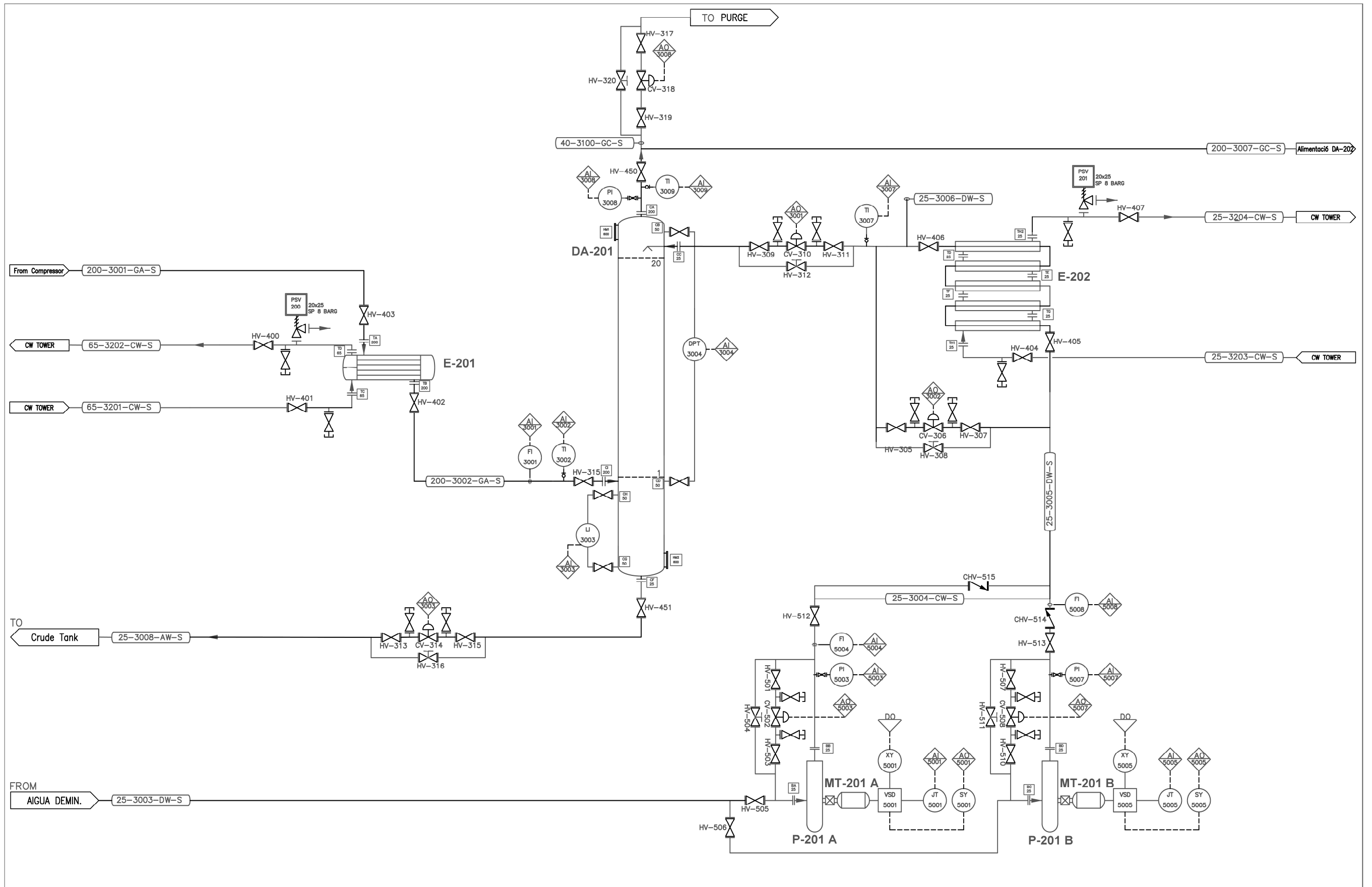
Sustitueix a

Sustituit per

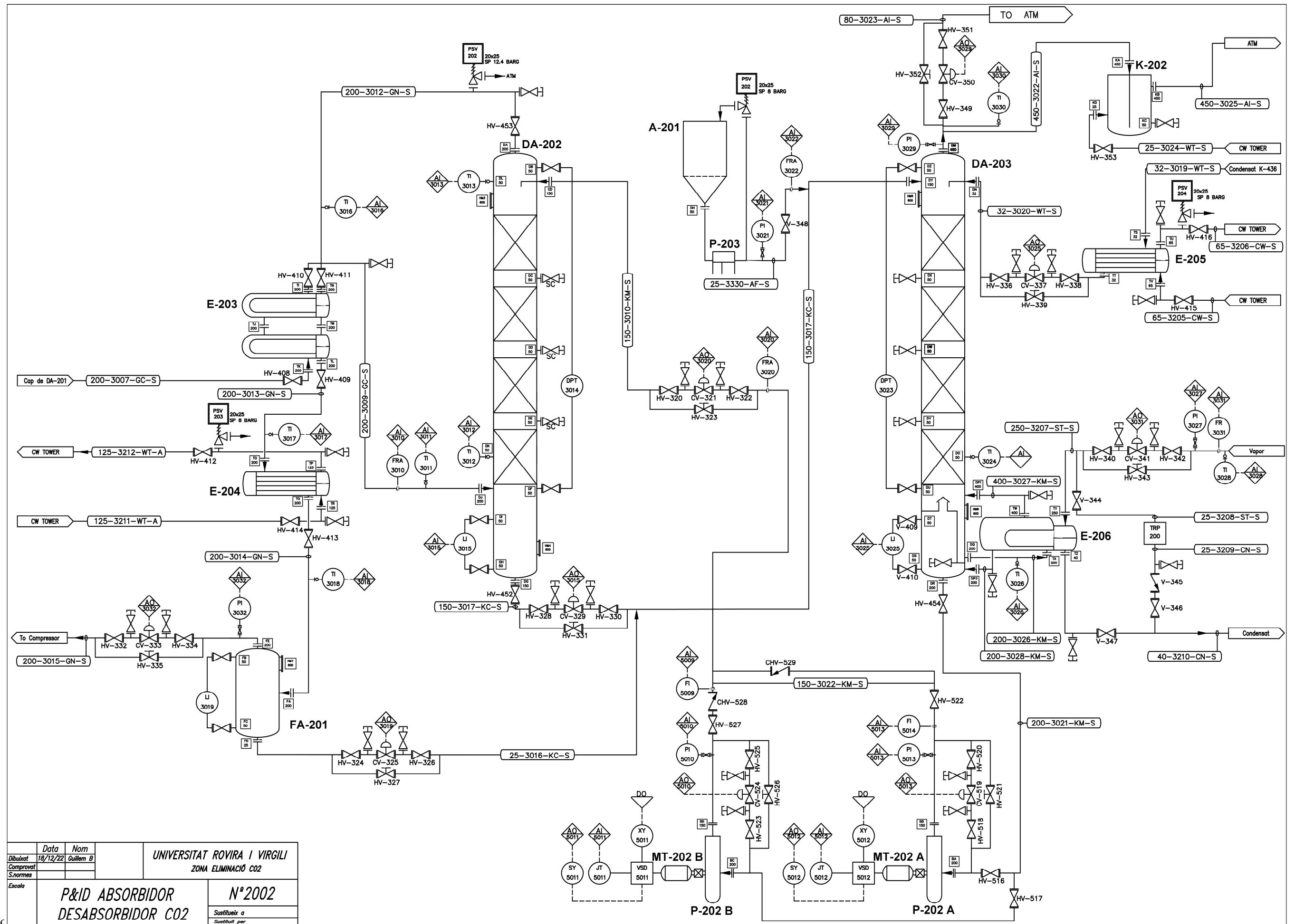




	Data	Nom	Planta	UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI Unitat de rentat de gasos
Dibuixat	5/12/21	Oriol Mir	d'acetat de	
Comprovat			vinil	
S.normes				
Escala	P&ID 1002			Nº 1002
				Sustitueix a
				Sustitueix per

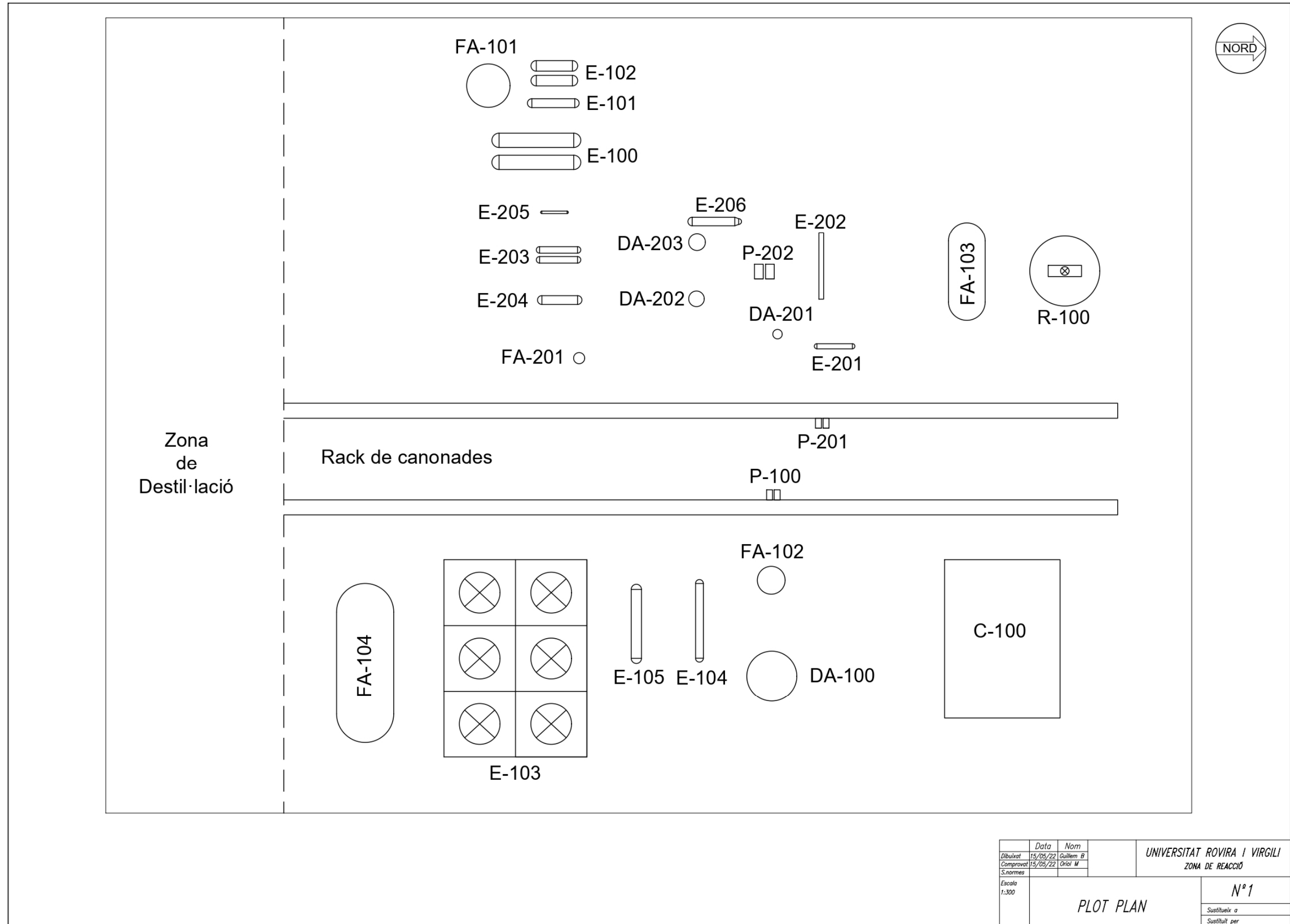


Data	11/5/22	Nom	Guillem B
Dibuixat			
Comprovat			
S.normes			
Escola	UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI		
	ZONA ABSORCIÓ ÀCID ACÈTIC		
P&ID ABSROBIDOR DA-201			Nº 2001
			<i>Sustitueix a</i>
			<i>Sustitueix per</i>

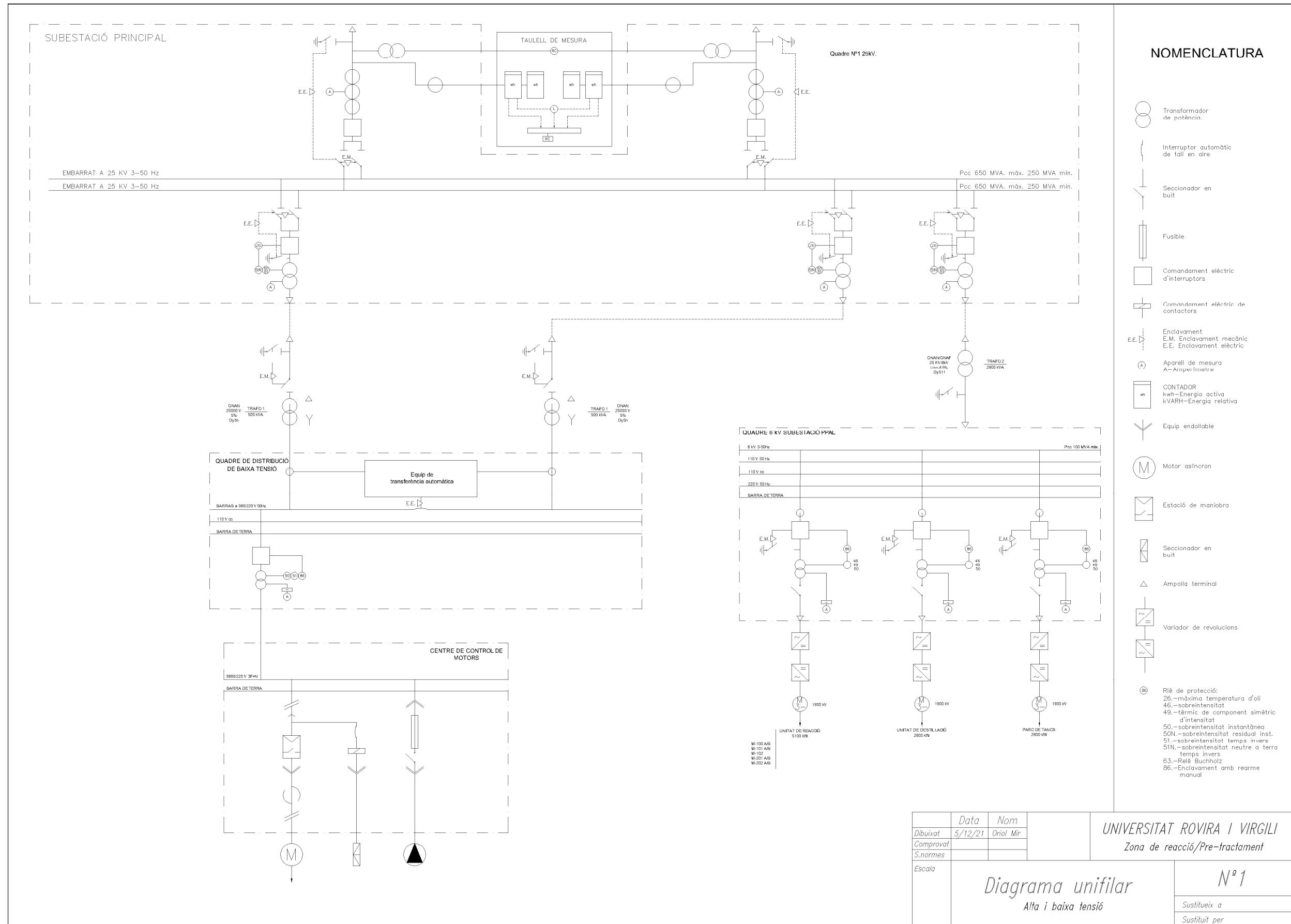


Data	Nom	UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI ZONA ELIMINACIÓ CO2
Dibuixat	18/12/22 Guillem B	
Comprovat		
S.normes		
Escola	P&ID ABSORBIDOR DESABSORBIDOR CO2	
	N°2002	
	Sustituïx a Sustituït per	

D'implantac



4.1.6. Elèctric (Unifilar)



## 4.2. Disseny bàsic

### 4.2.1. Disseny de canonades

Les canonades han estat dimensionades i dissenyades a partir del balanç de matèria obtingut en la simulació i el procediment de càlcul es troba a l'annex A.12. A continuació es mostren els paràmetres utilitzats pel càlcul.

Taula 4.2 Paràmetres utilitzats pel dimensionament de les canonades.

Paràmetre	Valor
Velocitat de gasos (m/s)	15
Velocitat de líquids (m/s)	2
Material de les canonades	Acer inoxidable S3160L
Tensió S (Mpa)	138
Eficiència de les soldadures	0.85
Factor adimensional Y	0.4
Factor adimensional W	1

El criteri utilitzat per la pressió i temperatura, és que la pressió de disseny és un 10% superior a la d'operació i la temperatura de disseny 20°C superior a la d'operació en els casos que es superin els 60°C. S'ha utilitzat el codi (Ref. 5) per determinar els diàmetres finals, agafant el immediatament superior als calculats, coma mínim s'ha determinat que les canonades han de tenir un diàmetre mínim de 25 mm (1 in). El procediment és el mateix per l'aïllament (Ref. 6) i el SCH. Per últim el codi de pintura de la canonada segueix el codi de identificació bàsica segons el codi ANSI A13.1 (Ref. 7).

#### 4.2.1.1. Denominació de les línies

En aquest apartat s'explica la identificació de les columnes explicant la simbologia i el seu significat, en les línies s'indica el producte principal que transporta, a més a més del fluid de procés (FP), que s'ha considerat que esta format per etilè, oxigen, età i argó.

Taula 4.3 Identificació línies.

Paràmetre	Identificació	Significat
Material de la canonada	S	Acer inoxidable S3160L
	GA	Fluid de Procés + Àcid Acètic
	GC	Fluid de Procés + CO <sub>2</sub>
	FP	Fluid de Procés
	AI	Aigua + CO <sub>2</sub>
	KM	Dissolució K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
	KC	Dissolució KHCO <sub>3</sub>
	DW	Aigua Desmineralitzada
	CW	Aigua de Refrigeració (Torre)
	ST	Vapor d'aigua
	CN	Condensat (aigua)
	AI	Aire o fluid a l'atmosfera

La identificació de les canonades es disposarà de la següent manera; 200-3001-GA-S, el diàmetre nominal en mm (200), el número de línia (3001), el fluid que hi circula (GA) i el material de la canonada (A).

## 4.2.2. Llistat de canonades

Taula 4.4 Llistat de canonades P&amp;ID 1001 i 1002.

Llistat de línies			P&ID 1001													
DN mm	SCH	Identificació	Extrems de línia		Operació			Disseny			Fluid principal	Aïllant		Tracejat	Perillós	Codi de pintura de seguretat
			de	a	Temp. (°C)	Press. (barg)	Fase	Temp. (°C)	Press. (barg)	Prova hidràulica (barg)		Material	Espessor (mm)			
200	10S	200-2001-GN-S	C2H4-CONTROL STATION	600-2002-GA-S	25	15.2	V	25	16.7	23.9	Etilè	No	-	No	Si	08-C-35
600	5S	600-2002-GA-S	600-2016-GA-S	450-2003-GA-S	75	9.5	V	95	10.4	14.9	Gas procés	Llana de Roca	130	No	Si	08-C-35
450	5S	450-2003-DA-S	600-2002-GA-S	750-2004-GA-S	151	9.5	V	171	10.4	14.9	Gas procés	Llana de Roca	130	No	Si	08-C-35
750	5S	750-2004-GA-S	450-2003-GA-S	FA-100	153	8.2	V	173	9.0	12.9	Gas procés	Llana de Roca	140	No	Si	08-C-35
80	10S	80-2005-AW-S	ACETIC ACID	FA-100	125	12.2	L	145	13.4	19.1	Àcid acètic	Llana de Roca	80	No	Si	22-D-45
200	10S	200-2006-AW-S	ACETIC ACID RECYCLE	125-2007-AW-S	125	12.2	L	145	13.4	19.1	Àcid acètic	Llana de Roca	100	No	Si	22-D-45
125	5S	125-2005-AW-S	FA-100	E-101	126	8.2	L	146	9.0	12.9	Àcid acètic	Llana de Roca	80	No	Si	22-D-45
65	5S	65-2008-AW-S	125-2007-AW-S	AC. ACID FLASH	126	8.2	L	146	9.0	12.9	Àcid acètic	Llana de Roca	80	No	Si	22-D-45
550	5S	550-2009-GA-S	E-102 A/B	750-2010-GA-S	162	8.2	V	182	9.0	12.9	Gas procés	Llana de Roca	140	No	Si	08-C-35
750	5S	750-2010-GA-S	550-2009-GA-S	600-2012-GA-S	162	8.2	V	182	9.0	12.9	Gas procés	Llana de Roca	140	No	Si	08-C-35
100	10S	100-2011-AI-S	O2 CONTROL STATION	750-2010-GA-S	100	15.2	V	120	16.7	23.9	Oxigen	Llana de Roca	80	No	No	20-E-51

Continuació Taula 4.4 Llistat de canonades P&amp;ID 1001 i 1002.

DN mm	SCH	Identificació	Extrems de línia		Operació			Disseny			Fluid principal	Aïllant		Tracejat	Perillós	Codi de pintura de seguretat
			de	A	Temp. (°C)	Press. (barg)	Fase	Temp. (°C)	Press. (barg)	Prova hidràulica (barg)		Material	Espessor (mm)			
600	5S	600-2012-GA-S	750-2010-GA-S	750-2013-GA-S	170	7.9	V	190	8.7	12.5	Gas procés	Llana de Roca	140	No	Si	08-C-35
750	5S	750-2013-GA-S	600-2012-GA-S	750-2028-GA-S	135	7.9	V	155	8.7	12.5	Gas procés	Llana de Roca	140	No	Si	08-C-35
200	5S	200-2014-GA-S	FA-K-208	750-2015-GA-S	40	6.2	V	40	6.8	9.7	Gas procés	Llana de Roca	80	No	Si	08-C-36
750	5S	750-2015-GA-S	SCRUBBER K-234	C-100	40	6.2	V	40	6.8	9.7	Gas procés	Llana de Roca	130	No	Si	08-C-37
600	5S	600-2016-GA-S	C-100	600-2002-GA-S	74	9.5	V	94	10.4	14.9	Gas procés	Llana de Roca	130	No	Si	08-C-39
150	5S	150-2017-GA-S	600-2016-GA-S	CO2 ABSORTION	72	9.5	V	92	10.4	14.9	Gas procés	Llana de Roca	80	No	Si	08-C-40
200	10S	200-2018-ST-S	VAP	E-101	220	17.0	V	240	18.7	26.7	Aigua	Llana de Roca	120	No	No	04-D-45
65	10S	65-2019-CN-S	E-101	COND	207	17.0	L	227	18.7	26.7	Aigua	Llana de Roca	50	No	No	14-C-54
65	10S	32-2020-CN-S	E-102 A/B	COND	209	17.6	L	229	19.4	27.7	Aigua	Llana de Roca	40	No	No	14-C-55
90	10S	90-2021-ST-S	VAP	E-102 A/B	209	17.6	V	229	19.4	27.7	Aigua	Llana de Roca	60	No	No	04-D-45
450	80S	450-2022-CN-S	CT-100	COND	250	39.0	L	270	42.9	61.3	Aigua	Llana de Roca	140	No	No	14-C-54
600	5S	600-2023-ST-S	VAP	CT-100	120	1.0	V	140	1.1	1.5	Aigua	Llana de Roca	140	No	No	04-D-45
500	5S	500-2024-ST-S	R-100	FA-103	168	5.2	V	188	5.7	8.1	Aigua	Llana de Roca	1330	No	No	04-D-45
90	5S	90-2025-CN-S	FA-103	R-100	160	5.2	L	180	5.7	8.1	Aigua	Llana de Roca	110	No	No	14-C-57
90	5S	90-2026-CN-S	COND	FA-103	158	4.9	L	178	5.4	7.7	Aigua	Llana de Roca	110	No	No	14-C-58

Continuació Taula 4.4 Llistat de canonades P&amp;ID 1001 i 1002.

DN mm	SCH	Identificació	Extrems de línia		Operació			Disseny			Fluid principal	Aïllant		Tracejat	Perillós	Codi de pintura de seguretat
			de	a	Temp. (°C)	Press. (barg)	Fase	Temp. (°C)	Press. (barg)	Prova hidràulica (barg)		Material	Espessor (mm)			
500	5S	500-2027-ST-S	FA-103	VAP	164	4.9	V	184	5.4	7.7	Aigua	Llana de Roca	130	No	No	04-D-45
750	5S	750-2028-GA-S	750-2013-GA-S	E-103	132	9.3	V	152	10.2	14.6	Gas procés	Llana de Roca	150	No	Si	08-C-35
600	5S	600-2029-GA-S	E-103	DA-100	73	9.3	V	93	10.2	14.6	Gas procés	Llana de Roca	130	No	Si	08-C-35
750	5S	750-2030-GA-S	DA-100	FA-101	39	6.3	V	39	7.0	10.0	Gas procés	No	-	No	No	08-C-35
125	5S	125-2031-AW-S	DA-K-418	DA-100	40	6.3	V	40	7.0	10.0	Àcid acètic	No	-	No	Si	22-D-45
300	5S	300-2032-AW-S	DA-100	200-2033-AW-S	60	6.7	V	80	7.4	10.5	ÀA-A-AE	Llana de Roca	100	No	Si	22-D-45
200	5S	200-2033-AW-S	300-2032-AW-S	FA-104	40	6.7	V	40	7.4	10.5	ÀA-A-AE	No	-	No	Si	22-D-46
150	5S	150-2034-AW-S	300-2032-AW-S	P-100 A/B	40	6.7	V	40	7.4	10.5	ÀA-A-AE	No	-	No	Si	22-D-47
125	5S	125-2035-AW-S	P-100 A/B	DA-100	40	6.9	V	40	7.5	10.8	ÀA-A-AE	No	-	No	No	22-D-48
90	5S	90-2036-GA-S	EA-K-231	DA-100	60	6.7	V	60	7.4	10.5	Gas procés	Llana de Roca	60	No	No	22-D-45
200	5S	250-2037-AW-S	FA-104	P-101 A/B	40	0.1	V	40	0.1	0.1	ÀA-A-AE	No	-	No	No	22-D-48
250	5S	200-2038-AW-S	P-101 A/B	EA-K-417	40	6.0	V	40	6.6	9.4	ÀA-A-AE	No	-	No	No	22-D-49
300	5S	300-2039-CW-S	CWR	CW	60	5.9	V	60	6.5	9.2	Aigua	No	-	No	No	14-C-53
350	5S	350-2040-CW-S	CWR	CW	60	5.9	V	60	6.5	9.2	Aigua	No	-	No	No	14-C-55

Taula 4.5 Llistat de canonades PI&amp;D Absorbidor d'àcid acètic

Llistat de línies			P&ID 2001													
DN mm	SCH	Identificació	Extrems de línia		Operació			Diseny			Fluid principal	Aïllant		Tracejat	Perillós	Codi de pintura de seguretat
			de	a	Temp. (°C)	Press. (barg)	Fase	Temp. (°C)	Press. (barg)	Prova hidràulica (barg)		Material	Espessor (mm)			
200	5S	200-3001-GA-S	C-100	E-201	78	9.44	Gas	98	10.48	14.99	FP + Àcid acètic	Llana de Roca	80	No	Si	22-D-45
200	5S	200-3002-GA-S	E-201	DA-201	50	9.44	Gas	50	10.48	14.99	FP + Àcid acètic	No	-	No	Si	22-D-45
25	5S	25-3003-DW-S	DW Tank	P-201A/B	25	1.00	Líquid	25	1.10	1.57	Aigua D.	No	-	No	No	14-C-53
25	10S	25-3004-DW-S	P-201A	25-3005-DW-S	26	9.23	Líquid	26	10.25	14.66	Aigua D.	No	-	No	No	14-C-53
25	10S	25-3005-DW-S	P-201B	E-202	26	9.23	Líquid	26	10.25	14.66	Aigua D.	No	-	No	No	14-C-53
25	10S	25-3006-DW-S	E-202	DA-201	50	9.23	Líquid	50	10.25	14.66	Aigua D.	No	-	No	No	14-C-53
200	5S	200-3007-GC-S	DA-201	E-203	47	9.23	Gas	47	10.25	14.66	FP + CO <sub>2</sub>	No	-	No	Si	08-C-35
25	10S	25-3008-AW-S	DA-201	Crude Tank	46	9.44	Líquid	46	10.48	14.66	Aigua + Àcid acètic	No	-	No	Si	22-D-45
40	10S	40-3100-GC-S	DA-201	Torcha	47	9.23	Gas	47	10.48	14.66	FP + CO <sub>2</sub>	No	-	No	Si	08-C-35
65	5S	65-3201-CW-S	Torre CW	E-201	28	5.87	Líquid	28	6.55	9.37	Aigua de Torre	No	-	No	No	14-C-53
65	5S	65-3202-CW-S	E-201	Torre CW	38	5.87	Líquid	38	6.55	9.37	Aigua de Torre	No	-	No	No	14-C-53
25	10S	25-3203-CW-S	Torre CW	E-202	28	5.87	Líquid	28	6.55	9.37	Aigua de Torre	No	-	No	No	14-C-53
25	10S	25-3204-CW-S	E-202	Torre CW	38	5.87	Líquid	38	6.55	9.37	Aigua de Torre	No	-	No	No	14-C-53

Taula 4.6 Llistat de canonades PI&D Absorbidor i Desabsorbidor de CO<sub>2</sub>

Llistat de línies			P&ID 2002													
DN mm	SCH	Identificació	Extrems de línia		Operació			Diseny			Fluid principal	Aïllant		Tracejat	Perillós	Codi de pintura de seguretat
			de	a	Temp. (°C)	Press. (barg)	Fase	Temp. (°C)	Press. (barg)	Prova hidràulica (barg)		Material	Espessor (mm)			
200	5S	200-3007-GC-S	DA-201	E-203	47	8.97	Gas	47	10.00	14.30	FP + CO <sub>2</sub>	No	-	No	Si	08-C-35
200	5S	200-3009-GC-S	E-203	DA-202	97	8.97	Gas	117	10.00	14.30	FP + CO <sub>2</sub>	Llana de Roca	100	No	Si	08-C-35
150	5S	150-3010-KM-S	P-202	DA-202	108	8.97	Líquid	128	10.00	14.30	Dissolució K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Llana de Roca	80	No	No	22-D-45
200	5S	200-3012-FP-S	DA-202	E-203	109	8.76	Gas	129	9.76	13.96	FP	Llana de Roca	100	No	Si	08-C-35
200	5S	200-3013-FP-S	E-203	E-204	93	8.76	G/L	113	9.76	13.96	FP	Llana de Roca	100	No	Si	08-C-35
200	5S	200-3014-FP-S	E-204	FA-201	40	8.76	G/L	40	9.76	13.96	FP	No	-	No	Si	08-C-35
200	5S	200-3015-FP-S	FA-201	C-100	40	8.51	Gas	40	9.36	13.38	FP	No	-	No	Si	08-C-35
25	10S	25-3016-WT-S	FA-201	150-3017-KC-S	40	8.51	Líquid	40	9.36	13.38	Aigua	No	-	No	No	14-C-53
150	5S	150-3017-KC-S	DA-202	DA-203	109	8.97	Líquid	129	10.00	14.30	Dissolució KHCO <sub>3</sub>	Llana de Roca	80	No	No	22-D-45
32	10S	32-3019-WT-S	K-436	E-205	130	12.17	Líquid	150	13.49	19.29	Aigua	Llana de Roca	60	No	No	14-C-53
32	10S	32-3020-CN-S	E-205	DA-203	95	12.17	Líquid	115	13.49	19.29	Aigua	Llana de Roca	60	No	No	14-C-53
200	5S	200-3021-KM-S	DA-203	P-202	109	0.27	Líquid	129	0.39	0.56	Dissolució K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Llana de Roca	80	No	No	22-D-45
450	5S	450-3022-AI-S	DA-203	K-202	99	0.06	Gas	119	0.17	0.24	CO <sub>2</sub>	Llana de Roca	120	No	No	20-E-51

Continuació Taula 4.6 Llistat de canonades PI&amp;D Absorbidor i Desabsorbidor de CO2

DN mm	SCH	Identificació	Extrems de línia		Operació			Disseny			Fluid principal	Aïllant		Tracejat	Perillós	Codi de pintura de seguretat
			de	a	Temp. (°C)	Press. (barg)	Fase	Temp. (°C)	Press. (barg)	Prova hidràulica (barg)		Material	Espessor (mm)			
80	5S	80-3023-AI-S	450-3022-AI-S	ATM	99	0.06	Gas	119	0.17	0.24	Aigua + CO <sub>2</sub>	Llana de Roca	120	No	No	20-E-51
25	5S	25-3024-AI-S	Torre CW	K-202	28	5.87	Líquid	28	6.55	9.37	Aigua de Torre	No	-	No	No	14-C-53
450	5S	450-3025-AI-S	K-202	ATM	99	0.06	Gas	119	0.17	0.24	Aigua + CO <sub>2</sub>	Llana de Roca	120	No	No	20-E-51
200	5S	200-3026-KM-S	DA-203	E-206	106	0.26	Líquid	126	0.39	0.56	Dissolució K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Llana de Roca	100	No	No	22-D-45
400	5S	400-3027-KM-S	E-206	DA-203	109	0.20	Gas	129	0.32	0.46	Dissolució K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Llana de Roca	120	No	No	22-D-45
200	5S	200-3028-KM-S	E-206	DA-203	109	0.20	Líquid	129	0.32	0.46	Dissolució K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Llana de Roca	100	No	No	22-D-45
65	5S	65-3205-CW-S	Torre CW	E-205	28	5.87	Líquid	28	6.55	9.37	Aigua de Torre	No	-	No	No	14-C-53
65	5S	65-3206-CW-S	E-205	Torre CW	38	5.87	Líquid	38	6.55	9.37	Aigua de Torre	No	-	No	No	14-C-53
250	5S	250-3207-ST-S	Vapor	E-206	160	5	Gas	180	5.6	8.01	Vapor d'aigua	Llana de Roca	120	No	No	04-D-45
25	5S	25-3208-ST-S	250-3207-ST-S	TRP 200	160	5	Gas	180	5.6	8.01	Vapor d'aigua	Llana de Roca	60	No	No	04-D-45
25	5S	25-3209-CN-S	TRP 200	25-3210-CN-S	157	5	Líquid	177	5.6	8.01	Condensat de vapor	Llana de Roca	60	No	No	14-C-53
40	10S	25-3210-CN-S	E-206	Condensat	157	5	Líquid	177	5.6	8.01	Condensat de vapor	Llana de Roca	80	No	No	14-C-53
125	5S	125-3211-CW-S	Torre CW	E-204	28	5.87	Líquid	28	6.55	9.37	Aigua de Torre	No	-	No	No	14-C-53
125	5S	125-3211-CW-S	E-204	Torre CW	38	5.87	Líquid	38	6.55	9.37	Aigua de Torre	No	-	No	No	14-C-53

### 4.2.3. Disseny de la instrumentació i control

#### 4.2.3.1. Llistat de la instrumentació

Taula 4.7 Llistat d'instruments en el P&amp;ID 1001 i 1002.

Identificació	P&ID	Descripció de l'instrument	Tipus de senyal	Productes	Línia o equip
PI-1021	1002	Indicador de pressió	Anàloga	Cru	200-2038-AW-S
PI-1022	1001	Indicador de pressió	Anàloga	Gas procés	750-2015-GA-S
PI-1023	1001	Indicador de pressió	Anàloga	Gas procés	750-2015-GA-S
PI-1024	1001	Indicador de pressió	Anàloga	Gas procés	750-2015-GA-S
PI-1025	1001	Indicador de pressió	Anàloga	Gas procés	750-2015-GA-S
PI-1026	1001	Indicador de pressió	Anàloga	Gas procés	600-2016-GA-S
PI-1027	1001	Indicador de pressió	Anàloga	Vapor	600-2023-ST-S
PI-1028	1001	Indicador de pressió	Anàloga	Vapor	450-2022-CN-S
PI-1029	1001	Indicador de pressió	Anàloga	Vapor	500-2027-ST-S
SY-1001	1001	Selector de velocitat	Anàloga	Vapor	CT-100
SY-1002	1002	Selector de velocitat	Anàloga	-	M-102
SY-1003	1002	Selector de velocitat	Anàloga	-	M-100 B
SY-1004	1002	Selector de velocitat	Anàloga	-	M-100 A
TI-1001	1001	Indicador de temperatura	Anàloga	Gas procés	750-2004-GA-S
TI-1002	1001	Indicador de temperatura	Anàloga	Àcid acètic	125-2007-AW-S
TI-1003	1001	Indicador de temperatura	Anàloga	Gas procés	750-2010-GA-S
TI-1004	1001	Indicador de temperatura	Anàloga	Gas procés	750-2010-GA-S
TI-1005	1001	Indicador de temperatura	Anàloga	Vapor	500-2024-ST-S
TI-1005	1001	Indicador de temperatura	Anàloga	Aigua	90-2025-CN-S
TI-1006	1001	Indicador de temperatura	Anàloga	Gas procés	750-2010-GA-S
TI-1007	1001	Indicador de temperatura	Anàloga	Gas procés	750-2013-GA-S
TI-1008	1002	Indicador de temperatura	Anàloga	Gas procés	600-2029-GA-S
TI-1009	1002	Indicador de temperatura	Anàloga	Líquid columna	DA-100
TI-1010	1002	Indicador de temperatura	Anàloga	Líquid columna	200-2033-AW-S
TI-1012	1002	Indicador de temperatura	Anàloga	Líquid columna	125-2031-AW-S
TI-1013	1002	Indicador de temperatura	Anàloga	Líquid columna	200-2033-AW-S
TI-1014	1001	Indicador de temperatura	Anàloga	Gas procés	750-2015-GA-S
TI-1015	1001	Indicador de temperatura	Anàloga	Gas procés	750-2015-GA-S
TI-1016	1001	Indicador de temperatura	Anàloga	Gas procés	600-2016-GA-S
TI-1017	1001	Indicador de temperatura	Anàloga	Vapor	600-2023-ST-S
TI-1018	1001	Indicador de temperatura	Anàloga	Vapor	450-2022-CN-S
VSD-1002	1002	Controlador de velocitat	Anàloga	-	M-102
VSD-1003	1002	Controlador de velocitat	Anàloga	-	M-100 B
VSD-1004	1002	Controlador de velocitat	Anàloga	-	M-100 A
XY-1001	1001	Indicador d'estat	Digital	Vapor	CT-100
XY-1002	1002	Indicador d'estat	Digital	-	M-102
XY-1003	1002	Indicador d'estat	Digital	-	M-100 B
XY-1004	1002	Indicador d'estat	Digital	-	M-100 A

Continuació Taula 4.7 Llistat d'instruments en el P&amp;ID 1001 i 1002.

Identificació	P&ID	Descripció de l'instrument	Tipus de senyal	Productes	Línia o equip
FI-1001	1001	Indicador de cabal	Anàloga	Gas procés	600-2002-GA-S
FI-1002	1001	Indicador de cabal	Anàloga	Àcid acètic	200-2006-AW-S
FI-1003	1001	Indicador de cabal	Anàloga	Àcid acètic	80-2005-AW-S
FI-1004	1002	Indicador de cabal	Anàloga	Líquid columna	125-2035-AW-S
FI-1005	1002	Indicador de cabal	Anàloga	Líquid columna	125-2035-AW-S
FI-1006	1002	Indicador de cabal	Anàloga	Cru	200-2038-AW-S
FI-1007	1002	Indicador de cabal	Anàloga	Cru	200-2038-AW-S
FI-1008	1001	Indicador de cabal	Anàloga	Gas procés	150-2017-GA-S
FI-1009	1001	Indicador de cabal	Anàloga	Àcid acètic	65-2008-AW-S
FI-1010	1002	Indicador de cabal	Anàloga	Cru	200-2038-AW-S
FI-1011	1001	Indicador de cabal	Anàloga	Gas procés	750-2015-GA-S
FI-1012	1001	Indicador de cabal	Anàloga	Vapor	200-2018-ST-S
FI-1014	1002	Indicador de cabal	Anàloga	Àcid acètic	125-2031-AW-S
JT-1001	1002	Indicador de potència	Anàloga	-	M-102
JT-1002	1002	Indicador de potència	Anàloga	-	M-100 B
JT-1003	1002	Indicador de potència	Anàloga	-	M-100 A
LI-1001	1001	Indicador de nivell	Anàloga	Àcid acètic	FA-100
LI-1002	1001	Indicador de nivell	Anàloga	Vapor	FA-103
LI-1003	1002	Indicador de nivell	Anàloga	Líquid columna	DA-100
LI-1004	1002	Indicador de nivell	Anàloga	Cru	FA-104
LI-1005	1001	Indicador de nivell	Anàloga	Gas procés	FA-101
PDI-1001	1001	Diferencial de pressió	Anàloga	Gas procés	750-2010-GA-S
PDI-1002	1002	Diferencial de pressió	Anàloga	Gas procés	DA-100
PDI-1003	1001	Diferencial de pressió	Anàloga	Gas procés	750-2015-GA-S
PI-1001	1001	Indicador de pressió	Anàloga	Vapor	E-100X
PI-1002	1001	Indicador de pressió	Anàloga	Gas procés	750-2004-GA-S
PI-1003	1001	Indicador de pressió	Anàloga	Àcid acètic	FA-100
PI-1004	1001	Indicador de pressió	Anàloga	Àcid acètic	200-2006-AW-S
PI-1005	1001	Indicador de pressió	Anàloga	Vapor	90-2021-ST-S
PI-1006	1001	Indicador de pressió	Anàloga	Vapor	90-2021-ST-S
PI-1007	1001	Indicador de pressió	Anàloga	Gas procés	550-2009-GA-S
PI-1008	1001	Indicador de pressió	Anàloga	Gas procés	550-2009-GA-S
PI-1009	1001	Indicador de pressió	Anàloga	Gas procés	750-2010-GA-S
PI-1010	1001	Indicador de pressió	Anàloga	Gas procés	R-100
PI-1011	1001	Indicador de pressió	Anàloga	Aigua	FA-103
PI-1012	1001	Indicador de pressió	Anàloga	Vapor	FA-103
PI-1013	1001	Indicador de pressió	Anàloga	Gas procés	750-2010-GA-S
PI-1014	1002	Indicador de pressió	Anàloga	Gas procés	750-2028-GA-S
PI-1015	1002	Indicador de pressió	Anàloga	Gas procés	600-2029-GA-S
PI-1016	1002	Indicador de pressió	Anàloga	Gas recicle	750-2030-GA-S
PI-1017	1002	Indicador de pressió	Anàloga	Líquid columna	125-2035-AW-S
PI-1018	1002	Indicador de pressió	Anàloga	Líquid columna	125-2035-AW-S
PI-1019	1002	Indicador de pressió	Anàloga	Cru	FA-104
PI-1020	1002	Indicador de pressió	Anàloga	Cru	200-2038-AW-S

Taula 4.8 Llistat d'instruments

Identificació	P&ID	Descripció de l'instrument	Tipus de senyal	Productes	Línia o equip
FI-3001	2001	Indicador de cabal	Analògica	Fluid de Procés + Àcid acètic + CO <sub>2</sub>	200-3002-GA-S
TI-3002	2001	Indicador de temperatura	Analògica	Fluid de Procés + Àcid acètic + CO <sub>2</sub>	200-3002-GA-S
LI-3003	2001	Indicador de nivell	Analògica	Fluid de Procés + Àcid acètic + Aigua D. + CO <sub>2</sub>	DA-201
DPT-3004	2001	Diferencial de pressió	Analògica	Fluid de Procés + Àcid acètic + Aigua D. + CO <sub>2</sub>	DA-201
TI-3007	2001	Indicador de temperatura	Analògica	Aigua Desmineralitzada	25-3006-DW-S
PI-3008	2001	Indicador de pressió	Analògica	Fluid de Procés + CO <sub>2</sub>	40-3100-GC-S
TI-3009	2001	Indicador de temperatura	Analògica	Fluid de Procés + CO <sub>2</sub>	40-3100-GC-S
FRA-3010	2002	Analitzador i registrador de cabal	Analògica	Fluid de Procés + CO <sub>2</sub>	200-3009-GC-S
TI-3011	2002	Indicador de temperatura	Analògica	Fluid de Procés + CO <sub>2</sub>	200-3009-GC-S
TI-3012	2002	Indicador de temperatura	Analògica	FP + CO <sub>2</sub> + Dissolució K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> + H <sub>2</sub> O	DA-202
TI-3013	2002	Indicador de temperatura	Analògica	FP + CO <sub>2</sub> + Dissolució K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> + H <sub>2</sub> O	DA-202
DPT-3014	2002	Diferencial de pressió	Analògica	FP + CO <sub>2</sub> + Dissolució K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> + H <sub>2</sub> O	DA-202
LI-3015	2002	Indicador de nivell	Analògica	FP + CO <sub>2</sub> + Dissolució K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> + H <sub>2</sub> O	DA-202
TI-3016	2002	Indicador de temperatura	Analògica	FP + CO <sub>2</sub> + Dissolució K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> + H <sub>2</sub> O	200-3012-GN-S
TI-3017	2002	Indicador de temperatura	Analògica	FP + CO <sub>2</sub> + Dissolució K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> + H <sub>2</sub> O	200-3013-GN-S
TI-3018	2002	Indicador de temperatura	Analògica	FP + CO <sub>2</sub> + Dissolució K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> + H <sub>2</sub> O	200-3014-GN-S
LI-3019	2002	Indicador de nivell	Analògica	FP + CO <sub>2</sub> + Dissolució K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> + H <sub>2</sub> O	FA-201
FRA-3020	2002	Analitzador i registrador de cabal	Analògica	Dissolució KHCO <sub>3</sub>	150-3010-KM-S
PI-3021	2002	Indicador de pressió	Analògica	Anti-escumogen	25-3330-AF-S
FRA-3022	2002	Analitzador i registrador de cabal	Analògica	Anti-escumogen	25-3330-AF-S
DPT-3023	2002	Diferencial de pressió	Analògica	CO <sub>2</sub> + Dissolució K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> + H <sub>2</sub> O	DA-3023
TI-3024	2002	Indicador de temperatura	Analògica	CO <sub>2</sub> + Dissolució K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> + H <sub>2</sub> O	DA-3023
LI-3025	2002	Indicador de nivell	Analògica	CO <sub>2</sub> + Dissolució K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> + H <sub>2</sub> O	DA-3023
TI-3026	2002	Indicador de temperatura	Analògica	Dissolució K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	200-3026-KM-S
PI-3027	2002	Indicador de pressió	Analògica	Vapor d'aigua	250-3207-ST-S
TI-3028	2002	Indicador de temperatura	Analògica	Vapor d'aigua	250-3207-ST-S
PI-3029	2002	Indicador de pressió	Analògica	CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O	450-3022-AI-S
TI-3030	2002	Indicador de temperatura	Analògica	CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O	80-3023-AI-S
FR-3031	2002	Registrador de cabal	Analògica	Vapor d'aigua	250-3207-ST-S
PI-3032	2002	Indicador de pressió	Analògica	FP + CO <sub>2</sub> + Dissolució K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> + H <sub>2</sub> O	FA-201
PI-5003	2001	Indicador de pressió	Analògica	Dissolució K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	25-3005-DW-S
FI-5004	2001	Indicador de cabal	Analògica	Dissolució K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	25-3005-DW-S
XY-5001 / XY-5005	2001	Indicador d'estat	Digital	Dissolució K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	VSD - P-201 A/B
JT-5001 / JT-5005	2001	Indicador de velocitat	Analògica	Dissolució K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	VSD - P-201 A/B
SY-5001 / SY-5005	2001	Variador de potència	Analògica	Dissolució K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	VSD - P-201 A/B
PI-5008	2001	Indicador de pressió	Analògica	Dissolució K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	25-3005-DW-S
FI-5008	2001	Indicador de cabal	Analògica	Dissolució K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	25-3005-DW-S
FI-5009	2002	Indicador de cabal	Analògica	Dissolució K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	150-3010-KM-S
PI-5010	2002	Indicador de pressió	Analògica	Dissolució K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	150-3010-KM-S
XY-5012 / XY-5011	2002	Indicador d'estat	Digital	Dissolució K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	VSD - P-202 A/B
JT-5012 / JT-5011	2002	Indicador de velocitat	Analògica	Dissolució K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	VSD - P-202 A/B
SY-5012 / SY-5011	2002	Variador de potència	Analògica	Dissolució K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	VSD - P-202 A/B
PI-5013	2002	Indicador de pressió	Analògica	Dissolució K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	150-3010-KM-S
FI-5014	2002	Indicador de cabal	Analògica	Dissolució K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	150-3010-KM-S

#### 4.2.3.2. Disseny de les vàlvules de control

Les vàlvules de control són l'element més important per a una correcta operació en una planta química. De igual manera, és necessari un bon disseny per assegurar un bon funcionament al menor cost possible i d'alta fiabilitat i durabilitat. El mètode que s'ha utilitzat ha estat descrit per *EMERSON Handbook* (Ref. 8), per seguir en més detall els càlculs realitzats veure l'annex A.9. El catàleg de vàlvules que s'ha revisat pertany al distribuïdor FISHER, concretament les sèries GX, que són vàlvules de globus (Ref. 9). S'han escollit les GX perquè inclou vàlvula de control i sistema actuator accionat per aire comprimit com és el cas de la planta i el seu cost de compra i manteniment són baixos. De totes formes, com el producte pot polimeritzar, aquesta vàlvula és l'adequada per eliminar punts morts.

Pel disseny de la vàlvula s'ha escollit una amb el diàmetre immediatament inferior a la canonada que està lligada. A part també s'ha comprovat que en cap moment s'arribi a una situació d'estanqueïtat del flux. En la següent taula es troben les característiques més importants de les vàlvules de control.

Taula 4.9 Característiques de les vàlvules de control.

Paràmetre	CV-1022	CV-321
Diàmetre (mm)	150.0	150.0
Pressió d'operació (bara)	7.0	10.0
Pèrdua de càrrega (bara)	0.7	1.0
Cabal d'operació (m <sup>3</sup> /h)	198.1	147.0
Kv d'operació (m <sup>3</sup> /h)	368	338
Percentatge d'obertura (%)	63	63
Material	SA 316Ti	SA 316Ti
Pèrdua de càrrega màxima per <i>choked flow</i> (bara)	2.3	4.4

Per mirar en detall el full d'especificacions de les vàlvules veure l'apartat 12, Figura 12.11 i Figura 12.31.

#### 4.2.3.3. Disseny de les plaques d'orifici

La placa d'orifici és un dispositiu que permet mesurar el cabal d'un fluid que passa per una canonada. El dimensionament de la placa d'orifici dels mesuradors de cabal s'ha obtingut a partir del llibre d'instrumentació industrial (Ref. 10). El procediment de càlcul es troba a l'annex A.15.

A continuació en la Taula 4.10 és mostren les dimensions de les plaques d'orifici calculades.

Taula 4.10 Resultats del dimensionament de les plaques d'orifici.

Paràmetre	FI-1010	FRA-3020
Diàmetre de l'orifici (mm)	114.4	105.8
dP permesa (bar)	0.25	0.25

Per mirar en detall el full d'especificacions de les vàlvules veure l'apartat 12, Figura 12.12 i Figura 12.30.

### 4.3. Estratègia de control

Per a que la planta d'acetat de vinil funcioni de forma correcta, òptima i automàtica s'ha dissenyat una estratègia de control que prioritzi els següents objectius:

- Producció de VAM de forma econòmicament segura.
- Minimitzar els impactes a l'atmosfera.
- Maximitzar la producció de VAM.
- Minimitzar les pèrdues de la matèria prima.
- Minimitzar els costos d'operació.

La majoria d'estratègies de control s'han extret de la següent referència (Ref. 11).

#### 4.3.1. Control del compressor C-100 per accionament de turbina

El compressor és accionat per una turbina de vapor. En aquest cas, al ser un sistema de velocitat no variable a través de la freqüència subministrada, es disposa d'una vàlvula reguladora en l'entrada del vapor. La velocitat s'ajusta enviant a la sortida del controlador de cabal un punt de consigna d'un controlador de velocitat a través d'un *governor*, és a dir, un control en cascada entre el controlador de cabal i el de velocitat. El mesurador de cabal FI-1001 també té una funció de seguretat que a un cert valor salta el sistema d'enclavament connectat a la vàlvula automàtica que subministra oxigen a la part superior del procés.

En el cas que hi hagi una disminució de cabal a la aspiració del compressor i perillar amb una situació de flux invertit, a causa de que la pressió d'impulsió sigui més baixa a la del circuit de descàrrega, s'ha implementat un sistema de seguretat on la vàlvula reguladora situada en el recicle entre l'aspiració i la impulsió assegurí el cabal mínim.

Finalment, s'ha dissenyat un sistema d'enclavament amb una vàlvula automàtica a l'entrada del vapor a la turbina si es compleixen un seguit de situacions.

Es disposa d'una vàlvula de seguretat en la impulsió del gas i en el corrent de sortida de la turbina en cas de que el sistema de control fallés.

Tipus de controlador:

El sistema que s'ha de controlar implica diverses funcions de control i seguretat, que necessiten una resposta ràpida, per a que no s'aturi el procés. Al ser un equip crític, la precisió del controlador ha de ser molt alta, per tant, el controlador ha de ser tipus PID.

#### 4.3.2. Control bescanviadors E-100 A/B i E-100X

El sistema de pre-escalfament de la mescla de gasos està dissenyat amb una bifurcació de corrents controlats per vàlvules complementaries de papallona. La variable que es controlada és la temperatura del corrent posterior al primer refredament del fluid del reactor. En l'arrancada, al no disposar del calor generat pel reactor és necessari un pre-escalfament amb vapor, per tant, s'acciona la vàlvula del bescanviador E-100X obrint i la complementària del bescanviador E-100 A/B tanca. En estat estacionari la vàlvula oberta és la del bescanviador E-100 A/B però si hi hagués una gran pertorbació en la temperatura objectiu la vàlvula complementaria obriria.

Pel control del vapor en el bescanviador E-100X es disposa d'una vàlvula controladora en el corrent d'entrada del vapor per controlar el cabal segons la temperatura d'entrada al següent bescanviador termosifó E-101. El sistema de control del vapor en el termosifó és el mateix que l'anterior bescanviador.

Tipus de controlador:

En els bescanviadors només s'aplica control a l'arrancada del procés o en situacions imprevistes. En aquest cas, la resposta ha de ser ràpida per no perdre massa producte fora

d'especificació però no es necessita una alta precisió perquè el rang de temperatures és bastant alt entre canviar d'un bescanviador a un altre, per tant, s'utilitza un P.

#### 4.3.3. Control vaporitzador FA-101

L'estratègia de control que s'ha escollit en el vaporitzador FA-101 es centra en el nivell del recipient. Per a mantenir un nivell estable s'ha implementat una vàlvula controladora en el cabal que ingressa al FA-101 segons el nivell. També es controla el cabal que es purga del fons per mitjà d'una vàlvula reguladora. L'àcid acètic de recicle també es controla el cabal que hi circula amb una vàlvula controladora i si passa d'un cabal específic s'activa el sistema d'enclavament connectat a la vàlvula automàtica que subministra oxigen a la part superior del procés.

Tipus de controlador:

El nivell d'un tanc és una variable que s'ha de mesurar amb precisió però no implica que es necessiti una resposta ràpida ja que hi ha bastant de temps per maniobrar. En aquest cas, s'utilitza un controlador PI.

#### 4.3.4. Control bescanviador E-102 A/B

El sistema de control està centrat en el vapor que ingressa per carcassa en el bescanviador. Es disposa d'una vàlvula reguladora en el corrent d'entrada al bescanviador per variar la quantitat de vapor que es necessita per assolir la temperatura objectiu en la zona posterior de la mescla amb oxigen.

Tipus de controlador:

En aquesta variable implica funcions de seguretat i control que requereixen altes capacitats de resposta i precisió. S'utilitza un PID.

#### 4.3.5. Control caldera FA-103

En la caldera FA-103 es controla el nivell de l'aigua de refrigeració a través d'una vàlvula reguladora de cabal en el mateix corrent.

Per a controlar la pressió del recipient s'ha implementat una vàlvula controladora en la sortida del vapor generat que agafa com a variable controlada la pressió en el corrent.

Es disposa d'una vàlvula de seguretat en el recipient en cas de que el sistema de control fallés.

Tipus de controlador:

En aquesta variable implica funcions de seguretat i control que requereixen altes capacitats de resposta i precisió, per a evitar que salti qualsevol PSV, ja que el líquid a vapor augmenta exponencialment la pressió del recipient. S'utilitza un PID.

#### 4.3.6. Control aerorefrigerant E-103

Es controla la temperatura anterior a l'entrada de la columna DA-100 amb un llaç de control connectat al motor dels ventiladors. S'utilitza un control en cascada amb el variador de velocitat i el controlador de temperatura.

Tipus de controlador:

Al ser un aerorefrigerant es necessita una resposta ràpida ja que variar una velocitat de motor a altes freqüències és costós de temps. Per variar les revolucions d'un motor no es necessita una gran precisió, per tant, s'ha escollit un controlador P.

#### 4.3.7. Control fons Scrubber DA-100

La variable que s'ha escollit per controlar en la columna DA-100 és el nivell en el fons. Per fer-ho s'ha afegit una vàlvula reguladora al cabal de sortida del fons.

Tipus de controlador:

El nivell d'un tanc és una variable que s'ha de mesurar amb precisió però no implica que es necessiti una resposta ràpida ja que hi ha bastant de temps per maniobrar. En aquest cas, s'utilitza un controlador PI.

#### 4.3.8. Control bescanviador E-104 i E-105

En els bescanviadors E-104 i E-105 es fa passar aigua de refrigeració a temperatura ambient. Per controlar la temperatura de sortida dels bescanviadors s'han afegit vàlvules reguladores en el corrent d'entrada de l'aigua.

Tipus de controlador:

Per assegurar el producte en especificacions s'ha escollit un controlador PID que respon al moment de qualsevol pertorbació en el sistema de forma ràpida.

#### 4.3.9. Control bombes P-100 A/B, P-201 A/B i P-202 A/B

En les bombes del procés es controlen dues variables: la pressió a la impulsió i el cabal mínim. En el primer cas, es disposa d'un transmissor de pressió a la impulsió de la bomba per a quan detecti una fluctuació modifiqui la potència de la bomba a través de la freqüència assignada. Pel segon cas s'ha dissenyat un mètode de recirculació amb una vàlvula reguladora. El transmissor de cabal s'encarrega d'enviar la senyal de baix cabal a la impulsió.

Tipus de controlador:

Al implicar una funció de control i d'enclavament de la bomba, com a equip crític, s'ha optat per implantar un controlador PID per a reaccionar de la forma més eficient i evitar la parada.

#### 4.3.10. Control alimentació superior Scrubber DA-100

Es controla el cabal d'alimentació de l'àcid acètic amb una vàlvula controladora .

Tipus de controlador:

Aquest sistema implica el control d'especificació de producte i la diferència de temperatures de la columna. Al ser una funció crítica, s'utilitza un PID.

#### 4.3.11. Control tanc FA-104

Es controla el nivell del tanc amb una vàlvula reguladora. En aquest cas, no s'ha posat variador de velocitat a les bombes pel fet de poder dimensionar una vàlvula de control a la seva sortida, encara que aquest mètode és més antic i menys òptim.

Es disposa d'una vàlvula de seguretat en el recipient en cas de que el sistema de control fallés.

Tipus de controlador:

El nivell d'un tanc és una variable que s'ha de mesurar amb precisió però no implica que es necessiti una resposta ràpida ja que hi ha bastant de temps per maniobrar. En aquest cas, s'utilitza un controlador PI.

#### 4.3.12. Control de l'alimentació d'oxigen

A part de les dues funcions de seguretat de "cut off" de subministrament d'oxigen que anteriorment s'han descrit, també influeix l'indicador de pressió PI-1009. És una altre variable que al depassar d'un cert valor s'activa una funció d'enclavament del sistema on talla amb la vàlvula ABV-1001 l'entrada de l'oxigen.

Tipus de control:

Al ser una funció d'enclavament SIL 3 és necessari un PID per garantir una resposta ràpida i precisa.

#### **4.3.13. Estratègia de control de la columna DA-201**

L'estratègia de control d'aquestes dues columnes ha estat pensada en conjunt i s'ha realitzat a partir del llibre de control (Ref. 11).

Les variables a considerar i controlar en el procés per afavorir la transferència de massa entre el corrent gasos i el corrent líquid, són la pressió de la columna en tota la seva longitud i la temperatura, això és degut al fet que la pressió de vapor dels components depenen únicament de la temperatura al llarg de la columna d'absorció. Les condicions més favorables, doncs, són mantenir la temperatura de l'absorbent tan baixa com sigui possible, però més alta que la de l'alimentació, i la pressió d'operació ha de ser mantinguda tan alta com sigui possible.

Per mantenir el balanç de matèria, els corrents ha controlar son el cabal d'absorbent (L) i el caudal de fons (B), sent (L) l'única variable manipulada necessària per controlar y i x, que són les concentracions del component absorbit a cap i fons de columna respectivament. També és important ressaltar que la relació L/V, on (V) és el caudal d'alimentació de gas amb el component a absorbir, és el principal terme a manipular quan s'utilitza el control feedforward, tenint en compte canvis per les variacions en la composició de l'alimentació, la relació L/V manté la concentració de y a cap.

##### **4.3.13.1. Control de la pressió a l'interior de la columna**

La pressió de la columna es controla mitjançant l'acció de la vàlvula CV-318 donant pas a purga, en funció del valor mesurat amb el indicador de pressió PI-3008 al cap de columna. També per determinar que el perfil de pressió dins de la columna és el correcte, es mesura mitjançant el sensor-transmissor DPT-3004. Essencialment es per identificar si la columna està inundada. En aquest cas, s'utilitza un controlador PID.

##### **4.3.13.2. Control de la concentració d'àcid acètic al corrent de cap de columna**

Per controlar la composició d'àcid acètic a la sortida per cap, s'ha utilitzat un sistema de control feedforward per controlar la relació L/V al set point fixat, per mitjà d'aquest sistema es modifica el cabal de l'absorbent amb la vàlvula CV-310 en funció del caudal de gas del corrent d'alimentació a l'absorbidor mesurat per la placa d'orifici FRA-3001. Al ser una funció crítica, s'utilitza un PID.

##### **4.3.13.3. Control de la temperatura del absorbent**

El sistema de control de la temperatura ha de mantenir la temperatura de l'absorbent per sobre o igual a la temperatura d'alimentació. Si disminueix la temperatura del corrent dos es mesurat pel sensor-transmissor TI-3002 i es disminuirà la temperatura del corrent de l'absorbent accionant la vàlvula CV-306 i manipulant el cabal que passa pel refrigerant E-202. Per assegurar el producte en especificacions s'ha escollit un controlador PID.

##### **4.3.13.4. Control del nivell de líquid al fons del absorbidor**

El indicador de nivell LT-3003 mesura per pressió diferencial el nivell de líquid existent al fons de la columna, si aquest nivell supera el set point es accionada la vàlvula CV-314 que permet el pas de líquid al tanc de cru. En aquest cas, s'utilitza un controlador PI.

#### **4.3.14. Estratègia de control de les columnes de la zona de captura de CO<sub>2</sub>**

La estratègia de control de les columnes ha estat pensada en conjunt i s'ha realitzat a partir del llibre de control (Ref. 11) i l'article realitzat per (Ref. 12).

##### **4.3.14.1. Absorbidor DA-202**

Les variables principals a controlar a l'absorbidor és la concentració de CO<sub>2</sub> de sortida i el nivell de fons. La pressió ve determinada per la pressió de vapor dels components per la

temperatura i es la del treball del sistema, per altra banda la temperatura es controla mitjançant el reboiler a la columna de desabsorció DA-203.

#### **4.3.14.2. Control de la concentració de CO<sub>2</sub> al corrent de cap de columna**

La variable més important en el sistema de captura de CO<sub>2</sub> és la taxa d'eliminació de CO<sub>2</sub> en la columna d'absorció, en el nostre cas és major a un 80%, aquesta es controla de manera similar a la concentració d'àcid acètic al corrent de cap de columna DA-301 descrit en l'apartat anterior, ja que tot i ser una columna amb reacció química si es controla la relació L/V també es manté la concentració de CO<sub>2</sub> a cap. El control es basa en modificar el caudal de l'absorbent amb la vàlvula CV-321 en funció del caudal de gas del corrent d'alimentació a l'absorbidor mesurat per la placa d'orifici FRA-3010. Al ser una funció crítica, s'utilitza un PID.

#### **4.3.14.3. Control del nivell de líquid al fons del absorbidor**

El nivell es controla de la mateixa manera que en la columna DA-201. Es mesura el nivell amb el indicador LI-3025 i es controla el nivell mitjançant l'accionament de la vàlvula CV-329 que dona pas al líquid. Degut a la possibilitat d'escapada de gasos cap a la columna DA-203 i en conseqüència a l'atmosfera, s'ha decidit utilitzar un PID.

#### **4.3.14.4. Desabsorbidor DA-203**

La variable important a controlar en el desabsorbidor és la concentració, però en aquest cas del corrent de fons de columna, de K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, ja que aquest determina el rendiment de la columna d'absorció.

#### **4.3.14.5. Control de la composició del solvent i temperatura**

La temperatura de fons de columna està altament relacionada amb la composició del solvent (Lin, Pan et al. 2011). La temperatura està fixada per tal d'aconseguir una composició del solvent constant, i es controlada mitjançant el reboiler E-206. La temperatura del fons de columna es mesura amb el indicador TI-3024 i es controlada mitjançant l'accionament de la vàlvula CV-341 que manipula el vapor que s'administra al reboiler. Al ser una funció crítica, s'utilitza un PID

#### **4.3.14.6. Control nivell de líquid al fons del desabsorbidor**

El nivell de la columna de desabsorció es controla mitjançant l'accionament de la vàlvula CV-337 que dona pas al condensat en funció del nivell mesurat pel indicador LI-3015 al fons de la columna. En aquest cas, s'utilitza un controlador PI.

#### **4.3.14.7. Control dels gasos al cap de columna**

La pressió es controla de la mateixa manera que en la columna DA-201. La pressió de la columna es controla mitjançant l'acció de la vàlvula CV-318 donant pas a atmosfera, en funció del valor mesurat en el indicador de pressió PI-3008 al cap de columna. S'ha decidit utilitzar un PI.

També s'ha instal·lat un equip per evitar el retrocés del diòxid de carboni, K-202.

#### **4.3.15. Control del Flash-201**

En aquest equip te la funció de separar la fase gas i la fase líquida que provenen del condensador E-204, és essencial controlar el nivell de l'equip ja que d'aquesta manera s'evitarà el pas dels gasos per la sortida per fons, i els gasos puguin anar a cap de columna DA-203 i en conseqüència a l'atmosfera. Per tant, s'ha instal·lat un indicador de nivell LI-3019 que mesura el nivell i es controla mitjançant l'acció de la vàlvula CV-325 donant pas al líquid.

#### 4.4. Disseny d'equips zona del reactor

El disseny d'equips en la zona de reacció es basa en les dades obtingudes de la simulació del reactor i el compressor amb els seus equips auxiliars en *Aspen Plus*. En alguns casos s'ha realitzat el disseny d'un equip amb càlculs tradicionals i posteriorment amb l'ajuda del simulador per comparar resultats. Si es vol consultar més detalls sobre els equips veure les fitxes tècniques en l'apartat 12, Figura 12.7 i Figura 12.8.

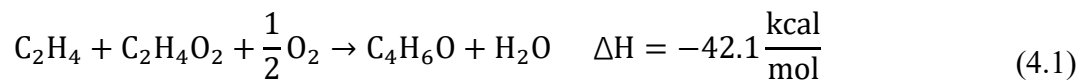
##### 4.4.1. Disseny del reactor

S'ha dissenyat un reactor per a produir 250000 t/any d'acetat de vinil on s'han definit les condicions de pressió, temperatura i fase dels reactius en base a la planta que ja existia en anterioritat i de la que s'està estudiant el *revamping*. S'ha justificat la cinètica escollida i s'ha optimitzat el volum del reactor i el del catalitzador utilitzat.

##### 4.4.1.1. Sistema de reacció

La reacció té lloc a un reactor PBR multi-tubular on entren una mescla de reactius, compostos per principalment etilè, àcid acètic, aire, aigua, diòxid de carboni i età. En les dades experimentals també s'hi podien observar traces de acetaldehid, acetat d'etil, diacetat d'etilè,... però només s'han considerat les reaccions més rellevants i per tant s'ha obviat. El sistema de reacció es pot dividir en la Reacció Principal (4.1) on s'aconsegueix l'acetat de vinil i la Reacció Secundària (4.2) on es produeix la combustió de l'etilè produint diòxid de carboni i aigua.

Reacció Principal:



Reacció Secundària:



La reacció es duu a terme en fase gas a una temperatura inferior a 200 °C i en una pressió d'entre 8 a 10 atm. Les altes temperatures ajuden en la conversió de la reacció però baixen la selectivitat, a part del fet que a temperatures superiors de 200 °C danyen el catalitzador. Com és una reacció exotèrmica el corrent de sortida té major temperatura que el d'entrada però s'ha d'intentar mantenir el màxim possible el reactor isotèrmic per no afectar a la producció. Per tant s'ha implementat un sistema de refrigeració connectat a una caldera de producció de vapor a mitjana pressió.

El percentatge d'etilè en la mescla d'entrada s'ha d'assegurar que sigui (3:1) molar en excés sobre l'àcid acètic segons un estudi cinètic de la reacció (Ref. 13) per assolir les condicions òptimes. Un altre factor molt important és mantenir per sota del 8% molar l'oxigen dissolt en la entrada del reactor per no arribar als límits d'explosió de la mescla.

##### 4.4.1.2. Cinètica de la reacció.

Inicialment només es va modelitzar la cinètica de la reacció de l'acetat de vinil en funció de les pressions parcials de l'etilè, l'oxigen i l'àcid acètic en catalitzadors de pal·ladi metàl·lic per Nakamura, 1970. Posteriorment Yasui, 1970, va postular una segona cinètica corresponent a la combustió de l'etilè en relació de les pressions parcials de l'etilè i l'oxigen amb el mateix tipus de catalitzador. Kunigi et al. van contribuir amb una altra cinètica lleugerament diferent a les dues anteriors però va arribar a resultats molt similars.

En aquest cas, com es vol treballar en l'*Aspen Plus*, s'han de fer modificacions algebraiques de les lleis cinètiques o aconseguir-les en expressions més simplificades.

Una de les cinètiques proposades es basa en una expressió de *Powerlaw* que conté la reacció (4.1) en relació de les pressions parcials de l'oxigen i l'etilè (Ref. 14) i de la segona reacció (4.2) amb les mateixes relacions de pressions parcials (Ref. 15). En la cinètica de la primera reacció no s'ha considerat la pressió parcial de l'àcid acètic perquè no canvia considerablement la velocitat de reacció degut al seu baix punt de rosada en comparació dels altres reactius (Ref. 16).

La segona expressió que s'ha provat es basa en la forma *LHHW* de la cinètica proposada per Luyben et al. i que adapta les expressions de Nakamura i Yasui, 1970, amb un catalitzador més optimitzat (Ref. 17).

A partir de les comparacions fetes en l'Annex A.3 s'ha determinat que la velocitat de reacció que més s'ajusta a les dades experimentals és la proposada per Luyben et al. i per tant és la cinètica que s'utilitza en la simulació.

#### 4.4.1.3. Paràmetres del reactor

El reactor és de tipus PBR multi-tubular empaquetat de catalitzador (A.2). La velocitat del gas a través del reactor ha d'estar entre 0.5-1.5 m/s per a que estigui en les condicions òptimes i la pèrdua de càrrega ha de ser menor del 15% o 1.5 bara (Ref. 4). Com que es vol mantenir un coeficient de transferència del fluid interior constant, el diàmetre dels tubs no s'han modificat gaire. Si es té en consideració que el catalitzador que s'ha d'utilitzar per a l'objectiu de producció de VAM ha de ser pràcticament 3 vegades del Annex A.3.3, s'obtenen els següents paràmetres del reactor:

Taula 4.11 Paràmetres del reactor de VAM.

Paràmetre	Valor	Unitat
Volum útil	104	m <sup>3</sup>
Pes catalitzador	26	tones
N <sub>tubs</sub>	12000	-
D <sub>tubs</sub>	4.5	cm
L <sub>tubs</sub>	5.4	m
Vel. gas	1.2	m/s
dP	0.29	-
Calor generat	26	MW
T <sub>entrada</sub>	160	°C
T <sub>sortida</sub>	170	°C

Amb el següent balanç molar:

Taula 4.12 Balanç molar del reactor PBR.

Espècie	Entrada (kmol/h)	Sortida (kmol/h)
Etilè	4928	4498
Oxigen	662	372
Diòxid de carboni	1237	1297
Età	651	651
Nitrogen	1394	1394
Acetat de vinil	0	401

Taula 4.12 Balanç molar del reactor PBR.

Espècie	Entrada (kmol/h)	Sortida (kmol/h)
Àcid acètic	2039	1638
Aigua	140	600

#### 4.4.1.4. Sistema de refrigeració

Per al sistema de refrigeració s'ha calculat el coeficient de transferència del gas en l'Annex A.3.6 i s'ha dissenyat un sistema de generació de vapor a mitjana pressió amb una caldera.

Per a refredar el reactor 26 MW i amb un coeficient de transferència disponible de 0.5 kW/m<sup>2</sup>·K s'ha plantejat la següent configuració amb un sistema contra-corrent amb aigua pressuritzada:

Taula 4.13 Corrents de refrigeració i generació de vapor en el reactor.

Corrent	Cabal màssic (kg/h)	Estat (V/L)	Pressió (bara)	Temperatura (°C)
Entrada camisa reactor	45000	Líquid (0/1)	6.2	160
Sortida camisa reactor	45000	Vapor (1/0)	6.2	160
Entrada caldera	45000	Líquid (0/1)	5.1	153
Sortida caldera	45000	Vapor (1/0)	5.1	153

#### 4.4.2. Disseny de la caldera FA-103

A partir dels cabals d'entrada del condensat i del vapor generat en el reactor i amb un temps de residència del líquid d'1 hora, s'han calculat les dimensions del recipient.

La geometria del dipòsit s'ha calculat en l'Annex A.4 amb el mètode de (Ref. 18). A continuació es mostren les dades i mides més significatives.

Taula 4.14 Dimensions i característiques de la caldera FA-103.

Paràmetre	Valor	Unitats
Volum efectiu	83.9	m <sup>3</sup>
Longitud	8.8	m
Diàmetre	3.3	m
Nivell de líquid	60	%
Material	SA 316Ti	-
Espessor	10	mm
Temperatura de disseny	250	°C
Pressió de disseny	6.2	bara
Disposició	Horitzontal	-

Per veure el full d'especificació amb més detall anar a Figura 12.3.

#### 4.4.3. Disseny del compressor de gasos de recirculació

El disseny del compressor C-100 accionat per una turbina de vapor CT-100 s'ha fet a partir dels càlculs mostrats en el llibre de (Ref. 19). Posteriorment s'han comparat amb els resultats obtinguts en la simulació d'*Aspen Plus*. Per veure amb més detall el càlcul realitzat a mà mirar l'Annex A.6 i A.8.

Taula 4.15 Comparativa dels resultats del C-100 obtinguts a mà amb la simulació d'Aspen.

Paràmetres C-100	A mà (Ref. 19)	Aspen Plus
Potència	2.94 MW	3.05 MW
Eficiència	80 %	80 %
Temperatura de sortida	69.6 °C	69.9 °C
Pressió a la sortida	10.5 bara	10.5 bara
Diferència de pressió	3.3 bara	3.3 bara

A partir de la potència requerida pel compressor C-100, es calcula el cabal de vapor a 40 bara que es necessita si es vol baixar com a màxim a 2 bara. Els resultats també s'han comparat amb la simulació d'*Aspen Plus*.

Taula 4.16 Comparativa dels resultats del CT-100 obtinguts a mà amb la simulació d'Aspen.

Paràmetres CT-100	A mà (Ref. 19)	Aspen Plus
Potència generada	2.94 MW	3.05 MW
Eficiència	80 %	80 %
Pressió d'entrada del vapor	40 bara	40 bara
Pressió de sortida del vapor	2 bara	2 bara
Cabal de vapor	25865 kg/h	26833 kg/h

Per mirar en detall el full d'especificacions del equip veure Figura 12.1.

#### 4.4.4. Disseny del evaporador FA-101

L'evaporador FA-101 serveix principalment per evaporar, amb l'ajuda del bescanviador E-101, l'àcid acètic que s'introdueix de forma líquida en el procés. Per tal de que el recipient no sofreixi problemes severos de corrosió amb freqüència s'ha hagut de dissenyar amb una temperatura màxima de 126 °C. El disseny funcional de l'equip s'ha fet a partir de la simulació d'*Aspen Plus*. A partir de la simulació s'ha realitzat el disseny mecànic i s'han calculat les seves dimensions. El mètode seguit es descriu en l'Annex A.13.

Taula 4.17 Dimensions del evaporador FA-101.

Paràmetre	Valor	Unitats
Volum efectiu	128.3	m <sup>3</sup>
Longitud	9.3	m
Diàmetre	3.6	m
Nivell de líquid	-	%
Material	SA 316Ti	-
Espessor	15.2	mm
Temperatura de disseny	200	°C
Pressió de disseny	9.2	barg
Disposició	Vertical	-

Per mirar en detall el full d'especificacions del recipient veure Figura 12.2.

#### 4.4.5. Disseny del depòsit de separació FA-102

La funció del FA-102 és retenir les gotes del possible condensat en el gas de recirculació abans d'entrar al compressor C-100. Per aquest motiu es disposa d'un col·lector de gotes. El disseny del recipient s'ha realitzat amb el mètode mostrat en l'Annex A.13.

Taula 4.18 Dimensions del dipòsit de separació FA-102.

Paràmetre	Valor	Unitats
Volum efectiu	21.4	m <sup>3</sup>
Longitud	5.0	m
Diàmetre	2.0	m
Nivell de líquid	-	%
Material	SA 316Ti	-
Espessor	8.0	mm
Temperatura de disseny	100	°C
Pressió de disseny	8.2	barg
Disposició	Vertical	-

Per mirar en detall el full d'especificacions del recipient veure Figura 12.9 i Figura 12.10.

#### 4.4.6. Disseny del bescanviadors

Els bescanviadors s'han calculat a partir de la simulació d'*Aspen Plus* amb el *software Aspen EDR*. Posteriorment, la majoria de bescanviadors s'han calculat a mà amb el mètode Kern.

Aquest càlcul es pot trobar en l'annex A.5. En les següents taules es mostren els resultats més rellevants i la comparativa amb els resultats a mà.

##### 4.4.6.1. E-100 A/B

Taula 4.19 Paràmetres del bescanviador.

Paràmetres més importants	Mètode KERN	<i>Aspen EDR</i>
Tipus	BEM	BEM
D <sub>e</sub> (mm)	31.75	31.75
D <sub>i</sub> (mm)	30.15	30.15
L (m)	5	5
ΔT <sub>m</sub> (-)	36.61	31.76
Cut off (%)	35	9.48
Número de tubs	1922	1194
Diàmetre extern de carcassa (m)	1.5	1.7
Velocitat en tubs (m/s)	25.4	30.6
Velocitat en carcassa (m/s)	20.3	9.57
Coefficient de transferència global (W/m <sup>2</sup> ·K)	290.6	258.6
Pèrdua de càrrega tubs (bara)	0.5	0.7
Pèrdua de càrrega carcassa (bara)	0.4	0.1

Per veure el full d'especificació amb més detall anar a Figura 12.13.

**4.4.6.2. E-101**

Taula 4.20 Paràmetres del bescanviador

Paràmetres més importants	<i>Aspen EDR</i>
Tipus	BEM
D <sub>e</sub> (mm)	25.4
D <sub>i</sub> (mm)	23.75
L (m)	5
ΔT <sub>m</sub> (-)	32.32
Cut off (%)	40.2
Número de tubs	1045
Diàmetre extern de carcassa (m)	1.1
Velocitat en tubs (m/s)	22.4
Velocitat en carcassa (m/s)	3
Coefficient de transferència global (W/m <sup>2</sup> ·K)	320.8
Pèrdua de càrrega tubs (bara)	0.2
Pèrdua de càrrega carcassa (bara)	0.0

Per veure el full d'especificació amb més detall anar a Figura 12.14.

**4.4.6.3. E-102 A/B**

Taula 4.21 Paràmetres del bescanviador

Paràmetres més importants	Mètode KERN	<i>Aspen EDR</i>
Tipus	BEM	BEM
D <sub>e</sub> (mm)	25.4	25.4
D <sub>i</sub> (mm)	23.75	23.75
L (m)	5	5
ΔT <sub>m</sub> (-)	54	48
Cut off (%)	40	40.8
Número de tubs	648	648
Diàmetre extern de carcassa (m)	0.9	0.9
Velocitat en tubs (m/s)	20.1	22.7
Velocitat en carcassa (m/s)	2.67	18.7
Coefficient de transferència global (W/m <sup>2</sup> ·K)	535.2	433.9
Pèrdua de càrrega tubs (bara)	0.1	0.2
Pèrdua de càrrega carcassa (bara)	0.0	0.0

Per veure el full d'especificació amb més detall anar a Figura 12.15.

**4.5. Disseny equips zona de separació 1**

El disseny d'equips en la zona de rentat de gasos de recirculació es basa en les dades obtingudes de la simulació la columna d'absorció sense reacció amb els seus equips auxiliars en *Aspen Plus*. En alguns casos s'ha realitzat el disseny d'un equip amb càlculs tradicionals i posteriorment amb l'ajuda del simulador per comparar resultats. Si es vol consultar més detalls sobre els equips veure les fitxes tècniques en l'apartat 12, Figura 12.6.

#### 4.5.1. Disseny de la columna DA-100

Aquesta columna de rentat de gasos té la funció principal de separar la mescla que conté el producte dels gasos de recirculació. Per tal de fer aquesta separació, s'injecta per la part superior àcid acètic per absorbir la majoria d'acetat de vinil, aigua i traces d'altres compostos. Per la part superior ha de sortir el CO<sub>2</sub>, l'argó, l'età i traces d'altres compostos. A continuació es mostren les característiques de la columna DA-100.

Taula 4.22 Paràmetres DA-100 Secció 1.

Paràmetre	Absorbidor DA-100
Tipus de columna	Columna de plats
Tipus de plats	Forats
Alçada (sense capçals ni faldó) (m)	35.4
Diàmetre (m)	4.3
Etares	1 - 41
Condensador	No
Bullidor	No
Perfil de pressió (bara)	7.3 - 7.7
Percentatge d'inundació (%)	68.0
Material	SA 316Ti

Taula 4.23 Paràmetres DA-100 Secció 2.

Paràmetre	Absorbidor DA-100
Tipus de columna	Columna de farciment
Tipus de farciment	INTALOXNORTON Ceràmic 50 mm
Alçada (sense capçals ni faldó) (m)	5
Diàmetre (m)	4.3
Etares	42 - 42
Condensador	No
Bullidor	No
Perfil de pressió (bara)	7.3 - 7.7
Percentatge d'inundació (%)	67.7
Material	SA 316Ti

##### 4.5.1.1. Disseny mecànic de la columna

El disseny mecànic s'ha realitzat com tots els altres recipients i es pot trobar un exemple de càlcul en l'annex A.4.2. Per altre banda, també s'ha estudiat la influència de les càrregues de vent en l'allargada de la columna i la tensió que s'aplica a la connexió fondo-envolupant. L'espessor en el faldó, encara que s'ha calculat que el seu valor és menor a l'espessor interior, s'ha considerat el mateix que l'espessor del cilindre. Aquest segon cas es pot seguir en més detall en l'annex A.6.

Taula 4.24 Disseny mecànic de DA-100.

Paràmetre	Absorbidor DA-100
Alçada faldó (m)	3.0
Espessor faldó (mm)	20
Velocitat màxima del vent (km/h)	130
Radiografiat	Parcial (0.85)
Temperatura de disseny (°C)	100
Pressió de disseny (barg)	10.1

#### 4.5.2. Disseny del tanc de cru FA-104

El tanc de cru té la funció de recollir el producte desitjat de les primeres etapes de separació i enviar-lo a les etapes de destil·lació finals. Com a la temperatura de 40°C la mescla que conté és lleugerament volàtil, també es disposa d'un sistema de venteig. Pel disseny del recipient s'ha utilitzat el mètode descrit en l'annex A.4.

Taula 4.25 Dimensions i característiques del tanc de cru FA-104.

Paràmetre	Valor	Unitats
Volum efectiu	331.8	m <sup>3</sup>
Longitud	14.3	m
Diàmetre	5.1	m
Nivell de líquid	60	%
Material	SA 316Ti	-
Espessor	2.0	mm
Temperatura de disseny	100	°C
Pressió de disseny	0.7	barg
Disposició	Horitzontal	-

Per mirar en detall el full d'especificacions del recipient veure Figura 12.4.

#### 4.5.3. Disseny del bescanviadors

S'han dissenyat de la mateixa forma que en l'apartat 4.4.6.

##### 4.5.3.1. E-103

Taula 4.26 Paràmetres del aerorefrigerant.

Paràmetres més importants	<i>Aspen EDR</i>
Tipus	Forced
D <sub>e</sub> (mm)	40.1
D <sub>i</sub> (mm)	39.1
L (m)	10
Aletes	G-finned Al-1060
Feixos	5
Seccions	2
Ventiladors	10
ΔT <sub>m</sub> (-)	63.0
Coefficient de transferència global (W/m <sup>2</sup> ·K)	33.2
Pèrdua de càrrega tubs (bara)	0.31
Diferència de temperatura del aire (°C)	20
Potència total (kW)	476.6

Per veure el full d'especificació amb més detall anar a Figura 12.16.

##### 4.5.3.2. E-104

Taula 4.27 Paràmetres del bescanviador.

Paràmetres més importants	Mètode KERN	<i>Aspen EDR</i>
Tipus	BEM	BEM
D <sub>e</sub> (mm)	25.4	25.4

Taula 4.27 Paràmetres del bescanviador.

Paràmetres més importants	Mètode KERN	Aspen EDR
D <sub>i</sub> (mm)	23.75	23.75
L (m)	5	5
ΔT <sub>m</sub> (-)	16.5	15.7
Cut off (%)	21	29.5
Número de tubs	367	529
Diàmetre extern de carcassa (m)	0.8	0.91
Velocitat en tubs (m/s)	0.83	0.8
Velocitat en carcassa (m/s)	0.87	0.7
Coefficient de transferència global (W/m <sup>2</sup> ·K)	477.8	419.6
Pèrdua de càrrega tubs (bara)	0.3	0.1
Pèrdua de càrrega carcassa (bara)	0.2	0.1

Per veure el full d'especificació amb més detall anar a Figura 12.17.

#### 4.5.3.3. E-105

Taula 4.28 Paràmetres del bescanviador

Paràmetres més importants	Mètode KERN	Aspen EDR
Tipus	BEM	BEM
D <sub>e</sub> (mm)	25.4	25.4
D <sub>i</sub> (mm)	23.75	23.75
L (m)	5	5
ΔT <sub>m</sub> (-)	16.5	15.22
Cut off (%)	18	34.39
Número de tubs	766	978
Diàmetre extern de carcassa (m)	1.1	1.2
Velocitat en tubs (m/s)	0.86	0.82
Velocitat en carcassa (m/s)	0.84	0.82
Coefficient de transferència global (W/m <sup>2</sup> ·K)	419.8	417.2
Pèrdua de càrrega tubs (bara)	0.2	0.1
Pèrdua de càrrega carcassa (bara)	0.1	0.1

Per veure el full d'especificació amb més detall anar a Figura 12.18.

#### 4.6. Disseny equips zona separació 2

El disseny s'ha realitzat mitjançant el simulador *Aspen Plus*. S'ha simulat un sistema per absorbir l'àcid acètic amb una columna de vàlvules sense reacció, on s'han definit les condicions de pressió, temperatura i fase dels reactius en base a la planta precedent i de la que s'està estudiant el *revamping*. S'ha optimitzat l'altura i diàmetre de la columna. Els equips complementaris s'han utilitzat en *shortcut* per la simulació, i s'han dissenyat posteriorment per separat amb els resultats obtinguts a la simulació.

##### 4.6.1. Paràmetres de la columna DA-201

Els resultats de la simulació han estat els següents:

Taula 4.29 Paràmetres de la columna DA-201..

Paràmetre	Absorbidor DA-201
Tipus de columna	Columna de plats
Tipus de plats	Plats de vàlvula
Alçada (m)	13
Diàmetre (m)	0.85
Nombre de etapes	20
Condensador	No
Reboiler	No
Perfil de Pressió (barg)	9.32 i 9.42

#### 4.6.1.1. Disseny mecànic de la columna

Pel disseny mecànic de les columnes s'ha seguit el procediment de l'annex A.4.2, s'ha tingut en compte la pressió interna de l'equip, el pes i les càrregues de vent (annex A.6), a continuació es mostren els valors inicials pel disseny mecànic, Taula 4.30, i els resultats, Taula 4.31:

Taula 4.30 Valors per calcular el disseny mecànic de les columnes.

Paràmetres	Absorbidor DA-201
Alçada columna (m)	13
Diàmetre columna (m)	0.85
Material	SS 316Ti – 1.4571
Temperatura de disseny (°C)	70
Pressió de disseny (barg)	12
Densitat líquid (kg/m <sup>3</sup> )	969

Taula 4.31 Resultats del disseny mecànic de les columnes.

Paràmetres	Absorbidor DA-201
Gruix carcassa (mm)	6.00
Gruix caps (mm)	6.00
Pes columna buida (kg)	1909
Pes columna plena (kg)	8799
Prova hidràulica (barg)	17.2

Per veure el full d'especificació amb més detall anar a Figura 12.19.

#### 4.6.2. Bescanviador E-201

Taula 4.32 Paràmetres del bescanviador.

Paràmetres més importants	Mètode KERN	Aspen EDR
Tipus	BEM	BEM
D <sub>e</sub> (mm)	25.4	25.4
D <sub>i</sub> (mm)	23.75	23.75
L (m)	5	5
ΔT <sub>m</sub> (-)	29.13	28.54
Cut off (%)	30	40.62
Número de tubs	66	82

Taula 4.32 Paràmetres del bescanviador.

Paràmetres més importants	Mètode KERN	<i>Aspen EDR</i>
Diàmetre extern de carcassa (m)	0.43	0.41
Velocitat en tubs (m/s)	1.1	0.62
Velocitat en carcassa (m/s)	14.6	10.98
Coefficient de transferència global (W/m <sup>2</sup> ·K)	210.5	203.6
Pèrdua de càrrega tubs (bara)	0.2	0.1
Pèrdua de càrrega carcassa (bara)	0.12	0.08
Bescanviadors en Paral·lel	1	1
Bescanviadors Sèrie	1	1

Per veure el full d'especificació amb més detall anar a Figura 12.24.

#### 4.6.3. Bescanviador E-202

Taula 4.33 Paràmetres del bescanviador.

Paràmetres més importants	<i>Aspen EDR</i>
Tipus	BDM
D <sub>e</sub> (mm)	25.4
D <sub>i</sub> (mm)	23.6
L (m)	5
ΔT <sub>m</sub> (-)	22
Cut off (%)	-
Número de tubs	-
Diàmetre extern de carcassa (m)	0.05
Velocitat en tubs (m/s)	1.59
Velocitat en carcassa (m/s)	0.35
Coefficient de transferència global (W/m <sup>2</sup> ·K)	563.5
Pèrdua de càrrega tubs (bara)	0.4
Pèrdua de càrrega carcassa (bara)	0.03
Bescanviadors en Paral·lel	1
Bescanviadors Sèrie	5

Per veure el full d'especificació amb més detall anar a Figura 12.25.

#### 4.7. Disseny equips zona d'absorció i desorció de CO<sub>2</sub>

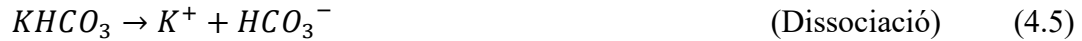
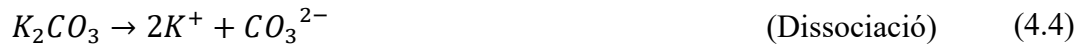
El disseny s'ha realitzat mitjançant el simulador *Aspen Plus*. S'ha simulat un sistema per separar el CO<sub>2</sub> amb dues columnes empacades amb reacció, on s'han definit les condicions de pressió, temperatura i fase dels reactius en base a la planta precedent i de la que s'està estudiant el *revamping*. S'ha justificat la cinètica escollida i s'ha optimitzat l'altura i diàmetre de les columnes. Els equips complementaris s'han utilitzat en *shortcut* per la simulació, i s'han dissenyat posteriorment per separat amb els resultats obtinguts a la simulació.

##### 4.7.1. Química del procés

El procés d'absorció de diòxid de carboni mitjançant una solució de carbonat de potassi és representat globalment per l'equació (4.3).



Aquesta reacció pot ser desglossada en 7 reaccions; 2 de dissociació, 3 d'equilibri i 2 cinètiques.



L'expressió d'equilibri químic utilitzada en les reaccions d'equilibri té la següent forma:

$$\ln(K_{eq}) = A + \frac{B}{T} + C \cdot \ln(T) + D \cdot T \quad (4.11)$$

On el paràmetres A, B, C i D són donats per el treball de (Ref. 20). I es mostren en la taula 4.34.

Taula 4.35 Paràmetres per l'expressió d'equilibri químic.

Reacció N°	A	B	C	D
(4.6)	132.899	-13445.9	-22.4773	0
(4.7)	231.465	-12092.1	-36.7816	0
(4.8)	216.049	-12431.7	-35.4819	0

Per les reaccions cinètiques l'expressió es la següent:

$$r = kT^n \cdot \exp\left(\frac{-E}{RT}\right) \quad (4.12)$$

La reacció (4.9), té la següent llei de velocitat (Kohl et al., [2]):

$$r = k_{OH} \cdot (CO_2) \cdot (OH^-) \quad (4.13)$$

El valor de la constata de segon ordre,  $k_{OH}$ , pot ser estimat mitjançant la següent equació suggerida per (Ref. 21):

$$\ln(k_{OH^-}) = 31.3957 - \frac{6665.9912}{T} + 0.1842 \cdot I \quad (4.14)$$

On T és la temperatura en graus K, i I és la força iònica de la dissolució.

Pel que fa a els paràmetres cinètics de la reacció (4.10) s'ha agafat els valors k i E del treball de (Ref. 22), i és mostren en la taula 4.36.

Taula 4.37 Paràmetres cinètics.

Reacció N°	K	E (cal/mol)
(4.9)	$4.35 \cdot 10^{13}$	13249
(4.10)	$2.38 \cdot 10^{17}$	29451

La base de concentració es la Molaritat i els factor n és zero en ambdós casos.

#### 4.7.2. Paràmetres de la columnes DA-202 i DA-203

Els resultats de la simulació han estat els següents:

Taula 4.38 Paràmetres de l'absorvidor i desabsorvidor de CO<sub>2</sub>.

Paràmetre	Absorbidor DA-202	Desabsorvidor DA-203
Tipus de columna	Empacada	Empacada
Tipus d'empacat	Intalox Saddle 1 ½" Ceramic	Intalox Saddle 1 ½" Ceramic
HEPT (m)	5.7	5.2
Diàmetre (m)	1.4	1.3
Nombre de etapes	4	5
Condensador	No	No
Reboiler	No	Si
Perfil de Pressió (barg)	8.76 - 8.97	0.25– 0.05

Amb el següent balanç molar:

Taula 4.39 Balanç molar de columna d'absorció DA-202.

(Kmol/h)	Alimentació	Absorbent	Sortida per cap	Sortida per fons
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	299.1	0.000	298.6	0.452
O <sub>2</sub>	24.70	0.000	24.68	0.016
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	43.07	0.000	43.04	0.027
AR	92.03	0.000	91.97	0.058
CO <sub>2</sub>	81.70	0.000	7.825	0.917
H <sub>2</sub> O	4.000	5715	66.51	5582
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0.000	173.0	0.000	99.94
KHCO <sub>3</sub>	0.000	194.5	0.000	340.7
TOTAL	544.6	6083	529.7	6024

Taula 4.40 Balanç molar de la columna de desorció DA-203.

(Kmol/h)	Alimentació	Absorbent	Sortida per cap	Sortida per fons
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	0.471	0.000	0.471	0.000
O <sub>2</sub>	0.016	0.000	0.016	0.000
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0.028	0.000	0.028	0.000
AR	0.060	0.000	0.060	0.000
CO <sub>2</sub>	0.917	0.000	73.97	0.000
H <sub>2</sub> O	5642	260.0	259.6	5715
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	99.92	0.000	0.000	173.0
KHCO <sub>3</sub>	340.7	0.000	0.000	194.5
TOTAL	6084	260.0	334.2	6083

#### 4.7.2.1. Disseny mecànic de les columnes

Pel disseny mecànic de les columnes s'ha seguit el procediment de l'annex A.4.2, s'ha tingut en compte la pressió interna de l'equip, el pes i les càrregues de vent (annex A.6), a continuació es mostren els valors inicials pel disseny mecànic, taula 4.41, i els resultats, taula 4.42:

Taula 4.43 Valors per calcular el disseny mecànic de les columnes.

Paràmetres	Absorbidor DA-202	Desabsorbidor DA-203
Alçada columna (m)	22.8	20.8
Diàmetre columna (m)	1.4	1.3
Material	SS 316Ti – 1.4571	SS 316Ti – 1.4571
Temperatura de disseny (°C)	130	130
Pressió de disseny (barg)	12	0.5
Densitat líquid (kg/m <sup>3</sup> )	1200	1193

Taula 4.44 Resultats del disseny mecànic de les columnes.

Paràmetres	Absorbidor DA-202	Desabsorbidor DA-203
Gruix carcassa (mm)	10	3
Gruix caps (mm)	10	3
Pes columna buida (kg)	9462	2397
Pes columna plena (kg)	51435	28964
Prova hidràulica (barg)	17.16	0.72

Per veure el full d'especificació amb més detall anar a la Figura 12.20 (DA-202), i la Figura 12.21 (DA-203).

#### 4.7.3. Flash FA-201

L'equip FA-201 separa la fase gas i líquida provinent de del condensador E-204, la fase gas que conté reactius de valor per la reacció s'envia per cap a compressor, i per fons surt el líquid, que conté principalment aigua, es re circula a la sortida per fons de la mateixa columna DA-202. El flash opera a 8.76 barg i 40°C.

El procediment de càlcul per dimensionar el flash es troba a l'annex A.13, també s'ha comparat amb la modelització de *ASPEN PLUS*.

Per veure el full d'especificació amb més detall anar a Figura 12.22.

Taula 4.45 Dades inicials pel càlcul del Flash-201.

Paràmetres	Valors
Cabal de vapor (kg/h)	14561
Densitat del vapor (kg/m <sup>3</sup> )	10.45
Cabal de líquid (kg/h)	1064
Densitat del líquid (kg/m <sup>3</sup> )	990
Temps d'espera del líquid (min)	5.0

Taula 4.46 Comparació dels resultats del dimensionament del Flash-201.

Paràmetres	CheCalc	Aspen Plus
Diàmetre (m)	1.00	0.91
Altura total (m)	3.40	3.66

**4.7.4. Bescanviador E-203**

Taula 4.47 Paràmetres del bescanviador.

Paràmetres més importants	<i>Aspen EDR</i>
Tipus	BEU
D <sub>e</sub> (mm)	25.4
D <sub>i</sub> (mm)	23.75
L (m)	5
ΔT <sub>m</sub> (-)	21.52
Cut off (%)	39.67
Número de tubs	118
Diàmetre extern de carcassa (m)	0.64
Velocitat en tubs (m/s)	10.0
Velocitat en carcassa (m/s)	14.8
Coefficient de transferència global (W/m <sup>2</sup> ·K)	78.8
Pèrdua de càrrega tubs (bara)	0.2
Pèrdua de càrrega carcassa (bara)	0.2
Bescanviadors en Paral·lel	1
Bescanviadors Sèrie	2

Per veure el full d'especificació amb més detall anar a Figura 12.26.

**4.7.5. Condensador parcial E-204**

Taula 4.48 Paràmetres del bescanviador.

Paràmetres més importants	<i>Aspen EDR</i>
Tipus	BEM
D <sub>e</sub> (mm)	25.4
D <sub>i</sub> (mm)	23.75
L (m)	5
ΔT <sub>m</sub> (-)	29.66
Cut off (%)	34.28
Número de tubs	315
Diàmetre extern de carcassa (m)	0.71
Velocitat en tubs (m/s)	1.41
Velocitat en carcassa (m/s)	5.84
Coefficient de transferència global (W/m <sup>2</sup> ·K)	227.7
Pèrdua de càrrega tubs (bara)	0.5
Pèrdua de càrrega carcassa (bara)	0.1
Bescanviadors en Paral·lel	1
Bescanviadors Sèrie	1

Per veure el full d'especificació amb més detall anar a Figura 12.27.

**4.7.6. Bescanviador E-205**

Taula 4.49 Paràmetres del bescanviador.

Paràmetres més importants	<i>Aspen EDR</i>
Tipus	BEM
D <sub>e</sub> (mm)	25.4
D <sub>i</sub> (mm)	23.75

Taula 4.49 Paràmetres del bescanviador.

Paràmetres més importants	Aspen EDR
L (m)	5
$\Delta T_m$ (-)	78.11
Cut off (%)	39.93
Número de tubs	26
Diàmetre extern de carcassa (m)	0.20
Velocitat en tubs (m/s)	1
Velocitat en carcassa (m/s)	0.14
Coefficient de transferència global ( $W/m^2 \cdot K$ )	240.5
Pèrdua de càrrega tubs (bara)	0.1
Pèrdua de càrrega carcassa (bara)	0.02
Bescanviadors en Paral·lel	1
Bescanviadors Sèrie	1

Per veure el full d'especificació amb més detall anar a Figura 12.28.

#### 4.7.7. Reboiler E-206

Taula 4.50 Paràmetres del bescanviador.

Paràmetres més importants	Aspen EDR
Tipus	BKU
$D_e$ (mm)	30
$D_i$ (mm)	28.35
L (m)	4
$\Delta T_m$ (-)	53.6
Cut off (%)	-
Número de tubs	78
Diàmetre extern de carcassa (m)	0.73
Velocitat en tubs (m/s)	15.69
Velocitat en carcassa (m/s)	2.93
Coefficient de transferència global ( $W/m^2 \cdot K$ )	1321
Pèrdua de càrrega tubs (bara)	0.05
Pèrdua de càrrega carcassa (bara)	0.07
Bescanviadors en Paral·lel	1
Bescanviadors Sèrie	1

Per veure el full d'especificació amb més detall anar a Figura 12.29.

#### 4.8. Disseny de les bombes P-101 A/B i P-202 A/B

El disseny de la bomba s'ha realitzat a partir del llibre (Ref. 23) i la web de càlcul (Ref. 24). I el procediment de càlcul es troba a l'annex A.14.

La bomba P-202 A/B és l'encarregada d'impulsar el corrent de sortida per fons de la columna DA-203 a cap de la columna DA-202, pujant la pressió de 0.25 a 8.76 barg. Els paràmetres i condicions del sistema hidràulic es troben recollits a les taula següents:

Taula 4.51 Paràmetres del sistema hidràulic.

Dimensions de la canonada	P-101 A/B	P-202 A/B
Longitud de l'aspiració (m)	6	10
Altura de l'aspiració (m)	2.5	4.5
Diàmetre de l'aspiració (m)	0.08	0.2
Longitud de la descàrrega (m)	55	33
Altura de la descàrrega (m)	23	15
Diàmetre de la descàrrega (m)	0.065	0.15

I els paràmetres de la bomba obtinguts:

Taula 4.52 Paràmetres de les bombes centrífugues.

Paràmetres	P-101 A/B	P-202 A/B
Altura de la bomba (m)	103.1	97.1
Potència (kW)	89.1	52
Capacitat (m <sup>3</sup> /h)	198.0	123
NPSH disp (m)	15	6.4
Pèrdua de pressió a l'aspiració (bara)	0.1	0.08
Pèrdua de pressió a l'impulsió (bara)	2.1	1.8

#### 4.8.1. Elecció de la bomba

A partir del cabal volumètric que s'ha d'impulsar i l'altura de la bomba s'escull la bomba en el catàleg, en el cas de la bomba P-101 A/B s'ha escollit del catàleg (Ref. 25), Figura 4.7 i Figura 4.8 Elecció de la bomba P-101 A/B (Ref. 25), i pel cas de la bomba P-202 A/B s'ha escollit del catàleg (Ref. 26), Gràfic per la elecció de la bomba P-202 A/B (Ref. 26).Figura 4.5 i Figura 4.6.

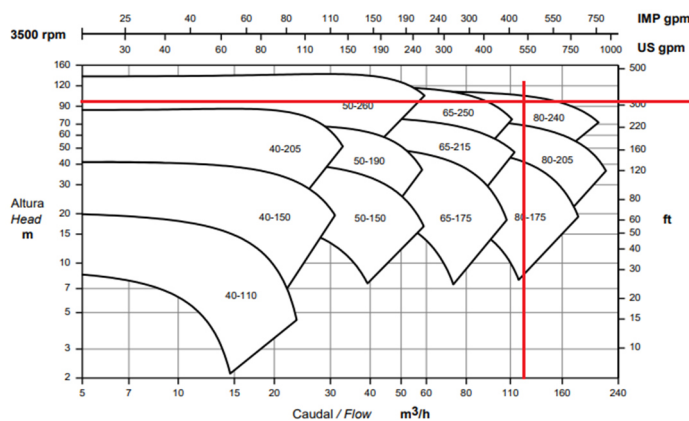



Figura 4.5 Gràfic per la elecció de la bomba P-202 A/B (Ref. 26).

Un cop seleccionada la bomba és selecciona el rodet més adient i és comprova que el NPSH requerit per la bomba no sigui major al disponible calculat anteriorment.

 <p>CURVAS CARACTERÍSTICAS PERFORMANCE CURVES</p>	Rodete / Impeller Abierto / Opened	Ø Boca asp. / Pump inlet DN-100	Bomba / Pump HCP
	Número de paletas / Blade number 6	Ø Boca imp. / Pump outlet DN-80	80-240
	Ø Máx. rodete / Ø Máx. impeller 240 mm	Ø Mín. rodete / Ø Mín. impeller 200 mm	Velocidad / Speed 3500 rpm

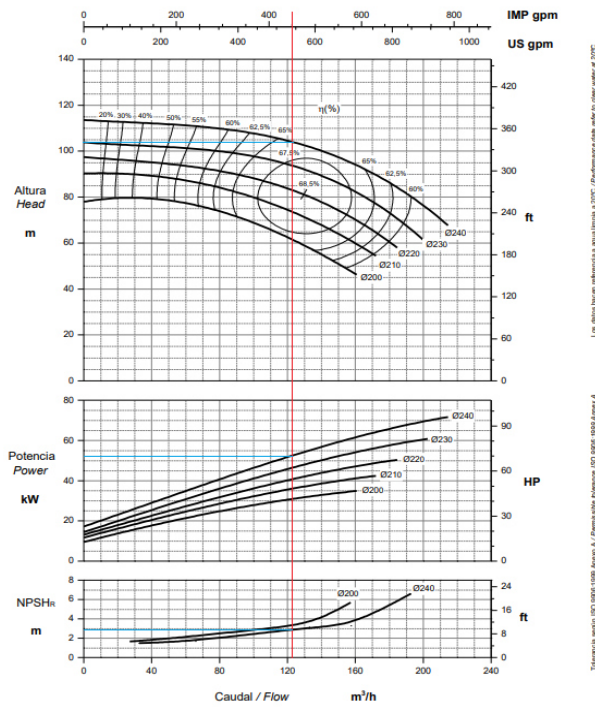


Figura 4.6 Elecció del rodet de la bomba P-202 A/B (Ref. 26).

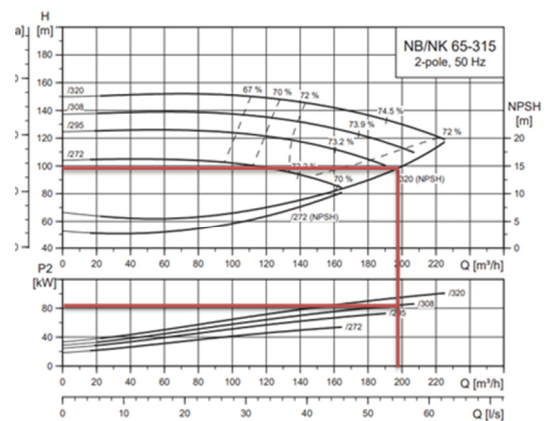
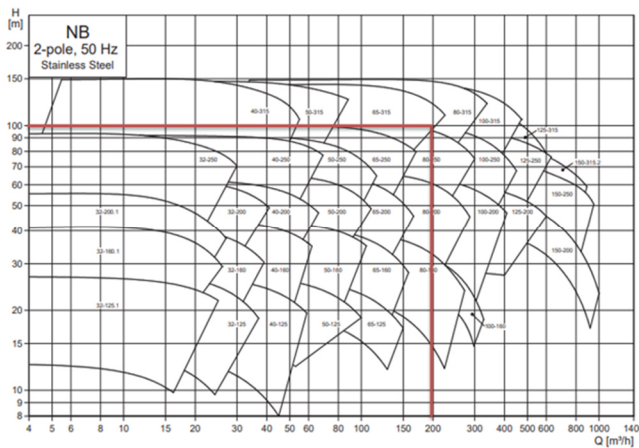


Figura 4.7 i Figura 4.8 Elecció de la bomba P-101 A/B (Ref. 25).

Per mirar en detall el full d'especificacions de les bombes veure l'apartat Figura 12.5 i Figura 12.23.

**4.9. Disseny d'obra civil**

En aquest apartat s'ha calculat i dissenyat les sabates dels equips R-100, DA-100, DA-201, DA-202 i DA-203 que estan construïts amb una base de formigó en el terra. Aquest càlcul s'ha realitzat en l'Annex A.10 i es pren com a base de càlcul una capacitat de càrrega del sòl en Tarragona de 2 kg/cm<sup>2</sup>. Aquesta capacitat és la combinació de la pressió que exerceix el vent

sobre l'equip i la pressió que exerceix el pes del propi equip en el terra. En la Figura 4.9 es pot observar un exemple d'una sabata.



Figura 4.9 Armat inferior de base ortogonal. (Ref. 27)

#### 4.9.1. Càrregues al sòl dels equips

A partir de les dades dels equips i de la geometria de la cimentació calculada en l'apartat A.10, s'han determinat les següents càrregues sobre el sòl de Tarragona i la seva estabilitat.

Taula 4.53 Càrregues dels diferents equips.

Paràmetre (kg/cm <sup>2</sup> )	DA-100	R-100	DA-201	DA-202	DA-203
Càrrega deguda al pes	1.5	1.0	0.9	1.0	0.8
Càrrega deguda al vent	0.48	0.1	0.7	0.5	0.8
Càrrega total	1.98	1.1	1.65	1.48	1.64
Estabilitat	Estable	Estable	Estable	Estable	Estable

## 5. SEGURETAT DE LA PLANTA

### 5.1. HAZARD and operability study

#### 5.1.1. Introducció

L'estudi HAZOP (*Hazard and Operability study*) es basa en l'anàlisi estructurat i sistemàtic de riscos, que permet identificar perills potencials i problemes operacionals en processos químics, documentats a través de diagrames de processos i instruments, també anomenat P&ID.

Aquest estudi parteix de la subdivisió del procés a estudiar en nodes, sobre els quals s'analitzen les diferents possibles desviacions de les variables de procés, tractant d'identificar les conseqüències perilloses que es puguin ocasionar.

Un aspecte clau del mètode consisteix en l'aplicació d'un procediment sistemàtic de selecció de paraules guia per establir de forma consistent totes les possibles desviacions.

S'ha de poder garantir que totes les causes responsables de desviacions de les variables de procés siguin detectades.

Hi ha tres tipologies bàsiques de causes que cal analitzar:

- Fallades dels equips o instruments.
- Fallades humanes.
- Esdeveniments externs.

En les causes a determinar no es tindran en compte els possibles errors de disseny i/o muntatge.

En el cas d'un nou projecte l'estudi HAZOP s'ha de fer lo més aviat possible, sempre que es disposi d'informació amb un nivell de detall adequat i no hi hagi la previsió de canvis substancials en el procés i/o disseny de la unitat. En els següents apartats, es mostra el HAZOP del reactor i de la columna d'absorció de CO<sub>2</sub>.

També s'ha seguit la metodologia d'anàlisi de riscos semi-quantitativa, miniLOPA, en la que es basa en caracteritzar les conseqüències i estimar freqüències, via HAZOP, i estimar les freqüències dels successos iniciadors, seguint la matriu de riscos, Figura 5.1 Matriu de riscos semi quantitativa del anàlisi miniLOPA., on:

- A: mitigació instantània a B o parada de la planta.
- B: prendre urgentment mesures necessàries per assegurar l'operació estable.
- C: prendre tan aviat com es pugui mesures necessàries per assegurar l'operació estable.
- D: no fer res.

Consecuència Frecuència (Año <sup>-1</sup> )	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5
10 <sup>0</sup>	Verd	Verd	Verd	Verd	Verd
10 <sup>-1</sup>	Verd	Verd	Verd	Verd	Verd
10 <sup>-2</sup>	Verd	Verd	Verd	Verd	Verd
10 <sup>-3</sup>	Verd	Verd	Verd	Verd	Verd
10 <sup>-4</sup>	Verd	Verd	Verd	Verd	Verd
10 <sup>-5</sup>	Verd	Verd	Verd	Verd	Verd
10 <sup>-6</sup>	Verd	Verd	Verd	Verd	Verd

Figura 5.1 Matriu de riscos semi quantitativa del anàlisi miniLOPA.

Taula 5.1 Anàlisi dels perills i d'operabilitat; Unitat: Reactor; Nus Reactor R-101 + Caldera F-103.

Nus	Paraula Guia	Desviació	Possibles causes	Conseqüències	C	F	R	Salvaguardes	C	F	R	Accions
Nivell	Més	Més nivell a FA-103.	Fallada de LI-1002 (lectura de nivell inferior a la real).	Augment de la pressió en el recipient amb possible trencament catastròfic de la caldera.	4	-2	B	PSV tarada a 18 bara.	4	-6	D	-Posar alarma d'alt nivell a LI-1002.
	Menys	Menys nivell a FA-103.	Fallada de LI-1002 (lectura de nivell superior a la real).	Disminució del temps de residència en caldera. En cas de buidat complert, pujada de temperatura en el reactor fins a la descomposició del producte.	5	-2	A	Sistema d'enclavament SIL 3 en LI-1002.	5	-5	C	-Posar alarma de baix nivell a LI-1002.
Flux	No	No flux d'oxigen en el reactor R-101.	Fallada vàlvula ABV-1001. Posició de seguretat.	Gas del procés no reaccionat. Baixada gradual de la temperatura. Sense conseqüències de seguretat. Producte fora d'especificació.	-	-	-	-	-	-	-	-Posar alarma de baixa i molt baixa pressió a PI-1009. -Parada de procés fins arreglar la vàlvula ABV-1001.
		No flux d'etilè en l'alimentació principal.	Fallada en el subministrament de d'etilè des del magatzem.	Gas del procés poc reaccionat. Baixada gradual de la temperatura. Sense conseqüències de seguretat. Producte fora especificació.	-	-	-	-	-	-	-	-Posar alarma de baix flux en FI-1001. -Parada de procés fins aconseguir subministrament d'etilè.
	Menys	No flux d'àcid acètic en l'alimentació principal.	Fallada en el subministrament de d'àcid acètic des del magatzem.	Ídem No flux etilè.	-	-	-	Ídem No flux etilè.	-	-	-	Ídem No flux etilè.
		Menys flux d'oxigen en el reactor R-101.	Fallada en el subministrament de d'oxigen des del magatzem.	Ídem No flux etilè.	-	-	-	Ídem No flux etilè.	-	-	-	Ídem No flux etilè.
		Menys flux d'etilè en l'alimentació principal.	Fallada en el subministrament de d'etilè des del magatzem.	Ídem No flux etilè.	-	-	-	Ídem No flux etilè.	-	-	-	Ídem No flux etilè.
		Menys flux d'àcid acètic en l'alimentació principal.	Fallada en el subministrament de d'àcid acètic des del magatzem.	Ídem No flux etilè.	-	-	-	Ídem No flux etilè.	-	-	-	Ídem No flux etilè.
Més	Més flux d'oxigen en el reactor R-101.	Fallada PI-1009 (no indica el valor correcte).	Augment de la pressió en la entrada del reactor. Sobrepassat del límit d'explosivitat de la mescla. Ruptura catastròfica dels tubs.	5	-2	A	Sistema d'enclavament SIL 3. Redundància d'indicadors.	5	-5	C	-Manteniment de la vàlvula ABV-1001.	

Taula 5.1 Anàlisi dels perills i d'operabilitat; Unitat: Reactor; Nus Reactor R-101 + Caldera F-103.

Nus	Paraula Guia	Desviació	Possibles causes	Conseqüències	C	F	R	Salvaguardes	C	F	R	Accions
Pressió	Més	Més flux d'etilè en l'alimentació principal.	Fallada FI-1001 (no indica el valor correcte).	Augment de la pressió del corrent. Reacció afavorida, per tant, augment de temperatura a la sortida fins a la descomposició del producte i provocar una explosió.	5	-2	A	Ídem Més flux oxigen.	5	-5	C	-Manteniment de la vàlvula ABV-1001.
		Més flux d'àcid acètic en l'alimentació principal.	Fallada FI-1002 (no indica el valor correcte).	Ídem Més flux d'etilè.	5	-2	A	Ídem Més flux oxigen.	5	-5	C	Ídem Més flux oxigen.
		Més pressió en tubs R-101.	Ídem Més flux oxigen.	Ídem Més flux oxigen.	5	-2	A	Ídem Més flux oxigen.	5	-5	C	- Manteniment de la vàlvula ABV-1001. -Alarma de pressió alta a PI-1010.
		Més pressió en carcassa de R-101.	Fallada PI-1011 (indica menys pressió de la real).	Dèficit de transferència de calor en carcassa.	5	-2	A	PSV tarada a 7 bara.	5	-6	D	-Alarma de pressió alta a PI-1011.
		Més pressió caldera FA-103.	Fallada PI-1029 (indica menys pressió de la real).	Ídem Més nivell a FA-103.	4	-2	B	PSV tarada a 18 bara.	5	-6	D	-Dissenyar PSV per aquest cas. -Posar alarma d'alta pressió a PI-1029.
	Menys	Més pressió al reactor R-100	Gran foc extern.	Augment de la temperatura i pressió de la carcassa, conseqüentment augment de la temperatura i pressió en tubs fins a la descomposició del producte.	5	-2	A	Disc de ruptura tarat a 12 bara. PSV en carcassa.	5	-5	C	-Dissenyar el disc de ruptura per aquest cas.
		Menys pressió en tubs R-101.	Fallada del FI-1001 (no indica el valor correcte).	Reacció poc afavorida. Baixada gradual de la temperatura. Sense conseqüències de seguretat. Producte fora especificació.	-	-	-		-	-	-	-Alarma de pressió baixa a PI-1026. -Alarma de pressió baixa a PI-1023.
		Menys pressió en carcassa de R-101.	Fallada PI-1011 (indica més pressió de la real).	Sense conseqüències de seguretat.	-	-	-		-	-	-	
		Menys pressió en caldera FA-103.	Fallada PI-1029 (indica més pressió de la real).	Sense conseqüències de seguretat.	-	-	-		-	-	-	
		Més temperatura en tubs R-101.	Fallada TI-1004 (indica menys temperatura de la real).	Ídem Més flux oxigen.	5	-2	A	Ídem Més flux oxigen.	5	-5	C	Ídem Més flux oxigen.

Taula 5.1 Anàlisi dels perills i d'operabilitat; Unitat: Reactor; Nus Reactor R-101 + Caldera F-103.

Nus	Paraula Guia	Desviació	Possibles causes	Conseqüències	C	F	R	Salvaguardes	C	F	R	Accions
Composició	Menys	Més temperatura en la caldera FA-103.	Gran foc.	Pujada sobtadament la temperatura del recipient, en conseqüència la vaporització del condensat amb un augment exponencial de la pressió.	4	-2	B	PSV tarada a 18 bara.	4	-6	D	-Disseny de la PSV per aquest cas.
		Més temperatura en carcassa de R-101.	Ídem Més temperatura en la caldera FA-103.	Ídem Més temperatura en la caldera FA-103.	5	-2	B	PSV tarada a 7 bara.	5	-6	D	-Disseny de la PSV per aquest cas.
		Menys temperatura en tubs R-101.	Fallada TI-1004 (indica més temperatura de la real).	Baixada de la conversió i selectivitat de la reacció. Sense conseqüències de seguretat. Producte fora especificació.	-	-	-		-	-	-	-Alarma de temperatura baixa a TI-1003.
		Altre composició a l'entrada del reactor (Menys oxigen).	Canvi en les condicions de FA-100.	Producció fora de les especificacions. Sense conseqüències de seguretat.	-	-	-		-	-	-	-Alarma en l'equip Fa-100.
Corrosió	As well as	Altre composició a l'entrada del reactor (Oxigen).	Ídem Més flux oxigen.	Ídem Més flux oxigen.	5	-2	A	Ídem Més flux oxigen.	5	-5	C	Ídem Més flux oxigen.
		Corrosió en la part de tubs del reactor R-100.	Corrosió en la part de tubs del reactor R-100.	Fuga del gas de procés (inflamable i tòxic) a la carcassa. Contaminació de l'aigua de refrigeració.	-	-	-		-	-	-	-Instal·lar un analitzador de conductivitat de l'aigua.
Utilities	No	Corrosió en la part de la carcassa del reactor R-100.	Corrosió en la part de la carcassa del reactor R-100.	Ídem Menys pressió en carcassa de R-101.	-	-	-	Ídem Menys pressió en carcassa de R-101.	-	-	-	-Ídem Menys pressió en carcassa de R-101.
		Explosió Torre de Refrigeració.	Ídem Menys nivell a FA-103.	Ídem Menys nivell a FA-103.	5	-2	A	Ídem Menys nivell a FA-103.	5	-5	C	- Ídem Menys nivell a FA-103.
Contenció	No	Fallada d'aigua de refrigeració en la caldera FA-103.	Parada de la bomba de subministrament.	Ídem Menys nivell a FA-103.	5	-2	A	Ídem Menys nivell a FA-103.	5	-5	C	-Configurar el llaç de control de ABV-1001 per parada de bomba.
		Sense casos rellevants.										

Taula 5.2 Anàlisi dels perills i d'operabilitat; Unitat: Columna d'absorció; Nus Absorbidor DA-202 + Flash FA-201.

Nus	Paraula Guia	Desviació	Possibles causes	Conseqüències	C	F	R	Salvaguardes	C	F	R	Accions
Nivell	Més	Més nivell a fons de DA-202	Fallada sensor LI-3015 (llegeix menys nivell del real)	Inundació de la columna. Sense conseqüències de seguretat.	-	-	-		-	-	-	Posar alarma d'alt nivell a LI-3015
		Més nivell a FA-201	Fallada sensor LI-3019 (llegeix menys nivell del real)	Possibilitat d'inundació de FA-201. Possibilitat d'augment de pressió per d'amunt de la de disseny i ruptura catastròfica columna. Possibilitat d'explosió.	3	-1	B	La vàlvula del bucle PI-3032 obrirà.	3	-5	D	Dissenyar la PSV per aquest cas.
	Menys	Menys nivell a fons de DA-202	Fallada sensor LI-3015 (llegeix mes nivell del real)	Buidat de fons de DA-202 amb possibilitat d'escapament de gasos a DA-203 i en conseqüència a l'atmosfera. Producte fora d'especificació.	-	-	-	Segell hidràulic K-202 i sortida fluid atmosfera a gran altura.	-	-	-	Posar alarma de baix nivell a LI-3015.
		Menys nivell a FA-201	Fallada sensor LI-3019 (llegeix mes nivell del real)	Buidat de fons de FA-201 amb possibilitat d'escapament de gasos a DA-203 i en conseqüència a l'atmosfera.	-	-	-	Segell hidràulic K-202 i sortida fluid atmosfera a gran altura.	-	-	-	Posar alarma de baix nivell a LI-3019.
Flux	No	No flux en alimentació DA-202	Fallada alimentació	Inestabilitat de la columna. Sense conseqüències de seguretat.	-	-	-		-	-	-	Posar alarma de baix caudal a FRA-3010
		No flux en absorbent DA-202	Fallada llaç de control 3020 (tanca) Fallada Bomba centrífuga P-202	Concentració de CO <sub>2</sub> major al corrent per cap, acumulació d'inert en el procés. Possible parada de la planta si no es detecta. Sense conseqüències de seguretat.	-	-	-		-	-	-	Posar alarma baix caudal a FRA-3020
		No flux a DA-203	Fallada llaç de control 3015 (tanca)	Ídem més nivell a fons de DA-202	-	-	-		-	-	-	Posar alarma d'alt nivell a LI-3015
		No flux a Compressor	Fallada llaç de control 3032 (tanca)	Augment de pressió a FA-201, impeding la condensació a E-204. Possibilitat de ruptura catastròfica.	4	-1	A	Vàlvula de seguretat PSV-202	4	-5	C	Dissenyar la PSV per aquest cas.
	Menys	Menys flux en alimentació DA-202	Fallada alimentació	Ídem no flux en alimentació DA-202	-	-	-		-	-	-	Posar alarma de baix caudal a FRA-3010
			Fallada llaç de control 3008									
		Menys flux en absorbent DA-202	Fallada llaç de control 3020	Possible arrossegament i inundació de la columna. Concentració de CO <sub>2</sub> major al corrent per cap, acumulació d'inert en el procés. Possible parada de la planta si no es detecta. Sense conseqüències de seguretat.	-	-	-		-	-	-	Posar alarma baix caudal a FRA-3020
			Fallada Bomba centrífuga P-202									
Menys flux a DA-203	Fallada llaç de control 3015	Ídem no flux a DA-203	-	-	-		-	-	-	Posar alarma d'alt nivell a LI-3015		

Taula 5.2 Anàlisi dels perills i d'operabilitat; Unitat: Columna d'absorció; Nus Absorbidor DA-202 + Flash FA-201.

Nus	Paraula Guia	Desviació	Possibles causes	Conseqüències	C	F	R	Salvaguardes	C	F	R	Accions
Pressió	Més	Menys flux a Compressor	Fallada llaç de control 3032	Ídem no flux a Compressor	-	-	-	Vàlvula de seguretat PSV-202	-	-	-	Posar alarma d'alta pressió a PI-3032
		Més flux en alimentació DA-202	Fallada alimentació	Ídem menys flux en absorbent DA-202	-	-	-	Llaç de control 3020	-	-	-	Posar alarma d'alt caudal a FRA-3010
		Més flux en absorbent DA-202	Fallada llaç de control 3020 (obre totalment)	Ídem més nivell a fons de DA-202	-	-	-		-	-	-	Posar alarma d'alt caudal a FRA-3020
		Més flux a DA-203	Fallada llaç de control 3015 (obre totalment)	Ídem menys nivell a fons de DA-202	-	-	-		-	-	-	
		Més flux a Compressor.	Fallada llaç de control 3032 (obre totalment)	Disminució de la pressió de la columna. Sense conseqüències de seguretat	-	-	-		-	-	-	
	Invers	No aplica			-	-	-		-	-	-	
	Més	Més pressió a DA-202	Foc extern	Evaporació de la fase líquida de la columna DA-202. Ruptura catastròfica de la columna i FA-201 amb possibilitat d'explosió.	4	-2	B	Vàlvula de seguretat PSV-202	4	-6	D	Dissenyar la PSV per aquest cas.
			Fallada aigua de refrigeració E-204	Augment de la pressió per no condensació a E-204 amb possible ruptura catastròfica i explosió.	4	-1	A	Vàlvula de seguretat PSV-202	4	-5	C	Dissenyar la PSV per aquest cas
			Fallada bomba P-202	Ídem més nivell a fons de DA-202.	-	-	-		-	-	-	
			Ruptura tub condensador E-204	Entrada d'aigua de refrigeració al sistema. Possibilitat d'augment de pressió i ruptura catastròfica de DA-202 i FA-201.	4	-4	C	Vàlvula de seguretat PSV-202	4	-8	D	Dissenyar la PSV per aquest cas
Temperatura	Menys	Menys pressió a DA-202	Fallada del llaç de control 3032 (tanca)	Ídem no flux a Compressor	4	-1	A	Vàlvula de seguretat PSV-202	4	-5	C	Dissenyar la PSV per aquest cas
	Més	Més temperatura a DA-202	Fallada llaç de control 3031 (obre totalment)	Ídem més pressió a DA-202.	4	-1	A	Vàlvula de seguretat PSV-202	4	-5	C	Dissenyar la PSV per aquest cas
Composició	Menys	Menys temperatura a DA-202	Fallada del llaç de control 3032 (obre totalment)	Si la pressió de cap de DA-202 disminueix, la temperatura també. Sense conseqüències de seguretat.	-	-	-		-	-	-	
	Altres	Altres composició a alimentació DA-202	Major quantitat de CO <sub>2</sub>	Concentració de CO <sub>2</sub> major al corrent per cap, acumulació d'inert en el procés. Possible parada de la planta si no es detecta. Sense conseqüències de seguretat.	-	-	-		-	-	-	

Taula 5.2 Anàlisi dels perills i d'operabilitat; Unitat: Columna d'absorció; Nus Absorbidor DA-202 + Flash FA-201.

Nus	Paraula Guia	Desviació	Possibles causes	Conseqüències	C	F	R	Salvaguardes	C	F	R	Accions
Fase	Altre	Altre fase a FA-201	Ruptura tub condensador E-204	Ídem més pressió a DA-202.	4	-1	A	Vàlvula de seguretat PSV-202	4	-5	C	Dissenyar la PSV per aquest cas
		Altre fase a alimentació DA-203	Fallada llaç de control 3015 (obre totalment)	Ídem menys nivell a fons de DA-202								
Corrosió	As well as	As well as corrosion DA-202 i FA-201	Corrosió baix aïllament	Fuga de producte inflamable i corrosiu al exterior amb possibilitat d'explosió.	2	-1	C	Programa d'inspecció en vigor (1 IPL).	2	-2	C	
Utilities	No	No utilities	Fallada d'energia elèctrica	Parada de bomba P101. Ídem no flux en absorbent DA-202	-	-	-		-	-	-	
			Fallada aigua de refrigeració	Fallada a E-204. Ídem més pressió a DA-202	4	-1	A	Vàlvula de seguretat PSV-202	4	-5	C	Posar alarma baix caudal a FRA-3020
			Fallada aire instruments	CV-321 tanca CV-325 obre CV-329 obre CV-333 obre								Dissenyar la PSV per aquest cas
Contenció	No	No contenció	No hi ha casos rellevants.									

## 5.2. Zones Atex

### 5.2.1. Zona de procés

#### 5.2.1.1. Identificació dels emplaçaments

Característiques de la planta i la zona del procés:

- Localització: a l'aire lliure.
- Temperatura d'operació: inferior a la temperatura d'inflamabilitat dels compostos.

La zona del procés compta amb un ruixador d'aigua com a mesura de protecció contra incendis. La columna i el reactor tenen mesures específiques de protecció.

Reactor : el reactor disposa d'un disc de ruptura que trencarà en el cas de sobrepressió en l'equip, també en el cas d'un augment de temperatura es disposa d'un sistema de control capaç d'augmentar el cabal d'aigua de refrigeració en la camisa per tal de disminuir aquesta temperatura.

Columna DA-202: la columna disposa d'una vàlvula de seguretat, que en cas de emergència envia el contingut del cap de columna cap a atmosfera.

#### 5.2.1.2. Identificació de les substàncies inflamables

Les substàncies inflamables en el procés són; l'àcid acètic, l'etilè com a reactiu, l'età i l'acetat de vinil com a producte.

#### 5.2.1.3. Identificació de les substàncies tòxiques

Les substàncies tòxiques en el procés són; l'etilè com a reactiu, i l'acetat de vinil com a producte, i l'età.

#### 5.2.1.4. Identificació de les fonts d'escapament

Les juntes a les canonades i vàlvules suposen una possible font d'escapament.

#### 5.2.1.5. Grau d'escapament

Grau continu:

- Escapament de compostos per les juntes es gairebé insignificant però constant.

Grau primari:

- En les juntes de les bombes, compressors i vàlvules en funcionament normal.

Grau secundari:

- Vàlvules de seguretat de les columnes i en els tancs.

#### 5.2.1.6. Determinació del les zones perilloses

Les zones perilloses és classifiquen segons el temps d'exposició a l'atmosfera explosiva, i es divideixen en tres.

- Zona 0: Àrea de treball en la que existeix una atmosfera explosiva de forma permanent o un període de temps prolongat, en el nostre cas, aquesta zona es troba a l'interior del reactor, d'altra banda l'interior de columna és zona no classificada, ja que no hi ha la suficient presència de oxigen per que és produeixi una ignició.
- Zona 1: Àrea on és probable que, en condicions normals, existeixi una zona explosiva, en el nostre cas es trobaria al voltant de la vàlvula de seguretat de la columna i el disc de ruptura del reactor.

- Zona 2: Àrea on no és probable que, en condicions normals, existeixi una zona explosiva, tot i així pot existir a causa d'una fuga en les juntes dels equips i les canonades. La distància afectada al voltant dels equips s'ha obtingut mitjançant l'estimació del volum teòric de la zona, (Ref. 28), i els càlculs es troben a l'annex A.16.1.

A continuació es mostren els esquemes de la classificació de les zones ATEX, en la columna DA-202 i el reactor R-100.

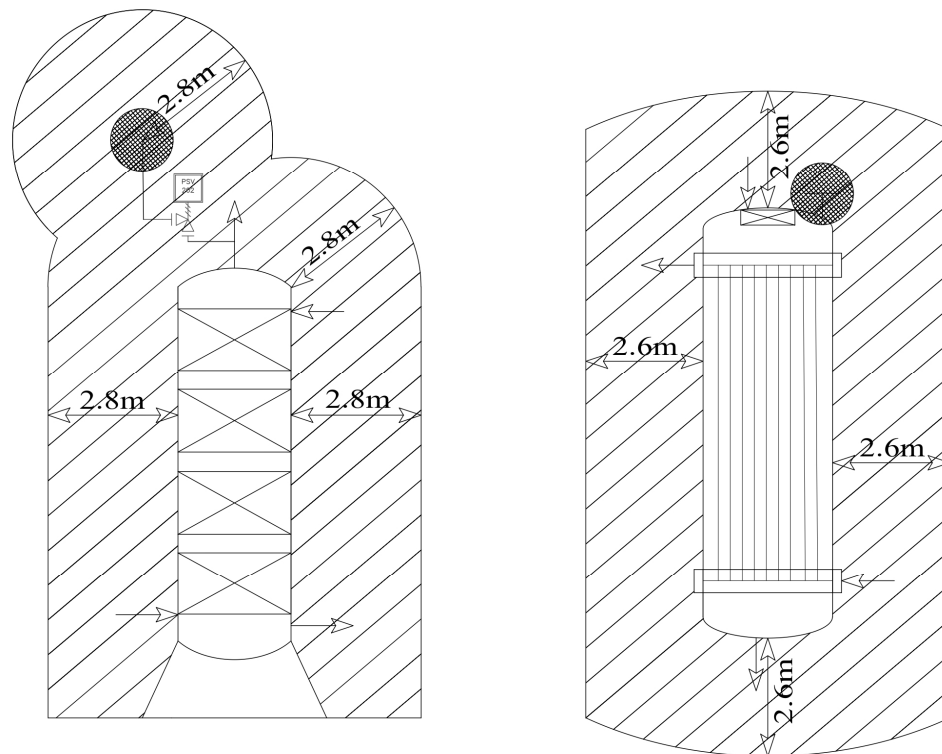


Figura 5.2 Esquema de la classificació de les zones ATEX a la columna DA-202 i el Reactor R-100.

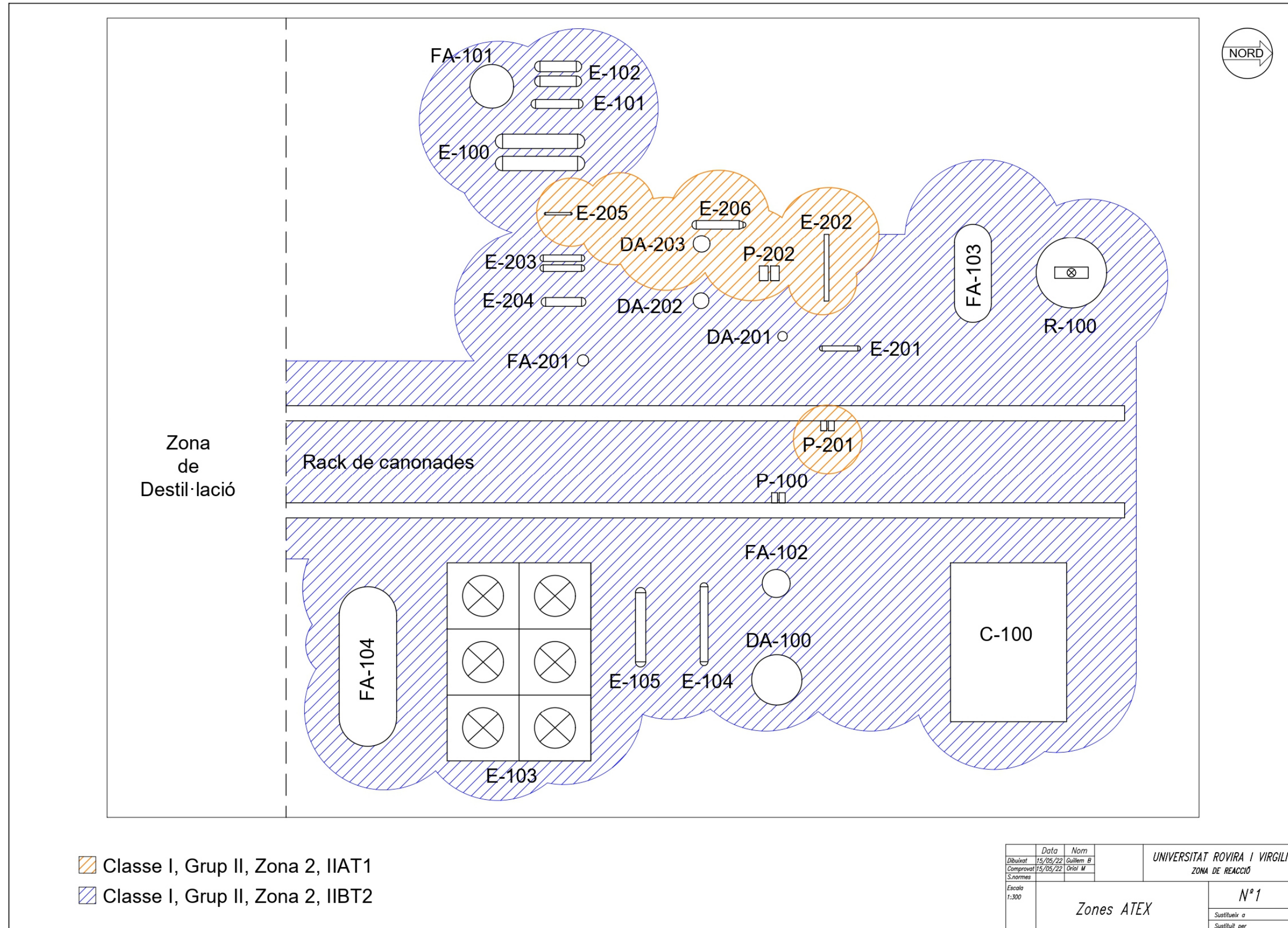
### 5.2.2. Classificació de les substàncies de la planta

S'han classificat les substàncies inflamables més importants de la nostra planta química (Grup II) que, baix la forma de vapors, gasos o boires (Classe I), poden formar amb l'aire atmosferes perilloses. A continuació es mostren en la Taula 5.3, les característiques de cada substància s'ha extret del llibre de la norma UNE-EN 60079-10 (Ref. 29).

Taula 5.3 Classificació de les substàncies per les zones ATEX.

Substàncies	Grup	Subgrup	Temperatura d'inflamabilitat (°C)	Class. ATEX	LIE-LSE (% vol)
Etilè	II	B	425	T2	2.70 – 36.00
Età	II	A	515	T1	3.00 – 12.50
Àcid acètic	II	A	463	T1	4.00 – 17.00
Acetat de vinil	II	A	425	T2	2.60 – 13.40

5.2.3. Plànol de zones ATEX



### 5.3. **Vàlvules de seguretat (PSV)**

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

En aquest cas, s'han estudiat i dissenyat vàlvules de seguretat per dues situacions: sobrepressió d'una canonada i per un escenari de foc en el tanc FA-104 (el pitjor dels cas de foc).

Un cop realitzat el HAZOP s'ha determinat que és necessari la utilització de vàlvules de seguretat per evitar danys majors. Les vàlvules dissenyades han estat la PSV-5 que es troba al tanc de cru F-104 per evitar una sobrepressió en cas de foc, i la PSV-202 que esta instal·lada al corrent de sortida de l'absorbidor DA-202 per evitar que la columna pateixi una sobrepressió que portaria a una explosió i ruptura catastròfica de la columna, afectant als equips adjacents.

Per el disseny de les PSV s'ha fet seguint el catàleg de vàlvules (Ref. 30), el procediment de càlcul es troba en l'annex A.16.2.

Taula 5.4 Paràmetres de les vàlvules de seguretat

Paràmetres	PSV-5	PSV-202
Tipus de vàlvula	3-5211	3-5211
Tipus d'orifici	L	L
Material	A216WCB	A216WCB
Cabal de descàrrega (kg/h)	13699	15625
Pressió de tarat (kg/cm <sup>2</sup> )	1.44	11.50
Pressió de descàrrega (kg/cm <sup>2</sup> )	1.64	13.68
Temperatura descàrrega (°C)	95.8	108.6
Àrea d'orifici (cm <sup>2</sup> )	109.0	16.79

Per mirar en detall el full d'especificacions de les vàlvules veure l'apartat Figura 12.12 i Figura 12.30

#### 5.3.1. Seguretat laboral

##### 5.3.1.1. Mesures per evitar la ignició per electricitat estàtica

- Roba: ha de consultar-se el fullet informatiu que se subministra amb la roba per a seleccionar la roba adequada per a la situació concreta de treball; la peça haurà de ser fabricada amb un material la resistència superficial del qual R sigui menor o igual a  $2.5 \cdot 10^9$ .

- Calçat: el calçat adequat posseeix un límit superior de resistència prou baix per a evitar l'acumulació de càrrega electrostàtica i un límit inferior de resistència que ofereix una certa protecció en cas de contacte elèctric accidental. S'estableix per al calçat antiestàtic uns límits de resistència entre  $10^5 \Omega$  i  $10^9$ .

- Posada a terra electrostàtica i connexió equipotencial de totes les superfícies conductores: la resistència de terra del conjunt no ha de superar el valor d'1 M $\Omega$ . Les canonades enterrades i els tancs d'emmagatzematge han d'estar connectades a terra. La connexió equipotencial s'aconsegueix mitjançant la interconnexió mitjançant un conductor, de totes les superfícies conductores, estant al seu torn el conducte connectat a terra.

- Augment de la conductivitat de materials: Es pot aconseguir mitjançant l'augment de la humitat relativa de l'aire fins a valors superiors al 60%, controlant la humitat ambiental amb aires condicionats o humidificadors, o mitjançant el tractament superficial agregant productes

antiestàtics a les pintures que cobriran les superfícies dels materials augmentant la seva conductivitat superficial.

- Ús de materials o productes antiestàtics: Productes d'emalatge impregnats de partícules conductores i ús de brotxes i pinzells per a la neteja.

- Reducció de la velocitat relativa entre superfícies en fregament: com menor sigui la velocitat relativa entre dues superfícies, l'escalfament per fregament serà menor, es reduirà l'excitació atòmica dels materials i també la seva capacitat de cessió o admissió de càrrega electrostàtica

- Control de la velocitat de pas de materials per conductes, cintes etc.: controlar del ritme de generació d'electricitat estàtica limitant la velocitat de pas de materials en el procés productiu.

- Utilització de sòls de material dissipador (no aïllants): en locals amb el risc d'incendi o explosió es pot agregar als sòls additius (grafit) que augmentin la seva conductivitat i també en els pneumàtics dels vehicles que transitin per aquesta mena de locals (negre de carbó).

- Instal·lació de mitjans conductors de descàrrega electrostàtica per a les persones: connectar una placa metàl·lica a terra a través d'una clau o eina o utilitzar canyelleres i turmelleres connectades a terra. En llocs que tinguin sòls de material aïllant es poden col·locar catifes antiestàtiques al voltant de les màquines per a descarregar-se pels peus abans de tocar les parts metàl·liques amb les mans. Altres procediments per a evitar la generació o acumulació de càrrega estàtica és l'elecció adequada de materials de contacte per a evitar que entrin en contacte material que tinguin afinitats electròniques molt diferents, la reducció de la pressió de contacte entre els materials i el control adequat de la temperatura de contacte de les superfícies.

### **5.3.1.2. Mesures per evitar possibles fonts d'ignició**

- Superfícies calentes: ho observem en estufes o radiadors per falta de lubricació o desgast, o les reaccions químiques generades pel procés. Aplicar refrigerants i lubricants per a disminuir la fricció, i mantenir la temperatura superficial per sota de dos terços de TMI, són mesures que ens ajudaran a prevenir aquests casos.

- Flames, gasos i altres partícules calentes: podríem prevenir aquests incidents evitant qualsevol classe de flama nua, usant protecció en els processos de soldadura, i facilitant permisos especials als vehicles de treball.

- Espurnes d'origen mecànic: són producte de friccions i xocs de materials ferris, ceràmics i alguns materials lleugers contra un altre material dur. Per a prevenir-ho podem emprar l'ús de lubricants o el de recobriments de goma per a la separació de les peces mòbils.

- Materials elèctrics: quan ens trobem enfront de connexions febles en connectar o desconnectar, en obrir o tancar circuits o en recarregar bateries. Seguirem les indicacions del Reglament Electrònic per a Baixa Tensió i de les Normes Tècniques.

- Electricitat estàtica: prové de l'acumulació d'un excés de càrrega elèctrica en un material produït pel contacte entre dos cossos, canvis de pressió i temperatura. Podem evitar-ho prevenint les zones ATEX i limitant la generació de càrregues electrostàtiques (omplint els dipòsits des de la base, evitant esquitxades i dolls) i s'eliminen aquelles que s'hagin pogut haver

acumulat (posada en terra, instal·lació d'elements conductors i utilització d'indumentària adequada).

- Llamps i tempestes elèctriques: pot tractar-se de descàrregues d'alta potència o d'elements conductors al llamp, i de la propagació d'espurnes per augments de tensió. Instal·larem posades a terra, per a-raigs i sistemes de prevenció i protecció de pujades de tensió.

- Ondes electromagnètiques de radiofreqüència: són provocades per les emissores de ràdio, generadors de radiofreqüències mèdiques o industrials i per parts elèctricament conductores que exerceixen com a antena i per inducció es converteixen en superfícies calentes. Emprarem sistemes d'aïllament i establirem distàncies de seguretat.

- Radiació ionitzant: són raigs X, fruit de les substàncies radioactives; en aquest cas haurem d'aïllar els cossos radioactius perquè no entrin en contacte amb la ATEX o bé usar equips d'energia de radiació baixa.

## **6. MANUAL DE MANTENIMENT**

### **6.1. Introducció**

Tota planta de la indústria competitiva necessita un pla de manteniment per tal d'assegurar el correcte funcionament dels equips de producció, així com obtenir d'ells la màxima disponibilitat. Per tant, un bon pla de manteniment afectarà positivament tant en l'àrea de producció com en l'àrea econòmica.

Existeixen diversos mecanismes o tipus de manteniment, depenen de les possibles funcions que siguin atribuïdes i en la forma de desenvolupar-les, principalment, es poden distingir els següents:

- Manteniment Correctiu
- Manteniment Preventiu
- Manteniment Predictiu

Cap dels anteriors s'utilitza de forma exclusiva sinó que, per aconseguir una major rendibilitat del procés, es treballa amb una combinació dels tipus esmentats, i es coneix com a manteniment planificat. La metodologia usada en aquest treball per definir l'estratègia del manteniment, és el manteniment basat en la fiabilitat o RCM, en el qual s'ha determinat l'ús d'un tipus de manteniment o un altre depenen de la criticitat de la fallada de l'equip o sistema de la planta.

A continuació es descriurà els tipus de manteniments esmentats, i finalment l'estratègia de manteniment, seguida del corresponent manteniment legal de la planta.

### **6.2. Manteniment Correctiu**

El manteniment correctiu només intervé en els equips quan la fallada ja s'ha produït, és a dir, es tracta d'un manteniment passiu, que no té present l'estat de l'equip i la seva evolució fins a una avaria o fallada. Es pot dut a terme de dues maneres:

- Manteniment retardat: manteniment correctiu que no és immediat, dut a terme després d'una detecció de fallada, però es retarda d'acord amb la normativa. Baixos costos en materials i recanvis, però alts costos en mà d'obra.
- Manteniment immediat: manteniment que es duu a terme sense demora després d'una fallada que s'ha detectat per evitar conseqüències inacceptables. Si no s'està preparant, la qualitat d'aquest manteniment sol ser baixa a causa del poc temps disponible per la reparació.

Aquest tipus de manteniment s'utilitza on existeix un baix cost dels components afectats, i en aquells equips que són auxiliars i no estan directament relacionats amb la producció, també s'utilitza en els casos on les fallades dels equips no suposa una interrupció de la producció o no afecta instantàniament.

### **6.3. Manteniment Preventiu**

El manteniment preventiu té com a objectiu disminuir, o evitar en certa manera, la fallada i posterior reparació de l'equip, mitjançant una rutina d'inspeccions periòdiques, i la renovació d'elements deteriorats. En aquestes inspeccions es procedeix al desmuntatge total i parcial de la màquina, amb el fi de revisar l'estat dels seus elements, i reemplaçant-los si fos necessari.

L'èxit d'aquest tipus de manteniment depèn de la correcta elecció del període d'inspecció, ja que un període massa llarg comporta el perill d'aparició de fallades entre inspeccions consecutives. Per intentar determinar quin és el millor període d'inspecció es fa servir els gràfics de "corba de banyera" que indiquen la probabilitat de fallada respecte a la vida útil de l'equip.

En el llibre de Manteniment Centrat en Fiabilitat per (Ref. 31), és presenten sis tipus de models de fallades en els equips, i s'explica que en general aquests models depenen de la

complexitat dels elements, com més complexos siguin, més seguiran els models de fallada E i F, els quals segons estudis són els més comuns.



Figura 6.1 Models fallades E i F del llibre de RMC per (Ref. 31).

El model E mostra una probabilitat de fallada constant a totes les edats, conclouent que la fallada és aleatòria, el model F comença amb una alta probabilitat de fallada a l'inici i que descendeix a una probabilitat constant, això pot ser degut a errors de disseny o muntatge.

D'altra banda, els equips o elements que estan en contacte directe amb el fluid o tenen algun tipus de desgast mecànic, sigui fallada per fatiga o per corrosió, s'identifiquen més amb el model B, en el qual la probabilitat de fallada lleugerament ascendent, que acaba amb una zona de desgast relacionada amb l'avançada edat de l'element.



Figura 6.2 Model fallada B del llibre de RMC per (Ref. 31).

#### 6.4. Manteniment Predictiu

Aquest tipus de manteniment, també conegut com manteniment preventiu a condició, es basa en el fet que la major part de les fallades donen alguna advertència de què estan a punt d'ocórrer, aquestes advertències es coneixen com a fallades potencials, i es defineixen com les condicions físiques identificables que indiquen que ocorrerà una fallada funcional o que està en el procés d'ocórrer.

En la nostra planta es durà a terme aquest manteniment a partir de l'advertència d'un indicador de pressió, nivell o temperatura que indiqui que existeix una possible avaria en l'equip.

#### 6.5. Manteniment basat en la fiabilitat RCM

El manteniment basat en la fiabilitat, en anglès *Reliability Centered Maintenance (RCM)*, és un sistema per plantejar el manteniment d'una instal·lació, consisteix en focalitzar els recursos de manteniment en aquelles falles més crítiques, per seguretat, per medi ambient i per la productivitat de la planta. S'ha aplicat el sistema RCM seguint l'article de (Ref. 32) i en la zona de separació 2 i absorció i desorció de CO<sub>2</sub>. El sistema consta de sis fases que estan explicades a continuació.

##### 6.5.1. Separació d'àrees o sistemes

Es la primera fase d'aplicació del RCM, en la qual es divideix la fàbrica o procés en diferents àrees o sistemes amb les majors dimensions possibles. La proposta de separació en àrees de la nostra part de la planta es mostren en la taula següent:

Taula 6.1 Separació de la planta per sistemes de la zona de separació d'àcid acètic.

Codi	Sistemes
S002	Absorbidor d'àcid acètic
S003	Absorbidor de CO <sub>2</sub>
S004	Condensador
S005	Sistema de recirculació
S006	Desabsorbidor de CO <sub>2</sub>

### 6.5.2. Càlcul de la criticitat d'àrees

En aquesta segona fase s'analitza cada una de les àrees anteriorment proposades d'acord amb els criteris de seguretat i medi ambient, i de disponibilitat i fiabilitat. Per determinar aquests criteris en valor numèric es troben a la Taula 12.30 i la Taula 12.31, extretes de l'article, (Ref. 32), i es mostren a continuació:

Pel càlcul del criteri de seguretat o medi ambient es multiplica el valor de la Taula 12.30 per el valor de la probabilitat de fallada de la Taula 12.31. En la Taula 6.2 es mostren els sistemes de la planta amb els seus valors corresponents a cada criteri.

Taula 6.2 Càlcul de la criticitat de àrees

Codi àrees	Seguretat i medi ambient			Fiabilitat i disponibilitat
	Conseqüències	Probabilitat	Valor	
S002	6	1	6	8
S003	6	1	6	8
S004	6	6	36	6
S005	3	1	3	6
S006	6	2	12	8

### 6.5.3. Elecció del nivell crític del anàlisis

En aquest pas s'escull un valor com ha límit inferior per realitzar el mètode RCM, ja que aquests tindran una criticitat molt baixa i són resolts de forma correctiva. Seguint l'article de Miguel Romera, s'ha fixat un límit inferior d'entre 4 i 6 per els criteris esmentats en els apartats anteriors.

Observant la Taula 6.2, es pot descartar el sistema de recirculació. En aquests sistemes, en cas de fallada, es durà a terme un manteniment correctiu immediat.

### 6.5.4. Anàlisis de fallades funcionals

En aquesta fase s'explica les funcions que duen a terme els equips de cada sistema proposats en els apartats anteriors. Existeixen tres tipus de funcions, la principal que és per la qual l'equip ha estat dissenyat, la secundària, que és aquella funció per la qual tot i que no s'hagi dissenyat l'equip, és necessària per al correcte funcionament del projecte, i per últim la funció de protecció.

Un cop conegudes les funcions de cada equip, es determinen les fallades funcionals i els seus modes de detecció, posteriorment, i igual que amb els sistemes de la planta, es determina la criticitat de les fallades funcionals dels equips, els criteris utilitzats són la disponibilitat de l'equip per la planta, la freqüència de parada, detectabilitat de la fallada funcional, i seguretat i medi ambient. Els valors i la classificació d'aquests criteris, es troben a la Taula 12.32, Taula 12.33, Taula 12.34, de l'annex A.17.1.

### 6.5.5. Anàlisis de modes i causes de fallades tècniques

En aquesta fase de l'estudi del RCM es passa a valorar la forma o mode en què els elements que componen els equips de la planta fallen. Primer es descomponen els equips en elements a mantenir, seguidament es determinen els diferents modes de fallada per cada element, es defineixen les diferents causes d'aquestes fallades i es valora la criticitat de cada causa de fallada, per últim es determina quin tipus de manteniment utilitzar i, en cas de ser preventiu, la

freqüència d'inspeccions. Els valors i la classificació d'aquests criteris, es troben a la Taula 12.33, Taula 12.34, Taula 12.35 i la Taula 12.36 de l'annex A.17.1.

#### **6.5.6. Estratègia de manteniment**

Un cop definits els passos per la realització del RCM, s'ha separat els equips dels sistemes per mesures de manteniment comunes, i s'ha dut a terme un exemple de cada un, ja que els altres seguiran una metodologia molt similar.

En cada equip s'ha intentat buscar un manteniment preventiu a condició, o predictiu, que previngués la fallada funcional de l'equip. D'altra banda, per determinar quin tipus de manteniment utilitzar en l'element de l'equip a mantenir en qüestió, s'ha fixat un límit inferior de criticitat de 6, per sota d'aquest s'utilitzarà un manteniment correctiu, i per damunt un manteniment preventiu sistemàtic que variarà segons la freqüència estimada de fallada de l'element.

En l'apartat següent, 6.5.7, es mostren les taules de fallades funcionals i les mesures de manteniment sobre els elements dels diferents equips de la planta.

## 6.5.7. Taules de les fallades funcionals dels equips i mesures de manteniment

### 6.5.7.1. Màquines rotatives: Bombes centrífugues

Taula 6.3 Taula d'anàlisi de les fallades funcionals

Equip: Bomba P-202

Funció	Fallada funcional	Mode de detecció	Di	F	De	S	Total	Manteniment	Tasca	Per
Bombejar aigua cap a la columna d'absorció DA-201.	Desviació de paràmetre de procés: Pressió de descarrega baixa.	Indicador de pressió	1	3	1	1	3	Preventiu Condicional	Engegar bomba reserva i Inspeccionar la bomba en ús.	Planta
	Temperatura del motor alta.	Indicador de temperatura	1	3	1	1	3	Preventiu Condicional	Engegar bomba reserva i Inspeccionar la bomba en ús.	Planta
	Vibracions altes en l'equip	Indicador de vibracions	1	3	1	1	3	Preventiu Condicional	Engegar bomba reserva i Inspeccionar la bomba en ús.	Planta
Contenir el fluid procés	Fuga dels fluids a l'exterior.	Detectors	2	4	2	2	32		Veure Taula 6.4	Mant.

Taula 6.4 Mesura de manteniment sobre els elements del equip

Equips: Bomba P-201

Element	Mode de fallada	Causa de fallada	Efecte	Di	F	C	S	Total	Tasca	Freq.
Coixinets i lubricant	Trencament dels coixinets	Mala lubricació, vibracions.	Trencament del motor, incapaç de bombejar	1	3	4	1	12	Inspecció l'element	de Trimestral
Juntes i tanca mecànica	Trencament de les juntes	Error humà en el muntatge o disseny	Fuga fluid de procés al exterior.	1	3	4	3	36	Inspecció l'element	de Trimestral
		Deteriorament material de la junta	Fuga fluid de procés al exterior.	1	3	2	3	18	Inspecció l'element	de Trimestral
Carcassa i estructura	Pèrdua d'espessor	Corrosió localitzada	Fuga fluid de procés al exterior	1	1	2	3	6	Manteniment correctiu	
Rodet d'impulsió	Pèrdua d'espessor	Desgast, erosió o corrosió.	No bombeja correctament	1	2	2	1	4	Manteniment correctiu	
Eix	Pèrdua d'espessor, alineació	Desgast, erosió o corrosió, vibracions.	No bombeja correctament	1	2	2	2	8	Inspecció del equip	del Anual

**6.5.7.2. Columnes i tancs**

Taula 6.5 Taula d'anàlisi de les fallades funcionals

Equip: Columna d'absorció DA-201

Funció	Fallada funcional	Mode de detecció	Di	F	De	S	Total	Manteniment	Tasca	Per
Remoure l'àcid acètic del corrent de fluid de procés.	Producte fora d'especificació	Indicador de composició	2	1	1	1	2	Manteniment correctiu		Planta
Contenir els fluids dins l'equip.	Fuga dels fluids a l'exterior.	Detectors	2	4	2	2	32	Veure Taula 6.6		Mant.

Les mesures per evitar fallades en aquests equips, són mitjançant inspeccions que impliquin tècniques de diagnòstic, radiografies etc, realitzades per un equip de manteniment especialitzat.

Taula 6.6 Mesura de manteniment sobre els elements del equip

Equips: Columnes

Element	Mode de fallada	Causa de fallada	Efecte	Di	F	C	S	Total	Tasca	Freq.
Carcassa	Pèrdua d'espessor	Corrosió sota aïllament i localitzada	Fuga fluid de procés al exterior	2	1	2	3	16	Inspecció de l'element	de Anual
Plats	Pèrdua de àrea de superfície de contacte	Erosió	Producte fora d'especificació	3	1	2	1	6	Manteniment Correctiu	

**6.5.7.3. Bescanviadors de calor**

Taula 6.7 Taula d'anàlisi de les fallades funcionals

Equip: Condensador E-204

Funció	Fallada funcional	Mode de detecció	Di	F	De	S	Total	Manteniment	Tasca	Per
Condensació parcial del fluid de procés provinent de la columna d'absorció DA-202.	Desviació de paràmetre de procés: dP al costat del fluid de procés.	Indicador de pressió	2	3	1	1	6	Preventiu Condicional	By-pasejar el condensador i netejar	Planta
	Desviació de paràmetre de procés: Temperatura alta a la sortida del condensador.	Indicador de temperatura	2	3	1	1	6	Preventiu Condicional	By-pasejar el condensador i netejar	Planta
Contenir els fluids dins l'equip.	Fuga dels fluids a l'exterior.	Detectors	2	4	2	2	32		Veure Taula 6.8	Mant.

Taula 6.8 Mesura de manteniment sobre els elements del equip

Equips: Bescanviadors de tub i carcassa amb fluid de procés per carcassa

Element	Mode de fallada	Causa de fallada	Efecte	Di	F	C	S	Total	Tasca	Freq.
Carcassa	Pèrdua d'espessor	Corrosió sota aïllament i localitzada	Fuga fluid de procés al exterior	2	2	2	3	24	Inspecció l'element	de Anual
Tubuladures c. carcassa	Fallada junta	Error humà en el muntatge	Fuga fluid de procés al exterior	2	2	2	3	24	Inspecció l'element	de Anual
		Deteriorament material de la junta	Fuga fluid de procés al exterior	2	2	2	3	24	Inspecció l'element	de Anual
Feix tubular	Pèrdua d'espessor	Corrosió baix dipòsit	Fuga procés cap a l'aigua	2	3	6	1	36	Inspecció l'element	de Semestral
Capçal superior	Pèrdua d'espessor	Erosió per flux aigua	Fuga aigua cap a l'exterior	2	1	2	1	4	Manteniment Correctiu	

### 6.5.8. Canonades i vàlvules

Aquests elements han de ser revistats per un equip de manteniment especialitzat, per evitar fallades es duu a terme revisions diàries per trobar fugues, obstruccions, corrosions, vibracions i vàlvules defectuoses. En el cas de les canonades és controla en major mesura els colzes ja que són les zones amb més desgast i donen un bon indicatiu de l'estat de la canonada.

### 6.5.9. Instrumentació

Per tal de disminuir les imprecisions, bloquejos i altres anormalitats dels instruments, és revisarà diàriament la entrada de pols, contaminació interna, obstrucció dels filtres i defectes elementals dels instruments.

## 6.6. MANTENIMENT LEGAL

Els equips a pressió de la planta segueixen el real decret 809/2021 del Ministeri de Industria del govern d'Espanya, per els equips d'aquest treball és seguirà el ITC-EP-3, concretament els articles 3 i 6.

Els recipients a pressió de la planta s'han classificat atenent a la seva perillositat amb els següents criteris, a efectes de la present ITC:

- Potencial de risc: els recipients es classifiquen segons el producte de la pressió màxima admissible per el volum en (m<sup>3</sup>).
- Característiques dels fluids: segons les característiques i perillositat dels fluids que operen en els equips.
- Classes d'equips: mitjançant la combinació del potencial de risc i de les característiques dels fluids.

Les matrius de decisions i classificacions es troben en l'annex A.17.2, i la classificació dels equips de la planta es troba a la taula Taula 6.11.

Les canonades amb diàmetre superior a DN 50 i on el seu valor és major a 1000 en (P x DN), seran inspeccionades almenys amb nivell B Taula 6.10, a continuació en la Taula 6.9 s'enumeren totes les canonades de nivell d'inspecció B, les altres tindran un nivell C.

Taula 6.9 Classificació de les canonades amb nivell d'inspecció B

Grup de fluid	Canonades amb nivell d'inspecció B
1.1	2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2028, 2029, 2030, 2031, 2032, 2033, 2034, 2038, 3001, 3002, 3007, 3009, 3010, 3012, 3013, 3014, 3015, 3017.
2.1 i 2.2	2011, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024, 2027, 2039, 2040, 3207.

Taula 6.10 Agent i periodicitat de les inspeccions de les canonades.

Nivell d'inspecció	Grup de fluid		
	1.1	1.2	2.1 i 2.2
Agent i periodicitat de les inspeccions periòdiques de recipients			
Nivell B	Inspector propi 6 anys	Inspector propi 10 anys	Inspector propi 12 anys
Nivell C	O.C.12 anys	O.C.12 anys	No obligatori

Taula 6.11 Classificació dels equips a pressió de la planta

Equips a Pressió	P. operació (bara)	Potencial de risc		Classes d'equip	
		Volum (m <sup>3</sup> )	Potencial	Fluid	Classe
R-100	10.40	406	1	1.1	1
DA-100	7.70	701	1	1.1	1
DA-201	10.42	7.84	3	1.1	2
DA-202	9.97	38.7	2	1.1	1
DA-203	1.25	30.5	3	2.1	3
FA-101	9.20	128	1	1.1	1
FA-102	7.20	21.4	3	1.1	2
FA-103	6.20	83.9	2	1.1	1
FA-104	1.03	332	2	1.1	1
FA-201	9.97	3.35	3	1.1	2
E-100	10.50	13.24	3	1.1	2
E-101	9.22	3.29	3	1.1	2
E-102	18.68	4.73	3	1.1	2
E-104	7.70	2.97	4	1.1	3
E-105	7.70	5.14	3	1.1	2
E-201	10.42	0.70	5	1.1	4
E-203	9.76	1.84	4	1.1	3
E-204	9.76	2.11	4	1.1	3
E-205	1.05	0.16	5	2.1	5
E-206	1.25	4.57	5	1.1	4

Un cop classificats els equips, i segons la seva classe, és realitzaran les inspeccions pertinents que es mostren a continuació en la Taula 6.12:

Taula 6.12 Agent i periodicitat de les inspeccions dels equips a pressió.

Classificació del recipient	Nivell d'inspecció		
	Inspecció exterior	Inspecció interior fora de servei	C
Agent i periodicitat de les inspeccions periòdiques de recipients			
Classe 1	Inspector propi 4 anys	O.C.6 anys	O.C.12 anys
Classe 2	Inspector propi 4 anys	O.C.8 anys	O.C.18 anys
Classe 3	Inspector propi 6 anys	Inspector propi 10 anys	No requereix
Classe 4	Inspector propi 6 anys	Inspector propi 10 anys	No requereix
Classe 5	Inspector propi 8 anys	No requereix	No requereix

- Inspecció exterior: es realitzarà una comprovació dels espessors per ultrasò i/o qualsevol assaig no destructiu que es consideri necessari.
- Inspecció interior fora de servei: Inspecció visual interna i comprovació dels espessors de totes les parts sotmeses a pressió.
- Prova de pressió: Tots menys els equips a buit que no requeriran de la prova hidrostàtica.

## 7. ESTUDI D'IMPACTE AMBIENTAL

### 7.1. Emissions atmosfèriques

#### 7.1.1. Emissions directes

En la zona de reacció del procés d'acetat de vinil les possibles emissions de gasos a l'atmosfera són les següents:

- **Emissions puntuals:** Aquestes emissions no es poden comptabilitzar fins que hi hagi una emergència que obligui a l'obertura d'alguna de les vàlvules de seguretat (PSV) del procés cap a torxa. En aquest cas, s'haurà de notificar al gencat amb un informe de la causa i la quantitat de gas cremat.
- **Emissions constants:** Aquestes emissions comprenen les purgues de valors constants dels gasos cap a torxa i els gasos emesos per la combustió de qualsevol combustible utilitzat a planta per produir energia. En el segon cas, en la part de reacció no s'utilitzen combustibles per a la producció d'energia ja que es disposa d'un contracte als serveis de vapor i electricitat.
- **Emissions fugitives:** Aquestes emissions tenen lloc en les parts més dèbils del procés tals com vàlvules de control, bombes i brides. Són emissions que es produeixen de forma continua i són indetectables pels sentits ni és una quantitat molt significativa com per a detectar-ho de forma automàtica. S'estimen que en les vàlvules de control es perden de l'ordre de 3 kg/any de producte; a les bombes i les brides s'aproxima a 1 kg/any de producte.

Segons la directiva 2010/75/EU, els components amb límits d'emissió són:

- SO<sub>2</sub> amb una concentració màxima de 35 mg/Nm<sup>3</sup>, 150 t/any a un preu de 45€/t.
- NO<sub>x</sub> amb una concentració màxima de 100 mg/Nm<sup>3</sup>, 100 t/any a un preu de 75€/t.
- Partícules sòlides amb una concentració màxima de 5 mg/Nm<sup>3</sup>, 50 t/any a un preu de 60€/t.

En el cas de la empresa, aquests tipus de gasos no s'emeten de cap manera però sí que es tenen en l'apartat d'emissions constants una sortida de diòxid de carboni que no es pot ignorar. Per tant, s'ha calculat el diòxid de carboni pel cremat dels gasos provinents de l'absorbidor de CO<sub>2</sub> com a emissió indirecte i l'Scubber d'aigua a partir de les reaccions de combustió que es duen a terme a la torxa.

Taula 7.1 Contaminació de gasos GEH del procés (Ref. 33).

Unitat	Quantitat de CO <sub>2</sub> (t/any)	Cost dels drets d'emissió (M€/any)
DA-201	2521	-
DA-203	26318	0.9

#### 7.1.2. Emissions indirectes

Les emissions indirectes fan referència a la petjada de carbó que deixa el procés amb una quantitat de CO<sub>2</sub> equivalent per kilogram de producte que s'obté. Ja que en la companyia no s'utilitzen fuels o altre tipus de combustible per produir vapor o energia elèctrica es podria pensar que no hi ha petjada. Per tant, es fa una petita demostració de la petjada de carbó que es deixaria per la electricitat consumida pel procés tenint en compte el mix elèctric en Espanya

(0.165 tCO<sub>2</sub> equivalent/MWh) (Ref. 34). També s'hauria de fer per la producció de vapor però la intenció es mostrar la seva existència i l'ordre de magnitud.

Taula 7.2 Petjada de carboni dels equips elèctrics.

	Equip P-100	Equip P-101	Equip P-200	Equip P-201	Equip E-103
Potència elèctrica consumida (kW)	44.55	89.1	52	45	476.6
Tones CO <sub>2</sub> equivalent (t/any)	59	118	69	60	631

## 7.2. Abocaments líquids

En primer lloc, les aigües de les pluges que cauen en el terreny pavimentat en el recinte de la planta i les aigües residuals embrutades per fugues de líquid del procés són recollides i enviades a una planta depuradora pel seu tractament. Per a un correcte tractament de l'aigua, l'Agència Catalana de l'Aigua limita algunes condicions de l'aigua abans de ser abocades al mar:

- COT o TOC: 300 mg/l
- Fenols: 2 mg/l
- Olis i greixos: 50 mg/l
- MES (Matèries en suspensió, ídem SST): 250 mg/l

En segon lloc, també s'ha de comptabilitzar els residus que es generen per la utilització d'olis lubricants en equips rotatius. És el cas de les bombes centrífugues i sobretot del compressor de gas. Els residus són enviats a un gestor autoritzat per a ser tractats adequadament.

Per últim, mencionar els residus de les zones del procés que s'han aïllat per motius de manteniment i s'han de buidar del compost que hi continguin. En aquest cas, s'envien els residus a la corresponent empresa de tractament de residus d'aquell tipus.

## 7.3. Residus sòlids

Dins dels residus sòlids es poden distingir els residus relacionats amb el procés i els residus per al manteniment de la maquinària i les canonades.

En el primer cas, els residus sòlids més importants, generats en la zona de reacció, són les tones de catalitzador desactivat que es reemplacen per catalitzador activat. És de suma importància tractar aquest catalitzador desactivat pel seu potencial de toxicitat i per la seva composició d'or. S'ha d'enviar a una empresa de tractament adequat amb una recuperació de l'or contingut.

En el cas dels residus de manteniment, es poden englobar com a ferralla resultant de les restes de juntes, canonades, etc. Però també s'ha de considerar rodaments, palets, draps, etc... que són rebutjats al canviar peces de bombes, al transportar noves peces i al netejar-les.

## 7.4. Sorolls i vibracions

El llindar màxim de soroll permès durant el funcionament de la planta és de 85dB a 1 metre de distància del equip. En el cas de les bombes no es supera la quantitat de soroll permès. En el compressor accionat per una turbina la intensitat de soroll és de 110 dB, per tant s'ha instal·lat al voltant de l'equip una caixa acústica que aïlla en gran mesura el soroll.

### 7.5. Contaminació lumínica

Per poder treballar les 24 h del dia, els treballadors nocturns disposen d'una il·luminació adient per poder portar a cap el treball. De igual manera, es necessari seguir el Reglament d'eficiència energètica del Reial Decret 1890/2008 per a no perjudicar l'entorn en que es troben les instal·lacions.

### 7.6. Olors

S'ha d'assegurar que el llinard de les olors que desprenen els compostos químics que intervenen en el procés estiguin entre uns valors de 0.2 i 100 ppm. Per tant, en cas que l'olor es pogués notar podria significar una possible fuga.

Per identificar els olors dels compostos s'observen les fitxes tècniques dels compostos. El cas més significatiu és l'àcid acètic que té un olor acre.

### 7.7. Millors tècniques disponibles (MTD)

Les Millors Tècniques Disponibles són un concepte d'aplicabilitat legal relacionada amb les activitats industrials i amb el seu impacte mediambiental. Les MTD descrites més endavant són les més rellevants en la zona de reacció del procés d'acetat de vinil (Ref. 35).

#### 7.7.1. Eficiència en l'ús dels recursos

La MTD 15 de "D. 2017/2117 Conclusiones MTD-Química de gran volumen de producción" descriu les millors tècniques per augmentar l'ús dels catalitzadors i en conseqüència baixar els residus del mateix.

Taula 7.3 MTD 15: Eficiència en l'ús dels recursos; catalitzadors.

Tècnica	Descripció
a. Selecció de catalitzador	<p>Seleccionar un catalitzador amb el qual s'aconsegueixi l'equilibri òptim entre els factors següents:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— activitat del catalitzador,</li> <li>— selectivitat del catalitzador,</li> <li>— vida útil del catalitzador (per exemple, vulnerabilitat a verins del catalitzador),</li> <li>— utilització de metalls menys tòxics.</li> </ul>
b. Protecció del catalitzador	Tècniques utilitzades en passos anteriors per a protegir el catalitzador de verins (per exemple, pretractament de les matèries primeres).
c. Optimització del procés	Control de les condicions del reactor (per exemple, temperatura, pressió) per a aconseguir l'equilibri òptim entre l'eficiència de conversió i la vida útil del catalitzador
d. Monitoratge del rendiment del catalitzador	Monitoratge de l'eficiència de conversió per a detectar l'inici de la descomposició del catalitzador utilitzant paràmetres adequats (per exemple, la calor de reacció i la formació de CO <sub>2</sub> en el cas de reaccions d'oxidació parcial).

### 7.7.2. Emissions

Per la part de qualsevol emissió de les indústries, es recomana seguir les MTD que es fan referència al document “D. 2016/902/UE Conclusiones MTD - Sistemas comunes de tratamiento y gestión de aguas y gases residuales en el sector químico.”.

- Per la gestió de residus sòlids i tractament de fangs seguir les MTD 13 i 14.
- Emissions atmosfèriques entre les MTD 15 i 19.
- Emissions d'olors amb la MTD 20.
- Emissions de sorolls amb la MTD 22 i 23.

Entre aquestes, les més rellevants són les emissions produïdes per la combustió de productes en la torxa. Es recomana que dintre de lo possible les emissions de torxa siguin les menors possibles i que s'utilitzi com a sistema de seguretat o per situacions poc comunes (MTD 17). En aquest cas és inevitable utilitzar la torxa de forma intermitent així que s'ha d'intentar seguir la MTD 18:

Taula 7.4 MTD 18. Reducció emissions atmosfèriques; torxes.

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

## **8. MANUAL D'OPERACIÓ**

En aquest apartat s'ha fet un resum del procediment a seguir en les situacions més propenses a ocórrer en la planta.

### **8.1. Posada en marxa de les unitats**

- 1- Comprovar que qualsevol sistema de purga estigui tancat, provar que tots els instruments de control funcionin correctament i realitzar una prova de pressió als instruments.
- 2- Reactor: omplir els tubs del reactor amb catalitzador. Primer s'aplica una capa de boles de ceràmica (fins el punt més alt del feix tubular) amb precaució per no trencar-les. Per omplir la part inferior dels tubs es aconsella fer-ho amb les eines adients. Cada tub ha de contenir el mateix volum de catalitzador. El nivell de catalitzador no s'ha d'excedir en cap sota de circumstància d'operació. El nivell de condensat s'ha de comprovar tub per tub per a que la pèrdua de càrrega sigui la mateixa. Això s'aconsegueix introduint nitrogen per la part superior del tub mentre que es llegeix amb un rotàmetre o un mesurador de gas situat en la part inferior. Amb un caudal constant en la sortida, la pèrdua de càrrega es pot observar en la part superior del tub del reactor mitjançant un tub en U ple d'aigua o mercuri. Si la  $\Delta P$  no és la mateixa, s'introdueix una mica més de catalitzador.
- 3- Es tanca el reactor i es purga tota la unitat amb nitrogen fins estar segur de que no hi ha oxigen. Abans d'afegir etilè, es millor segellar els diversos fondos de les columnes i recipients amb àcid acètic, aigua i acetat potàssic respectivament. L'àcid acètic es carrega a través de la línia de posada en marxa al tanc de cru F-104 i d'allí als diversos equips.
- 4- La unitat R-100 es pressuritza gradualment amb etilè fins arribar a la pressió de reacció (tenint en ment el  $\Delta P$  en el compressor) i es posa en operació el compressor.
- 5- Es torna a inspeccionar la planta, principalment tots els instruments en el sistema del gas de recirculació.
- 6- Es calenta gradualment el reactor. Es pot utilitzar el forn per ajudar. El calor necessari es subministrat principalment pel bescanviador de posada en marxa E-100X. Al mateix temps el sistema de refrigeració es posa en marxa i s'inspecciona.
- 7- La columna azeotròpica i el vaporitzador del gas recirculació es posen en marxa de manera que ja es disposa un cicle d'àcid acètic en operació.
- 8- S'afegeix l'àcid acètic quan en el efluent del reactor s'arriba a 140°C. L'evaporador d'àcid acètic F-101 s'omple a un nivell normal i es calenta gradualment fins que s'aconsegueix la quantitat normal d'àcid en el efluent del reactor. El sistema de condensació ha d'estar en funcionament. S'ha de prendre precaucions en que la temperatura de caigui per sota del punt de cristallització del àcid acètic. Abans d'afegir oxigen s'ha d'utilitzar el catalitzador amb àcid acètic durant 30-50 minuts.
- 9- S'inicia la injecció d'acetat potàssic.
- 10- Es comença a alimentar oxigen, aproximadament un terç del caudal normal durant curts períodes de temps amb interrupcions de pocs minuts. Comença a augmentar el nivell d'oxigen en el gas de recirculació. Es va repetint l'addició d'oxigen de forma intermitent fins que el nivell d'oxigen en el gas de recirculació es de l'ordre del 1% en volum. Després s'incrementa gradualment la temperatura del reactor en escalons d'1°C com a màxim fins que l'oxigen hagi començat a reaccionar i el seu nivell hagi caigut un 3% en volum a la sortida del reactor. En aquest moment comença l'addició d'oxigen continua. Durant la posada en marxa, el contingut d'oxigen en el gas de recirculació, després del

reactor, s'ha de mantenir en un 3% en volum aproximadament. El nivell d'oxigen en el gas de procés s'ha de calcular segons el límit d'explosió abans d'entrar al reactor.

11- A continuació s'inicia el funcionament de la secció de destil·lació.

12- El compressor de gas residual es posa en marxa al mateix temps que les unitats d'absorció de diòxid de carboni.

### **8.2. Operació a baixa càrrega**

Es suggereix que la planta treballi amb un caudal volumètric del gas de recirculació constant, d'aquesta manera es pot conservar les condicions de flux en reactor com a constants. L'alimentació d'oxigen es redueix per a tenir la sortida desitjada d'acetat de vinil.

La temperatura es redueix fins que el contingut d'oxigen en el gas de recirculació hagi augmentat fins un nivell en el qual la operació pot continuar-se amb una pressió parcial diferent d'oxigen. Això deriva a una conversió menor en l'oxigen.

L'operació sota la capacitat anual dona com a resultat una reducció de la temperatura d'entre 15-20 °C. Si no es desitja una reducció de temperatura, es pot treballar amb un contingut menor d'oxigen en la entrada del reactor.

### **8.3. Parada normal de la planta**

Bàsicament la planta es para la planta de forma inversa a la seva posada en marxa.

- 1- Es tanca l'alimentació d'oxigen i la planta funciona en condicions normals d'operació durant 30 minuts com a mínim fins que els analitzador indiquin que no hi ha més oxigen. Es disposa d'un rang de nivell d'oxigen en el qual es forma monòxid d'oxigen. Aquesta formació s'ha de parar en mitja hora com a molt tard. Si no, s'ha d'obrir la purga. El nivell de monòxid d'oxigen en el gas de recirculació no ha d'excedir el 0.2-0.3 % en volum. S'ha de controlar la temperatura ja que al no formar acetat de vinil el àcid acètic no reaccionat pot cristal·litzar.
- 2- Es talla l'alimentació de l'àcid acètic al evaporador. Es drena el evaporador extraient el producte del fons això com per saturació del gas de recirculació. S'ha d'assegurar que l'àcid acètic no arribés a contactar amb el catalitzador. Al mateix temps es talla la injecció de acetat potàssic i es neteja amb aigua les torres, canonades i connexions.
- 3- Es deixa el catalitzador amb el gas de recirculació calent durant 30 minuts. Es baixa gradualment la temperatura fins a 100 °C.
- 4- Es redueix la pressió de reacció i es refreda completament el reactor, mentre que es purga el catalitzador amb una quantitat mínima d'etilè o nitrogen fins arribar a una temperatura ambiental.
- 5- Si la planta ha d'obrir, s'ha de purgar l'etilè amb nitrogen.

### **8.4. Precaucions de seguretat**

En casos d'emergència és imperatiu purgar el catalitzador. D'altra manera, el producte es podria polimeritzar. Aquesta purga es realitza amb etilè o al menys amb nitrogen.

La planta utilitza mescles d'oxigen i etilè una mica per damunt del límit d'explosió del gas sec però per sota del límit d'explosió de la mescla global, incloent l'àcid acètic. Qualsevol excés en el nivell d'oxigen és un risc d'explosió, de totes formes s'incrementaria la quantitat de diòxid de carboni format i en conseqüència el calor generat en R-100. El sobreescalfament, així com la combustió incompleta del etilè en carbó i monòxid de carboni, desactiven el catalitzador. La fallada d'alimentació d'àcid acètic també afectaria al catalitzador.

Bàsicament, qualsevol fallada o irregularitat en la planta suposa la interrupció en l'alimentació d'oxigen.

## **8.5. Procediment d'emergència**

### **8.5.1. Situacions perilloses**

El risc d'explosió o sobrepressió en la planta s'ha de considerar com a situació perillosa. Es pot derivar en qualsevol dels següents situacions, algunes ja descrites en el Hazop del R-100:

- 1- Fallada del compressor del gas de recirculació. Per evitar la formació d'una mescla explosiva en el reactor, es talla immediatament l'alimentació d'oxigen. La vàlvula d'alimentació d'etilè i nitrogen d'emergència obren. L'efecte de la purga pot millorar-se reduint la pressió del sistema.
- 2- Temperatura excessiva del reactor. Es para l'alimentació d'oxigen.
- 3- Concentració excessiva d'oxigen en el gas de recirculació. Es para l'alimentació d'oxigen.
- 4- Temperatura excessiva després del sistema de condensat (augment de pressió o fallada de refrigeració del reactor). Es para l'alimentació d'oxigen per a inhabilitar la generació de calor en el reactor. Es tanquen les entrades de vapor al evaporador i bescanviador E-102. Es redueix la pressió del vapor en el reactor. El compressor es parará per protecció pròpia. A més, degut a l'alta temperatura, el gas de recirculació després de la neteja contindrà massa àcid acètic i VAM.
- 5- Alimentació excessiva d'oxigen. Es para l'alimentació d'oxigen.
- 6- Fallada en l'alimentació de l'àcid acètic de recirculació (fallo de la bomba, fallo del vapor en el evaporador d'àcid acètic). La falta d'àcid acètic dona lloc a la combustió de l'etilè a diòxid de carboni. Es para l'alimentació d'oxigen.
- 7- Sobrepressió en el sistema. Tallada d'alimentació d'oxigen i etilè.
- 8- Falta de pressió en les línies d'alimentació d'oxigen i etilè o fallo en l'alimentació de vapor. Es para l'alimentació d'oxigen. Es para, per evitar la entrada de gas de recirculació en les línies d'alimentació.
- 9- Falta de pressió en el sistema de seguretat de nitrogen. Hi ha alarma.

### **8.5.2. Diversos danys**

Dany a la planta i especialment al catalitzador pot ocórrer en els següents casos:

- 1- Fallo del compressor de gas de recirculació. S'ha de purgar el reactor per a eliminar el VAM per evitar una polimerització i danyar el catalitzador.
- 2- Temperatura excessiva en l'entrada del reactor. Pot danyar el catalitzador. Es para l'alimentació d'oxigen.
- 3- Concentració excessiva d'oxigen en el gas de recirculació. Conduïx a una generació excessiva de calor en el reactor en conseqüència danya el catalitzador. Es para l'alimentació d'oxigen.
- 4- Fallada en l'alimentació de l'àcid acètic de recirculació (fallo de la bomba, fallo del vapor en el evaporador d'àcid acètic). La falta d'àcid acètic dona lloc a la combustió de l'etilè a diòxid de carboni i per tant danya el catalitzador. Es para l'alimentació d'oxigen.
- 5- Concentració excessiva de monòxid de carboni en la sortida del reactor. Pot donar lloc per les següents causes.
  - a) Combustió de l'etilè en males condicions. Es para l'alimentació d'oxigen.
  - b) Durant la parada de la planta es passa un rang en el qual es pot formar CO degut a la falta d'oxigen. Aquesta formació de CO s'ha de interrompre immediatament. El nivell de CO en el gas de recirculació no ha d'excedir 0.2-0.3% en volum. Procediment: obrir bé la purga. Durant la posta en marxa es forma CO com a resultat d'una falta d'oxigen només si el reactor opera a la temperatura de reacció. Procediment: obrir bé la purga i continuar l'addició d'oxigen amb més velocitat.

- c) Si el contingut d'oxigen en el gas de recirculació després del reactor baixa a 1.5% en volum (calculat com a gas sec) el resultat serà de formació de CO degut a una diferència d'oxigen. Això pot ocórrer principalment en operació de baixa càrrega. Procediment: augmentar gradualment l'alimentació d'oxigen o si hi ha alimentació suficient, baixar la temperatura.
- 6- Baix nivell en la caldera de vapor. La generació de calor s'interromp, parant en conseqüència l'alimentació d'oxigen. Un nivell insuficient pot produir sobrealimentació de les capes superficials del catalitzador.
- 7- Baixa temperatura en l'entrada del reactor (fallada del vapor en el forn de la posta en marxa). S'ha de parar immediatament la unitat, ja que el gas de recirculació conté boira d'àcid acètic que eliminarà l'acetat del catalitzador. Igualment, es redueix la conversió i la quantitat d'oxigen en el gas de recirculació després del compressor.
- 8- Fallo en l'alimentació d'etilè. Es para l'alimentació d'oxigen.

## 9. ESTUDI ECONÒMIC

L'estudi econòmic és un dels elements més importants en un projecte d'enginyeria ja que determina la seva viabilitat, en excepció dels projectes que impliquen seguretat i altres casos no tan comuns. Per realitzar aquest estudi, s'han estimat els costos directes i indirectes de la renovació de la planta d'acetat de vinil. Posteriorment s'han calculat el VAN, TIR en un període de 10 anys i el *Payback Period* seguint el mètode de (Ref. 36).

El mètode utilitzat pel càlcul del *Payback Period* té com a origen el dia de la primera inversió fins que es recupera totalment.

L'estudi s'ha dividit en dues parts, la viabilitat de la zona del reactor amb la primera separació del producte i la segona zona que s'estudia la viabilitat econòmica d'implantar un sistema de recuperació dels reactius en un corrent amb continguts de CO<sub>2</sub>.

### 9.1. Avaluació econòmica: Zona de reacció i primera separació

En aquesta zona es troben un total de 18 equips en els quals estan presents el reactor R-100, el compressor C-100 i la columna de rentat de gasos DA-100.

L'objectiu d'aquesta zona és produir l'acetat de vinil a partir de les matèries primeres i fer la separació dels gasos de recirculació d'aquest producte esmentat. El cost de mercat de l'acetat de vinil s'ha suposat un 80% del original per tal d'aproximar les separacions posteriors segons (Ref. 37). Els costos dels equips s'han obtingut a partir del Excel *Capcost* de (Ref. 38). Per l'estimació dels costos d'instal·lació s'ha seguit el mètode de (Ref. 36), on es poden seguir amb més detall en l'annex A.18. Amb el mateix mètode s'han estimat els costos fixos, variables anuals i l'amortització dels equips.

Taula 9.1 Estimació de costos de la planta química.

Dada	Valor
Inversió (M€)	27.1
Ingressos (M€)	270.1
Costos variables (M€)	257.9
Costos fixos (M€)	0.94
Amortització (M€)	1.1
Benefici després d'impostos (M€)	3.37

A partir de les dades de la Taula 9.1 es calculen el VAN amb una taxa d'imposició del 10% (Ref. 37), TIR i *Payback* del projecte. En aquest cas, s'han considerat 10 anys de producció. Dintre d'aquests anys, l'any 0 i l'any 1 es duu a terme la construcció i instal·lació dels equips i estructures necessàries, per tant no es produeix res. Passada aquesta temporada, es procedeix a la posta en marxa de la planta, en conseqüència d'algunes irregularitats es treballa a un 60% de capacitat durant dos anys. Finalment, a partir de l'any 2026 es comença a produir a un 100% de capacitat.

Taula 9.2 Estudi econòmic del projecte en 10 anys amb una taxa d'imposició del 10%.

Indicador	Valor
VAN (M€)	7.86
TIR (%)	16.0
<i>Payback</i> (anys)	5.3
<i>Cash Flow</i> primers dos anys de producció (M€)	4.6
<i>Cash Flow</i> habitual (M€)	7.79

### 9.2. Avaluació econòmica: Zona de separació 2 i absorció i desorció de CO<sub>2</sub>

En aquesta zona es troben un total de 18 equips en els quals estan presents la columna d'absorció DA-201, l'absorbidor DA-202 i la columna de desorció DA-203.

En aquest apartat s'estudiarà la viabilitat de la construcció d'un sistema d'absorció i desorció de CO<sub>2</sub>, on es comptabilitzarà, com pagaments, el preu totes les despeses pel correcte funcionament de la planta i els costos d'emissió de CO<sub>2</sub> i, i els estalvis són els preus de les dues matèries primeres recuperades a l'absorbidor de CO<sub>2</sub>.

Taula 9.3 Estimació de costos de la planta química.

Dada	Valor
Inversió (M€)	2.1
Estalvi (M€)	96.4
Costos variables (M€)	2.6
Costos fixos (M€)	0.20
Amortització (M€)	0.12

De la mateixa manera que en l'apartat anterior i a partir de les dades de la Taula 9.1 es calculen el VAN amb una taxa d'imposició del 10% (Ref. 37), TIR i Payback del projecte.

Taula 9.4 Estudi econòmic del projecte en 10 anys amb una taxa d'imposició del 10%.

Indicador	Valor
VAN (M€)	253
TIR (%)	375
Payback (anys)	1.1
Cash Flow primers dos anys de producció (M€)	36.5
Cash Flow habitual (M€)	60.9

### 9.3. Anàlisi de sensibilitat

L'anàlisi de sensibilitat té com a objectiu visualitzar la resposta dels diferents indicadors econòmics, com el VAN, TIR i el Payback, amb qualsevol variació en alguna de les variables. En aquest cas, les variables estudiades són un cas hipotètic de pujada del 20% de la inversió inicial i el segon cas hipotètic d'una davallada del 10% en el preu del producte final.

En el cas de la zona del reactor i la primera separació els indicadors econòmics sofririen les següents pertorbacions:

Taula 9.5 Anàlisi de sensibilitat en el VAN, TIR i Payback

Indicador	+20% de la inversió inicial	-10% preu final de VAM
VAN (M€)	2.94	-89.9
TIR (%)	11.8	No es rentable
Payback (anys)	5.99	No es retorna mai

L'evolució del Cash Flow acumulat en vers al anys estudiats en les diferents situacions econòmiques és la següent:

### Anàlisi de sensibilitat

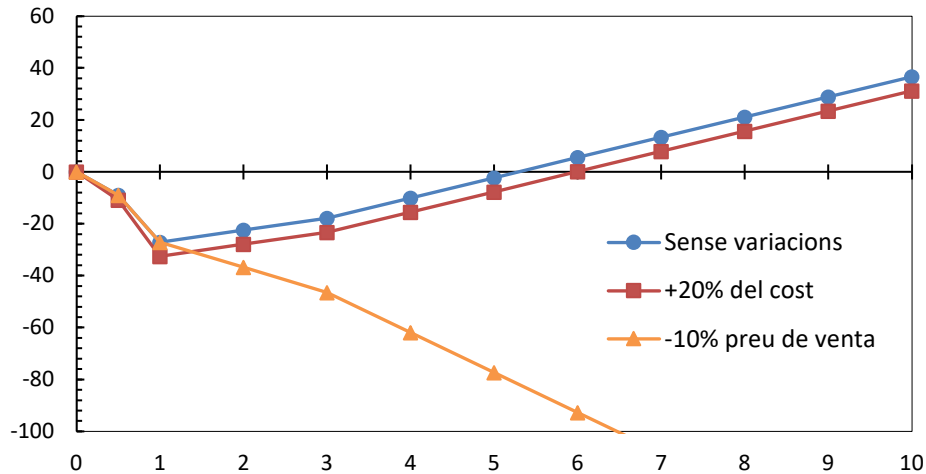


Figura 9.1 *Cash Flow* acumulat als 10 anys del projecte.

Com es pot observar en la Figura 9.1, en un lapse de temps de 10 anys el projecte té un VAN positiu però no molt atractiu per la majoria d'inversors. Si es té en compte l'anàlisi econòmic, s'observa com un augment considerable de la inversió inicial afecta significativament als indicadors econòmics però finalment es pot recuperar la inversió amb beneficis. En el cas de la disminució del preu de venda d'un 10% es veu clarament que ja no seria un projecte rentable ja que només aporta pèrdues en el balanç d'ingressos anuals.

## 10. CONCLUSIONS

En aquest treball s'ha desenvolupat l'enginyeria bàsica i de detall per a la renovació de la planta de producció d'acetat de vinil grau monòmer i determinar la viabilitat econòmica. S'ha elaborat un diagrama de blocs per delimitar les zones estudiades de la planta, la zona del reactor, la zona de separació 1 o de rentat del gas de recirculació, la zona de separació 2 o d'absorció d'àcid acètic, i la zona d'absorció i desorció de CO<sub>2</sub>. El terreny disponible és el mateix que es va utilitzar amb anterioritat per aquestes quatre zones, però s'ha tingut en compte l'increment de la producció d'acetat de vinil monòmer en la renovació pel desenvolupament del projecte.

Aquest increment ha comportat dissenyar novament les seccions de la planta, ja que no es podien reaprofitar ni els equips ni les infraestructures anteriors. L'apartat d'enginyeria bàsica ha estat el més important i llarg del projecte, comprenen des de la simulació del procés fins al disseny d'equips i diferents instruments. El més rellevant d'aquest apartat ha estat la simulació del procés en *Aspen Plus* perquè ha estat la base pel desenvolupament del projecte. La simulació s'ha completat satisfactòriament, escollint el millor model termodinàmic, integrant i adaptant la cinètica de la reacció del reactor i de la zona d'absorció i desorció de CO<sub>2</sub>, modelant i optimitzant la geometria dels diferents equips. La simulació ha donat pas a la representació del diagrama de flux de procés (PFD) d'acord amb els resultats obtinguts, on s'ha representat el balanç de matèria i els equips. Els equips s'han dissenyat principalment amb *Aspen Plus*, tot i que equips com els bescanviadors de calor s'han dissenyat paral·lelament amb el mètode Kern, i els tancs horitzontals, verticals i bombes també s'han dissenyat seguint metodologies clàssiques. A més a més i a causa de l'increment de la producció, les dimensions dels equips han augmentat, i ha estat necessari dissenyar novament els gruixos i fonaments d'aquests equips. Seguint amb els diagrames s'ha desenvolupat un P&ID amb el sistema de control proposat. En el diagrama s'han representat tots els instruments i canonades del procés, indicant posteriorment la funció i servei de cadascun. També s'han dissenyat diferents instruments presents en el P&ID, les vàlvules de control, plaques d'orifici i representats diagrames com el Plot Plant i el diagrama unifilar.

S'ha dut a terme tres manuals; seguretat, manteniment i operació, imprescindibles pel correcte funcionament de qualsevol planta química. En el manual de seguretat s'ha fet un estudi HAZOP del reactor R-100 i la columna d'absorció DA-202, per determinar perills i millorar el control suggerit, dissenyat les vàlvules de seguretat (PSV), i classificat i representat el diagrama d'àrees perilloses. També s'ha calculat l'abast de l'atmosfera explosiva dels equips dels quals s'ha realitzat el HAZOP i s'ha proposat mesures per evitar la ignició per electricitat estàtica i possibles fonts d'ignició. En el manual de manteniment s'ha inclòs l'aplicació del sistema de manteniment basat en la fiabilitat (RCM) en les zones d'absorció d'àcid acètic, i la zona d'absorció i desorció de CO<sub>2</sub>, valorant la criticitat de cada equip, per seleccionar el millor tipus de manteniment a aplicar i preservar el funcionament del sistema. També s'ha fet el manteniment de caràcter legal dels equips a pressió, per determinar el seu manteniment i inspeccions. En el manual d'operació s'ha explicat com fer la posada en marxa de la planta, i manuals per situacions menys comuns.

També s'han realitzat dos estudis, l'impacte ambiental en el qual s'ha nombrat els diferents tipus d'emissió que genera la planta, tenint en compte sobretot les emissions de CO<sub>2</sub>. I finalment l'estudi econòmic on s'han aplicat diferents metodologies, VAN, TIR, *Payback* i *Cash Flow*, i també un anàlisi de sensibilitat per obtenir la viabilitat de la planta. La implementació de les zones per eliminar el CO<sub>2</sub> ha estat rentable, però d'altra banda, la poca estabilitat en la viabilitat del projecte respecte a les fluctuacions dels preus de reactius, esdevé en un projecte bastant arriscat i no es recomana invertir perquè està molt subjecte a la fluctuació de preus en el mercat, i aquests tendeixen a la baixa.

## 11. REFERÈNCIES

1. Roscher G. Vinyl Esters. In Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. 7th ed. Frankfurt/Main: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. ; 2011. p. 1-17.
2. Climate-Data.org. CLIMA TARRAGONA (ESPAÑA). [Online].; 2022 [citat el 2022 05 11. Disponible en: <https://es.climate-data.org/europe/espana/cataluna/tarragona-1565/>.
3. Gencat. Terratrèmols i informació sísmica. [Online].; 2022 [citat el 2022 05 11. Disponible en: <https://www.icgc.cat/>.
4. Dimian AC, Bildea CS. Chemical Process Design Strauss GmbH, Mörlenbach: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim; 2008.
5. ASME B36.19. Brida, DN. [Online].; 2022. Disponible en: <http://www.dnbrida.com/espesor-tuberia-acero-inoxidable-sch-asme-b36.19m.php>.
6. Isolover Saint-Goban. Soluciones de Aislamiento con Lana Mineral. [Online].; 2022. Disponible en: <https://www.isover.es/sites/isover.es/files/assets/documents/aislamiento-tuberias-2018.pdf>.
7. Lele S. Color Coding. [Online].; 2022. Disponible en: [http://www.svlele.com/piping/color\\_code.htm](http://www.svlele.com/piping/color_code.htm).
8. EMERSON. Sizing Valves for Liquids. In CONTROL VALVE HANDBOOK.; 2019. p. 100-104.
9. Holding industrial SA. VALVULAS DE CONTROL. [Online].; 2022 [citat el 2022 04 28. Disponible en: <http://www.holdingindustrial.com/valvulas-de-control/>.
10. Creus A. Instrumentación Industrial México: Alfaomega Grupo Editor, S. A.; 2010.
11. Acedo Sánchez J. CONTROL AVANZADO DE PROCESOS (Teoría y práctica) 28027 Madrid: Ediciones Díaz de Santos, S.A.; 2003.
12. Lin YPTWDJS. Plantwide Control of CO<sub>2</sub> Capture by Absorption and Stripping Using Monoethanolamine Solution. In American Control Conference; 2011; San Francisco.
13. NAKAMURA S, YASUI T. The Mechanism of the Palladium-Catalyzed Synthesis of Vinyl Acetate from Ethylene in a Heterogeneous Gas Reaction. JOURNAL OF CATALYSIS 17. 1970;; 366-374.
14. Han YF, Wang JH, Kumar , Yan Z, Goodman DW. A kinetic study of vinyl acetate synthesis over Pd-based catalysts: kinetics of vinyl acetate synthesis over Pd–Au/SiO<sub>2</sub> and Pd/SiO<sub>2</sub> catalysts. Journal of Catalysis 232. 2005;; 467–475.
15. Han YF, Kumar D, Goodman DW, Sivadinarayana C. Kinetics of ethylene combustion in the synthesis of vinyl acetate over a Pd/SiO<sub>2</sub> catalyst. Journal of Catalysis 224. 2004;; 60–68.
16. Motahari K, Atashi H, Fazlollahi F, Tabrizi TF, Sarkari M. A kinetic study of Pd–Au catalyzed synthesis of vinyl acetate from oxidation of ethylene and acetic acid in heterogeneous gas reaction. Journal of Industrial and Engineering Chemistry 18. 2012;; 266-271.
17. Luyben , Tyreus BD, Luyben WL. Plantwide control design procedure. AIChE J. 43. 1997;; 3161—3174.

18. Eugene FM, Buthod P. PRESSURE VESSEL HANDBOOK University of Tulsa, Oklahoma: Pressure Vessel Handbook Publishing, Inc.; 2001.
19. Çengel YA, Boles MA. Termodinámica. 6th ed. Prolongación Paseo de la Reforma 1015, Torre A: McGraw-Hill España; 2011.
20. Austen DRCCC. Model of Vapor-Liquid Equilibria for Aqueous Acid Gas-Alkanolamine Systems. 2. Representation of H<sub>2</sub>S and CO<sub>2</sub> Solubility in Aqueous MDEA and CO<sub>2</sub> Solubility in Aqueous Mixtures of MDEA with MEA or DEA. Industrial and Engineering Chemistry Research, <https://doi.org/10.1021/ie00051a016>. 1991;; 30(3), 543-555.
21. Astarita GSDBA. Gas Treating with Chemical Solvents. New York, NY.: John Wiley and Sons.; 1983.
22. Borhani TNTVAJM. Rate-based simulation and comparison of various promoters for CO<sub>2</sub> capture in industrial DEA-promoted potassium carbonate absorption unit. Journal of Industrial and Engineering Chemistry. 2015;; 306-3016.
23. Sinnott R. Chemical Engineering Design Oxford: Coulson and Richardson's; 2005.
24. CheCalc. Chemical Engineering Calculations. [Online].; 2022. Disponible en: <https://checalc.com/>.
25. GRUNDFOS. Single-stage end-suction pumps according to EN 733 50 Hz. 2018;; 8-103.
26. Inoxpa. PROLAC HCP Bomba Centrífuga Higiénica. [Online].; 2022. Disponible en: <https://www.inoxpa.es/uploads/document/Corbes/HCP/01.030.12.0051.pdf>.
27. ACCIONA. ¿Quieres saber cómo se hace la cimentación de un aerogenerador? [Online].; 2016 [citad el 2022 05 16. Disponible en: [https://www.acciona.com/es/?\\_adin=02021864894](https://www.acciona.com/es/?_adin=02021864894).
28. Garcia J, Escuer F. Manual Práctico: Clasificación de las zonas en atmósferas explosivas. Barcelona: Col·legi d'Enginyers Tècnics Industrials de Barcelona; 2003.
29. AENOR, norma europea. Guía de aplicación de la Norma UNE-EN 60079-10: UNE 202007 IN; 2006.
30. Valvulas Nacional. Catálogo General: Válvula de Seguridad 3-5211 y 3-5261 Barcelona.
31. Moubray J. Mantenimiento centrado en Confiabilidad. Leicesterchire, United Kingdom: Aladon Ltd; 2004.
32. Romera M. Aplicación del RCM en un proceso químico. Cantabria: Derivados del fluor; 2004.
33. Suárez García P. PRECIO DE LOS DERECHOS DE EMISIÓN DE CO<sub>2</sub> (EUAS). [Online].; 2020 [citad el 2022 05 10. Disponible en: <https://cutt.ly/jHrABbQ>.
34. Red Eléctrica de España. EMISIONES Y FACTOR DE EMISIÓN DE CO<sub>2</sub> EQ. DE LA GENERACIÓN (tCO<sub>2</sub> eq. | tCO<sub>2</sub> eq./MWh). [Online].; 2022 [citad el 2022 05 10. Disponible en: <https://www.ree.es/es/datos/generacion/no-renovables-detalle-emisiones-CO2>.
35. © PRTR España. DOCUMENTOS DE MEJORES TÉCNICAS DISPONIBLES (MTD). [Online].; 2016 [citad el 2022 05 09. Disponible en: <https://prtr-es.es/documentos/documentos-mejores-tecnicas-disponibles>.
36. Rolán A. Estimación de costes de instalación (hoja Excel): ETSEQ URV; 2000.
37. Basco J. Comunicació directe. In ; 2022.

38. Turton R. Analysis Synthesis and Design of Chemical Processes: Prentice Hall; 2018.
39. URV. Basic Allowable Stresses in Tension for Metals (Metric). [Online].; 2016 [citat el 2022 01 20. Disponible en: [https://campusvirtual.urv.cat/pluginfile.php/4061217/mod\\_resource/content/13/TAULA%20A3%20ASME%2028020.pdf](https://campusvirtual.urv.cat/pluginfile.php/4061217/mod_resource/content/13/TAULA%20A3%20ASME%2028020.pdf).
40. Megyesy EF. Pressure Vessel Handbook. 14th ed.: Pv Pub Inc; 2008.
41. Department of Commerce N. National Institute of Standards and Technology. [Online].; 1901 [citat el 2022 04 25. Disponible en: <https://webbook.nist.gov/chemistry/fluid/>.
42. Sinnott R, Towler G. Principles, Practice and Economics of Plant and Process Design 525 B Street, Suite 1900, San Diego, California 92101-4495, USA: Elsevier Inc; 2008.
43. Reese RC. C.R.S.I. DESIGN HANDBOOK 38 SOUTH DEARBORN STREET, CHICAGO 3, ILLINOIS: KINGSPORT PRESS, INC.; 1952.
44. Towering Skills. Cost Indices. [Online].; 2022 [citat el 2022 06 05. Disponible en: <https://www.toweringskills.com/financial-analysis/cost-indices/>.
45. INSST. Fichas Internacionales de Seguridad Química. FISQ. [Online].; 2020 [citat el 2022 05 24. Disponible en: <https://www.insst.es/documentacion/colecciones-tecnicas/fisq>.
46. Kohl ANR. Gas Purification Houston, Texas: Gulf Publishing Company; 1997.
47. Pinsent BPLRF. The kinetics of combination of carbon dioxide with hydroxide ions. Transactions of the Faraday Society, <https://doi.org/10.1039/TF95652FP001>. 1956;; Volum 52.
48. Gómez de León F. Tecnología del mantenimiento Industrial. Murcia: Universidad de Murcia; 1988.
49. Ministerio de Trabajo e Inmigración, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Para la evaluación y prevención de los riesgos derivados de Atmósferas España: Real decreto 681; 2017.
50. AENOR, norma Europea. Clasificación de emplazamientos Atmósferas explosives: UNE-EN 60079-10-1; 2003.

## 12. FULLES D'ESPECIFICACIÓ

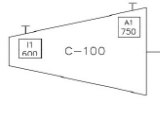


CENTRIFUGAL COMPRESSOR DATA SHEET							
1	GENERAL	Item: C-100				Drawing 	
2		Service:					
3		Manufacturer:					
4		Quantity:					
5		Type: Axial	Model:				
6		Vapor or Gas Handled					
7		Etilè	55 %				
8		Dioxid de carboni	15 %				
9		Argó + altres	30 %				
10							
11		Molecular wt.	33 kg/kmol				
12		Density	9.36 kg/m <sup>3</sup>				
13		Viscosity	0.01 cP				
14		Critical Press. (eff.)	84.3 bar g				
15		Critical Temp.	10 °C				
16		Cp/Cv	1.3				
17		Compressibility	0.97				
18	SERVICE	Suction Conditions					
19		Weight Flow	290738 kg/h				
20		Volume Flow	8.6 Nm <sup>3</sup> /h				
21		Pressure	6.3 bar g				
22		Temperature	40 °C				
23							
24		Discharge Conditions					
25		Pressure	9.66 bar g				
26		Dif. Pressure	3.36 bar				
27		Estim. Mechanical Efficiency	80 %				
28		Power (including Gear Loss)	3065 kW				
29		Rot. freq.	50 s <sup>-1</sup>				
30		Surge at capacity					
31		Number of Stages	1				
32		Code					
33	DESIGN DATA	Case Design Pressure					
34		10.6 bar g					
35		Impeller Type					
36		Diameter					
37		mm					
38		Seal Type					
39		Double					
40		Lubrication System:					
41		Oil					
42		Cooling Water Required on:	5Casing; □ Stuffing Box; □ ~ ~ ~ ~ ~				
43		Hydrostatic Test Pressure (eff.)	15.16 bar g				
44		Thick. / Dia.	Mat'l Class				
45	MATERIALS	Casing & Covers:	mm	SA 316Ti			
46		Shaft:	mm	SA 316Ti			
47		Shaft Sleeves:	mm	SA 316Ti			
48		Impeller Hubs & Covers:	mm	SA 316Ti			
49		Impeller Vanes:	mm	SA 316Ti			
50		Intercooler:					
51		Aftercooler:					
52							
53	NOZZLES	Service	Mark	Nº	Size	Rating	NOTES:
54		Impulsió compressor	I1	1	600	150 #	
55		Aspiració compressor	A1	1	750	150 #	
56		Entrada vapor turbina	C1	1	600	150 #	
57		Sortida vapor turbina	V1	1	450	150 #	
58							
59	UTILITIES	Steam (Driver)				Performance Curve	
60		Pressure	39 bar g				
61		Temperature	250.4 °C				
62		Electricity (Motor Driver)					
63		NO aplica					
64		Mechanical Data:					
65		Estimated Power Req'd:	NO aplica				kW
66		Proposed Motor Size	NO aplica				kW
67		Rot. freq.	NO aplica				s-1
68		Electrical Data:					
69		NO aplica					
70		Voltage	NO aplica				V
71		Phase	NO aplica				
72		Frequency	NO aplica				Hz
73		Full load Current	NO aplica				A
74		Cooling Water					
75		Temp. Inlet	NO aplica			°C	
76		Temp. Outlet	NO aplica			°C	
77		Pressure, Normal	NO aplica			bar g	
78		Design	NO aplica			bar g	
79	MISCEL.	Wt. of Compressor (Less Base)				3,000	kg
80		Wt. of Driver				2,000	kg
81							
82							
83							
84	0	11/05/2022	Oriol				
85	REV.	DATE	PREP.	APPR.			
						 UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química Departament d'Enginyeria Química	

Figura 12.1 Fitxa d'especificació compressor C-100.

DRUM DATA SHEET

1	Manufacturer:																			
2	Item: FA -101																			
3	Description: Vaporitzador àcid acètic		Position:	Horiz.	X Vertical															
4	Product: Etilè, àcid acètic, diòxid de carboni																			
5	Operating Pressure (eff.)		8.4 barg																	
6	Operating Temperature		126 °C																	
7	Liquid Density		915 kg/m <sup>3</sup>																	
8	Design Pressure (eff.)		9.2 barg																	
9	Design Temperature		200 °C																	
10	Hidrostatic Test (eff.)		13.2 barg																	
11	Corr. Allow.	Shell / Heads	1 mm																	
12	Joint Eff.	Shell / Heads	1																	
13	Code: ASME secció VIII divisió I																			
14	Radiograph: 0.85																			
15	Stress Relieve:		X	Yes	No															
16	Seismic:																			
17	Wind Load:		N/m <sup>2</sup>																	
18	Hidrostatic Test (eff.)		13.2 barg																	
19		Thickness	Mat'l Class																	
20	Shell	15 mm	SA 316Ti																	
21	Heads	15 mm	SA 316Ti; El·lipsoidals 2:1																	
22	Lining	15 mm	SA 316Ti																	
23	Nozzle Necks		SA 316Ti																	
24	Flanges		SA 316Ti																	
25		Dia.	L / D	Material																
26	Shell	3.6 m	2.58	SA 316Ti																
27	Heads	3.6 m		SA 316Ti																
28	Insulation:		X	Yes	No															
29	Fireproofing:		X	Yes	No															
30	Sandblast:		X	Yes	No															
31	Paint:		Yes	No	X															
32	Wt. Empty:		18400 kg																	
33	Wt. Full Water:		128000 kg																	
34		Service	Mark	Nº	Size															
35	Indicador de nivell 1	L2	1	50	150 #															
36	Entrada 1	E1	1	750	150 #															
37	Sortida 3	S3	1	125	150 #															
38	Sortida 1	S1	1	550	150 #															
39	Indicador de nivell 1	L1	1	50	150 #															
40	Entrada 3	E3	1	200	150 #															
41	Sortida 2	S2	1	500	150 #															
42	Entrada 2	E2	1	80	150 #															
43	Boca d'home	B1	1	600	150 #															
44	NOTES:																			
45																				
46																				
47																				
48																				
49																				
0						11/05/2022	Oriol													
REV.						DATE	PREP.	APPR.	 UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química Departament d'Enginyeria Química											

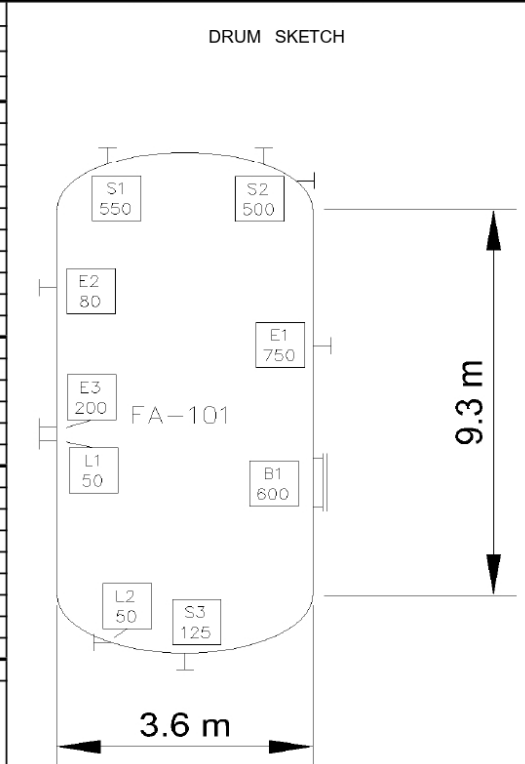


Figura 12.2 Fitxa d'especificació FA-101.

DRUM DATA SHEET

1	GENERAL					<p>DRUM SKETCH</p>
2	Manufacturer:					
3	Item: FA -103					
4	Description: Caldera de vapor		Position: <input checked="" type="checkbox"/> Horiz. <input type="checkbox"/> Vertical			
5	Product: Aigua, vapor d'aigua					
6	Operating Pressure (eff.)		5.2	barg		
7	Operating Temperature		170	°C		
8	Liquid Density		909	kg/m <sup>3</sup>		
9	Design Pressure (eff.)		6.2	barg		
10	Design Temperature		250	°C		
11	Hidrostatic Test (eff.)		10.1	barg		
12	Corr. Allow. Shell / Heads		1	mm		
13	Joint Eff. Shell / Heads		1			
14	Code: ASME secció VIII divisió I					
15	Radiograph: 0.85					
16	Stress Relieve:		<input checked="" type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No		
17	Seismic:					
18	Wind Load:			N/m <sup>2</sup>		
19	Hidrostatic Test (eff.)		10.1	barg		
20	Shell		10 mm	SA 316Ti		
21	Heads		10 mm	SA 316Ti; El·lipsoidals 2:1		
22	Lining		10 mm	SA 316Ti		
23	Nozzle Necks			SA 316Ti		
24	Flanges			SA 316Ti		
25	Shell		3.3 m	2.67		
26	Heads		3.3 m	SA 316Ti		
27	Insulation:		<input checked="" type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No		
28	Fireproofing:		<input checked="" type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No		
29	Sandblast:		<input checked="" type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No		
30	Paint:		<input checked="" type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/> X		
31	Wt. Empty:		9846	kg		
32	Wt. Full Water:		83660	kg		
33	Service		Mark	Nº		
34	Indicador de nivell 1		L2	1 50		
35	Entrada 1		V2	1 500		
36	Vàlvula de seguretat		SV	1 500		
37	Sortida 1		V1	1 500		
38	Indicador de pressió		P1	1 50		
39	Indicador de nivell 1		L1	1 50		
40	Entrada 3		CF	1 90		
41	Sortida 2		C2	1 90		
42	Entrada 2		C1	1 90		
43	Boca d'home		B1	1 600		
44	NOTES:					
45						
46						
47						
48						
49						
0	11/05/2022	Oriol				
REV.	DATE	PREP.	APPR.			

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

Figura 12.3 Fitxa d'especificació FA-103.

DRUM DATA SHEET

1	GENERAL	Manufacturer:			
2		Item: FA -104			
3	GENERAL	Description: Tanc de cru	Position:	<input checked="" type="checkbox"/> Horiz.	<input type="checkbox"/> Vertical
4		Product: Àcid acètic, Acetat de vinil, aigua, etilè			
5	OPERATING	Operating Pressure (eff.)	0.07 barg		
6		Operating Temperature	40 °C		
7		Liquid Density	1009 kg/m <sup>3</sup>		
8	DESIGN DATA	Design Pressure (eff.)	0.48 barg		
9		Design Temperature	100 °C		
10		Hidrostatic Test (eff.)	0.7 barg		
11		Corr. Allow. Shell / Heads	1 mm		
12		Joint Eff. Shell / Heads	1		
13		Code: ASME secció VIII divisió I			
14		Radiograph: 0.85			
15		Stress Relieve:	<input checked="" type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No	
16		Seismic:			
17		Wind Load:	N/m <sup>2</sup>		
18		Hidrostatic Test (eff.)	0.7 barg		
19	MATERIALS		Thickness	Mat'l Class	
20		Shell	2 mm	SA 316Ti	
21		Heads	2 mm	SA 316Ti; El·lipsoidals 2:1	
22		Lining	2 mm	SA 316Ti	
23		Nozzle Necks	SA 316Ti		
24		Flanges	SA 316Ti		
25	CONSTRUCTION		Dia.	L / D	Material
26		Shell	5.1 m	2.78	SA 316Ti
27		Heads	5.1 m	2.78	SA 316Ti
28		Insulation:	<input checked="" type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No	
29		Fireproofing:	<input checked="" type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No	
30		Sandblast:	<input checked="" type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No	
31		Paint:	<input checked="" type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No	<input checked="" type="checkbox"/> X
32		Wt. Empty:	5312 kg		
33		Wt. Full Water:	331139 kg		
34	ACCESSORIES	Service	Mark	Nº	Size Rating
35		Indicador de nivell	L1	1	50 150 #
36		Entrada PSV	ESV	1	750 150 #
37		Entrada general	E1	1	200 150 #
38		Vàlvula de seguretat	SV	1	59 150 #
39		Sortida venteig	SG	1	500 150 #
40		Indicador de pressió	P1	1	50 150 #
41		Entrada 2	E2	1	100 150 #
42		Entrada 3	E3	1	100 150 #
43		Indicador de nivell	L2	1	50 150 #
44		Sortida de líquid	S1	1	250 150 #
45		Boca d'home	B1	1	600 150 #
46		NOTES:			
47					
48					
49					
0	REV.	DATE	PREP.	APPR.	
		11/05/2022	Oriol		
					UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química Departament d'Enginyeria Química

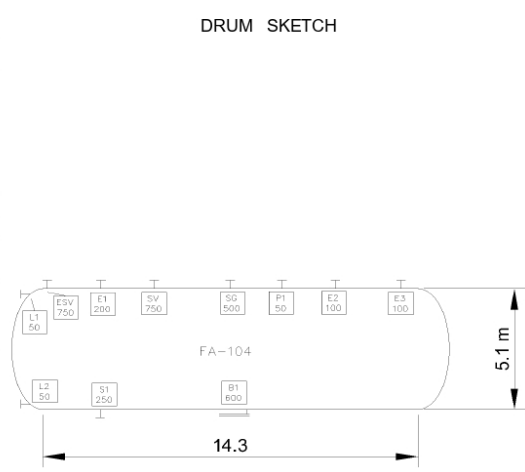


Figura 12.4 Fitxa d'especificació FA-104.

PUMP CALCULATION SUMMARY SHEET

1	Nº OF PUMPS	2	RUN:	SPARE:	<p>Pump Curve</p>
2	ITEM	P-101 A/B			
3	FLUID PUMPED	Etilè, Diòxid de carboni, età, argó, acetat de vinil, àcid acètic, aigua			
4					
5					
6	OPER. TEMP	40 °C			
7	DENSITY	1.009 kg/m3			
8	VISCOSITY	0.76 cP			
9	VAPOR PRESS.	0.45 bar			
10	NORM. CAPACITY	198.00 m3/h			
11	MAX. CAPACITY	210.00 m3/h			
12					
<b>SUCTION CONDITIONS</b>					
14	TOTAL SUCT. PR.	0.2 barg			
15	NPSH <sub>disp.</sub> (m.w.c.)	15 m			
16	NPSH <sub>req.</sub> (m.w.c.)	7.34 m			
<b>DISCHARGE CONDITIONS</b>					
18	LIQUID HEAD	6.14 barg			
19	TOTAL DISCH. PR.	10.4 barg			
20	DIFF. PRESSURE	10.4 kg/cm <sup>2</sup>			
21	DIFF. HEAD (m.w.c.)	100 m			
<b>PUMP REQUIREMENTS</b>					
23	TYPE PUMP	Centrifugal			
24	ESTIMATED EFF.	63 %			
25	ESTIMATED Rot.freq.	50 s <sup>-1</sup>			
26	ESTIMATED Power	89.1 kW			
27	TYPE DRIVER	Motor			
28	STEAM (abs.)	barg °C			
29	ELECTRICITY	V: 400 PH: 50 Hz			
30					
31					
<b>PUMP MATERIALS</b>					
33	CASE	SA 316Ti			
34	IMPELLER	SA 316Ti; Size: 308 mm			
35	SHAFT	SA 316Ti			
36	SHAFT SLEEVE	SA 316Ti			
37	SEAL/PACKING	SA 316Ti			
38	PISTON	SA 316Ti			
39					
40	Nozzles	Mark	Nº	Dia.	Rating
41	Suction	A	1	80 mm	150 #
42	Discharge	I	1	65 mm	150 #
43					
44					
45	0	11/05/2022	Oriol		
46	REV.	DATE	PREP.	APPR.	
47					

<b>Gen. Arr. Drawin</b>	
I 65	
A 80	

<b>UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI</b> Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química Departament d'Enginyeria Química				

Figura 12.5 Fitxa d'especificació P-101 A/B.



1	PROYECTO	1001	ESPECIFICACIÓN		Nº	1			
2					HOJA Nº	1 de 2			
3	EMPRESA		Recipientes		FECHA	11/05/2022			
4	FÁBRICA	Tarragona			PREPARADO	Oriol			
5	PLANTA		EMPRESA		REVISADO				
6					APROBADO				
7	ÍTEM	R-100			Nº UNIDADES	1			
8	<b>SERVICIO</b>								
9	OPERACIÓN	DESCRIPCIÓN	Reactor multi-tubular catalitzat						
10		PRODUCTO	Etilè, Dioxid de carboni, età, argó, acetat de vinil, àcid acètic, aigua						
11		TEMPERATURA	170.00	°C					
12		PRESION	9.40	kg/cm2g					
13		DENSIDAD	10.50	kg/m3					
14	CONSTRUCCIÓN	DIMENSIONES	DIAMETRO	6.10	DISEÑO Y PRUEBA	CÓDIGOS			
15			LONG. / ALT.	5.40			CONDICIONES DE DISEÑO	TEMPERAT.	190 °C
16			ESPESOR	15.00		mm		PRESION	10.5 barg
17		FONDOS	SUPERIOR	El lipsoidals 2:1		DENSIDAD	7990 kg/m3		
18			INFERIOR	El lipsoidals 2:2		PRESION DE PRUEBA	HIDRAÚLICA	14.7 barg	
19		VOL. / PESO	VOL. ÚTIL	103.70		m3	NEUMÁTICA		
20			VOL. TOTAL	405.94		m3	ESPESOR DE CORROSION	1 mm	
21			PESO	261306		kg	EFICACIA DE SOLDADURA	0.85	
22		INSTALACIÓN	Vertical				ALIVIO DE TENSIONES		
23		AISLAMIENTO	Llana de roca				RADIOGRAFIADO	Parcial	
24	PINTURA	NO							
25									
26	MATERIALES			DESCRIPCIÓN	COMENTARIOS				
27		CUERPO		SA 316Ti					
28		TAPAS/FONDOS		SA 316Ti					
29		BRIDAS CUERPO							
30		VALONA BRIDAS CUERPO							
31		BRIDAS TUBULADUR.							
32		TUBULADURAS							
33		PLACA PARTICIÓN							
34		CORTACORRIENTES							
35		SOPORTES PARA INTERNOS							
36		TORNILLOS/TUERCAS INT.							
37		TORNILLOS/TUERCAS EXTER.							
38		JUNTAS INTERIOR							
39	JUNTAS EXTERNAS								
40	SOPORTES EXTERIORES								
41									
42									
43	TUBULADURAS	MARCA	CANT.	SERVICIO	D.N.	RATING			
44		CW	1	Aigua de refrigeració sortida	500	150 #			
45		P1	1	Indicador de pressió	50	150 #			
46		H	1	Forat no ocupat	50	150 #			
47		H1	1	Forat no ocupat	50	150 #			
48		H2	1	Forat no ocupat	50	150 #			
49		H3	1	Disc de ruptura	750	150 #			
50		A	1	Entrada 1	750	150 #			
51		S	1	Sortida 1	750	150 #			
52		SV	1	Vàlvula seguretat camisa	750	150 #			
53		P2	1	Indicador de pressió	50	150 #			
54	CW1	1	Entrada aigua refrigeració	90	150 #				
55									
56									
57									
58	NOTAS	Número de tubs: 12,000							
59		Diàmetre de tubs: 4.5 cm							
60		Espesor tubs: 1.6 mm							
61		Pes catalitzador: 25,940 kg							
62		Capçals el lipsoidals 2:1							
63									
64									
65									
66									
67									
68									
69									
70									

Figura 12.7 Fitxa d'especificació R-100 1 de 2.

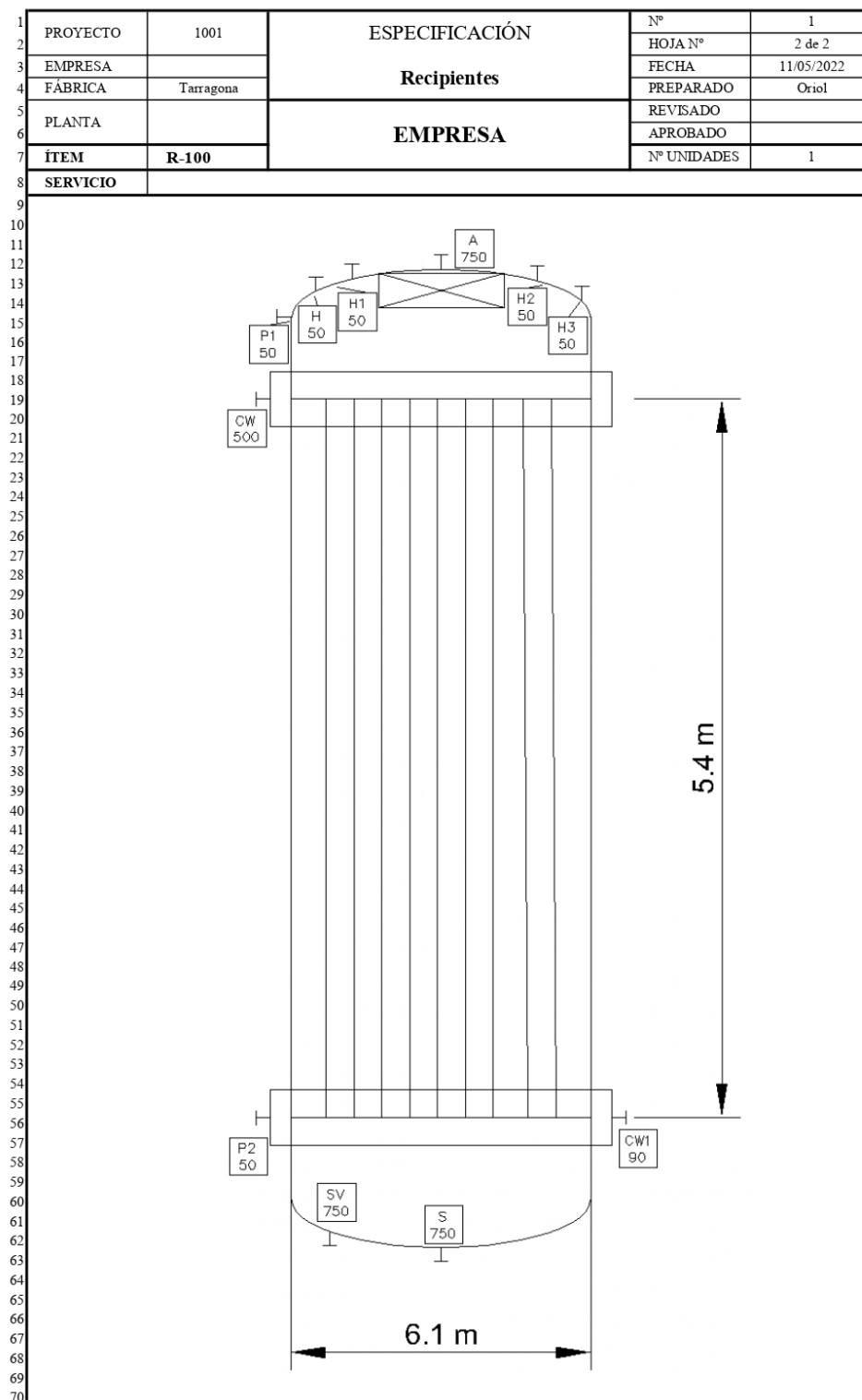


Figura 12.8 Fitxa d'especificació R-100 2 de 2.

1	PROYECTO	1001	ESPECIFICACIÓN		Nº	1
2					HOJA Nº	1 de 2
3	EMPRESA		Recipientes		FECHA	11/05/2022
4	FÁBRICA	Tarragona			PREPARADO	Oriol
5	PLANTA		EMPRESA		REVISADO	
6					APROBADO	
7	ÍTEM	FA-102			Nº UNIDADES	1
8	<b>SERVICIO</b>					
9	OPERACIÓN	DESCRIPCIÓN	Depòsit de separació			
10		PRODUCTO	Gas de re-cicle			
11		TEMPERATURA	40.00	°C		
12		PRESION	7.33	kg/cm2g		
13		DENSIDAD	9.41	kg/m3		
14	CONSTRUCCIÓN	DIMENSIONES	DIAMETRO	2.00 m		
15			LONG. / ALT.	5.00 m		
16			ESPESOR	8.00 mm		
17		FONDOS	SUPERIOR	El lipsoidals 2:1		
18			INFERIOR	El lipsoidals 2:2		
19		VOL. / PESO	VOL. ÚTIL	21.00 m3		
20			VOL. TOTAL	22.00 m3		
21			PESO	2920 kg		
22		INSTALACIÓN	Vertical			
23		AISLAMIENTO	Llana de roca			
24	PINTURA	NO				
25						
26	MATERIALES		DESCRIPCIÓN	COMENTARIOS		
27		CUERPO	SA 316Ti			
28		TAPAS/FONDOS	SA 316Ti			
29		BRIDAS CUERPO				
30		VALONA BRIDAS CUERPO				
31		BRIDAS TUBULADUR.				
32		TUBULADURAS				
33		PLACA PARTICIÓN				
34		CORTACORRIENTES				
35		SOPORTES PARA INTERNOS				
36		TORNILLOS/TUERCAS INT.				
37		TORNILLOS/TUERCAS EXTER.				
38		JUNTAS INTERIOR				
39		JUNTAS EXTERNAS				
40	SOPORTES EXTERIORES					
41						
42						
43	TUBULADURAS	MARCA	CANT.	SERVICIO	D.N.	RATING
44		L1	1	Indicador de nivell 1	50	150 #
45		L2	1	Indicador de nivell 2	50	150 #
46		E1	1	Entrada 1	750	150 #
47		S1	1	Sortida 1	750	150 #
48		B1	1	Boca d'home	600	150 #
49						
50						
51						
52						
53						
54						
55						
56						
57						
58	NOTAS	Demister de Wire Mesh				
59		Gruxix: 100 mm				
60		Gruxix de cable: 0.25 mm				
61		Material: Acer inoxidable				
62						
63						
64						
65						
66						
67						
68						
69						
70						

Figura 12.9 Fitxa d'especificació FA-102 1 de 2.

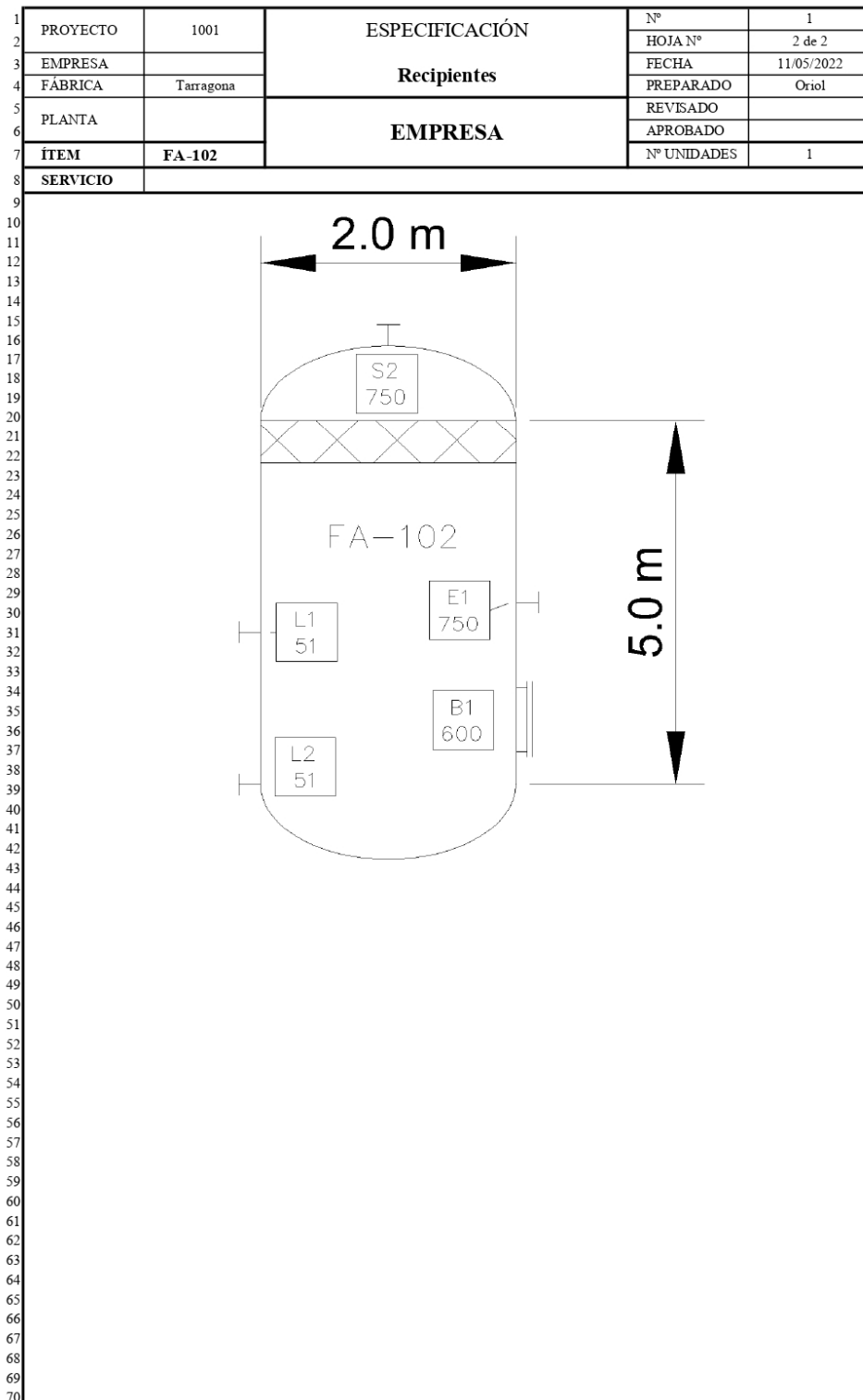


Figura 12.10 Fitxa d'especificació FA-102 2 de 2.

1 GENERAL DATA										
2 TAG		CV-1022		INSTALLATION LINE AND APPLICABLE LAW						
3 SERVICE		P-101 impulsión		DN & RATING		150		150 #		
4 LINE/EQUIPMENT		200-3008-GC-S		MTL & SCHEDULE		SA 316L		5S		
5 DIAGRAM		PI&D 1002		INSULATION AND THICKNESS		90		1.14		
6 AREA CLASSIFICATION				EEx REGULATION		EEx IIC T5 / T6				
7 PROCESS DATA										
8 FLOW		PHASE		Procés		Liquid		Data		
9 Cp/Cv		Z		1		0.015		Inlet Flow cum/h		
10 D or SG		Viscosity Pa·s		1.01		7.58E-04		Inlet Pressure bar		
11 P crit. bar		T crit. K		85.3		592.4		Pressure Drop bar		
12 TIGHTNESS						T operation K		313 313 313		
13 FIRE SECURITY DIST.						Vapor Pres. bar		0.45 0.45 0.45		
14 OTHERS						Kv required		244.7 320.7 397.9		
15						Kv available		298 368 413		
16						Opening		54% 63% 77%		
17 BODY, INTERNAL AND ACTUATOR										
18 BODY, BIRETTA AND PACKING			INTERNAL							
19 Body Type		Sphere		Types (1)		STD		Escape Types		
20 Vapor Mantle		-		Row		-		Noise (dB)		
21 DN & Rating		150 & 150 #		Guidance		-		MTL Guidance SA 216 WCB		
22 Line Connection		Flange		Holder		-		MTL Holder AISI 316		
23 MTL Body & Casing		SA 216 WCB		Nominal Cv		-		MTL Actuator AISI 316		
24 MTL Body Line		SA 216 WCB		Character		-		MTL Nozzle AISI 316		
25 MTL Outlet Line		SA 106		PNEUMATIC ACTUATOR						
26 Flow tends to		-		Service		-		Feed/Rang		
27 Burette Type		SA 216 WCB		Type		Diaphragm		Wheel		
28 Packing		SA 216 WCB		Air		-		Travel Limit mm		
29 Shutting Bellow		-		Max. ΔP (2) bar		-		XLOCK System		
30				ACCESSORIES AND PURCHASE DATA						
31 POSITIONATOR AND FILTER			SOLENOID VALVE (3)			TRAVEL ENDS (3)				
32 Positioner Type		Digital		Valve Type		Globus		Sensors Type		
33 SMART Capacity				Feed				Service		
34 PST/Regulation				Reset Type				Assembly & Connec.		
35 Electrical Connection				Electrical Connec.				EEx Protection		
36 Pneumatic Connection				Pneumatic Connec.				NOTES AND ACCESSORIES		
37 EEx Protection		EEx IIC T6		EEx Protection		EEx IIC T5				
38 Filter		-		SIL (s/IEC 61508)		IP 65				
39				PRODUCT DATA (3)			PURCHASE DATA			
40 Valve		PF511.ET		Actuator		Serie 657		Requisition		
41 Positionator		Digital						Manufacturer Fisher-Rosemount		
42 Solenoid		ET Lineal						Supplier EMERSON		
43 Travel End										
44				GENERAL NOTES						
45				(1) Indicate the model/type (AC=anti-cavitation, AN=anti-noise, STD= standard, MS= multi-step, CR= rapid change)						
46				(2) Maximal difference pressure through the valve, which can be supported by the actuator maintaining the nominal shutting class						
47				(3) Environmental protection grade of electrical parts: IP 65 min.						
48				(4) For the elements, which are supplied by third parties (for example solenoids, final lines, etc.) it is necessary to indicate the respective manufacturer too.						
49										
JOB NO.				CHARGE NO.						
M/S NO.				P O NO.						
NO. UNITS		1								
DR. BY		Oriol Mir		DATE:		15/05/2022				
CK. BY		Guillem Blázquez		DATE:		16/05/2022				
REV		BY		OK		DATE				
						100-FCV-46				

Figura 12.11 Fitxa d'especificació CV-1022.



**Aspen Exchanger Design and Rating Shell & Tube V11**

TEMA Sheet

**Heat Exchanger Specification Sheet**

1	Company:									
2	Location: Tarragona									
3	Service of Unit:					Our Reference:				
4	Item No.: E-100 A/B					Your Reference:				
5	Date:		Rev No.:			Job No.:				
6	Size: 1675 - 5000		mm		Type: BGM Horizontal		Connected in: 2 parallel			1 series
7	Surf/unit (eff.)		1157.4		m <sup>2</sup>		Shells/unit 2		Surf/shell (eff.) 578.7 m <sup>2</sup>	
8	<b>PERFORMANCE OF ONE UNIT</b>									
9	Fluid allocation				Shell Side			Tube Side		
10	Fluid name				Gas del re-cicle			Gas reaccionat		
11	Fluid quantity, Total				kg/s 78.63			115.15		
12	Vapor (In/Out)				kg/s 78.63		78.63		115.15	
13	Liquid				kg/s 0		0		0	
14	Noncondensable				kg/s 0		0		0	
15										
16	Temperature (In/Out)				°C 67.3		151.69		169.85	
17	Bubble / Dew point				°C /		/		/	
18	Density		Vapor/Liquid		kg/m <sup>3</sup> 12.48 /		9.71 /		9.68 /	
19	Viscosity				mPa-s 0.0147 /		0.0177 /		0.017 /	
20	Molecular wt, Vap				32.69		32.69		38.19	
21	Molecular wt, NC									
22	Specific heat				kJ/(kg-K) 1.353 /		1.501 /		2.22 /	
23	Thermal conductivity				W/(m-K) 0.0245 /		0.0345 /		0.0434 /	
24	Latent heat				kJ/kg					
25	Pressure (abs)				bar 10.5		10.4		8.9	
26	Velocity (Mean/Max)				m/s 7.32 /		9.57		30.64 /	
27	Pressure drop, allow./calc.				bar 0.7		0.1		0.7	
28	Fouling resistance (min)				m <sup>2</sup> -K/W 0.0002				0.0001 0.00011 Ao based	
29	Heat exchanged		9.507		MW		MTD (corrected)		31.76 °C	
30	Transfer rate, Service		258.6		Dirty 258.7		Clean 281.3		W/(m <sup>2</sup> -K)	
31	<b>CONSTRUCTION OF ONE SHELL</b>					<b>Sketch</b>				
32					Shell Side			Tube Side		
33	Design/Vacuum/test pressure				bar 12 /		10 /		/	
34	Design temperature / MDMT				°C 205 /		205 /		/	
35	Number passes per shell				2		4			
36	Corrosion allowance				mm 0		0			
37	Connections		In		mm 1 590.55 /		- 1 590.55 /		-	
38	Size/Rating		Out		1 539.75 /		- 1 590.55 /		-	
39	ID				Intermediate /		/		-	
40	Tube #: 1194		OD: 31.75		Tks. Average 1.6		mm		Length: 5 m	
41	Tube type: Plain		Insert: None		Fin#: /m		Material: SS 316L		Pitch: 39.69 mm	
42	Shell SS 316L		ID 1675		OD 1699		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 Triple segmental		Cut(%d) 9.48		Verti Spacing: c/c 390		mm	
47	Baffle-long SS 316L		Seal Type				Inlet 434.74		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 1651		Bundle entrance 2058		Bundle exit 3849				kg/(m <sup>2</sup> -s)	
52	Gaskets - Shell side -		Tube side		Flat Metal Jacket Fibe					
53	Floating head -									
54	Code requirements ASME Code Sec VIII Div 1				TEMA class B - chemical service					
55	Weight/Shell 16154.5		Filled with water 31044.4		Bundle 10214.7				kg	
56	Remarks									
57										
58										

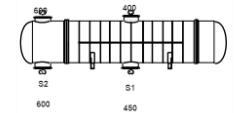


Figura 12.13 Fitxa d'especificació E-100 A/B.

**Aspen Exchanger Design and Rating Shell & Tube V11**

TEMA Sheet

**Heat Exchanger Specification Sheet**

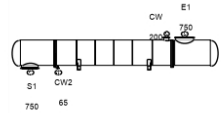
1	Company:									
2	Location: Tarragona									
3	Service of Unit: E-101					Our Reference:				
4	Item No.:					Your Reference:				
5	Date:		Rev No.:			Job No.:				
6	Size: 1125 - 5000		mm		Type: BEM Horizontal		Connected in: 1 parallel			1 series
7	Surf/unit (eff.)		407.2		m <sup>2</sup>		Shells/unit 1		Surf/shell (eff.) 407.2 m <sup>2</sup>	
8	<b>PERFORMANCE OF ONE UNIT</b>									
9	Fluid allocation				Shell Side			Tube Side		
10	Fluid name				VAP MP			Gas procés + Re-cicle		
11	Fluid quantity, Total				kg/s 1.82			93.51		
12	Vapor (In/Out)				kg/s 1.82		0		93.51 / 93.51	
13	Liquid				kg/s 0		1.82		0 / 0	
14	Noncondensable				kg/s 0		0		0 / 0	
15										
16	Temperature (In/Out)				°C 158.32		104.73		104.26 / 128.05	
17	Bubble / Dew point				°C 158.32 / 158.32		158.13 / 158.13		/ /	
18	Density		kg/m <sup>3</sup> 3.13 /		/ 955.16		10.9 /		9.97 /	
19	Viscosity		mPa-s 0.0143 /		/ 0.2684		0.0153 /		0.0161 /	
20	Molecular wt, Vap				18.02				35.14 / 35.14	
21	Molecular wt, NC									
22	Specific heat		kJ/(kg-K) 2.36 /		/ 4.223		1.809 /		1.957 /	
23	Thermal conductivity		W/(m-K) 0.0329 /		/ 0.6798		0.0334 /		0.0374 /	
24	Latent heat				kJ/kg 2087.7		2088.3			
25	Pressure (abs)				bar 5.9		5.9		9.2 / 9.1	
26	Velocity (Mean/Max)				m/s 1.37 / 3				22.36 / 23.4	
27	Pressure drop, allow./calc.				bar 0.7		0		0.7 / 0.2	
28	Fouling resistance (min)				m <sup>2</sup> -K/W 0.0002				0.0006 / 0.00069 Ao based	
29	Heat exchanged		4221.4		kW		MTD (corrected) 32.32		°C	
30	Transfer rate, Service		320.8		Dirty 366		Clean 542.7		W/(m <sup>2</sup> -K)	
31	<b>CONSTRUCTION OF ONE SHELL</b>					<b>Sketch</b>				
32					Shell Side		Tube Side			
33	Design/Vacuum/test pressure		bar 7 / / /		11 / / /					
34	Design temperature / MDMT				°C 195 / /		195 / /			
35	Number passes per shell				1		1			
36	Corrosion allowance				mm 0		0			
37	Connections		In mm 1 202.72 / -		1 692.15 / -					
38	Size/Rating		Out 1 35.05 / -		1 742.95 / -					
39	ID Intermediate				/ -		/ -			
40	Tube #: 1045		OD: 25.4		Tks. Average 1.65		mm		Length: 5000 mm Pitch: 31.75 mm Tube pattern: 30	
41	Tube type: Plain		Insert: None		Fin#: /m		Material: SS 316L			
42	Shell SS 316L		ID 1125		OD 1141		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) 40.22		Verti Spacing: c/c 810		mm	
47	Baffle-long -		Seal Type				Inlet 821.48		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 1019		Bundle entrance 209		Bundle exit 1				kg/(m <sup>2</sup> -s)	
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 8953		Filled with water 16184.7		Bundle 5955.7		kg			
56	Remarks									
57										
58										

Figura 12.14 Fitxa d'especificació E-101.

**Aspen Exchanger Design and Rating Shell & Tube V11**

TEMA Sheet

**Heat Exchanger Specification Sheet**

1	Company:									
2	Location: Tarragona									
3	Service of Unit: E-102 A/B					Our Reference:				
4	Item No.:					Your Reference:				
5	Date:		Rev No.:		Job No.:					
6	Size: 900 - 5000		mm		Type: BEM Horizontal		Connected in: 2 parallel			1 series
7	Surf/unit (eff.)		506		m <sup>2</sup>		Shells/unit 2		Surf/shell (eff.) 253 m <sup>2</sup>	
8	<b>PERFORMANCE OF ONE UNIT</b>									
9	Fluid allocation				Shell Side			Tube Side		
10	Fluid name				VAP MP			Gas procés		
11	Fluid quantity, Total				kg/s 4.68			112.57		
12	Vapor (In/Out)				kg/s 4.68		0		112.57 / 112.57	
13	Liquid				kg/s 0		4.68		0 / 0	
14	Noncondensable				kg/s 0		0		0 / 0	
15										
16	Temperature (In/Out)				°C 209		129.68		126.12 / 165.74	
17	Bubble / Dew point				°C 209 / 209		208.96 / 208.96		/ /	
18	Density Vapor/Liquid				kg/m <sup>3</sup> 9.4 /		/ 935.95		11.37 / 9.88 /	
19	Viscosity				mPa-s 0.016 /		/ 0.2139		0.0153 / 0.0166 /	
20	Molecular wt, Vap				18.02				37.65 / 37.65	
21	Molecular wt, NC									
22	Specific heat				kJ/(kg-K) 2.927 /		/ 4.263		2.21 / 2.427 /	
23	Thermal conductivity				W/(m-K) 0.0419 /		/ 0.6837		0.0424 / 0.0466 /	
24	Latent heat				kJ/kg 1904.1		1904.3			
25	Pressure (abs)				bar 18.7		18.7		9.2 / 9.1	
26	Velocity (Mean/Max)				m/s 0.98 / 2.1				22.73 / 24.45	
27	Pressure drop, allow./calc.				bar 0.7		0		0.7 / 0.2	
28	Fouling resistance (min)				m <sup>2</sup> -K/W 0.0002				0.0005 / 0.00059 Ao based	
29	Heat exchanged 10537.4				kW		MTD (corrected) 48		°C	
30	Transfer rate, Service 433.9				Dirty 433.7		Clean 661.3		W/(m <sup>2</sup> -K)	
31	<b>CONSTRUCTION OF ONE SHELL</b>					<b>Sketch</b>				
32					Shell Side			Tube Side		
33	Design/Vacuum/test pressure				bar 21 / /		11 / /			
34	Design temperature / MDMT				°C 245 /		245 /			
35	Number passes per shell				1		1			
36	Corrosion allowance				mm 0		0			
37	Connections		In mm 1 200 / -		1 530.95 / -					
38	Size/Rating		Out 1 52.5 / -		1 580.95 / -					
39	ID Intermediate / -				/ -		/ -			
40	Tube #: 648		OD: 25.4		Tks. Average 2		mm		Length: 5000 mm Pitch: 31.75 mm Tube pattern: 30	
41	Tube type: Plain				Insert: None		Fin#: /m		Material: SS 316L	
42	Shell SS 316L		ID 900		OD 922		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) 40.83		HorizSpacing: c/c 515		mm	
47	Baffle-long -				Seal Type		Inlet 800		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 591		Bundle entrance 71		Bundle exit 3		kg/(m <sup>2</sup> -s)			
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 6861.9		Filled with water 11010		Bundle 4361.7		kg			
56	Remarks									
57										
58										

Figura 12.15 Fitxa d'especificació E-102 A/B.

Aspen Exchanger Design and Rating Air Cooled V11

API Sheet

Air-Cooled Heat Exchanger Specification Sheet

1	Company: TAQSA																	
2	Location: Tarragona																	
3	Service of Unit: E-103					Our Reference:												
4	Item No.:					Your Reference:												
5	Date:		Rev No.:			Job No.:												
6	Size & Type		10.7382 / 26.525		m		Type		Forced		Number of Bays		5					
7	Surf/Unit-Finned Tube		13533.2		m <sup>2</sup>		Bare area/bundle		135.3		m <sup>2</sup>		Ratio (Total/Bare)		10			
8	Heat exchanged		27756.8		kW		MTD, Eff		63.03		°C							
9	Transfer Rate-Finned		33.2		Bare, Service		325.5		Clean		416.2		W/(m <sup>2</sup> -K)					
10	<b>PERFORMANCE DATA - TUBE SIDE</b>																	
11	Fluid Circulated					Gas procés					In / Out							
12	Total Fluid Entering		kg/s		115.1587		Density, Liq		kg/m <sup>3</sup>		/		963.23					
13			In / Out				Density, Vap		kg/m <sup>3</sup>		12.67 /		12.43					
14	Temperature		°C		132 / 73.13		Specific Heat, Liq		kJ/(kg-K)		/		2.256					
15	Liquid		kg/s		0 / 31.6603		Specific Heat, Vap		kJ/(kg-K)		2.134 /		1.411					
16	Vapor		kg/s		115.1587 / 83.4984		Therm. Cond, Liq		W/(m-K)		/		0.1507					
17	Noncondensable		kg/s		0 / 0		Therm. Cond, Vap		W/(m-K)		0.0406 /		0.025					
18	Steam		kg/s		/		Freeze Point		°C									
19	Water		/				Bubble / Dew point		°C		-198.59 /		129.7					
20	Molecular wt, Vap		38.19322 /		38.19322		Latent heat		kJ/kg									
21	Molecular wt, NC						Inlet pressure (abs)		bar		10.31086							
22	Viscosity, Liq		mPa-s		/ 0.4958		Pres Drop, Allow/Calc		bar		0.7 /		0.30842					
23	Viscosity, Vap		mPa-s		0.0157 / 0.0148		Fouling resistance		m <sup>2</sup> -K/W		0.0002							
24	<b>PERFORMANCE DATA - AIR SIDE</b>																	
25	Air Quantity, Total		1355.496		kg/s		Altitude		0		m							
26	Air Quantity/Fan		117.745		m <sup>3</sup> /s		Temperature In		30		°C							
27	Static Pressure		0.002		bar		Temperature Out		50		°C							
28	Face Velocity		4.98		m/s		Mass velocity		5.74		kg/s/m <sup>2</sup>		Design Ambient		0 °C			
29	<b>DESIGN-MATERIALS-CONSTRUCTION</b>																	
30	Design/Vac./Test Pres		13 /		bar		Design temperature		250		°C							
31	<b>TUBE BUNDLE</b>			<b>Header</b>				<b>Tube</b>										
32	Size		m		10.7382		Type		Box		Material		Carbon Steel					
33	Number/bay		2				Material		Carbon Steel		Specifications							
34	Tube Rows		3				Passes		2		OD		40.1		Min Thk.		1 mm	
35	Arrangement						Plug Mat.				No./Bun		114		Lng		10 m	
36	Bundles		2		par		Gasket Mat.				Pitch		65 /		51.96		32 Degrees	
37	Bays		5		par		Corr. Allow.		mm		<b>FIN</b>							
38	Bundle frame						Inlet nozzle ( 1 )		242.87 mm		Type		G-finned					
39	<b>MISCELLANEOUS</b>						Outlet nozzle ( 1 )		193.68 mm		Material		Aluminum 1060					
40	Struct. Mount.						Special Nozzles				OD		57.15		Tks		0.28 mm	
41	Surf. Prep						Rating		Program		No.		433 #/m		Design Temp		°C	
42	Louvers						TI		PI		Code		ASME Code Sec VIII Div					
43	Vibration Switches						Chem Cleaning				Stamp		Yes		Specs			
44	<b>MECHANICAL EQUIPMENT</b>																	
45	Fan, Mfr., Model						Driver, Type		Program		Speed Reducer, Type							
46	No./Bay		2		RPM		Mfr.				Mfr. & Model							
47	Dia.		3.657@n		Blade(s)		No./Bay				No./Bay							
48	Pitch				Angle		RPM				Rating				hp			
49	Blade(s)				Hub		Enclosure				Ratio							
50	hp/Fan		47.661 kW		MinAmb		V/Phase/Hz		/ /		Support							
51	Control Action on Air Failure-										Louvers							
52	Degree Control of Outlet Process Temperature																	
53	Recirculation										Steam Coil		No					
54	Plot Area		m <sup>2</sup>		Drawing No.		Wt. Bundle		4432.3		Wt. Unit		44323		kg			
55	Notes:																	
56																		
57																		
58																		

Figura 12.16 Fitxa d'especificació E-103.

**Aspen Exchanger Design and Rating Shell & Tube V11**

TEMA Sheet

**Heat Exchanger Specification Sheet**

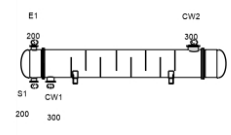
1	Company:													
2	Location: Tarragona													
3	Service of Unit: E-104					Our Reference:								
4	Item No.:					Your Reference:								
5	Date:		Rev No.:			Job No.:								
6	Size: 900 - 5000		mm		Type: BEM Horizontal		Connected in: 1 parallel			1 series				
7	Surf/unit (eff.)		207		m <sup>2</sup>		Shells/unit 1		Surf/shell (eff.) 207 m <sup>2</sup>					
8	<b>PERFORMANCE OF ONE UNIT</b>													
9	Fluid allocation					Shell Side			Tube Side					
10	Fluid name					Liquid fons de DA-100			Aigua refrigeració					
11	Fluid quantity, Total					kg/s		31.54		40.58				
12	Vapor (In/Out)					kg/s		0.44	0.37	0	0			
13	Liquid					kg/s		31.1	31.17	40.58	40.58			
14	Noncondensable					kg/s		0	0	0	0			
15														
16	Temperature (In/Out)					°C		60	40.04	28	36.02			
17	Bubble / Dew point					°C		-12.73 / 637.01	-13 / 636.19	/	/			
18	Density Vapor/Liquid					kg/m <sup>3</sup>		9.38 / 981.93	9.47 / 1007.03	/ 997.75	/ 995.8			
19	Viscosity					mPa-s		0.0123 / 0.5755	0.0116 / 0.741	/ 0.8366	/ 0.7051			
20	Molecular wt, Vap							32.5	31.2					
21	Molecular wt, NC													
22	Specific heat					kJ/(kg-K)		1.583 / 2.151	1.521 / 2.082	/ 4.191	/ 4.189			
23	Thermal conductivity					W/(m-K)		0.0242 / 0.152	0.022 / 0.156	/ 0.6044	/ 0.6148			
24	Latent heat					kJ/kg		481.4	531.8					
25	Pressure (abs)					bar		7.7	7.6	6	5.9			
26	Velocity (Mean/Max)					m/s		0.58 / 0.7		0.8 / 0.82				
27	Pressure drop, allow./calc.					bar		0.5	0.1	0.5	0.1			
28	Fouling resistance (min)					m <sup>2</sup> -K/W		0.0006		0.0004	0.00046 Ao based			
29	Heat exchanged		1363.1		kW		MTD (corrected)			15.69	°C			
30	Transfer rate, Service		419.6		Dirty		419.6		Clean		754.4 W/(m <sup>2</sup> -K)			
31	<b>CONSTRUCTION OF ONE SHELL</b>													
32						Shell Side			Tube Side					
33	Design/Vacuum/test pressure					bar		9 / / /	7 / / /					
34	Design temperature / MDMT					°C		95 / /	75 / /					
35	Number passes per shell							1	4					
36	Corrosion allowance					mm		0	0					
37	Connections		In		mm		1 304.8 / -	1 154.05 / -						
38	Size/Rating		Out				1 202.72 / -	1 154.05 / -						
39	ID		Intermediate				/ -	/ -						
40	Tube #: 529		OD: 25.4		Tks. Average 1.6		mm		Length: 5000 mm				Pitch: 31.75 mm	Tube pattern: 90
41	Tube type: Plain		Insert: None		Fin#: #/m		Material: SS 316L							
42	Shell SS 316L		ID 900		OD 914		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)		29.54		HorizSpacing: c/c 465 mm					
47	Baffle-long -		Seal Type						Inlet 824.98 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 466		Bundle entrance 221		Bundle exit 180				kg/(m <sup>2</sup> -s)					
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 4658.5		Filled with water 8047.1		Bundle 3112.9				kg					
56	Remarks													
57														
58														

Figura 12.17 Fitxa d'especificació E-104.

**Aspen Exchanger Design and Rating Shell & Tube V11**

TEMA Sheet

**Heat Exchanger Specification Sheet**

1	Company:									
2	Location: Tarragona									
3	Service of Unit: E-105					Our Reference:				
4	Item No.:					Your Reference:				
5	Date:		Rev No.:			Job No.:				
6	Size: 1200 - 5000		mm		Type: BEM Horizontal		Connected in: 1 parallel 1 series			
7	Surf/unit (eff.)		380.8		m <sup>2</sup>		Shells/unit 1		Surf/shell (eff.) 380.8 m <sup>2</sup>	
8	<b>PERFORMANCE OF ONE UNIT</b>									
9	Fluid allocation					Shell Side			Tube Side	
10	Fluid name					Liquid fons de DA-100			Aigua refrigeració	
11	Fluid quantity, Total					kg/s		54.96		
12	Vapor (In/Out)					kg/s		0.77 / 0.64		
13	Liquid					kg/s		54.19 / 54.32		
14	Noncondensable					kg/s		0 / 0		
15										
16	Temperature (In/Out)					°C		60 / 39.68		
17	Bubble / Dew point					°C		-12.76 / 637 / -13.04 / 636.15		
18	Density Vapor/Liquid					kg/m <sup>3</sup>		9.37 / 981.98 / 9.47 / 1007.53		
19	Viscosity					mPa-s		0.0123 / 0.5756 / 0.0116 / 0.7448		
20	Molecular wt, Vap							32.5 / 31.19		
21	Molecular wt, NC									
22	Specific heat					kJ/(kg-K)		1.583 / 2.151 / 1.52 / 2.081		
23	Thermal conductivity					W/(m-K)		0.0242 / 0.152 / 0.0219 / 0.1561		
24	Latent heat					kJ/kg		479.3 / 534.8		
25	Pressure (abs)					bar		7.7 / 7.6		
26	Velocity (Mean/Max)					m/s		0.68 / 0.82		
27	Pressure drop, allow./calc.					bar		0.7 / 0.1		
28	Fouling resistance (min)					m <sup>2</sup> -K/W		0.0006 / 0.0004 / 0.00046 Ao based		
29	Heat exchanged		2417.6		kW		MTD (corrected)		15.22 °C	
30	Transfer rate, Service		417.2		Dirty		417.2		Clean 746.8 W/(m <sup>2</sup> -K)	
31	<b>CONSTRUCTION OF ONE SHELL</b>					<b>Sketch</b>				
32						Shell Side			Tube Side	
33	Design/Vacuum/test pressure					bar		9 / / / 7 / / /		
34	Design temperature / MDMT					°C		95 / / / 75 / / /		
35	Number passes per shell							1 / 4		
36	Corrosion allowance					mm		3.18 / 0		
37	Connections		In		mm		1 387.35 / - / 1 202.72 / -			
38	Size/Rating		Out				1 254.51 / - / 1 202.72 / -			
39	ID					Intermediate		/ - / -		
40	Tube #: 978		OD: 25.4		Tks. Average 1.6		mm		Length: 5000 mm Pitch: 31.75 mm Tube pattern: 90	
41	Tube type: Plain		Insert: None		Fin#: /m		Material: SS 316L			
42	Shell Carbon Steel		ID 1200		OD 1226		mm		Shell cover -	
43	Channel or bonnet Carbon Steel								Channel cover -	
44	Tubesheet-stationary Carbon Steel								Tubesheet-floating -	
45	Floating head cover -								Impingement protection None	
46	Baffle-cross Carbon Steel		Type Single segmental		Cut(%d)		34.39		HorizSpacing: c/c 695 mm	
47	Baffle-long -		Seal Type						Inlet 701.98 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 543		Bundle entrance 647		Bundle exit 828		kg/(m <sup>2</sup> -s)			
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 9371.4		Filled with water 15681.6		Bundle 5849.6		kg			
56	Remarks									
57										
58										

Figura 12.18 Fitxa d'especificació E-105.

TOWER DATA SHEET

1	GENERAL	Manufacturer:									
2		Item: DA-201									
3		Service: Absorbidor d'acid acètic									
4		Type:									
5	OPER. CONDIT.	Product	Fluid de Procés + Acid acètic + Aigua D. + CO2								
6		Temper.	50 °C								
7		Pressure	9.42 barg								
8		Liquid Density	969 kg/m <sup>3</sup>								
9		Liquid Viscosity	0.60 cP								
10		Number of trays	20								
11		Tower Inside Diameter	0.85 m								
12		Tray Spacing	0.6 m								
13		Total pressure drop	0.09 bar								
14		Minimum Area/Downcomer									
15	Valves, Bubble Caps/Tray	122									
16											
17											
18	DESIGN DATA	Des.Pr.(eff.)	12 barg.								
19		Des.Temp.	70 °C								
20		Liquid Density	969 kg/m <sup>3</sup>								
21		Design Range	80 %								
22		Hydr. Test	17.16 barg								
23		Code:	ASME secció VIII divisió I								
24		Corr.Allow mm: Shell/ Heads	1 / 1 mm.								
25		Joint Efficiency:	85 %								
26		Stress.Rel.:	X	Yes	No						
27		Radiograph:	X	Yes	No						
28	Sandblast:		Yes	X	No						
29	Paint:	X	Yes	No							
30	Insulation:	X	Yes	No							
31	Fireproofing:	X	Yes	No							
32	Wind Load:				Mpa						
33	Seismic:		Yes	X	No						
34	Wt.Empty:				1909 kg						
35	Wt.Full:				8799 kg						
36	I N T E R T A C T I O N S & L S	Satge No.	Diam.	Spacing	Material						
37		Thru 1 to 20	0.85	0.6	316Ti - 1.4571						
38		Thru to									
39		Thru to									
40		Thru to									
41		Contact Device:	Ballast V4								
42				Bubble Caps	0						
43				Valves	122						
44				Perfor.	0						
45		Packing:	0								
46	Demister:	0									
47	M A P E R I F A L	Shell-Top	Thick. (mm.)	Mat'l Class							
48		Intermed									
49		Bottom									
50											
51		Head-Top	6	316Ti - 1.4571							
52		Intermed									
53		Bottom									
54		Head-bottom	6	316Ti - 1.4571							
55											
56		Cladding, Lining									
57											
58											
59	N O O Z L E	Service	Mark	No.	Size	Rating	Service	Mark	No.	Size	Rating
60		Sortida per cap	SA	1	200	150 #					
61		Indicador diferencial de pressió	SB	1	50	150 #					
62		Entrada 2	SC	1	25	150 #					
63		Indicador diferencial de pressió	SD	1	50	150 #					
64		Sortida per fons	SF	1	25	150 #					
65		Indicador de nivell	SG	1	50	150 #					
66		Indicador de nivell	SH	1	50	150 #					
67		Entrada 1	SI	1	200	150 #					
68		Forat fora de servei	CX	1	50	150 #					
69	Forat fora de servei	CY	1	50	150 #						
70	Boca d'home	HM1	1	600	150 #						
71	Boca d'home	HM2	1	600	150 #						
72	NOTES:										
73											
74											
75											
76											
77											
78											
79	o	04/05/2022 Guillem B.									
80	REV.	DATE	PREP.	APPR.	<b>UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI</b> Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química Departament d'Enginyeria Química						

Figura 12.19 Fitxa d'especificació DA-201.



TOWER DATA SHEET

1	GENERAL	Manufacturer:									
2		Item: DA-203									
3		Service: Desabsorbidor de CO2									
4		Type: Empacada									
5	OPER. CONDIT.	Product	CO2 + Dissolució K2CO3 + H2O								
6		Temper.	110	°C							
7		Pressure	0.25	barg							
8		Liquid Density	1193	kg/m <sup>3</sup>							
9		Liquid Viscosity	0.50	cP							
10		Number of stages	4								
11		Packed height per stage (HETP)	5.2	m							
12		Tower Inside Diameter	1.3	m							
13		Tray Spacing	0	m							
14		Total pressure drop	0.08	bar							
15	Minimum Area/Downcomer										
16											
17											
18	DESIGN DATA	Des.Pr.(eff.)	0.5	barg.							
19		Des.Temp.	130	°C							
20		Liquid Density	1193	kg/m <sup>3</sup>							
21		Design Range	80	%							
22		Hydr. Test	0.72	barg							
23		Code:	ASME secció VIII divisió I								
24		Corr.Allow mm: Shell/ Heads	1 / 1	mm.							
25		Joint Efficiency:	85	%							
26		Stress.Rel.:	<input checked="" type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No							
27		Radiograph:	<input checked="" type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No							
28	Sandblast:	<input type="checkbox"/> Yes	<input checked="" type="checkbox"/> No								
29	Paint:	<input checked="" type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No								
30	Insulation:	<input checked="" type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No								
31	Fireproofing:	<input checked="" type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No								
32	Wind Load:		Mpa								
33	Seismic:	<input type="checkbox"/> Yes	<input checked="" type="checkbox"/> No								
34	Wt.Empty:	2397	kg								
35	Wt.Full:	28964	kg								
36	I N T E R T A Y R S N A & L S	Satge No.	Diam.	Spacing	Material						
37		Thru 1 to 4	1.3		Ceràmica						
38		Thru to									
39		Thru to									
40		Thru to									
41	Contact Device:										
42			Bubble Caps								
43			Valves								
44			Perfor.								
45	Packing:	2 inch Intalox Saddle									
46	Demister:	0									
47	M A P E C I F A L	Shell-Top	Thick. (mm.)	Mat'l Class							
48		Intermed	10	316Ti - 1.4571							
49		Bottom									
50											
51		Head-Top	10	316Ti - 1.4571							
52		Intermed									
53		Bottom									
54											
55		Head-bottom	10	316Ti - 1.4571							
56		Cladding, Lining									
57											
58											
59	N O O Z L E	Service	Mark	No.	Size	Rating	Service	Mark	No.	Size	Rating
60		Sortida per cap	DM	1	450	150 #	Drenatge	DX	1	50	150 #
61		Entrada 2	DN	1	32	150 #	Entrada 1	DY	1	150	150 #
62		Indicador de Temperatura	DO	1	50	150 #	Indicador diferencial de pressió	DZ	1	50	150 #
63		Entrada de Reboiler Gas	DP1	1	400	150 #	Forat sense servei	CE	1	50	150 #
64		Entrada de Reboiler Liquid	DP2	1	200	150 #	Forat sense servei	CF	1	50	150 #
65		Sortida a Reboiler	DQ	1	200	150 #	Boca d'home	HM5	1	600	150 #
66		Sortida per fons	DR	1	200	150 #	Boca d'home	HM6	1	600	150 #
67		Indicador de Nivell	DS	1	50	150 #					
68		Indicador de Nivell	DT	1	50	150 #					
69		Indicador diferencial de pressió	DU	1	50	150 #					
70		Drenatge	DV	1	50	150 #					
71	Drenatge	DW	1	50	150 #						
72	NOTES:										
73											
74											
75											
76											
77											
78											
79	o	04/05/2022	Guillem B.								
80	REV.	DATE	PREP.	APPR.							

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

Figura 12.21 Fitxa d'especificació DA-203.

DRUM DATA SHEET

1	GENERAL	Manufacturer:				
2		Item: FA-201				
3		Description: CO2-Absorber O.H. separator		Position:	Horiz.	X Vertical
4	OPERATING DATA	Product: FP + CO2 + Dissolució K2CO3 + H2O				
5		Operating Pressure (eff.)		8.4 barg		
6		Operating Temperature		40 °C		
7		Liquid Density		990.4 kg/m³		
8	DESIGN DATA	Design Pressure (eff.)		12 barg		
9		Design Temperature		60 °C		
10		Hidrostatic Test (eff.)		17.2 barg		
11		Corr. Allow.	Shell / Heads	1 mm		
12		Joint Eff.	Shell / Heads	0.85		
13		Code: ASME secció VIII divisió I				
14		Radiograph:				
15		Stress Relieve:	X	Yes	No	
16		Seismic:				
17		Wind Load:	325000		N/m²	
18		Hidrostatic Test (eff.)	17.2		kg/cm2g	
19	MATERIALS		Thickness	Mat'l Class		
20		Shell	6 mm	316Ti - 1.4571		
21		Heads	6 mm	316Ti - 1.4571		
22		Lining	6 mm	316Ti - 1.4571		
23		Nozzle Necks				
24		Flanges				
25	CONSTRUCTION		Dia.	L / H	Material	
26		Shell	1	2.6	316Ti - 1.4571	
27		Heads				
28		Insulation:	X	Yes	No	
29		Fireproofing:	X	Yes	No	
30		Sandblast:		Yes X	No	
31		Paint:	X	Yes	No	
32		Wt. Empty:			843 kg	
33		Wt. Full Water:			2865 kg	
34	NOZZLES	Service	Mark	Nº	Size	Rating
35		Entrada 1	FA	1	200	150#
36		Indicador de Nivell	FB	1	50	150#
37		Indicador de Nivell	FC	1	50	150#
38		Sortida per fons	FD	1	25	150#
39		Sortida per cap	FE	1	200	150#
40	SCHEMATIC	Boca d'home	HM7	1	600	150#
41						
42						
43						
44						
45						
46						
47						
48						
49						
0	04/05/2022	Guillem B.				
REV.	DATE	PREP.	APPR.			

NOTES:

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI  
Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química

Figura 12.22 Fitxa d'especificació FA-201.

PUMP CALCULATION SUMMARY SHEET

1	Nº OF PUMPS	RUN:	1	SPARE	1
2	SERVICE	HP-Solution Pump			
3	ITEM	P-202			
4					
5	FLUID PUMPED	K2CO3 Lye			
6	OPER.TEMP	109 °C			
7	DENSITY	1193 kg/m3			
8	VISCOSITY	0,50 cP			
9	VAPOR PRESS.	1,21 bar			
10	NORM.CAPACITY	123 m3/h			
11	MAX.CAPACITY	147,6 m3/h			
12					
13	<b>SUCTION CONDITIONS</b>				
14	TOTAL SUCT.PR.	0,44	barg		
15	NPSH (m.w.c.)	6,4	m		
16					
17	<b>DISCHARGE CONDITIONS</b>				
18	LIQUID HEAD	0,75	barg		
19	TOTAL DISCH.PR.	12,33	barg		
20	DIFF.PRESSURE	11,88	barg		
21	DIFF.HEAD (m.w.c.)	101	m		
22	<b>PUMP REQUIREMENTS</b>				
23	TYPE PUMP	Bomba centrífuga			
24	ESTIMATED EFF.	66 %			
25	ESTIMATED Rot.freq.	3500 min-1			
26	ESTIMATED Power	52 kW			
27	TYPE DRIVER	Motor			
28	STEAM (abs.)	kg/cm <sup>2</sup>	°C		
29	ELECTRICITY	V:	380 V	PH:	60 Hz
30					
31					
32	<b>PUMP MATERIALS</b>				
33	CASE	Especificat per Inoxpa			
34	IMPELLER	Especificat per Inoxpa			
35	SHAFT	Especificat per Inoxpa			
36	SHAFT SLEEVE	Especificat per Inoxpa			
37	SEAL/PACKING	Especificat per Inoxpa			
38	PISTON	Especificat per Inoxpa			
39					
40	Nozzles	Mark	Nº	Dia.	Rating
41	Suction	BA/BC	1	200	150#
42	Discharge	BB/BD	1	150	150#
43					
44					
45	0	04/05/2022	Guillem B.		
46	REV.	DATE	PREP.		
47					

Pump Curve

Gen. Arr. Drawn

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

Figura 12.23 Fitxa d'especificació P-202 A/B.

**Aspen Exchanger Design and Rating Shell & Tube V11**

TEMA Sheet

**Heat Exchanger Specification Sheet**

1	Company:									
2	Location: Tarragona									
3	Service of Unit:					Our Reference:				
4	Item No.: E-201					Your Reference:				
5	Date:			Rev No.:			Job No.:			
6	Size: 406 - 5000		mm		Type: BEM Horizontal		Connected in: 1 parallel			1 series
7	Surf/unit (eff.)		32,2		m <sup>2</sup>		Shells/unit 1		Surf/shell (eff.) 32,2 m <sup>2</sup>	
8	<b>PERFORMANCE OF ONE UNIT</b>									
9	Fluid allocation					Shell Side		Tube Side		
10	Fluid name					RECYCLE GAS		COOLING WATER		
11	Fluid quantity, Total					kg/s 5,0293		4,4701		
12	Vapor (In/Out)					kg/s 5,0293		0		0
13	Liquid					kg/s 0		4,4701		4,4701
14	Noncondensable					kg/s 0		0		0
15										
16	Temperature (In/Out)					°C 78		50		28 38
17	Bubble / Dew point					°C /		/		/
18	Density Vapor/Liquid					kg/m <sup>3</sup> 11,75 /		12,78 /		/ 997,75 / 995,19
19	Viscosity					mPa-s 0,0164 /		0,0153 /		/ 0,8366 / 0,6784
20	Molecular wt, Vap					32,92		32,92		
21	Molecular wt, NC									
22	Specific heat					kJ/(kg-K) 1,357 /		1,304 /		/ 4,191 / 4,188
23	Thermal conductivity					W/(m-K) 0,0262 /		0,0235 /		/ 0,6044 / 0,6173
24	Latent heat					kJ/kg				
25	Pressure (abs)					bar 10,14988		10,07032		6 5,91877
26	Velocity (Mean/Max)					m/s 4,47 / 10,98		0,57 / 0,62		
27	Pressure drop, allow./calc.					bar 0,09807		0,07956		0,69627 0,08123
28	Fouling resistance (min)					m <sup>2</sup> -K/W 0,0002		0,0004		0,00046 Ao based
29	Heat exchanged 187,3					kW		MTD (corrected) 28,54		°C
30	Transfer rate, Service 203,6					Dirty 259,9		Clean 313,6		W/(m <sup>2</sup> -K)
31	<b>CONSTRUCTION OF ONE SHELL</b>							<b>Sketch</b>		
32						Shell Side		Tube Side		
33	Design/Vacuum/test pressure					bar 11,72109/ /		6,89476 / /		
34	Design temperature / MDMT					°C 115,56 /		76,67 /		
35	Number passes per shell					1		4		
36	Corrosion allowance					mm 0		0		
37	Connections		In		mm 1 254 / -		1 50,8 / -			
38	Size/Rating		Out		1 254 / -		1 50,8 / -			
39	Nominal		Intermediate		/ -		/ -			
40	Tube #: 82 OD: 25,4 Tks. Average 1,65 mm Length: 5000 mm Pitch: 31,75 mm Tube pattern: 30									
41	Tube type: Plain					Insert: None		Fin#: /m		Material: SS 316L
42	Shell SS 316L					ID 406,4 OD 415,92		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(%): 40,62		Horiz Spacing: c/c 812,8 mm
47	Baffle-long -					Seal Type				Inlet 1242,7 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 832		Bundle entrance 238		Bundle exit 100		kg/(m <sup>2</sup> -s)			
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 991,5		Filled with water 1627,9		Bundle 527,9		kg			
56	Remarks									
57										
58										

Figura 12.24 Fitxa d'especificació E-201.

**Aspen Exchanger Design and Rating Shell & Tube V11**

TEMA Sheet

**Heat Exchanger Specification Sheet**

1	Company:									
2	Location:									
3	Service of Unit:					Our Reference:				
4	Item No.: E-202					Your Reference:				
5	Date:			Rev No.:			Job No.:			
6	Size: 51 - 5000		mm		Type: BDM Horizontal		Connected in: 1 parallel 5 series			
7	Surf/unit (eff.)		2		m <sup>2</sup>		Shells/unit 5		Surf/shell (eff.) 0,4 m <sup>2</sup>	
8	<b>PERFORMANCE OF ONE UNIT</b>									
9	Fluid allocation				Shell Side			Tube Side		
10	Fluid name				COOLING WATER			DEMINEALIZED WATER		
11	Fluid quantity, Total				kg/s 0,5828			0,5833		
12	Vapor (In/Out)				kg/s 0			0		
13	Liquid				kg/s 0,5828			0,5833		
14	Noncondensable				kg/s 0			0		
15										
16	Temperature (In/Out)				°C 28			38		
17	Bubble / Dew point				°C /			/		
18	Density		kg/m <sup>3</sup>		/ 997,75		/ 995,19		/ 985,66	
19	Viscosity		mPa-s		/ 0,8366		/ 0,6784		/ 0,4743	
20	Molecular wt, Vap									
21	Molecular wt, NC									
22	Specific heat				kJ/(kg-K) / 4,191			/ 4,188		
23	Thermal conductivity				W/(m-K) / 0,6044			/ 0,6173		
24	Latent heat				kJ/kg					
25	Pressure (abs)				bar 6			5,96584		
26	Velocity (Mean/Max)				m/s 0,35 / 0,35			1,59 / 1,59		
27	Pressure drop, allow./calc.				bar 0,30401			0,03416		
28	Fouling resistance (min)				m <sup>2</sup> -K/W 0,0004			0,0004 0,00047 Ao based		
29	Heat exchanged 24,4				kW			MTD (corrected) 22 °C		
30	Transfer rate, Service 563,5				Dirty 639,2			Clean 1451,5 W/(m <sup>2</sup> -K)		
31	<b>CONSTRUCTION OF ONE SHELL</b>									
32					Shell Side			Tube Side		
33	Design/Vacuum/test pressure bar				6,89476 / /			11,72109 / /		
34	Design temperature / MDMT °C				76,67 / /			98,89 / /		
35	Number passes per shell				1			1		
36	Corrosion allowance mm				3,18			3,18		
37	Connections		In mm		1 38,1 / -		1 / -			
38	Size/Rating		Out		1 38,1 / -		1 / -			
39	Nominal		Intermediate		1 38,1 / -		1 / -			
40	Tube #: 1 OD: 25,4 Tks. Average 1,83 mm Length: 5000 mm Pitch: mm Tube pattern:0									
41	Tube type: Plain				Insert:None			Fin#: #/m Material:Carbon Steel		
42	Shell Carbon Steel		ID 52,5		OD 60,32		mm		Shell cover -	
43	Channel or bonnet Carbon Steel				Channel cover -					
44	Tubesheet-stationary Carbon Steel				Tubesheet-floating -					
45	Floating head cover -				Impingement protection None					
46	Baffle-cross Carbon Steel		Type Unbaffled		Cut(%d)		Spacing: c/c mm			
47	Baffle-long -		Seal Type				Inlet 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 262		Bundle entrance 11		Bundle exit 11		kg/(m <sup>2</sup> -s)			
52	Gaskets - Shell side -				Tube side			Flat Metal Jacket Fibe		
53	Floating head -									
54	Code requirements ASME Code Sec VIII Div 1				TEMA class			Not TEMA, Code only		
55	Weight/Shell 125,5		Filled with water 135,5		Bundle 8,3		kg			
56	Remarks									
57										
58										

Figura 12.25 Fitxa d'especificació E-202.

**Aspen Exchanger Design and Rating Shell & Tube V11**

TEMA Sheet

**Heat Exchanger Specification Sheet**

1	Company:									
2	Location: Tarragona									
3	Service of Unit:					Our Reference:				
4	Item No.: E-203					Your Reference:				
5	Date:		Rev No.:			Job No.:				
6	Size: 635 - 5000		mm		Type: BEU Horizontal		Connected in: 1 parallel 2 series			
7	Surf/unit (eff.)		193		m <sup>2</sup>		Shells/unit 2		Surf/shell (eff.) 96,5 m <sup>2</sup>	
8	<b>PERFORMANCE OF ONE UNIT</b>									
9	Fluid allocation				Shell Side			Tube Side		
10	Fluid name				GAS			GAS		
11	Fluid quantity, Total				kg/s 4,95			kg/s 4,34		
12	Vapor (In/Out)				kg/s 4,95		kg/s 4,95		kg/s 0,3178 0,2159	
13	Liquid				kg/s 0		kg/s 0		kg/s 0 0,1018	
14	Noncondensable				kg/s 0		kg/s 0		kg/s 4,0222 4,0222	
15										
16	Temperature (In/Out)				°C 47		°C 97		°C 108,5 94,65	
17	Bubble / Dew point				°C /		°C /		°C -126,26 / 104,62 -126,48 / 104,23	
18	Density		kg/m <sup>3</sup> 12,53 /		kg/m <sup>3</sup> 10,51 /		kg/m <sup>3</sup> 9,56 /		kg/m <sup>3</sup> 9,93 / 923,96	
19	Viscosity		mPa-s 0,0141 /		mPa-s 0,016 /		mPa-s 0,0161 /		mPa-s 0,0156 / 0,2967	
20	Molecular wt, Vap		32,72		32,72		29,5		29,96	
21	Molecular wt, NC						31,06		31,06	
22	Specific heat		kJ/(kg-K) 1,273 /		kJ/(kg-K) 1,368 /		kJ/(kg-K) 1,526 /		kJ/(kg-K) 1,484 / 4,586	
23	Thermal conductivity		W/(m-K) 0,0221 /		W/(m-K) 0,0275 /		W/(m-K) 0,0294 /		W/(m-K) 0,0278 / 0,6673	
24	Latent heat		kJ/kg				kJ/kg 2304,5		kJ/kg 2326,4	
25	Pressure (abs)		bar 9,8		bar 9,65		bar 10		bar 9,85	
26	Velocity (Mean/Max)		m/s 7,46 / 14,84				m/s 9,72 / 10,04			
27	Pressure drop, allow./calc.		bar 0,15		bar 0,15		bar 0,2		bar 0,15	
28	Fouling resistance (min)		m <sup>2</sup> -K/W 0,00017				m <sup>2</sup> -K/W 0,00017 0,0002		Ao based	
29	Heat exchanged		327,2 kW		MTD (corrected) 21,52				°C	
30	Transfer rate, Service		78,8		Dirty 244,6		Clean 268,9		W/(m <sup>2</sup> -K)	
31	<b>CONSTRUCTION OF ONE SHELL</b>									
32					Shell Side			Tube Side		
33	Design/Vacuum/test pressure		bar 11,03 / /		bar 11,03 / /		bar 148,89 / /			
34	Design temperature / MDMT		°C 132,22 /		°C 148,89 /					
35	Number passes per shell		1		2					
36	Corrosion allowance		mm 1		mm 1					
37	Connections		In mm 1 254 / -		In mm 1 203,2 / -					
38	Size/Rating		Out mm 1 254 / -		Out mm 1 203,2 / -					
39	Nominal		Intermediate mm 1 254 / -		Intermediate mm 1 203,2 / -					
40	Tube #: 118 U's OD: 25,4 Tks. Average 1,65 mm Length: 5000 mm Pitch: 31,75 mm Tube pattern: 30									
41	Tube type: Plain		Insert: None		Fin#: #/m		Material: SS 316L			
42	Shell SS 316L		ID 635 OD 644,52		mm		Shell cover SS 316L			
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(%): 39,67		Horiz Spacing: c/c 615,95		mm	
47	Baffle-long -		Seal Type				Inlet 0		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 756		Bundle entrance 910		Bundle exit 1085				kg/(m <sup>2</sup> -s)	
52	Gaskets - Shell side		Flat Metal Jacket Fibe		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		2278 Filled with water 4133,1		Bundle 1456,9				kg	
56	Remarks									
57										
58										

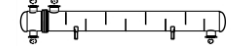


Figura 12.26 Fitxa d'especificació E-203.

**Aspen Exchanger Design and Rating Shell & Tube V11**

TEMA Sheet

**Heat Exchanger Specification Sheet**

1	Company:										
2	Location:										
3	Service of Unit:					Our Reference:					
4	Item No.: E-204					Your Reference:					
5	Date:			Rev No.:			Job No.:				
6	Size: 711 - 5000		mm		Type: BEM Horizontal		Connected in: 1 parallel 1 series				
7	Surf/unit (eff.)		123,6		m <sup>2</sup>		Shells/unit 1		Surf/shell (eff.) 123,6 m <sup>2</sup>		
8	<b>PERFORMANCE OF ONE UNIT</b>										
9	Fluid allocation					Shell Side			Tube Side		
10	Fluid name					GAS-LIQUID			COOLING WATER		
11	Fluid quantity, Total					4,3403			19,9245		
12	Vapor (In/Out)					kg/s		0,2136		0,017	
13	Liquid					kg/s		0,1042		0,3008	
14	Noncondensable					kg/s		4,0225		4,0225	
15											
16	Temperature (In/Out)					°C		94		40,02	
17	Bubble / Dew point					°C		-231,95 / 104,03		-232,01 / 103,65	
18	Density Vapor/Liquid					kg/m <sup>3</sup>		9,88 / 924,65		11,94 / 979,43	
19	Viscosity					mPa-s		0,0156 / 0,2988		0,0135 / 0,6708	
20	Molecular wt, Vap							29,97		30,97	
21	Molecular wt, NC							31,06		31,06	
22	Specific heat					kJ/(kg-K)		1,482 / 4,584		1,338 / 4,522	
23	Thermal conductivity					W/(m-K)		0,0278 / 0,6672		0,0219 / 0,6244	
24	Latent heat					kJ/kg		2326,3		2459,6	
25	Pressure (abs)					bar		9,77786		9,63459	
26	Velocity (Mean/Max)					m/s		5,18 / 5,84		1,33 / 1,41	
27	Pressure drop, allow./calc.					bar		0,40207		0,14327	
28	Fouling resistance (min)					m <sup>2</sup> -K/W		0,0002		0,0004 0,00046 Ao based	
29	Heat exchanged					834,7		kW		MTD (corrected) 29,66 °C	
30	Transfer rate, Service					227,7		Dirty 419,4		Clean 580,6 W/(m <sup>2</sup> -K)	
31	<b>CONSTRUCTION OF ONE SHELL</b>										
32						Shell Side			Tube Side		
33	Design/Vacuum/test pressure					bar		11,03162/ /		6,89476 / /	
34	Design temperature / MDMT					°C		132,22 /		76,67 /	
35	Number passes per shell							1		8	
36	Corrosion allowance					mm		0		0	
37	Connections					In mm		1 254 / -		1 101,6 / -	
38	Size/Rating					Out		1 203,2 / -		1 101,6 / -	
39	Nominal					Intermediate		/ -		/ -	
40	Tube #: 315 OD: 25,4 Tks. Average 1,65 mm Length: 5000 mm Pitch: 31,75 mm Tube pattern:30										
41	Tube type: Plain					Insert:None					Fin#: #/m Material:SS 316L
42	Shell SS 316L					ID 700,09		OD 709,61		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) 34,28		HorizSpacing: c/c 300 mm	
47	Baffle-long -					Seal Type					Inlet 508,72 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 720					Bundle entrance 331		Bundle exit 550		kg/(m <sup>2</sup> -s)	
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 2730,8					Filled with water 4692,5		Bundle 1872,9		kg	
56	Remarks										
57											
58											



Figura 12.27 Fitxa d'especificació E-204.

**Aspen Exchanger Design and Rating Shell & Tube V11**

TEMA Sheet

**Heat Exchanger Specification Sheet**

1	Company:										
2	Location:										
3	Service of Unit:					Our Reference:					
4	Item No.: E-205					Your Reference:					
5	Date:			Rev No.:			Job No.:				
6	Size: 203 - 5000		mm		Type: BEM Horizontal		Connected in: 1 parallel 1 series				
7	Surf/unit (eff.)		10,2		m <sup>2</sup>		Shells/unit 1		Surf/shell (eff.) 10,2 m <sup>2</sup>		
8	<b>PERFORMANCE OF ONE UNIT</b>										
9	Fluid allocation				Shell Side			Tube Side			
10	Fluid name				CONDENSATE			COOLING WATER			
11	Fluid quantity, Total				kg/s 1,3011			4,5697			
12	Vapor (In/Out)				kg/s 0			0			
13	Liquid				kg/s 1,3011			4,5697			
14	Noncondensable				kg/s 0			0			
15											
16	Temperature (In/Out)				°C 130			95			
17	Bubble / Dew point				°C /			158,26 / 158,26			
18	Density		kg/m <sup>3</sup>		/ 934,38		/ 962,76		/ 997,75		
19	Viscosity		mPa-s		/ 0,2247		/ 0,296		/ 0,8366		
20	Molecular wt, Vap										
21	Molecular wt, NC										
22	Specific heat				kJ/(kg-K) / 4,219			/ 4,193			
23	Thermal conductivity				W/(m-K) / 0,689			/ 0,6742			
24	Latent heat				kJ/kg						
25	Pressure (abs)				bar 11,77			11,74			
26	Velocity (Mean/Max)				m/s 0,05 / 0,14			1 / 1			
27	Pressure drop, allow./calc.				bar 0,3			0,02			
28	Fouling resistance (min)				m <sup>2</sup> -K/W 0,0004			0,0004 0,00048 Ao based			
29	Heat exchanged				191,4 kW			MTD (corrected) 78,11 °C			
30	Transfer rate, Service				240,5 Dirty 593,8			Clean 1256,3 W/(m <sup>2</sup> -K)			
31	<b>CONSTRUCTION OF ONE SHELL</b>							<b>Sketch</b>			
32					Shell Side			Tube Side			
33	Design/Vacuum/test pressure				bar 13,1 / /			6,89 / /			
34	Design temperature / MDMT				°C 165,56 /			76,67 /			
35	Number passes per shell				1			2			
36	Corrosion allowance				mm 3,18			3,18			
37	Connections		In		mm 1 31,75 /		1 50,8 /				
38	Size/Rating		Out		1 31,75 /		1 50,8 /				
39	Nominal		Intermediate		/ -		/ -				
40	Tube #: 26 OD: 25,4 Tks. Average 2,11 mm Length: 5000 mm Pitch: 31,75 mm Tube pattern:30										
41	Tube type: Plain				Insert:None			Fin#: #/m		Material:Carbon Steel	
42	Shell Carbon Steel		ID 205		OD 219,08		mm		Shell cover -		
43	Channel or bonnet Carbon Steel				Channel cover -						
44	Tubesheet-stationary Carbon Steel				Tubesheet-floating -						
45	Floating head cover -				Impingement protection None						
46	Baffle-cross Carbon Steel		Type Single segmental		Cut(%d) 39,93		HorizSpacing: c/c 406,4 mm				
47	Baffle-long -		Seal Type				Inlet 626,75 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 1946		Bundle entrance 4		Bundle exit 4		kg/(m <sup>2</sup> -s)				
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 564,3		Filled with water 712,8		Bundle 204,3		kg				
56	Remarks										
57											
58											

Figura 12.28 Fitxa d'especificació E-205.

**Aspen Exchanger Design and Rating Shell & Tube V11**

TEMA Sheet

**Heat Exchanger Specification Sheet**

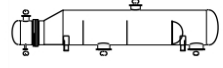
1	Company:														
2	Location:														
3	Service of Unit:					Our Reference:									
4	Item No.: E-204					Your Reference:									
5	Date:			Rev No.:			Job No.:								
6	Size: 727 /1060		-4000 mm		Type: BKU	Horizontal		Connected in: 1 parallel 1 series							
7	Surf/unit(eff.)		61,8 m <sup>2</sup>		Shells/unit 1		Surf/shell(eff.) 61,8 m <sup>2</sup>								
8	<b>PERFORMANCE OF ONE UNIT</b>														
9	Fluid allocation					Shell Side		Tube Side							
10	Fluid name					K2CO3 LYE		STEAM							
11	Fluid quantity, Total					kg/s 42,4358		2,0833							
12	Vapor (In/Out)					kg/s 0,0279 / 1,4584		2,0833		0					
13	Liquid					kg/s 42,408 / 40,9774		0		2,0833					
14	Noncondensable					kg/s 0 / 0		0		0					
15															
16	Temperature (In/Out)					°C 105,69 / 105,76		160		157,01					
17	Bubble / Dew point					°C / /		159,2 / 159,27		/					
18	Density Vapor/Liquid					kg/m <sup>3</sup> 0,79 / 802,15		0,69 / 798,75		3,04 / 852,61					
19	Viscosity					mPa-s 0,0135 / 0,239		0,0129 / 0,2375		0,0148 / 0,1687					
20	Molecular wt, Vap					19,53		18,11		18,02					
21	Molecular wt, NC														
22	Specific heat					kJ/(kg-K) 1,764 / 3,814		1,871 / 3,785		1,918 / 5,197					
23	Thermal conductivity					W/(m-K) 0,0249 / 0,2274		0,0249 / 0,2252		0,03 / 0,6838					
24	Latent heat					kJ/kg 2237,7		2226,2		2083,6					
25	Pressure (abs)					bar 1,27		1,19		6,08 / 6,03					
26	Velocity (Mean/Max)					m/s 1,89 / 2,93		7,87 / 15,69							
27	Pressure drop, allow./calc.					bar 0,2		0,07		0,2 / 0,05					
28	Fouling resistance (min)					m <sup>2</sup> -K/W 0,00026		9E-05		0,0001 Ao based					
29	Heat exchanged 4373,7 kW					MTD (corrected) 53,58 °C									
30	Transfer rate, Service 1321					Dirty 1394,6		Clean 2756,5		W/(m <sup>2</sup> -K)					
31	<b>CONSTRUCTION OF ONE SHELL</b>														
32						Shell Side		Tube Side							
33	Design/Vacuum/test pressure bar					3 / /		7 / /							
34	Design temperature / MDMT °C					195 / /		195 / /							
35	Number passes per shell					1		2							
36	Corrosion allowance mm					0		0							
37	Connections In mm					1 355,6 / -		1 152,4 / -							
38	Size/Rating Out					1 406,4 / -		1 31,75 / -							
39	Nominal Out - Vapor					1 254 / -		/ -							
40	Tube #: 78 U's OD: 30 Tks. Average 1,65 mm Length: 4000 mm Pitch: 47 mm Tube pattern:90														
41	Tube type: Plain					Insert:None		Fin#: #/m		Material:SS 316L					
42	Shell SS 316L ID 727 OD 737					mm		Shell cover		SS 316L					
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 Unbaffled		Cut(%)		Spacing: c/c mm					
47	Baffle-long -					Seal Type				Inlet 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 474					Bundle entrance 379		Bundle exit 1523		kg/(m <sup>2</sup> -s)					
52	Gaskets - Shell side Flat Metal Jacket Fibe					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 2750,6 Filled with water 7420,6					Bundle 1033,4		kg							
56	Remarks														
57															
58															

Figura 12.29 Fitxa d'especificació E-206.



GENERAL DATA									
1									
2	TAG	CV-321			INSTALLATION LINE AND APPLICABLE LAW				
3	SERVICE	Process P-202 Impulsion			DN & RATING		150	150 #	
4	LINE/EQUIPMENT	150-3010-KM-S			MIL & SCHEDULE		SL 316L	5S	
5	DIAGRAM	PI&D 2002			INSULATION AND THICKNESS		80	2.4	
6	AREA CLASSIFICATION	Zona recuperació CO2			EEx REGULATION		EEx IIC T5 / T6		
7	PROCESS DATA								
8	FLOW	PHASE	Solució K2CO3	Liquid	Data	UI	Min.	Normal	Max.
9	Cp/Cv	Z	1.14	5.82E-03	Inlet Flow cum/h		8.12	147	418
10	D or SG	Viscosity Pa.s	1.2	5.06E-04	Inlet Pressure bar		9.98	9.98	9.98
11	P crit. bar	T crit. K	194.44	354.78	Pressure Drop bar		1	1	1
12	TIGHTNESS				T operation K		381	381	381
13	FIRE SECURITY DIST.				Vapor Pres. bar		1.27	1.27	1.27
14	OTHERS				Kv required		231	338	346
15					Kv available		278	338	403
16					Opening		54%	63%	77%
17	BODY, INTERNAL AND ACTUATOR								
18	BODY, BIRETTA AND PACKING				INTERNAL				
19	Body Type	Sphere	Types (1)	STD	Escape Types				
20	Vapor Mantle	-	Row	-	Noise (dB)				
21	DN & Rating	150 & 150 #	Guidance	-	MIL Guidance	SA 216 WCB			
22	Line Conection	Flange	Holder	-	MIL Holder	AISI 316			
23	MIL Body & Casing	SA 216 WCB	Nominal Cv	-	MIL Actuator	AISI 316			
24	MIL Body Line	AISI 316	Character	-	MIL Nozzle	AISI 316			
25	MIL Outlet Line	SA 106	PNEUMATIC ACTUATOR						
26	Flow tends to	-	Service	-	Feed/Rang				
27	Biretta Type	AISI 316	Type	Diaphragm	Wheel				
28	Packing	SA 216 WCB	Air	-	Travel Limit mm	29.0			
29	Shutting Bellow	-	Max. ΔP (2) bar	-	XLOCK System				
30	ACCESSORIES AND PURCHASE DATA								
31	POSITIONATOR AND FILTER			SOLENOID VALVE (3)			TRAVEL ENDS (3)		
32	Positioner Type	Digital		Valve Type	ET Lineal		Sensors Type		
33	SMART Capacity			Feed			Service		
34	PST/Regulation			Reset Type			Assembly & Connec.		
35	Electrical Connection			Electrical Connec.			EEx Protection		
36	Pneumatic Connection			Pneumatic Connec.			NOTES AND ACCESSORIES		
37	EEx Protection	EEx IIC T6		EEx Protection	EEx IIC T5				
38	Filter			SIL (s/IEC 61508)	IP 65				
39	PRODUCT DATA (3)				PURCHASE DATA				
40	Valve	PF51.1.ET	Actuator	Serie 657	Requisition				
41	Positionator	Digital			Manufacturer		Fisher-Rosemount		
42	Solenoid	ET Lineal			Supplier		EMERSON		
43	Travel End								
44	GENERAL NOTES								
45	(1) Indicate the model type (AC=anti-cavitation, AN=anti-noise, STD= standard, MS= multi-step, CR= rapid change)								
46	(2) Maximal difference pressure through the valve, which can be supported by the actuator maintaining the nominal shutting class								
47	(3) Environmental protection grade of electrical parts: IP 65 min								
48	(4) For the elements, which are supplied by third parties (for example solenoids, final lines, etc.) it is necessary to indicate the respective manufacturer too.								
49									
JOB NO.			CHARGE NO.						
M/S NO.			P.O. NO.						
NO UNITS									
DR BY		Guillem B		DATE:		21/05/2022			
CK BY				DATE:					
REV	BY	OK	DATE						
				100-FCV-46					
					SHEET No. 7				

Figura 12.31 Fitxa d'especificació CV-321.

# ANNEXOS

---

## INDEX

<b>A. ANNEX .....</b>	<b>143</b>
<i>A.1. Constants dels dissenys mecànics.....</i>	<i>143</i>
<i>A.2. Dades del catalitzador.....</i>	<i>143</i>
<i>A.3. Elecció i adaptació de la cinètica en Aspen.....</i>	<i>143</i>
<i>A.4. Disseny de tancs horitzontals.....</i>	<i>146</i>
<i>A.5. Disseny bescanviadors.....</i>	<i>148</i>
<i>A.6. Càrregues de vent.....</i>	<i>154</i>
<i>A.7. Disseny compressor.....</i>	<i>155</i>
<i>A.8. Disseny turbina.....</i>	<i>158</i>
<i>A.9. Disseny de les vàlvules de control.....</i>	<i>159</i>
<i>A.10. Càlcul sabates de les columnes i reactors.....</i>	<i>161</i>
<i>A.11. Reaccions de combustió dels gasos.....</i>	<i>163</i>
<i>A.12. Disseny canonades.....</i>	<i>164</i>
<i>A.13. Disseny de tancs verticals.....</i>	<i>165</i>
<i>A.14. Disseny de les bombes.....</i>	<i>166</i>
<i>A.15. Placa d'orifici.....</i>	<i>171</i>
<i>A.16. Seguretat.....</i>	<i>171</i>
<i>A.17. Manteniment.....</i>	<i>175</i>
<i>A.18. Balanç econòmic.....</i>	<i>177</i>
<i>A.19. Fitxes tècniques.....</i>	<i>181</i>

## A. ANNEX

### A.1. Constants dels dissenys mecànics

Taula 12.1 Valors utilitzats en els dissenys mecànics (Ref. 39).

Paràmetre	Valor
Material	316Ti – 1.4571
S (Fins a 250 °C)	138 MPa
Corrosió admissible	1 mm
Factor de radiografiat de soldadures	Parcial (0.85)

### A.2. Dades del catalitzador

Taula 12.2 Dades del catalitzador (Ref. 13).

Paràmetre	Valor
Tipus	Pd–Au/SiO <sub>2</sub>
Densitat de partícula	0.5 kg/L
Densitat compacte	2.1 kg/L
Diàmetre de partícula	5 mm
Porositat	0.73
Forma	Esfèrica

### A.3. Elecció i adaptació de la cinètica en Aspen

En aquest apartat s'han definit els paràmetres de les cinètiques, l'adaptació de les expressions en Aspen i els resultats obtinguts amb el fi d'obtenir una conversió global del O<sub>2</sub> del 44% per a no pujar massa la temperatura i que baixi la selectivitat.

#### A.3.1. Powerlaw

Aquesta és l'expressió més simplificada de les cinètiques disponibles. Cobreix les reaccions (4.1) i (4.2) amb la següent forma:

$$r_{VA} = k p_{C_2H_4}^\alpha p_{O_2}^\beta \quad (12.1)$$

$$r_{CO_2} = k p_{C_2H_4}^\alpha p_{O_2}^\beta \quad (12.2)$$

Les constants cinètiques segueixen la següent expressió:

$$k = A_1 \cdot e^{\left(-\frac{E}{RT}\right)} \quad (12.3)$$

On les dades de les constants cinètiques a la temperatura d'operació són les següents (Ref. 16):

Taula 12.3 Paràmetres cinètics per a la síntesis de VAM referenciats a 160 °C

Reacció	Potència C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	Potència O <sub>2</sub>	E (kJ/mol)	A <sub>1</sub>
(4.1)	0.36	0.20	15	2.65·10 <sup>-4</sup>
(4.2)	-0.31	0.82	21	7.50·10 <sup>-4</sup>

Velocitat de reacció en mol/(L<sub>catalitzador</sub> · s); Pressions parcials expressades en kPa.

### A.3.2. Luyben adaptada a LHHW

L'expressió proposada per Luyben també inclou les dues reaccions més importants en la producció de VAM i s'assimilen a les següents formes (Ref. 17):

$$r_1 = \frac{0.1036 \cdot e^{\left(\frac{-3674}{T}\right)} \cdot p_O p_E p_A (1 + 1.7 p_W)}{(1 + 0.583 p_O \cdot (1 + 1.7 p_W))(1 + 6.8 p_A)} \quad (12.4)$$

$$r_2 = \frac{1.9365 \cdot 10^5 \cdot e^{\left(\frac{-10,116}{T}\right)} \cdot p_O (1 + 0.68 p_W)}{1 + 0.76 p_O (1 + 0.68 p_W)} \quad (12.5)$$

On  $p_O$ ,  $p_A$ ,  $p_E$  i  $p_W$  són les pressions parcials del oxigen, àcid acètic, etilè i aigua respectivament. La temperatura s'ha d'expressar com absoluta en Kelvin i la pressió parcial en psia. La velocitat de reacció en mol/(g<sub>catalitzador</sub> minut).

El principal problema es que la forma en que ho demana *Aspen Plus* (12.6) és lleugerament diferent i s'ha de fer canvis algebraics per reordenar les variables.

$$r = \frac{\text{Factor cinètic} \cdot \text{Força impulsora}}{\text{Factor d'adsorció}} \quad (12.6)$$

On la constant cinètica segueixen la següent expressió:

$$k = A_1 \cdot e^{\left(\frac{E}{RT}\right)} \quad (12.7)$$

L'expressió de la força impulsora:

$$K_1 \prod_{i=1}^N C_i^{\alpha_i} - K_2 \prod_{j=1}^N C_j^{\beta_j} \quad (12.8)$$

I el terme d'adsorció:

$$\left( \sum_{i=1}^M K_i \left( \prod_{j=1}^N C_j^{\nu_j} \right) \right)^m \quad (12.9)$$

Les constants d'equilibri ( $K_i$ ) s'expressen de la següent forma:

$$\ln(K_i) = A + \frac{B}{T} + C \ln(T) + DT \quad (12.10)$$

Amb aquesta informació es veu que en la cinètica de Luyben es troba similar però hi inclou una suma en el terme  $(1+1.7 p_W)$  i en la força impulsora (12.8) només accepta termes negatius en la constant 2 i no hi ha cap manera de canviar el signe perquè es treballen amb logaritmes neperians. Per tant, es fa la següent transformació:

$$r_1 = \frac{0.0017 \cdot e^{\left(\frac{-30,547}{RT}\right)} \cdot p_{EP_A}}{\frac{1}{p_O} + \frac{1}{1.7 p_O p_W} + 0.583 + \frac{6.8 p_A}{p_O} + \frac{6.8 p_A}{1.7 p_O p_W} + 6.8 \cdot 0.583 p_A} \quad (12.11)$$

$$r_2 = \frac{3227.5 \cdot e^{\left(\frac{-84,109}{RT}\right)}}{\frac{1}{p_O} + \frac{1}{0.68 p_O p_W} + 0.76} \quad (12.12)$$

Les velocitats de reacció està expressada en mol/(g<sub>catalitzador</sub> s) i l'energia d'activació en kJ/kmol. Les altres variables segueixen amb les mateixes unitats. Com no hi ha segon terme de força impulsora s'ha de indicar com de la següent forma:

$$\ln(K_2) = -900000; K_2 \approx 0 \quad (12.13)$$

### A.3.3. Comparació de resultats

Per acabar escollint la cinètica de la reacció que s'utilitzarà per estudiar aquest cas, es fa una comparació amb les dades experimentals extretes i amb el volum del reactor que s'han extret aquestes dades. El volum útil del reactor és de 69 m<sup>3</sup>. Els resultats obtinguts són els següents:

Taula 12.4 Comparativa dades experimentals amb les dos lleis cinètiques trobades.

Compost	Unitats	Experimental	Powerlaw	Luyben(LHHW)
Etilè	kmol/h	1365	1316.4	1356.6
Oxigen	kmol/h	111.3	112.4	111.0
Diòxid de carboni	kmol/h	393	372.0	389.2
Acetat de vinil	kmol/h	111.9	169.9	121.1
Àcid acètic	kmol/h	500	441.9	490.7
Aigua	kmol/h	173.6	211.6	180.0

Indicar que en les dades experimentals l'ús de catalitzador és de 18.5 tones, en el mètode de *Powerlaw* 17.5 tones i en el mètode de *LHHW* només 8 tones. Això es degut a que les cinètiques són més actuals i s'han obtingut amb catalitzadors millorats. La velocitat del gas a través del reactor és semblant en els dos casos provats amb un valor de 0.31 m/s.

Com que en la cinètica de Luyben s'apropa més a les dades experimentals a més d'utilitzar un catalitzador més potent i actual s'ha decidit que s'agafarà aquesta expressió per estudiar el procés de VAM.

### A.3.4. Optimització de les dimensions dels reactor

Una vegada ja s'ha comprovat que la cinètica que més s'ajusta a la realitat és la de Luyben, es calcula el volum necessari per arribar a la conversió objectiu del oxigen en el procés que s'està estudiant. Amb *Aspen Plus* s'ha trobat que es necessita un volum útil de reactor de 104 m<sup>3</sup> i 26 tones de catalitzador per a una conversió global del oxigen del 56%.

Una vegada s'ha obtingut el volum, es manté constant durant tot l'estudi d'optimització i es va variant el número de tubs, el seu diàmetre i la seva longitud. L'objectiu és fixar un reactor amb la velocitat de fluid entre 0.5-1.5 m/s amb una pèrdua de càrrega acceptable i una forma

del reactor equilibrada entre longitud i diàmetre de carcassa. Finalment s'obtenen que les dimensions òptimes del reactor són les presentades en la Taula 4.11.

### A.3.5. Carcassa i càlcul mecànic del reactor

Pel càlcul del diàmetre de la carcassa del reactor s'ha considerat com si fos un bescanviador d'un sol pas amb distribució de tubs en forma triangular. Seguint les fórmules (12.33) i (12.34) amb els valors de la Figura 12.36 s'obté que el diàmetre de carcassa del reactor és de 6.2 metres.

Pel càlcul de l'espessor en els tubs s'utilitza la fórmula (12.50) per determinar la pressió de disseny al costat de tubs.

$$P_{\text{disseny}}(\text{tubs}) = 9.2 \cdot 1.1 \cdot 1.01325 = 10.3 \text{ barg}$$

A partir de la fórmula (12.52) i les condicions de la Taula 4.11 es calcula un espessor en tubs de 1.2 mm.

Es repeteix el procediment per a la carcassa resultant amb un espessor de 15 mm.

### A.3.6. Coeficient de transferència

Per a calcular el coeficient de transferència de la mescla de gas s'ha utilitzat l'*Aspen Plus* com a base de dades a unes temperatures d'entre 160-170°C i a la pressió d'operació del reactor.

Taula 12.5 Propietats del gas d'entrada en el reactor.

Propietat	Valor
Velocitat del gas, $u_s$	1.2 m/s
Diàmetre de partícula, $d_p$	0.005 m
Diàmetre de tub, $d_t$	0.045 m
Viscositat, $\eta_g$	$1.68 \cdot 10^{-5}$
Densitat del gas, $\rho_g$	10.48 kg/m <sup>3</sup>
Conductivitat tèrmica, $\lambda_g$	0.046 W/m·K

Amb aquestes dades es pot calcular el número de Reynolds, el número de Nusselt i el coeficient de transferència a partir de les següents equacions (Ref. 4):

$$Re_p = \frac{u_s d_p \rho_g}{\eta_g} \quad (12.14)$$

$$Nu = 3.5 Re_p^{0.7} \cdot e^{\left(\frac{-4.6 d_p}{d_t}\right)} \quad (12.15)$$

$$\alpha_w = \frac{\lambda_g}{d_t} \quad (12.16)$$

Fent els càlculs respectius s'obté un coeficient de transferència de calor de 0.7 kW/m<sup>2</sup>·K però tenint en compte altres resistències tèrmiques es pot aproximar a  $\alpha_w \approx 0.5$  kW/m<sup>2</sup>·K.

## A.4. Disseny de tancs horitzontals

### A.4.1. Dimensionament

Com a exemple de càlcul s'ha proposat el dimensionament de la caldera FA-103 però s'ha utilitzat el mateix mètode pel tanc de cru FA-104.

Primer, s'ha de determinar les dimensions per a una caldera de vapor en que entra un cabal màssic de vapor i condensat de 45,038.2 kg/h. El temps de residència òptim per aquest sistema

és d'1 hora i la relació longitud diàmetre s'ha fixat en 2.67. Seguint la referència pel càlcul de tancs horitzontals s'ha trobat (Ref. 18):

$$\rho_{\text{aigua}} (\text{líquid, 6.1 bara, 158 } ^\circ\text{C}) = 909.4 \text{ kg/m}^3$$

Amb aquest valor de la densitat es troba el volum que ha de mantenir el recipient amb 1h de temps de residència.

$$V_{\text{aigua}} = \dot{m}_a \cdot \frac{\tau_{\text{residència}}}{\rho_a} \quad (12.17)$$

Pel càlcul del volum del recipient no s'ha de superar el 60% en el nivell de líquid continent i els capçals han de ser el·lipsoidals 2:1. Nivell del líquid pel càlcul = 0.6.

Càlcul volum parcial capçals:

$$V_{\text{Total,C}} = 0.2618 \cdot D^3 \quad (12.18)$$

El volum que ocupa el líquid no és el mateix que la altura que té el líquid respecte el diàmetre i s'ha d'interpol·lar de la següent figura amb l'objectiu del 60% de nivell:

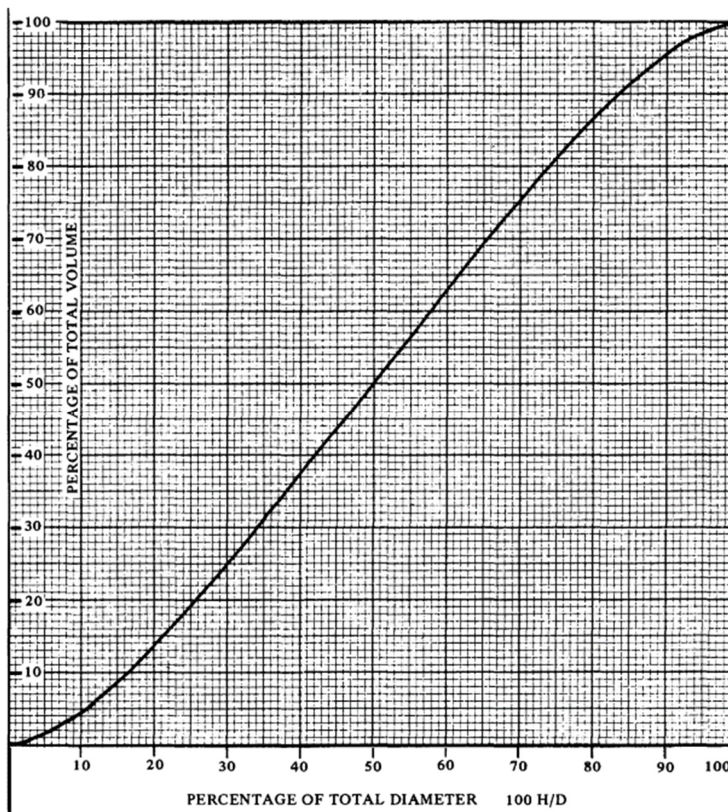


Figura 12.32 Altura del líquid respecte el percentatge de nivell.

$$H_{\text{Líquid}} = 0.575 \cdot D; H/D = 0.575 \quad (12.19)$$

$$V_{\text{parcial,C}} = C \cdot V_{\text{Total,C}} = 0.611656 \cdot V_{T,C} \quad (12.20)$$

El coeficient C s'obté a partir de les taules de (Ref. 18):

Càlcul volum parcial cos (R): Es procedeix a calcular de la mateixa manera el volum parcial del cilindre només canviant un parell de càlculs.

$$V_{\text{Total}} = 0.7854 \cdot D^2 \cdot L \quad (12.21)$$

El coeficient C en les taules és de  $C = 0.595134$ .

Per tant es resol el sistema de dues equacions i dues incògnites:

$$V_{\text{aigua}} = V_{\text{parcial,C}} + V_{\text{parcial,R}} \quad (12.22)$$

$$L = 2.67 \cdot D \quad (12.23)$$

Resultant amb  $D = 3.3$  m;  $L = 8.8$  m;  $H = 1.9$  m i un volum total de  $83.8$  m<sup>3</sup>.

#### A.4.2. Disseny mecànic

El mètode de càlcul s'ha extret del llibre de recipients a pressió (Ref. 40).

Es calcula la pressió de disseny i la temperatura de disseny amb les fórmules (12.50) i (12.51):

$$P_{\text{disseny}} = (P_{\text{operació}} + P_{\text{hidràulica}}) \cdot CS \quad (1.1) = (6.2 + 0.21)\text{bara} \cdot 1.1 = 7 \text{ bara}$$

$$T_{\text{disseny}} = T_{\text{operació}} + 20^{\circ}\text{C} = 160^{\circ}\text{C} + 20^{\circ}\text{C} = 180^{\circ}\text{C}$$

I a partir de l'equació (12.52) es determina el gruix de les parets del cilindre:

$$t_{\text{cilindre}} = \frac{0.6 \cdot \frac{3.3 \cdot 10^{-3}}{2}}{0.85 \cdot 138 - 0.6 \cdot 0.6} + CA = 9.5 \text{ mm}$$

Pels capçals el·lipsoidals 2:1 el espessor es calcula com:

$$t = \frac{PD}{2SE - 0.2P} \quad (12.24)$$

$$t_{\text{caps}} = \frac{0.6 \cdot 3.3 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 138 \cdot 0.85 - 0.2 \cdot 0.6} + CA = 9.5 \text{ mm}$$

Es necessiten 9.5 mm d'espessor per complir amb la normativa.

### A.5. Disseny bescanviadors

#### A.5.1. Bescanviadors de tubs i carcassa. Càlcul tèrmic.

Metodologia seguida pel càlcul dels bescanviadors de tubs i carcassa; Mètode KERN (en tot el procediment les unitats han de ser coherents):

1r Pas: Buscar les propietats termodinàmiques dels compostos involucrats a una temperatura donada per l'equació (12.25) i la pressió d'operació. En aquest cas s'han buscat en el *software de Aspen* per estalviar temps però també es podrien obtenir en la base de dades del NIST (Ref. 41).

$$ABS \left( \frac{T_{in} - T_{out}}{2} \right) \quad (12.25)$$

2n Pas: Trobar el calor que es requereix per aportar o alliberar a partir de l'equació (12.26) i calcular la quantitat d'utilitat es necessita.

$$Q_{generada} = \dot{m}_{gas} \cdot C_{p_{gas}} \cdot \Delta T = -Q_{utility} \quad (12.26)$$

3r Pas: Es calcula l'àrea de bescanvi necessària per portar a cap l'operació unitària suposant un coeficient global de transferència de calor seguint la taula de referència de (Ref. 42).

Shell and Tube Exchangers		
Hot Fluid	Cold Fluid	U (W/m <sup>2</sup> C)
<i>Heat exchangers</i>		
Water	Water	800-1500
Organic solvents	Organic solvents	100-300
Light oils	Light oils	100-400
Heavy oils	Heavy oils	50-300
Gases	Gases	10-50
<i>Coolers</i>		
Organic solvents	Water	250-750
Light oils	Water	350-900
Heavy oils	Water	60-300
Gases	Water	20-300
Organic solvents	Brine	150-500
Water	Brine	600-1200
Gases	Brine	15-250
<i>Heaters</i>		
Steam	Water	1500-4000
Steam	Organic solvents	500-1000
Steam	Light oils	300-900
Steam	Heavy oils	60-450
Steam	Gases	30-300
Dowtherm	Heavy oils	50-300
Dowtherm	Gases	20-200
Flue gases	Steam	30-100
Flue	Hydrocarbon vapors	30-100
<i>Condensers</i>		
Aqueous vapors	Water	1000-1500
Organic vapors	Water	700-1000
Organics (some noncondensables)	Water	500-700
Vacuum condensers	Water	200-500
<i>Vaporizers</i>		
Steam	Aqueous solutions	1000-1500
Steam	Light organics	900-1200
Steam	Heavy organics	600-900

Figura 12.33 Coeficients globals més típics.

$$Q = U A \Delta T_{lm} \quad (12.27)$$

$$\Delta T_{lm} = F \cdot \frac{(T_{c,i} - T_{f,o}) - (T_{c,o} - T_{f,i})}{\ln \left( \frac{(T_{c,i} - T_{f,o})}{(T_{c,o} - T_{f,i})} \right)} \quad (12.28)$$

Càlcul de factor de correcció:

$$R = \frac{(T_{c,i} - T_{c,o})}{(T_{f,o} - T_{f,i})} \quad (12.29)$$

$$S = \frac{(T_{f,o} - T_{f,i})}{(T_{c,i} - T_{f,i})} \quad (12.30)$$

En aquest cas com només es tenen bescanviadors d'un pas per carcassa i tubs ( $F = 1$ ) o amb un pas per carcassa i dos o més passos per tubs s'utilitza el següent gràfic:

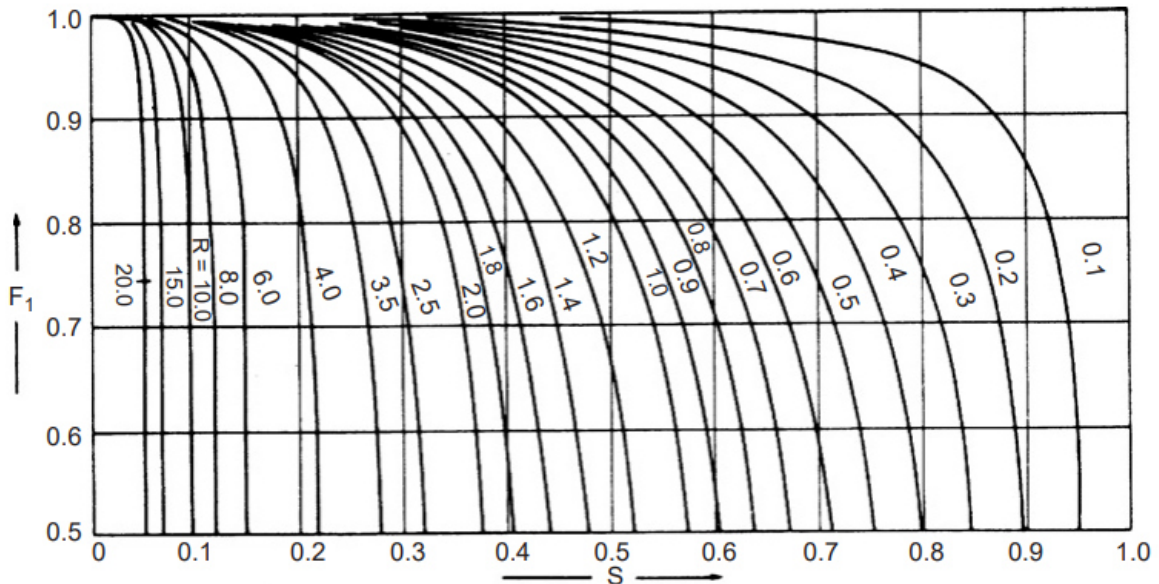


Figura 12.34 Factor de correcció: 1 pas per carcassa; dos o mes passos per tubs.

4rt Pas: Es determinen les dimensions dels tubs utilitzant catàlegs estandarditzats i es calcula el coeficient de transferència en la part de tubs.

Figura 12.35 Dimensions estàndards de tubs.

Outside Diameter (mm)	Wall Thickness (mm)				
	1.2	1.6	2.0	2.6	3.2
16	1.2	1.6	2.0	—	—
20	—	1.6	2.0	2.6	—
25	—	1.6	2.0	2.6	3.2
30	—	1.6	2.0	2.6	3.2
38	—	—	2.0	2.6	3.2
50	—	—	2.0	2.6	3.2

Amb aquestes dimensions es calcula en número de tubs, l'àrea interior de cada tub, s'indica una distribució de tubs (triangular o quadrada) amb el càlcul de la separació entre tubs i el diàmetre de la carcassa.

$$A_{\text{tub}} = \pi \cdot D_e \cdot L \tag{12.31}$$

$$N_{\text{tubs}} = \frac{A}{A_{\text{tub}}} \tag{12.32}$$

$$P_t = 1.25 \cdot D_e \tag{12.33}$$

Segons la distribució de tubs s'agafen unes de les següents constants pel càlcul del diàmetre de carcassa:

<b>Triangular Pitch, <math>p_t = 1.25d_o</math></b>					
No. passes	1	2	4	6	8
$K_1$	0.319	0.249	0.175	0.0743	0.0365
$>n_1$	2.142	2.207	2.285	2.499	2.675
<b>Square Pitch, <math>p_t = 1.25d_o</math></b>					
No. passes	1	2	4	6	8
$K_1$	0.215	0.156	0.158	0.0402	0.0331
$n_1$	2.207	2.291	2.263	2.617	2.643

Figura 12.36 Constants pel càlcul del diàmetre de carcassa.

$$D_b = D_e \left( \frac{N_{tubs}}{K_1} \right)^{\frac{1}{n_1}} \tag{12.34}$$

Finalment s'ha de sumar l'espai entre el feix i la carcassa:

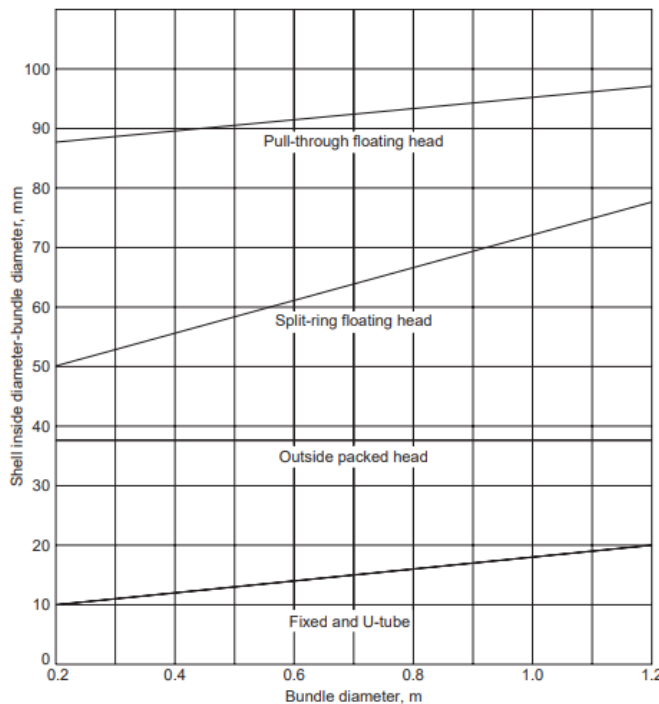


Figura 12.37 Espai entre carcassa-feix tubular.

$$D_s = D_b + \text{Espai}_{gràfic} \tag{12.35}$$

És important comprovar que la relació de longitud tubs – diàmetre de carcassa és superior a 4 o inferior a 6. Si es inferior a 4 el bescanviador pot sofrir d'una pobre distribució de fluid a la vegada que pot ser que no sigui la millor opció econòmica. Si és superior a 6 pot ser difícil de manipular i netejar els tubs.

Pel càlcul dels deflectors s'ha de determinar un espai entre deflectors i utilitzar la següent fórmula:

$$N_{\text{deflectors}} = \frac{L}{I_b} - 1 \quad (12.36)$$

Per fixar el tall del deflector s'ha de considerar si es necessita una millor transferència a canvi d'una pèrdua de càrrega major. El valor pot estar entre el 15% fins el 45% que indica l'altura del diàmetre de la carcassa que ocupa.

Pel càlcul del coeficient de transferència en la part de tubs s'han d'utilitzar les propietats termodinàmiques obtingudes del fluid ( $k$ ,  $C_p$ ,  $\mu$  i  $\rho$ ) i es calculen els Reynolds i el Prandtl:

$$G_{\text{tubs}} = \frac{\dot{m}_t}{A_{\text{pas total}}} \quad (12.37)$$

$$Re_{\text{tubs}} = \frac{D_i \cdot G_{\text{tubs}}}{\mu} \quad (12.38)$$

$$Pr_{\text{tubs}} = \frac{C_p \cdot \mu}{k} \quad (12.39)$$

Amb el Reynolds s'obté una  $j_h$  de la Figura 12.38 segons el tall del deflector que s'ha fixat.

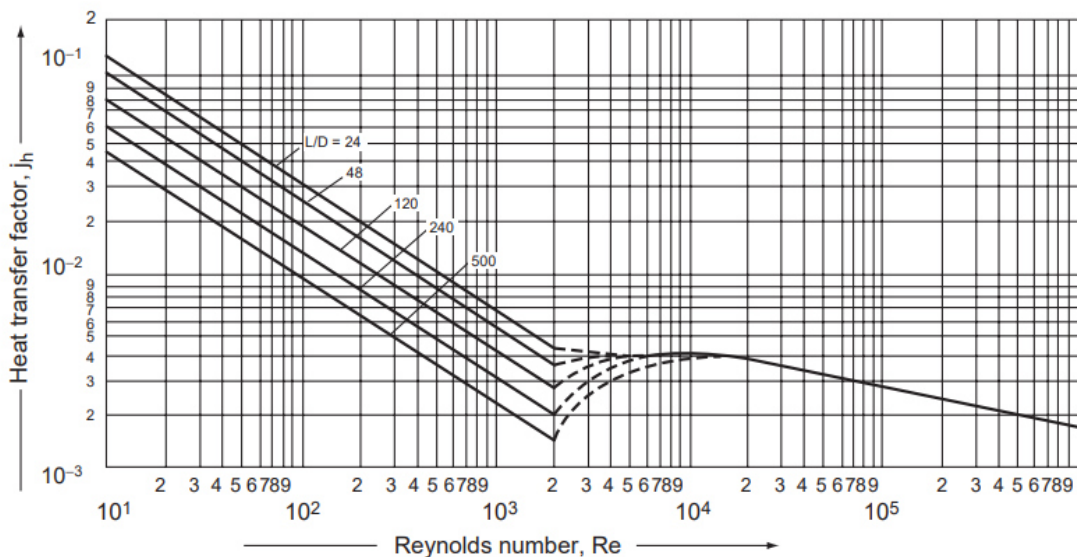


Figura 12.38 Factor de transferència de calor.

$$Nusselt_{\text{tubs}} = j_h \cdot Re_{\text{tubs}} \cdot Pr_{\text{tubs}}^{1/3} \quad (12.40)$$

$$h_i = Nusselt_{\text{tubs}} \cdot \frac{k}{D_i} \quad (12.41)$$

5è Pas: Càlcul del coeficient de transferència per part de la carcassa.

Càlcul de l'àrea transversal de pas per carcassa:

$$A_{pas} = \frac{I_b \cdot D_s \cdot (P_t - D_e)}{P_t \cdot n_{passos}} \quad (12.42)$$

I el diàmetre equivalent:

$$d_e = \frac{4 \cdot \left( \frac{P_t^2 - \pi D_e^2}{4} \right)}{\pi D_e} \quad (12.43)$$

Finalment el càlcul del coeficient de transferència:

$$G_c = \frac{\dot{m}_c}{A_{pas}} \quad (12.44)$$

$$Re_s = \frac{d_e \cdot G_s}{\mu} \quad (12.45)$$

$$Pr_s = \frac{C_p \cdot \mu}{k} \quad (12.46)$$

Amb el Reynolds s'obté una  $j_h$  de la Figura 12.39 segons el tall del deflector que s'ha fixat.

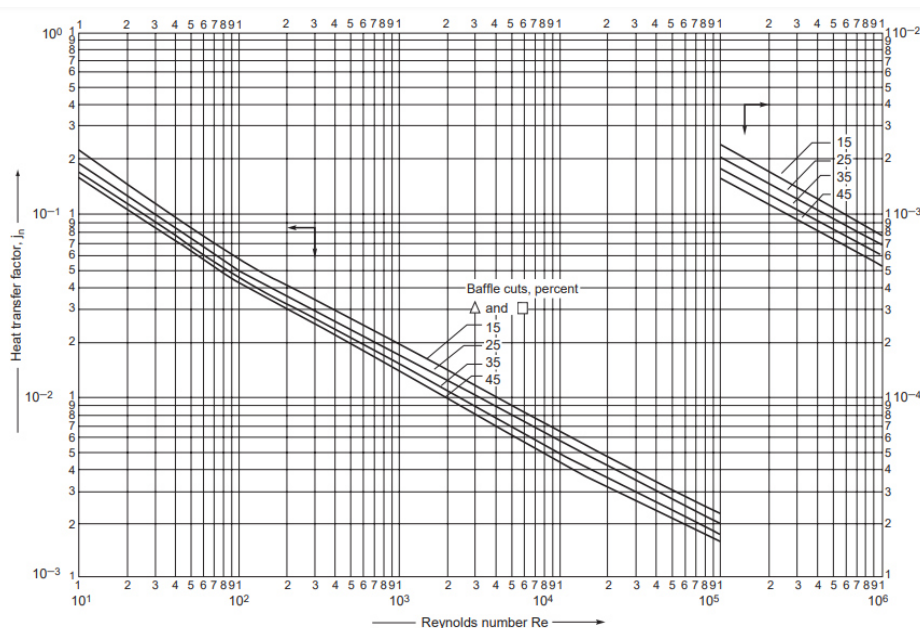


Figura 12.39 Factor de transferència de calor.

$$Nusselt_s = j_h \cdot Re_s \cdot Pr_s^{1/3} \quad (12.47)$$

$$h_o = Nusselt_s \cdot \frac{k}{d_e} \quad (12.48)$$

6è Pas: Càlcul del coeficient global real.

$$\frac{1}{U_{\text{global}}} = \frac{1}{h_o} + \frac{1}{h_{od}} + \frac{D_e \ln\left(\frac{D_e}{D_i}\right)}{2k_{\text{material}}} + \frac{D_e}{D_i} \cdot \frac{1}{h_{id}} + \frac{D_e}{D_i} \cdot \frac{1}{h_i} \quad (12.49)$$

També s'han calculat les pèrdues de pressions per la part de tubs i carcassa però el mètode KERN dona errors del 100% per tant s'ha deixat els valors calculats per *Aspen EDR*.

#### A.5.2. Bescanviadors de tubs i carcassa. Càlcul mecànic.

Es determina que el material utilitzat és l'acer 316Ti a causa de la corrosió que provoca del producte. La corrosió admissible és de 1 mm. El factor de radiografiat de soldadures és del 85%. La tensió admissible s'ha obtingut de les taules d'acers d'ASME.

Espessor de tubs i carcassa:

$$P_{\text{disseny}} = P_{\text{operació}} \cdot CS \quad (1.1) \quad (12.50)$$

$$T_{\text{disseny}} = T_{\text{operació}} + 20^{\circ}\text{C} \quad (12.51)$$

$$t = \frac{PR}{SE - 0.6P} \quad (12.52)$$

#### A.6. Càrregues de vent

El càlcul de les càrregues de vent s'ha dut a terme seguint la legislació espanyola NBE-AE/88. A partir de la taula següent s'obté el valor de la velocitat del vent (V) i la pressió dinàmica (w) a diferents altures.

Taula 12.6 Paràmetres segons l'altura de la columna.

Altura (m)	Velocitat (m/s)	Pressió dinàmica (kg/m <sup>2</sup> )
0 – 10	28	50
11 – 30	34	75
31 – 100	40	100
100 - 500	45	125

La sobrecàrrega (p) causada pel vent és calcula mitjançant la següent equació:

$$p = c \cdot w \quad (12.53)$$

On c és el coeficient eòlic (c), que per superfícies cilíndriques i llises pren un valor igual a 0.6.

Si és multiplica la sobrecàrrega per l'àrea afectada de l'equip, sobre el valor de les càrregues de vent.

$$A_i = h_i - D_{e_i} \quad (12.54)$$

$$F_i = p_i \cdot A_i \quad (12.55)$$

Seguidament es calcula el moment en la unió de fons i faldó (M<sub>t</sub>), ja que és la part més dèbil en la columna, i la que primer fallarà per càrregues de vent.

$$M_t = M - h_t \cdot V_t + F_t \cdot \frac{h_t}{2} \quad (12.56)$$

On  $M$  és el moment a la base de la columna:

$$M = \sum_{i=1}^n H_i \cdot F_i \quad (12.57)$$

$V_t$  el tallant en la base:

$$V_t = \sum_{i=1}^n F_i \quad (12.58)$$

I  $F_t$  la càrrega de vent total:

$$F_t = c_t \cdot w_t \cdot A_t \quad (12.59)$$

$$W_t = 0.098 \cdot \left( \frac{De^4 - D_i^4}{De} \right) \quad (12.60)$$

Finalment es calcula la tensió a la base, mitjançant la següent equació:

$$S_v = \frac{M_t}{W} \quad (12.61)$$

Per comprovar si la columna aguantarà es calcula la tensió per pressió interna ( $S_{in}$ ) i és suma a la tensió provocada pel vent, obtenint la tensió total suportada per l'equip.

$$S_{in} = \frac{P \cdot (R - 0.4t)}{2t} \quad (12.62)$$

I seguidament es comprova si la tensió total és inferior a la tensió del material, seguint la relació següent:

$$S_{total} = S_v + S_{in} < S_{material} \quad (12.63)$$

En cas que la tensió total sigui superior, s'augmentarà el espessor de l'equip fins que es compleixi la relació anterior.

## A.7. Disseny compressor

### A.7.1. Treball consumit

El compressor C-100 opera a una temperatura de 40°C i 6.1 atm, primer es defineixen les propietats termodinàmiques de la mescla. Les propietats s'han obtingut a partir de la base de dades d'*Apen Plus* però també es pot utilitzar la base de dades del *NIST* (Ref. 41):

Taula 12.7 Propietats termodinàmiques dels composts del gas a  $T = 40^\circ\text{C}$  i 6.1 atm.

Compostos	Composició molar	Entalpia 1 (kJ/kmol)	Entropia 1 (kJ/kmol·K)
-----------	------------------	----------------------	------------------------

Etilè	0.55	52880	-68.2
O <sub>2</sub>	0.04	385	-15.0
CO <sub>2</sub>	0.15	-393260	-12.2
Età	0.08	-83389	-188.5
Argó	0.17	258	-15.4
Acetat de vinil	0.00	-317320	-312.2
Àcid acètic	0.01	-461000	-269.3
Aigua	0.00	-249650	-82.4
Mescla	1.00	-40607	-59.5

Primer es calcula el procés de forma isoentròpica, per tant l'entropia romandrà constant durant el canvi de pressió, per tant  $S_1=S_2s$ , a partir d'aquesta premissa i saben que es comprimeix fins a 9.35 atm es busca la entalpia en  $h(S_1=S_2s, 49\text{bars})$  per cada compost.

Taula 12.8 Entalpies del gas a 9.35 atm i  $S_1=S_2s$ .

Compostos	Composició molar	Entalpia 2s (kJ/kmol)
Etilè	0.55	53816
O <sub>2</sub>	0.04	1414
CO <sub>2</sub>	0.15	-392295
Età	0.08	-82440
Argó	0.17	1316
Acetat de vinil	0.00	-316395
Àcid acètic	0.01	-460515
Aigua	0.00	-249235
Mescla	1.00	-39645

Per calcular l'entalpia real s'ha suposat un rendiment del compressor del 80%, també s'ha considerat el compressor de forma adiabàtica. L'entalpia real s'obté utilitzant la relació següent:

$$\eta = \frac{(h_s - h_1)}{(h_{real} - h_1)} \quad (12.64)$$

Es calcula per a cada compost i per la mescla juntament amb les entropies que concorden amb aquesta entalpia i a 9.35 atm.

Taula 12.9 Propietats termodinàmiques reals del gas a 9.35 atm i  $\eta_{(C-101)} = 0.8$

Compostos	Composició molar	Entalpia 2 (kJ/kmol)	Entropia 2 (kJ/kmol·K)
Etilè	0.55	54050	-67.6
O <sub>2</sub>	0.04	1671	-14.3

CO2	0.15	-392054	-11.7
Età	0.08	-82202	-188.0
Argó	0.17	1581	-14.7
Acetat de vinil	0.00	-316164	-310.3
Àcid acètic	0.01	-460394	-268.9
Aigua	0.00	-249131	-84.1
Mescla	1.00	-39405	-59

Per últim es calcula el treball que consumirà el compressor al realitzar el procés de compressió. El balanç d'energia d'un compressor és:

$$-\dot{W}_{comp} = -\dot{Q} + \dot{m} \cdot (h_s - h_e) + \dot{m} \cdot \left( \frac{C_s^2}{2} - \frac{C_e^2}{2} \right) + \dot{m} \cdot g \cdot (z_s - z_e) \quad (12.65)$$

Els termes de velocitat i altura es negligeixen i les pèrdues de calor també ja que es considera un procés adiabàtic. Per tant l'equació quedarà de la següent manera:

$$-\dot{W}_{comp} = \dot{m} \cdot (h_s - h_e) \quad (12.66)$$

Substituint:

$$-\dot{W}_{ideal} = 8816 \cdot (-39645 - (-40607)) \cdot 2.7 \cdot 10^{-7} = -2.4 \text{ MW}$$

$$-\dot{W}_{ideal} = 8816 \cdot (-39405 - (-40607)) \cdot 2.7 \cdot 10^{-7} = -2.9 \text{ MW}$$

El compressor isoentròpic consumirà 2.4 MW i el compressor real 2.9 MW de potència.

### A.7.2. Temperatura final

La temperatura final serà la temperatura equivalent de la mescla de gasos, en un sistema a volum constant. Per tant la calor serà igual a:

$$Q = n \cdot C_v \cdot (T_e - T_i) \quad (12.67)$$

On  $n$  és el nombre de mols del compost,  $C_v$  la calor específica a volum constant,  $T_e$  la temperatura equivalent que serà igual a la final de la mescla, i  $T_i$  la temperatura inicial de cada gas.

El nombre de mols de cada compost s'ha estat extret del balanç de matèria del procés, la  $T_i$  i la  $C_v$  a partir de la entalpia real calculada anteriorment, és a dir el valor de la temperatura i  $C_v$  corresponents al valor de l'entalpia real a pressió de 9.35 atm, aquests valors s'han extret d'*Aspen*.

Taula 12.10 Dades dels compostos del gas.

Compostos	n kmols/h	Cv (kJ/kmol·K)	Ti (K)
-----------	-----------	----------------	--------

Etilè	4825.1	39.1	340.35
O <sub>2</sub>	395.5	21.4	356.35
CO <sub>2</sub>	1320.0	31.5	345.15
Età	694.4	49.2	335.55
Argó	1487.3	12.5	377.15
Acetat de vinil	0.0	108.0	332.35
Àcid acètic	62.9	70.8	322.75
Aigua	30.8	129.1	325.95

La suma de calors intercanviades per tots els composts haurà de ser igual a 0, ja que com ja s'ha dit abans es treballa amb un compressor adiabàtic.

$$Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n = 0 \quad (12.68)$$

Mitjançant l'eina de *Excel Solver*, es calcula el valor de  $T_e$ , la cel·la objectiu és la suma de les calors, la qual ha de ser igual a zero, la cel·la  $T_e$  serà la variable, donant com ha resultat el valor pel qual totes les equacions (12.67) i (12.68) és compleixen.

La temperatura final del compressor C-100 a 9.35 atm<sub>g</sub> és:

$$T_e = 342.75 \text{ K.}$$

## A.8. Disseny turbina

### A.8.1. Treball generat

S'ha dissenyat una turbina que expandeix vapor saturat a alta pressió (40 bara) fins a 2 bara per a impulsar el compressor de gas. Com el corrent de sortida hi ha una mescla de líquid i vapor, l'entalpia es calcula:

$$h_s = h_f + x_s \cdot (h_g - h_f) \quad (12.69)$$

L' $h_f$ , entalpia de líquid saturat, i  $h_g$ , entalpia de vapor saturat, es troben a les taules a la pressió desitjada. El títol de vapor  $x_s$  es pot calcular amb l'entropia, ja que es considera que la turbina és isoentròpica i per tant l'entropia no varia  $s_{11} = s_{12}$ .

$$s_z = s_f + x_s \cdot (s_g - s_f) \quad (12.70)$$

L'entropia de líquid saturat,  $s_f$ , i la de vapor saturat  $s_g$ , també es troben a les taules de vapor, aplicant doncs l'equació anterior, s'obté un títol de vapor  $x_s = 0.81$ . Seguidament es calcula l'entalpia ideal al corrent de sortida  $h_s = 2290 \text{ kJ/kg}$ . Ara es pot calcular l'entalpia real utilitzant la següent equació amb un rendiment suposat de la turbina d'un 80%.

$$\eta = \frac{(h_1 - h_z)}{(h_1 - h_s)} \quad (12.71)$$

Resultant una  $h_z = 2392$  kJ/kg.

El treball específic generat per la turbina és:

$$W_{E,Turbina} = (h_1 - h_z) = 2801 - 2392 = 409 \text{ kJ/kg}$$

Per calcular la quantitat de vapor que es necessita s'ha d'arribar a poder generar una potència de 2.9 MW amb la qual es calcula com:

$$-W_{\text{compressor}} = \dot{m} \cdot W_{E,Turbina} \cdot 2.7 \cdot 10^{-7} \quad (12.72)$$

El cabal de vapor d'alta pressió que s'ha de subministrar a la turbina és de 25,865 kg/h.

### A.9. Disseny de les vàlvules de control

Pel disseny d'una vàlvula controladora s'ha seguit el mètode d'*EMERSON Handbook* (Ref. 8). S'ha escollit la vàlvula de control a partir del catàleg d'*EMERSON* (Ref. 9). En aquest apartat es presenta el mètode seguit aplicat a un exemple de des vàlvules dimensionades (vàlvula CV-1022).

Per començar a dimensionar una vàlvula de control, s'ha de definir les composicions i cabal volumètric del corrent on està situada la vàlvula, així mateix amb les seves propietats físiques i termodinàmiques. En aquest cas s'ha suposat que les pertorbacions de cabal mínim i màxim del sistema són de l'ordre del  $\pm 20\%$  del cabal normal :

Taula 12.11 Propietats del corrent d'entrada a la vàlvula

Propietats del corrent	Valor	Unitats
Cabal volumètric de disseny	198.1	m <sup>3</sup> /h
Temperatura	40	°C
Pressió entrada	7	bara
Pressió de vapor	0.45	bara
Pressió crítica	85.3	bara
Densitat del corrent	1,009	kg/m <sup>3</sup>
Densitat del aigua	998	kg/m <sup>3</sup>
Gravetat específica ( $G_f$ )	1.01	-
Diàmetre canonada	200	mm
Estat del corrent	Líquid	-

El càlcul d'una vàlvula a partir de les vàlvules de control que estan en catàlegs és un mètode iteratiu. Com es vol ensenyar el procediment de càlcul només s'ha inclòs el càlcul amb la vàlvula que es vol instal·lar finalment. El diàmetre de vàlvula s'ha agafat l'immediatament inferior al diàmetre estandarditzat de la canonada.

S'agafa del catàleg de vàlvules de control un model de vàlvula de globus *FISHER GX CL600* que té les següents especificacions:

Taula 12.12 Especificacions de la vàlvula de control FISHER GX CL600.

Especificació	Valor
$K_v$ mín.	204 m <sup>3</sup> /h
$K_v$ màx.	413 m <sup>3</sup> /h

$K_v$ instal·lat	368 m <sup>3</sup> /h
$F_L$	0.625
Diàmetre vàlvula	150 mm
Rotació de la vàlvula	50-80%

Per començar a iterar s'agafa la  $K_v$  màx. com a coeficient de la vàlvula disponible. El primer pas consta en calcular el  $F_{LP}$  de la vàlvula:

$$F_{LP} = \left( \frac{K_1 + K_{B1}}{N_2} \cdot \left( \frac{K_V}{d^2} \right)^2 + \frac{1}{F_L^2} \right)^{-1/2} \quad (12.73)$$

$N_1$  és una constant per als corrent líquids (0.000214 en mm)

$D$  és el diàmetre de la canonada (mm)

$d$  és el diàmetre de la vàlvula (mm)

I després es calcula el factor de geometria de la canonada amb:

$$F_P = \left( 1 + \frac{\Sigma K}{N_2} \cdot \left( \frac{K_V}{d^2} \right)^2 \right)^{-1/2} \quad (12.74)$$

On les constants de les canonades es calculen com:

$$K_1(\text{entrada}) = 0.5 \cdot \left( 1 - \left( \frac{d}{D_1} \right)^2 \right)^2 \quad (12.75)$$

$$K_2(\text{sortida}) = 1 \cdot \left( 1 - \left( \frac{d}{D_1} \right)^2 \right)^2 \quad (12.76)$$

Coefficients de Bernoulli:

$$K_{B1} = 1 - \left( \frac{d}{D_1} \right)^4 \quad (12.77)$$

$$K_{B2} = K_{B1} = 1 - \left( \frac{d}{D_2} \right)^4 \quad (12.78)$$

$$\Sigma K = K_1 + K_2 + K_{B1} - K_{B2} \quad (12.79)$$

Una vegada calculat, s'ha d'especificar una pèrdua de càrrega i si el corrent està en un estat de flux laminar o turbulent. La pèrdua de càrrega estimada és del 10% (0.7 bara) i el corrent es troba en flux turbulent.

Per comprovar el “*choked flow*” s'analitza si el flux està obstruït o no amb la següent fórmula:

$$\Delta P \leq \left( \frac{F_{LP}}{F_P} \right)^2 \cdot (P_1 - F_F \cdot P_V) \quad (12.80)$$

On:

$\Delta P$  és la pèrdua de pressió entre l'entrada i la sortida (bara)

$F_L$  és el factor de recuperació de la pressió del líquid per a una vàlvula

$P_1$  és la pressió d'entrada (bara)

$P_v$  és la pressió de vapor de la mescla (bara)

$F_F$  és el factor de la pressió crítica d'un líquid i es calcula com:

$$F_F = 0.96 - 0.28 \cdot \sqrt{\frac{P_v}{P_c}} \quad (12.81)$$

On  $P_c$  és la pressió crítica del fluid (bara)

Per a la vàlvula CV-1022 és:

$$0.7 \text{ bara} \leq 2.5 \text{ bara}$$

Per tant la fórmula per al càlcul de la  $K_v$  de la vàlvula és la següent:

$$K_v = \frac{q}{N_1 \cdot F_P} \cdot \sqrt{\frac{G_f}{\Delta P}} \quad (12.82)$$

On:

$q$  és el cabal volumètric del corrent ( $\text{m}^3/\text{h}$ )

$N_1$  és una constant per als corrents líquids (0.865 en  $\text{m}^3/\text{h}$  i bara)

$G_f$  és la gravetat específica a la temperatura d'entrada

Finalment s'obté que el coeficient de la vàlvula requerit és de  $321 \text{ m}^3/\text{h}$  que és menor a  $368 \text{ m}^3/\text{h}$ , per tant, es pot utilitzar aquest model de vàlvula per al procés.

Per determinar els cabals volumètrics màxims, mínims i normals en la vàlvula de control, s'utilitza la "rangeability" de la vàlvula:

El cabal normal d'operació són els  $198.1 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Pel càlcul del cabal màxim disponible per la vàlvula, s'imposa el coeficient de la vàlvula amb un valor de  $413 \text{ m}^3/\text{h}$ . En aquest cas s'obté un cabal màxim de  $255 \text{ m}^3/\text{h}$  a una obertura del 80% encara que per arribar a les especificacions només caldrà obrir fins un 77% per obtenir un cabal de  $237.7 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Finalment, sabent que el  $K_v$  mínim de la vàlvula al 50% d'obertura és de  $204 \text{ m}^3/\text{h}$ , s'obté com a cabal mínim d'uns  $126 \text{ m}^3/\text{h}$  i amb una obertura del 54% s'obté el cabal designat de  $158.4 \text{ m}^3/\text{h}$ .

#### **A.10. Càlcul sabates de les columnes i reactors**

S'ha calculat les cimentacions que han de suportar les columnes DA-100, DA-201, DA-202, DA-203 per la pressió que exerceix l'equip al terra i per la pressió del vent (Ref. 43).

Es concreta un exemple de càlcul amb la columna DA-100. Els paràmetres necessaris són els següents:

Taula 12.13 Dades de la cimentació per la columna DA-100.

Paràmetre	Valor	Unitats
Línia de congelació de Tarragona ( $l_c$ )	0.8	m
Diàmetre de l'octògon de la cimentació ( $D_{\text{octo}}$ )	4.8	m
Diàmetre de la columna	4.3	m
Diàmetre menor de la base de la cimentació ( $D_m$ )	7.8	m
Alçada total de la cimentació ( $H_T$ )	2	m
Densitat del formigó ( $\rho_f$ )	2,400	kg/m <sup>3</sup>
Densitat del sòl ( $\rho_s$ )	1,600	kg/m <sup>3</sup>
Massa columna plena	556,463	kg
Velocitat màxima del vent a Tarragona	130	km/h
Gruix metàl·lic de la columna	0.02	m
Alçada de la columna	42.6	m
Alçada del faldó	3	m
Capacitat de càrrega del sòl de Tarragona en el lloc d'instal·lació de DA-100	2	kg/cm <sup>2</sup>
Alçada de cimentació sobre la rasant ( $h_s$ )	0.3	m
Càrrega del vent ( $M_T$ )	237,679	kg·m

Es comença amb la pressió de l'equip al terra amb una cimentació octogonal:

$$A_0 = 0.828 \cdot D_{\text{octo}}^2 \quad (12.83)$$

$$V_0 = l_c \cdot A_0 \quad (12.84)$$

$$A_b = 0.828 \cdot D_m^2 \quad (12.85)$$

$$V_b = A_b \cdot (H_T - l_c) \quad (12.86)$$

$$m_f = \rho_f \cdot (V_b + V_0) \quad (12.87)$$

$$m_t = \rho_s \cdot (l_c - h_s) \cdot (A_b - A_0) \quad (12.88)$$

$$m_s = m_t + m_f \quad (12.89)$$

$$s_1 = \frac{m_s}{A_b \cdot 10000} \quad (12.90)$$

Pel càlcul de la pressió en el vent, s'agafa la càrrega que s'ha calculat en anterioritat per cada columna l'annex A.6 i després es calcula la càrrega sobre la cimentació i finalment la càrrega total.

$$Z = 0.101016 \cdot D_m^3 \quad (12.91)$$

$$s_2 = \frac{M_T}{Z} \quad (12.92)$$

Càrrega total:

$$s_T = s_1 + s_2 \leq 2 \text{ kg/cm}^2 \quad (12.93)$$

En aquest exemple la  $s_1$  té un valor de  $1.5 \text{ kg/cm}^2$  i la  $s_2$  té un valor de  $0.49 \text{ kg/cm}^2$ . Per tant es compleix la desigualtat de  $s_T \leq 2 \text{ kg/cm}^2$ .

Les dades dels altres equips són les següents:

Taula 12.14 Dades de la cimentació pel reactor R-100.

Paràmetre	Valor	Unitats
Línia de congelació de Tarragona ( $l_c$ )	0.8	m
Diàmetre de l'octògon de la cimentació ( $D_{\text{octo}}$ )	6.2	m
Diàmetre del reactor	6.2	m
Diàmetre menor de la base de la cimentació ( $D_m$ )	6.5	m
Alçada total de la cimentació ( $H_T$ )	0.9	m
Densitat del formigó ( $\rho_f$ )	2,400	kg/m <sup>3</sup>
Densitat del sòl ( $\rho_s$ )	1,600	kg/m <sup>3</sup>
Massa del reactor ple	287,237	kg
Velocitat màxima del vent a Tarragona	130	km/h
Gruix metàl·lic del reactor	0.0	m
Alçada del reactor	5.4	m
Alçada del faldó	1.5	m
Capacitat de càrrega del sòl de Tarragona en el lloc d'instal·lació de R-100	2.0	kg/cm <sup>2</sup>
Alçada de cimentació sobre la rasant ( $h_s$ )	0.1	m
Càrrega del vent ( $M_T$ )	14,539	kg·m

### A.11. Reaccions de combustió dels gasos

Reacció de l'etilè:



Reacció de l'età:



Reacció de l'acetat de vinil:



Reacció de l'àcid acètic:



**A.11.1. Càlcul del diòxid de carboni**

Es disposen 2 corrents de sortida de gasos:

Taula 12.15 Cabals molars dels equips amb purgues.

Cabals molars (kmol/h)	Purga DA-201	DA-203
T (°C)	47.00	99.00
P (bara)	10.2	1.1
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	2.85	0.46
O <sub>2</sub>	0.19	0.03
CO <sub>2</sub>	0.66	73.76
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0.40	0.03
Ar	0.88	0.05
C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	0.00	0.00
CH <sub>3</sub> COOH	0.00	0.00
H <sub>2</sub> O	1.67	259.83
Total (kmol/h)	6.64	334.17
Total (kg/h)	192.00	7684.00
Fracció de vapor	1.00	1.00

La purga de la columna DA-201 s'envia cap a torxa, per tan, es calcula la quantitat CO<sub>2</sub> format a partir de les fórmules de combustió del gas. A partir de cremar 192 kg/h del corrent de DA-201 amb un 99.99% d'eficiència de combustió, s'obté una formació de diòxid de carboni de 2,521 t/any. Per altre banda, el corrent DA-203 s'emeta directament a atmosfera amb un valor equivalent de CO<sub>2</sub> de 26,317 t/any.

El valor en el 2020 de la compra de drets d'emissió era de aproximadament 35 €/t (Ref. 33). Fent el balanç anual surt a 1.0 M€/any.

**A.12. Disseny canonades**

Per el dimensionament de les canonades s'ha calculat el diàmetre nominal de la canonada s'ha trobat a partir del cabal volumètric i velocitat del fluid, mitjançant les equacions següents, agafant sempre el valor immediatament superior al calculat al codi ASME B36.10M:

$$S = \frac{\text{Cabal}}{\text{Velocitat}} \quad (12.98)$$

$$Dn = \sqrt{\frac{S \cdot 4}{\pi}} \quad (12.99)$$

El gruix de paret requerit per a trams rectes de tub s'ha determinat utilitzant l'equació (12.100) del codi ASME B 31.3-2010:

$$t_m = t + c \quad (12.100)$$

On c és el sobre gruix de corrosió per canonades, en el cas de les canonades d'acer inoxidable s'ha decidit agafar 1.6mm.

El paràmetre  $t$  de l'equació (E.1.3) és l'espessor dissenyat per pressió calculat d'acord amb l'equació 3a del codi:

$$t = \frac{P \cdot D}{2(SEW + PY)} \quad (12.101)$$

### **A.13. Disseny de tancs verticals**

El procediment de càlcul pel dimensionament dels tancs de separació vapor/líquid verticals s'ha fet seguint el procediment de la web de càlcul (Ref. 24).

#### **A.13.1. Diàmetre del separador**

El primer pas és calcular la màxima velocitat de vapor admissible mitjançant l'equació de Souders-Brown:

$$V = K \sqrt{\frac{\rho_L - \rho_V}{\rho_V}} \quad (12.102)$$

On  $\rho_V$  i  $\rho_L$  són les densitats del vapor i líquid a l'entrada respectivament, i  $K$  és calcula mitjançant la següent equació:

$$K = 0.35 - \frac{0.01 \cdot (P - 100)}{100} \quad (12.103)$$

On  $P$  és la pressió en psig.

El diàmetre del tanc segueix la següent equació i es calcula a partir de la velocitat del vapor ( $V_v$ ).

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V_v}} \quad (12.104)$$

On  $Q$  és el cabal volumètric de vapor en ( $m^3/s$ ).

Per tant i pel Flash FA-201, amb unes densitats de  $990.44 \text{ kg/m}^3$  i  $1064.3 \text{ kg/m}^3$  del vapor i líquid respectivament, i operant a  $P=8.76 \text{ barg}$ , resulta un diàmetre de tanc  $D = 1 \text{ m}$ .

#### **A.13.2. Altura del separador**

L'altura total del separador ve determinada per la suma de totes les altures que es poden observar en la figura següent:

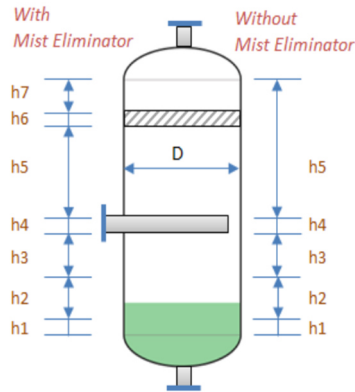


Figura 12.40 Esquema d'un separador vertical, CheCalc.

- Altura 1 (h1): per pressions d'operació menors de 1000 psig (70 barg), com és el nostre cas, s'agafa 150mm.
- Altura 2 (h2): es calcula en base el temps de residència i la capacitat de "slug":

$$h2 = 4 \cdot \frac{V_{holdup} + V_{slug}}{\pi \cdot D_{in}^2} \quad (12.105)$$

- Altura 3 (h3): per separadors amb mig tub a la boca d'entrada s'agafa 0.3D.
- Altura 4 (h4): és igual al diàmetre de la canonada d'entrada.
- Altura 5 (h5): per separadors sense separador de gotes, s'agafa una altura de 900mm.

Per tant i pel Flash FA-201, amb un  $V_{holdup} = 5$  min, un  $V_{slug} = 1.3$  m<sup>3</sup>, i un diàmetre de la canonada d'entrada de  $D_{in} = 200$  mm, resulta una altura total de  $H = 3.4$  m.

## A.14. Disseny de les bombes

### A.14.1. Altura de la bomba

L'altura que ha de donar la bomba be determinada per les condicions de succió i descarrega. I es calcula mitjançant la següent equació:

$$H_b = \frac{(P_D - P_S) \cdot 10^5}{\rho \cdot g} \quad (12.106)$$

On  $P_D$  és la pressió a la descàrrega,  $P_S$  la pressió a la succió en (bara),  $\rho$  la densitat en (kg/m<sup>3</sup>) i  $g$  que és la gravetat (9.81 m/s).

#### A.14.1.1. Pressió a l'aspiració de la bomba

La pressió a l'aspiració es calcula amb la següent equació:

$$P_s = P_1 + P_{staticd} - dP_{ea} - dP_{fa} \quad (12.107)$$

On  $P_s$  és la pressió de succió,  $P_1$  la pressió del equip a l'aspiració,  $P_{static}$  la pressió de la columna de líquid,  $dP_e$  la caiguda de pressió en un equip a l'aspiració, en el nostre cas 0, i  $dP_f$  la caiguda de pressió per pèrdues per fricció i accessoris. Tot en (bara).

**A.14.1.2. Pressió a la descàrrega de la bomba**

De la mateixa manera que per l'aspiració és calcula la pressió a la descàrrega, els paràmetres de càlcul son els mateixos que en l'equació 12.107, però en la de descàrrega de la bomba.

$$P_d = P_2 + P_{staticd} - dP_{ed} - dP_{fd} \quad (12.108)$$

**A.14.2. Pèrdues de càrrega**

Les pèrdues de càrrega ( $h_L$ ) tenen en compte les pèrdues majors i menors, tant en l'aspiració com en la descàrrega de la bomba i es calcula mitjançant l'equació següent (12.109), que es explicada en els subapartats posteriors.

$$h_L = f \cdot \frac{L_i}{d} \cdot \frac{u_i^2}{2g} + f \cdot \frac{L_E}{d} \cdot \frac{u_i^2}{2g} + \sum K_i \cdot \frac{u_i^2}{2g} \quad (12.110)$$

**A.14.2.1. Pèrdues de càrrega majors**

Es determinen mitjançant l'equació de Darcy-Weisbach, que permet determinar la pèrdua de càrrega en una canonada per fluid viscos totalment desenvolupat:

$$h_f = f \cdot \frac{L_i}{d} \cdot \frac{u_i^2}{2g} \quad (12.111)$$

**A.14.2.2. Factor de fricció f**

La determinació del factor de fricció (f) depèn del règim del fluid, en el nostre cas sempre tractem amb fluids turbulents, i el factor es calcula mitjançant l'equació de Haaland:

$$\frac{1}{f^{1/2}} = -1.8 \cdot \log \left( \frac{6.9}{Re} + \left( \frac{\epsilon/D}{3.7} \right)^{1.11} \right) \quad (12.112)$$

On  $\epsilon$  és la rugositat de la canonada en (mm) que depèn del material de la canonada, en el nostre cas utilitzem acer comercial que te un valor de  $\epsilon = 0.046$  mm.

**A.14.2.3. Pèrdues menors**

Les pèrdues menors son produïdes pels accessoris i hi ha dues formes de calcular-les, depenen del tipus d'accessori, es poden calcular mitjançant els coeficients de resistència K com es mostra en l'equació (12.123), les pèrdues en els accessoris són directament proporcionals a l'energia cinètica del fluid.

$$h_k = \sum K_i \cdot \frac{u_i^2}{2g} \quad (12.113)$$

També es poden calcular comparant la pèrdua de càrrega del accessori amb la pèrdua que tindria un tram recte de canonada, conegut com longitud equivalent ( $L_E$ ) i es mostra en l'equació següent:

$$h_{le} = f \cdot \frac{L_E}{d} \cdot \frac{u_i^2}{2g} \quad (12.114)$$

On f es el factor de fricció,  $L_E$  la longitud equivalent en (m), d el diàmetre interior de la canonada en (m), u és la velocitat del fluid en (m/s) i K el factor de pèrdua.

### A.14.3. Caiguda de pressió

#### A.14.3.1. Caiguda de pressió per fricció

La caiguda de pressió per fricció en les canonades, pèrdua de càrrega majors, ve determinada pel cabal, la densitat i viscositat del fluid, el diàmetre i longitud de la canonada i la rugositat d'aquesta. Es pot calcular mitjançant la següent equació:

$$dP_f = 8f \left( \frac{L}{d} \right) \frac{\rho u^2}{2} \quad (12.115)$$

#### A.14.3.2. Caiguda de pressió als accessoris

També existeix una caiguda de pressió en les vàlvules, colzes de canonada o altres accessoris presents a la canonada, existeixen dos mètodes per calcular la caiguda de pressió depenen del mètode utilitzat per calcular les pèrdues menors.

Si les pèrdues menors s'han calculat a partir dels coeficients de resistència  $K$ , el mètode de càlcul s'anomena "*velocity heads*" i la caiguda de pressió és obtinguda mitjançant l'equació següent:

$$dP_k = h_k \cdot \rho \cdot g \quad (12.116)$$

On  $h_k$  són les pèrdues menors obtingudes de l'equació (12.113).

Per altra banda si les pèrdues menors dels accessoris s'han calculat amb el mètode de longitud equivalent, el càlcul de la caiguda de pressió serà per fricció, ja que com ja s'ha dit abans aquest mètode compara la pèrdua de càrrega dels accessoris a la pèrdua d'un tram recte de canonada.

### A.14.4. Potència requerida

Per impulsar aquests líquids és necessari aportar energia a la bomba, i ha de ser la necessària per poder superar les pèrdues de carrega, elevacions i diferències de pressió. L'equació per calcular aquest treball ( $W$ ) és la següent:

$$g \cdot dz + \frac{dP}{\rho} + \frac{dP_t}{\rho} - W = 0 \quad (12.117)$$

On  $dz$  és la diferència d'altures dels equips en (m),  $dP$  la diferència de pressions en ( $N/m^2$ ) i  $dP_t$  la caiguda de pressió total de la canonada (caiguda de pressió per fricció més la dels accessoris) en ( $N/m^2$ ).

La potència requerida per la bomba serà el treball,  $W$ , en (J/kg) per el cabal màssic,  $Q_m$ , a impulsar en (kg/s) entre l'eficiència,  $\eta$ , de la bomba.

$$Pot = \frac{W \cdot Q_m}{\eta} \quad (12.118)$$

### A.14.5. NPSH disponible

El NPSH disponible determinarà l'elecció posterior de la bomba i és calcula mitjançant l'equació següent:

$$NPSH_{disp} = 10^5 \cdot \frac{(P_l - P_v)}{\rho \cdot g} + H_a - h_a \quad (12.119)$$

On  $P_l$  és la pressió sobre el líquid en el dipòsit d'aspiració,  $P_l$ , en (bara),  $P_v$  és la pressió de vapor de líquid en (bara),  $H_a$  és l'altura d'aspiració en (m) i  $h_a$  la pèrdua de càrrega en l'aspiració en (m).

#### A.14.6. Elecció de la bomba

A partir de l'altura de la bomba calculada anteriorment, i el cabal volumètric és pot escollir en el catàleg la bomba adient pel nostre procés.

#### A.14.7. Bomba P-202

Els paràmetres utilitzats per el càlcul s'han extret de la simulació del procés en el *software Aspen Plus*, i en cas dels accessoris que afecten a les pèrdues menors han estat facilitats pel tutor del treball. A continuació es mostren aquests paràmetres en la Taula 12.16, Taula 12.17 i la Taula 12.18:

##### A.14.7.1. Altura de la bomba

Per el càlcul de les caigudes de pressions a aspiració i descàrrega, el tutor ens ha facilitat el tipus i nombre d'accessoris presents en la canonada.

Taula 12.19 Accessoris presents en la canonada

Accesoris	Aspiració	Descàrrega
Sortida columna	1	0
T en angle	1	3
T recte	3	1
Reducció canonada ( $\Theta = 30^\circ$ )	1	0
Eixamplament canonada ( $\Theta = 30^\circ$ )	0	1
Vàlvula de comporta	1	1
Vàlvula de retenció	0	1
Vàlvula de control	0	1
Filtre en Y	1	0
Colzes estàndard $45^\circ$	2	2
Colzes estàndard $90^\circ$	10	5
Placa d'orifici	0	1

Taula 12.20 Paràmetres a l'aspiració del sistema hidràulic.

Paràmetres a l'aspiració	Valor (bara)
Pressió del fons de columna DA-203 ( $P_1$ )	1.5
Pressió estàtica ( $P_{staticd}$ )	0.5
Caiguda de pressió a l'aspiració ( $dP_{fa}$ )	0.08
Pressió a l'aspiració	2.0

Taula 12.21 Paràmetres a la impulsió del sistema hidràulic.

Paràmetres a la impulsió	Valor (bara)
Pressió del cap de columna DA-202 (P2)	9.78
Pressió estàtica ( $P_{statica}$ )	1.8
Caiguda de pressió a l'aspiració ( $dP_{fa}$ )	1.8
Pressió a la descàrrega	13.3

Obtenint una altura de bomba de 97.1 m.

#### A.14.7.2. Potència necessària

Seguint el procediment de l'apartat A.14.7.2 és duu a terme una estimació de la potència necessària per la bomba.

Taula 12.22 Paràmetres pel càlcul de la potència.

Paràmetres	Valor
Diferència elevacions (m)	-10.5
Diferència de pressions ( $N/m^2$ )	-825798
Caiguda de pressió pèrdues menors ( $N/m^2$ )	187555
Densitat del fluid ( $kg/m^3$ )	1193
Gravetat ( $m/s^2$ )	9.81

Obtenint un treball de 952 J/kg, i per una eficiència de  $\eta=0.75$ , una potència de  $P=51.9$  Kw.

#### A.14.7.3. NPSH disponible

Seguint el procediment de l'apartat A.14.7.3 és duu a terme una estimació del NPSH disponible de la bomba.

Taula 12.23 Paràmetres per el càlcul del NPSH.

Paràmetres	Valor
Pressió del líquid dipòsit aspiració (bara)	1.52
Pressió de vapor del líquid (bara)	1.2
Altura d'aspiració (m)	4.5
Pèrdua de càrrega a l'aspiració (m)	0.71
Densitat del fluid ( $kg/m^3$ )	1193
Gravetat ( $m/s^2$ )	9.81

Obtenint un NPSH disponible de 6.4 metres.

**A.15. Placa d'orifici**

Pel dimensionament de la placa d'orifici s'ha obtingut a partir del llibre d'instrumentació industrial (Ref. 10). Per un càlcul ràpid de la placa d'orifici, l'autor considera que el coeficient de descarrega de la placa-orifici és 0.6.

Resultant l'equació per calcular el diàmetre següent:

$$d = \sqrt{\frac{Q_m \cdot 10^4}{2.1 \cdot \sqrt{dP \cdot \rho}}} \quad (12.120)$$

On  $Q_m$  és el cabal màssic en (kg/s),  $dP$  és la caiguda de pressió en la placa d'orifici en (bara), i  $\rho$  és la densitat del fluid en (kg/m<sup>3</sup>).

**A.16. Seguretat****A.16.1. Càlcul d'àrees explosives**

Per l'estimació del volum teòric de la zona explosiva al voltant de l'equip s'ha seguit el procediment explicat en el manual pràctic realitzat per (Ref. 28).

El primer pas és calcular el cabal mínim teòric,  $Q_{v \min}$ , de ventilació necessari per diluir un escapament d'una substància inflamable, i és calcula amb la següent equació:

$$Q_{v \min} = \frac{G_{e \max}}{LIE} \cdot k \cdot \frac{T}{293} \quad (12.121)$$

On  $Q_{v \min}$  és el cabal mínim en (m<sup>3</sup>/s),  $G_{e \max}$  és la tasa màxima d'escapament de la font en (kg/s),  $k$  el coeficient de seguretat, el qual s'adoptarà per un escapament continu amb un valor de 0.25,  $T$  la temperatura d'operació en (K). El valor del límit inferior d'explosivitat  $LIE$  en (kg/m<sup>3</sup>), es pot obtenir del  $LIE$  en % a partir de la següent expressió:

$$LIE \left( \frac{kg}{m^3} \right) = \frac{LIE(\%)}{100} \cdot PM \cdot \frac{1}{22.4 \cdot \frac{T}{293}} \quad (12.122)$$

On  $PM$  és el pes molecular en (g/mol).

D'altra banda  $G_{e \max}$  dependrà de la pressió d'operació, en el nostre cas es treballa amb una pressió superior a  $2 \cdot 10^5$  N/m<sup>2</sup>, per tant l'equació que s'ha utilitzat es la següent:

$$G = 0.006 \cdot a \cdot P \cdot \left( \frac{PM}{T} \right)^{0.5} \quad (12.123)$$

On  $a$  és l'àrea d'escapament, que s'ha suposat de  $5 \cdot 10^{-3}$  m<sup>2</sup>.

Finalment el volum teòric de la zona explosiva,  $V_z$ , per un emplaçament a l'aire lliure, és calcula de la següent manera:

$$V_z = \frac{Q_{v \min}}{0.03} \cdot f_v \quad (12.124)$$

On  $f_v$  expressa la ineficiència de la ventilació en al dilució de l'atmosfera explosiva.

### A.16.1.1. Columna DA-203

Pel cas de la columna d'absorció DA-203 s'ha aproximat, pel càlcul de l'àrea explosiva, que el producte de fuga estaria compost totalment per etilè, ja que és la substància més perillosa.

Els paràmetres utilitzats per el càlcul s'han extret de la simulació del procés en el *software Aspen Plus*, i pel cas del límit inferior explosiu (LIE%) de la norma UNE-EN 60079-10, i es mostren a continuació:

Taula 12.24 Paràmetres pel càlcul de l'àrea explosiva de DA-203.

Paràmetres	Valor
MW (g/mol)	28
LIE (%)	2.7
Temperatura d'operació (K)	381.72
Pressió d'operació (N/m <sup>2</sup> )	977786

Seguint el procediment presentat en l'aparta anterior s'ha obtingut els següents resultats referents a l'àrea explosiva del voltant de la columna DA-203.

Taula 12.25 Resultats del procediment del càlcul de l'àrea explosiva de DA-203.

Paràmetre	Valor
LIE (kg/m <sup>3</sup> )	0.03
k	0.25
Àrea (m <sup>2</sup> )	5·10 <sup>-5</sup>
G <sub>e max</sub> (kg/s)	0.08
Q <sub>v min</sub> (m <sup>3</sup> /s)	1.00
V <sub>z</sub> (m <sup>3</sup> )	66.6
Radi (m)	2.60

### A.16.2. Dimensionament vàlvules de seguretat (PSV)

La vàlvula de seguretat s'ha dissenyat a seguint el catàleg de vàlvules (Ref. 30).

#### A.16.2.1. Àrea d'orifici

El dimensionament de la vàlvula es duu a terme calculant l'àrea d'orifici d'aquesta, que és el pas mínim que ha de tenir l'orifici de la vàlvula per desallotjar el caudal de fluid requerit. L'àrea d'orifici per gasos i vapors es calcula mitjançant la següent equació:

$$A = \frac{W}{387.2 \cdot C \cdot P \cdot K \cdot K_1 \cdot K_2} \sqrt{\frac{ZT}{M}} \quad (12.125)$$

On A és l'àrea d'orifici en (cm<sup>2</sup>), W el caudal de descàrrega en (kg/h), C el coeficient d'expansió, P la pressió de descàrrega en (kg/cm<sup>2</sup>), K el coeficient de descàrrega, que per gasos és igual K=0.946, K1 i K2 són coeficients correctors, Z el factor de compressibilitat a P i T, T la temperatura de descarrega en (°K) i M el pes molecular del fluid.

#### A.16.2.2. Constant adimensional (C).

El coeficient adimensional C és el coeficient d'expansió en funció de (k), k és la relació entre Cp i Cv, que en el nostre cas per el corrent de sortida de la columna d'absorció DA-202 k =

1.259. A partir de la taula de valors de C en funció de k del catàleg, s'extreu el valor C per el nostre disseny,  $C = 0.660$ .

**A.16.2.3. Pressió de descarrega (P).**

La pressió de descarrega serà aquella pressió en la qual la vàlvula obrirà i desallotjarà el fluid per tal de normalitzar la pressió. El càlcul de la pressió de descarrega és el següent:

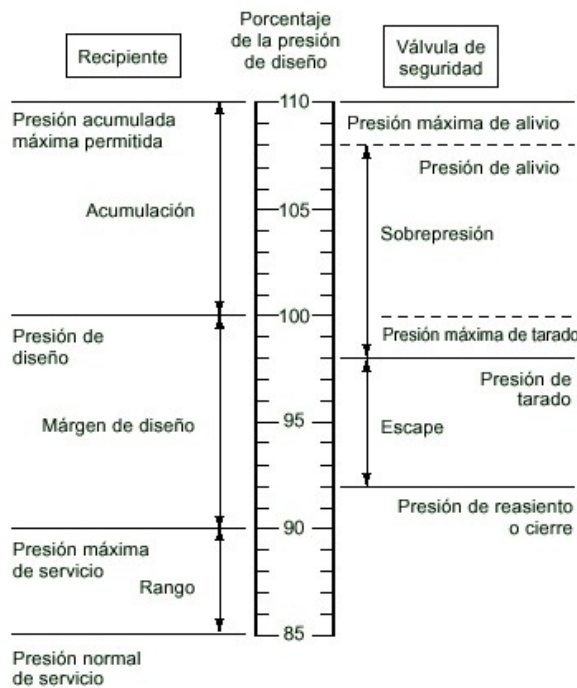
$$P = P_t + S + 1.033 \tag{12.126}$$

On  $P_t$  és la pressió de tret o tarat en (kg/cm<sup>2</sup>) i S és la sobrepressió (%).

Per determinar la pressió de tret s'ha seguir el NTP 510 del institut nacional de seguretat i higiene, ministeri d'Espanya.

Figura 12.41 Règim de pressions per una vàlvula de seguretat amb sobrepressió del 10%

Seguint la figura 12.42 i tenint en compte que la pressió d'operació o de servei de la canonada



és de 9.97 (kg/cm<sup>2</sup>) s'obtenen les pressions per calcular la pressió de descarrega, a continuació en la taula Taula 12.26, és mostren els resultats.

Taula 12.27 Valors de les diferents pressions

Pressió	Valor (kg/cm <sup>2</sup> )
Pressió d'operació	9.97
Pressió de tarat ( $P_t$ )	11.50
Sobrepressió (S)	10%
Pressió de descarrega (P)	12.65

**A.16.2.4. Selecció del tipus d'orifici**

Primer és calcula l'àrea d'orifici mitjançant l'equació (12.127). Els altres paràmetres pel càlcul es mostren en la taula Taula 12.28, els no calculats prèviament s'han extret de la simulació del procés en el *software Aspen Plus*.

Taula 12.29 Paràmetres per seleccionar el tipus d'orifici de la PSV-202.

Paràmetres	Valor
Cabàl descàrrega (W)	15625
Constant adimensional (C)	0.660
Pressió de descàrrega (P)	13.68
Coefficient de descàrrega (K)	0.946
Coefficient corrector contrapressió (K1)	1
Coefficient corrector contrapressió (K2)	1
Factor de compressibilitat (Z)	0.9765
Temperatura de descàrrega (T)	381.15
Pes molecular (M)	29.45

Obtenint una àrea d'orifici de 16.79 cm<sup>2</sup>. Seguidament és selecciona en el catàleg, el tipus d'orifici amb una àrea immediatament superiora la calculada. En el cas d'aquest càlcul s'ha escollir el orifici de tipus L. A continuació és mostra el gràfic selector d'aquest tipus d'orifici:

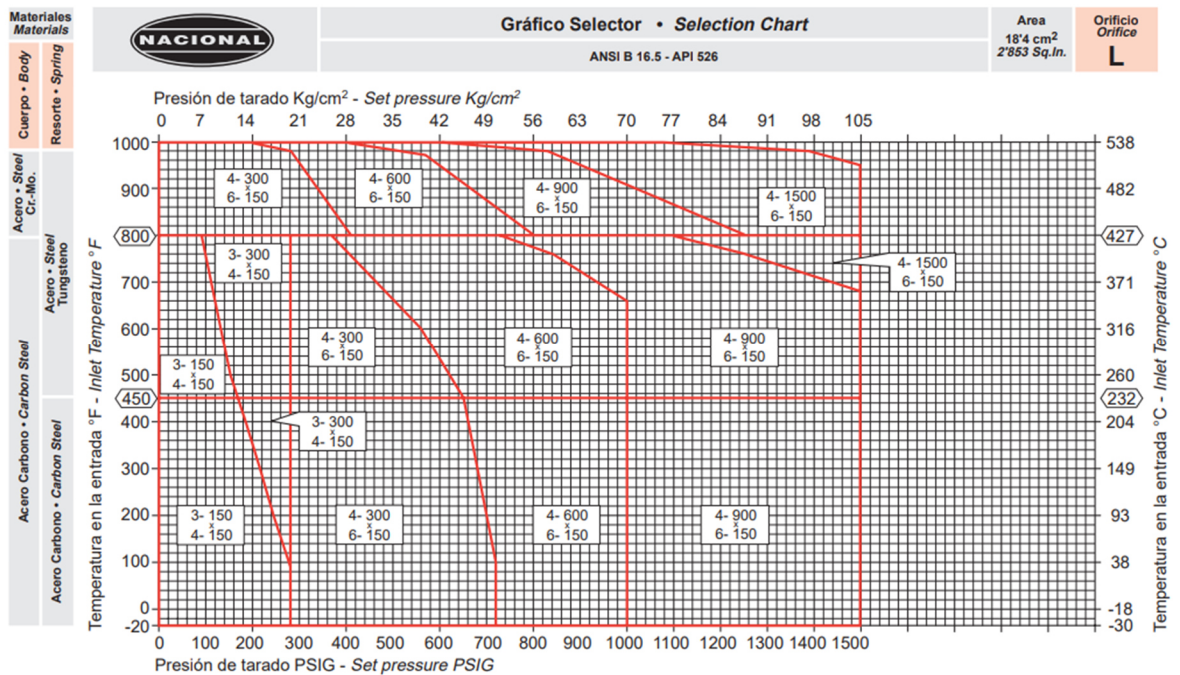


Figura 12.43 Gràfic selector orifici tipus L.

**A.17. Manteniment****A.17.1. Taules de matriu de decisió**

Taula 12.30 Conseqüències per seguretat i medi ambient.

Efectes a les persones	Extensió dels danys	Impacte medi ambient	Valor
Morts	Efectes a comunitats veïnes a la fàbrica	Molt greu. Llarga duració de la contaminació	10
Lesions molt series / Hospitalització	Efectes a tot el recinte de la fàbrica	Important. Descontaminació difícil	6
Lesions de tractament mèdic	Extensió molt localitzada	Poc important	3
Lesions menors	No hi ha extensió	Menor	1

Taula 12.31 Probabilitat de fallada per la seguretat i medi ambient.

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

Taula 12.32 Conseqüències per fiabilitat i disponibilitat.

Fiabilitat/Disponibilitat	Alta	Mitja	Baixa
Alta	10	8	6
Mitja	8	6	5
Baixa	6	4	2

Taula 12.33 Criticitat de les fallades funcionals segons la disponibilitat

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

Taula 12.34 Criticitat de les fallades funcionals segons la freqüència

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

Taula 12.35 Criticitat de les fallades funcionals segons la detectabilitat

Detectabilitat	Valor
Parada de planta inferior a 6 hores	2
Sense efectes (equips redundants)	1

Taula 12.36 Criticitat de les fallades funcionals segons el cost de reparació

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

## A.17.2. Manteniment Legal

### A.17.2.1. Potencial de risc

Els recipients es classifiquen segons els producte de la pressió màxima admissible per el volum en (m<sup>3</sup>).

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

### A.17.2.2. Característiques del fluid

- Grup 1.1: Fluids inflamables en forma de vapors, líquids, gasos i les seves mescles, a temperatura màxima de servei Tms igual o superior a 200°C; gasos o líquids classificats com a molt tòxics i hidrogen a qualsevol temperatura a concentracions superiors al 75% en volum.
- Grup 1.2: Altres fluids perillosos inclosos al grup 1 de l'article 9 del Real Decret 769/1999 que no classifiquin al grup anterior.
- Grup 2.1: Gasos no perillosos inclosos al grup 2 de l'article 9 del RD 769/1999 (vapor d'aigua, gasos inerts, innocus, aire... ).
- Grup 2.2: altres fluids no perillosos que no se classifiquin al grup anterior.

### A.17.2.3. Classe d'equips

Taula 12.37 Classe de fluid segons el potencial de risc.

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

**A.18. Balanc econòmic****A.18.1. Zona del reactor i la separació de gasos**

En alguns casos els preus dels equips són del 2014, per tant s'ha de determinar el Chemical Cost Plant Index (CEPCI) per tal d'ajustar aquests preus al 2021 (Ref. 44).

Taula 12.38 Preu dels equips en la zona de reacció i separació 1 (Ref. 38)

Equip	Preu de compra (€)
E-101	72169
E-102 A/B	219952
E-100 A/B	376951
E-104	61903
E-105	74222
E-103	1430890
C-100	2350965
CT-100	198550
FA-101	307230
FA-102	72105
FA-103	186580
FA-104	114665
R-100	770000
DA-100	1290000
P-100 A/B	19380
Total	7554110

Seguidament amb el preu mitjà dels equips del procés, es determinen els factors d'instal·lació amb un preu mitjà per equip superior als 100000 €/equip. Tots els valors escollits de cadascun dels factors es troben dintre del rang, aproximant el valor al límit que estigui més proper. A continuació, es mostren les diferents taules per als factors d'instal·lació de cada unitat de procés.

Taula 12.39 Factors d'instal·lació (Ref. 36)

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

Taula 12.40 Factors d'instal·lació en edificis (Ref. 36)

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

Fontaneria	Normal	12
Altres	-	5

Dintre dels costos directes fixos s'inclou el personal de la planta i el preu de manteniment d'un 2% del cost total d'instal·lació.

Taula 12.41 Costos directes fixos

Tipus de cost	Unitats	Preu/(unitat·any) (€/any/unitat)	Preu/any (€/any)
Operaris instal·lació	8	40000	320000
Laboratori	4	21000	84000
Envasat	0	-	-
Supervisió	3	38500	115500
Gestió	2	14000	28000
Manteniment	-	-	540627

Els costos directes variables inclouen les matèries primes i els diferents serveis de la planta. En aquest cas, les matèries primeres són l'etilè, l'àcid acètic i l'oxigen. Les *utilities* utilitzades pels equips s'han inclòs en la Taula 12.42.

Taula 12.42 Costos directes variables

Matèria	Preu/unitat (€/tona)	Cabal (unitats/any)	Cost (€/any)
Etilè	1430	92000	131560000
Àcid acètic	600	178192	106915200
Oxigen	94	74528	7005632
Vapor alta	27	206920	5648916
Vapor mitja	27.3	187864	4114222
Agua	21.9	360960	487296
desmineralitzada			
Agua refrigeració	1.35	3217600	1801856
Energia elèctrica	0.56	4800000	384000

Els costos indirectes fixos engloben els costos dels recursos humans de l'empresa en l'àmbit general.

Taula 12.43 Costos indirectes fixos

Tipus de cost	Preu (€/any)	Contribució a la unitat	Cost total (€/any)
Direcció	5000	1%	50
Seguridad y M. Ambient	20000	5%	1000
Administració	2000	1%	20
SS Mèdics	5000	1%	50
RR Humans	5000	1%	50

Els ingressos totals es comptabilitzen amb el 80% del preu estàndard de l'acetat de vinil ja que s'aproxima per les etapes posteriors de separació. En el reactor també es forma vapor de baixa pressió, per tant, també s'inclou com a producte.

Taula 12.44 Ingressos totals

Producte	Preu (€/t)	Cabal (t/any)	Ingressos (€/any)
Acetat de vinil	960	276832	265758720
Vapor de baixa pressió	12	360000	4401000

**A.18.2. Zona de separació 2 i absorció i desorció de CO<sub>2</sub>**

Taula 12.45 Preu dels equips en la zona de reacció i separació 1 (Ref. 38)

Equip	Preu de compra (€)
E-201	23334
E-202	20874
E-203	87900
E-204	51293
E-205	10518
E-206	55776
DA-201	113739
DA-202	171120
DA-203	142290
FA-201	14880
P-201 A/B	28272
P-202 A/B	24738
Total	744734

Seguidament amb el preu mitjà dels equips del procés, es determinen els factors d'instal·lació amb un preu mitjà per equip superior als 60000 €/equip. Tots els valors escollits de cadascun dels factors es troben dintre del rang, aproximant el valor al límit que estigui més proper. A continuació, es mostren les diferents taules per als factors d'instal·lació de cada unitat de procés.

Taula 12.46 Factors d'instal·lació (Ref. 36)

Factor d'instal·lació	Valor qualitatiu	Valor quantitatiu
Muntatge equip bàsic	Molt d'equip, alt muntatge	16
Fonaments i estructures	Mitjà-aliatges	5
Canonades sense aïllament	Mitjà-líquids	23
Aïllament equips i canonades	Mitjà- plantes químiques	9
Electricitat i il·luminació	Líquids	7
Instrumentació	Elevada	10
No comptabilitzat	Procés simple	1
Edificis	Equipament exterior	13

Taula 12.47 Factors d'instal·lació en edificis (Ref. 36)

Factor d'instal·lació	Valor qualitatiu	Valor quantitatiu
Il·luminació	Normal	9
Ventilació i aire condicionat	Normal	8
Calefacció	Normal	10

Fontaneria	Normal	12
Altres	-	5

Dintre dels costos directes fixos s'inclou el personal de la planta i el preu de manteniment d'un 2% del cost total d'instal·lació.

Taula 12.48 Costos directes fixos

Tipus de cost	Unitats	Preu/(unitat·any) (€/any/unitat)	Preu/any (€/any)
Operaris instal·lació	2	40000	80000
Laboratori	1	21000	21000
Envasat	0	-	-
Supervisió	1	38500	38500
Gestió	1	14000	14000
Manteniment	-	-	153500

Els costos directes variables inclouen les matèries primeres i els diferents serveis de la planta. En aquest cas, no hi ha matèries primeres, sinó el pagament del costos dels drets d'emissió de CO<sub>2</sub>. Les *utilities* utilitzades pels equips s'han inclòs en la Taula 12.42.

Taula 12.49 Costos directes variables

Matèria	Preu/unitat (€/tona)	Cabal (unitats/any)	Cost (€/any)
Emissió de CO <sub>2</sub>	34.69	28830	1000000
Vapor baixa	17.47	59999	1048183
Agua desmineralitzada	1.35	17043	23009
Agua refrigeració	0.56	853514	477968
Energia elèctrica	0.08	480000	43264

Els costos indirectes fixos engloben els costos dels recursos humans de l'empresa en l'àmbit general.

Taula 12.50 Costos indirectes fixos

Tipus de cost	Preu (€/any)	Contribució a la unitat	Cost total (€/any)
Direcció	5000	1%	50
Seguridad y M. Ambient	20000	5%	1000
Administració	2000	1%	20
SS Mèdics	5000	1%	50
RR Humans	5000	1%	50

Taula 12.51 Ingressos totals

Producte	Preu (€/t)	Cabal (t/any)	Ingressos (€/any)
Etilè	1430	67024	95844320
Oxigen	94	6320	594080

**A.19. Fitxes tècniques**


10/5/22 18:17

ICSC 0363 - ÀCIDO ACÉTICO

<p><b>ÁCIDO ACÉTICO</b>                  Ácido acético glacial                  Ácido etanoico                  Ácido etílico                  Ácido metanocarboxílico</p> <p><b>CAS: 64-19-7</b>  <b>Nº ONU: 2789</b>  <b>CE: 200-580-7</b></p>	<b>ICSC: 0363 (Mayo 2010)</b>
--	-------------------------------

	PELIGROS	PREVENCIÓN	LUCHA CONTRA INCENDIOS
<b>INCENDIO Y EXPLOSIÓN</b>	Inflamable. Por encima de 39°C pueden formarse mezclas explosivas vapor/aire. Riesgo de incendio y explosión en contacto con oxidantes fuertes.	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar. Por encima de 39°C, sistema cerrado, ventilación y equipo eléctrico a prueba de explosión.	Usar polvo, espuma resistente al alcohol, agua pulverizada, dióxido de carbono. En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.

¡EVITAR TODO CONTACTO!			
	SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS
<b>Inhalación</b>	Dolor de garganta. Tos. Sensación de quemazón. Dolor de cabeza. Vértigo. Jadeo. Dificultad respiratoria.	Usar ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Posición de semiincorporado. Proporcionar asistencia médica inmediatamente.
<b>Piel</b>	Dolor. Enrojecimiento. Quemaduras cutáneas. Ampollas.	Gautes de protección. Traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar y lavar la piel con agua y jabón. Aclarar la piel con agua abundante o ducharse durante 15 minutos como mínimo. Proporcionar asistencia médica inmediatamente.
<b>Ojos</b>	Enrojecimiento. Dolor. Quemaduras graves. Pérdida de visión.	Utilizar pantalla facial o protección ocular en combinación con protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad). Proporcionar asistencia médica inmediatamente.
<b>Ingestión</b>	Dolor de garganta. Sensación de quemazón. Dolor abdominal. Vómitos. Shock o colapso.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. NO provocar el vómito. En los primeros minutos tras la ingestión, se puede dar a beber un vaso pequeño de agua. Proporcionar asistencia médica inmediatamente.

DERRAMES Y FUGAS	CLASIFICACIÓN Y ETIQUETADO
<p>Eliminar toda fuente de ignición. Protección personal: traje de protección química, incluyendo equipo autónomo de respiración. NO permitir que este producto químico se incorpore al ambiente. Recoger el líquido procedente de la fuga en recipientes precintables. Neutralizar con precaución el líquido derramado con carbonato sódico, solo bajo la responsabilidad de un experto.</p>	<p><b>Conforme a los criterios del GHS de la ONU</b></p> <div style="text-align: center;">  <p><b>PELIGRO</b></p> </div> <p>Líquido y vapores inflamables                      Nocivo en contacto con la piel o si se inhala                      Puede ser nocivo en caso de ingestión                      Provoca graves quemaduras en la piel y lesiones oculares                      Puede irritar las vías respiratorias                      Provoca daños en el tracto respiratorio tras exposiciones prolongadas o repetidas si se inhala                      Nocivo para los organismos acuáticos</p> <p><b>Transporte</b>  <b>Clasificación ONU</b>                      Clase de Peligro ONU: 8; Peligro Secundario ONU: 3; Grupo de Embalaje/Envase ONU: II</p>
<b>ALMACENAMIENTO</b>	
A prueba de incendio. Separado de alimentos y piensos, oxidantes fuertes, ácidos fuertes y bases fuertes. Almacenar solamente en el recipiente original. Bien cerrado. Mantener en lugar bien ventilado. Almacenar en un área sin acceso a desagües o alcantarillas.	
<b>ENVASADO</b>	
No transportar con alimentos y piensos.	

La información original ha sido preparada en inglés por un grupo internacional de expertos en nombre de la OIT y la OMS, con la



10/5/22 18:17

ICSC 0363 - ÁCIDO ACÉTICO

ÁCIDO ACÉTICO		ICSC: 0363
<b>INFORMACIÓN FÍSICO-QUÍMICA</b>		
<p><b>Estado físico; aspecto</b> LÍQUIDO INCOLORO DE OLOR ACRE.</p> <p><b>Peligros físicos</b> Sin datos.</p> <p><b>Peligros químicos</b> La sustancia es un ácido débil. Reacciona violentamente con oxidantes fuertes. Esto genera peligro de incendio y explosión. Reacciona violentamente con bases fuertes, ácidos fuertes y muchos otros compuestos. Ataca algunas formas de plásticos, el caucho y revestimientos.</p>	<p>Fórmula: C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O<sub>2</sub> / CH<sub>3</sub>COOH</p> <p>Masa molecular: 60.1</p> <p>Punto de ebullición: 118°C</p> <p>Punto de fusión: 16.7°C</p> <p>Densidad relativa (agua = 1): 1.05</p> <p>Solubilidad en agua: miscible</p> <p>Presión de vapor, kPa a 20°C: 1.5</p> <p>Densidad relativa de vapor (aire = 1): 2.1</p> <p>Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20°C (aire = 1): 1.02</p> <p>Punto de inflamación: 39°C c.c.</p> <p>Temperatura de autoignición: 485°C</p> <p>Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 6.0-17</p> <p>Coefficiente de reparto octanol/agua como log Pow: -0.17</p>	
<b>EXPOSICIÓN Y EFECTOS SOBRE LA SALUD</b>		
<p><b>Vías de exposición</b> Hay efectos locales graves por todas las vías de exposición.</p> <p><b>Efectos de exposición de corta duración</b> La sustancia es corrosiva para los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Corrosivo por ingestión. La inhalación puede originar edema pulmonar, pero sólo tras producirse los efectos corrosivos iniciales en los ojos o las vías respiratorias.</p>	<p><b>Riesgo de inhalación</b> Por evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar bastante rápidamente una concentración nociva en el aire.</p> <p><b>Efectos de exposición prolongada o repetida</b> El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis. Los pulmones pueden resultar afectados por la exposición prolongada o repetida al aerosol de esta sustancia. Riesgo de erosión dental por la exposición prolongada o repetida al aerosol de esta sustancia.</p>	
<b>LÍMITES DE EXPOSICIÓN LABORAL</b>		
<p>EU-OEL: 25 mg/m<sup>3</sup>, 10 ppm como TWA; 50 mg/m<sup>3</sup>, 20 ppm como STEL.</p> <p>MAK: 25 mg/m<sup>3</sup>, 10 ppm; categoría de limitación de pico: I(2); riesgo para el embarazo: grupo C.</p> <p>TLV: 10 ppm como TWA; 15 ppm como STEL</p>		
<b>MEDIO AMBIENTE</b>		
La sustancia es nociva para los organismos acuáticos.		
<b>NOTAS</b>		
<p>El número ONU 2789 corresponde al ácido acético, ácido acético glacial o disolución de ácido acético con más del 80% del ácido en peso.</p> <p>Otro número ONU: 2790 disolución de ácido acético (entre el 10 y el 80% de ácido acético en peso); clase de peligro: 8, grupo de emb/env: II-III.</p>		
<b>INFORMACIÓN ADICIONAL</b>		
<p>- Límites de exposición profesional (INSST 2019): VLA-ED: 10 ppm, 25 mg/m<sup>3</sup> VLA-EC: 20 ppm, 50 mg/m<sup>3</sup></p> <p>- Nº de índice (clasificación y etiquetado armonizados conforme al Reglamento CLP de la UE): 607-002-00-6</p> <p>- <b>Clasificación UE</b> Pictograma: C; R: 10-35; S: (1/2)-23-26-45; Nota: B</p>		
		<p>La calidad y exactitud de la traducción o el posible uso que se haga de esta información no es responsabilidad de la OIT, la OMS ni la Comisión Europea.</p> <p>© Versión en español, INSST, 2018</p>

10/5/22 18:19

ICSC 0475 - ETILENO, PURO

<b>ETILENO, PURO</b> Eteno <b>CAS: 74-85-1</b> <b>Nº ONU: 1962</b> <b>CE: 200-815-3</b>	<b>ICSC: 0475 (Marzo 1996)</b>
---	--------------------------------

	PELIGROS	PREVENCIÓN	LUCHA CONTRA INCENDIOS
<b>INCENDIO Y EXPLOSIÓN</b>	Extremadamente inflamable. Las mezclas gas/aire son explosivas.	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar. Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión. Evitar la generación de cargas electrostáticas (p. ej., mediante conexión a tierra). Utilícense herramientas manuales no generadoras de chispas.	Cortar el suministro; si no es posible y no existe riesgo para el entorno próximo, dejar que el incendio se extinga por sí mismo; en otros casos apagar con agua pulverizada. En caso de incendio: mantener fría la botella rociando con agua. Combatir el incendio desde un lugar protegido.

	SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS
<b>Inhalación</b>	Somnolencia. Pérdida del conocimiento.	Usar ventilación.	Aire limpio, reposo. Puede ser necesaria respiración artificial. Proporcionar asistencia médica.
<b>Piel</b>			
<b>Ojos</b>			
<b>Ingestión</b>			

DERRAMES Y FUGAS	CLASIFICACIÓN Y ETIQUETADO
¡Evacuar la zona de peligro! Ventilar. Eliminar toda fuente de ignición. Cortar el gas si es posible. Protección personal: traje de protección química, incluyendo equipo autónomo de respiración.	<b>Conforme a los criterios del GHS de la ONU</b>  <b>Transporte</b> <b>Clasificación ONU</b> Clase de Peligro ONU: 2.1
<b>ALMACENAMIENTO</b>	
A prueba de incendio. Separado de oxidantes fuertes.	
<b>ENVASADO</b>	



Organización  
Internacional  
del Trabajo



Organización  
Mundial de la Salud

La información original ha sido preparada en inglés por un grupo internacional de expertos en nombre de la OIT y la OMS, con la asistencia financiera de la Comisión Europea.  
© OIT y OMS 2018



European  
Commission

10/5/22 18:19

ICSC 0475 - ETILENO, PURO

<b>ETILENO, PURO</b>		<b>ICSC: 0475</b>
<b>INFORMACIÓN FÍSICO-QUÍMICA</b>		
<p><b>Estado físico; aspecto</b> GAS INCOLORO COMPRIMIDO DE OLOR CARACTERÍSTICO.</p> <p><b>Peligros físicos</b> El gas es más ligero que el aire. Como resultado del flujo, agitación, etc., se pueden generar cargas electrostáticas.</p> <p><b>Peligros químicos</b> La sustancia puede polimerizar para formar compuestos aromáticos bajo la influencia de temperaturas por encima de 600°C. Reacciona con oxidantes fuertes. Esto genera peligro de incendio y explosión.</p>	<p>Fórmula: C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> / CH<sub>2</sub>=CH<sub>2</sub> Masa molecular: 28.0 Punto de ebullición: -104°C Punto de fusión: -169.2°C Solubilidad en agua: ninguna Presión de vapor, kPa a 15°C: 8100 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 0.98 Punto de inflamación: gas inflamable Temperatura de autoignición: 490°C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 2.7-36.0</p>	
<b>EXPOSICIÓN Y EFECTOS SOBRE LA SALUD</b>		
<p><b>Vías de exposición</b> La sustancia se puede absorber por inhalación.</p> <p><b>Efectos de exposición de corta duración</b> La exposición podría causar disminución del estado de alerta.</p>	<p><b>Riesgo de inhalación</b> Al producirse pérdidas en zonas confinadas, esta sustancia puede originar asfixia por disminución del contenido de oxígeno en el aire.</p> <p><b>Efectos de exposición prolongada o repetida</b></p>	
<b>LÍMITES DE EXPOSICIÓN LABORAL</b>		
<p>TLV: 200 ppm como TWA; A4 (no clasificado como cancerígeno humano). MAK: cancerígeno: categoría 3B</p>		
<b>MEDIO AMBIENTE</b>		
<p align="center"><b>NOTAS</b></p> <p>Altas concentraciones en el aire producen una deficiencia de oxígeno con riesgo de pérdida de conocimiento o muerte. Comprobar el contenido de oxígeno antes de entrar en la zona.</p>		
<b>INFORMACIÓN ADICIONAL</b>		
<p>- Límites de exposición profesional (INSHT 2012): VLA-ED: 200 ppm - Nº de índice (clasificación y etiquetado armonizados conforme al Reglamento CLP de la UE): 601-010-00-3 - <b>Clasificación UE</b> Pictograma: F+; R: 12-67; S: (2)-9-16-33-46</p>		
		<p>La calidad y exactitud de la traducción o el posible uso que se haga de esta información no es responsabilidad de la OIT, la OMS ni la Comisión Europea. © Versión en español, INSST, 2018</p>




10/5/22 18:19

ICSC 0347 - ACETATO DE VINILO (MONÓMERO)

<b>ACETATO DE VINILO (MONÓMERO)</b> 1-Acetoxietileno Éster vinílico del ácido acético Éster etenílico del ácido acético <b>CAS: 108-05-4</b> <b>Nº ONU: 1301</b> <b>CE: 203-545-4</b>	<b>ICSC: 0347 (Abril 2014)</b>
---	--------------------------------

	PELIGROS	PREVENCIÓN	LUCHA CONTRA INCENDIOS
<b>INCENDIO Y EXPLOSIÓN</b>	Altamente inflamable. Las mezclas vapor/aire son explosivas. El calentamiento intenso puede producir aumento de la presión con riesgo de estallido.	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar. Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión. NO utilizar aire comprimido para llenar, vaciar o manipular.	Usar espuma resistente al alcohol, espuma, polvo, dióxido de carbono, agua nebulizada. En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.

¡EVITAR TODO CONTACTO!			
	SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS
<b>Inhalación</b>	Dolor de garganta. Tos. Jadeo.	Usar ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Posición de semiincorporado. Proporcionar asistencia médica.
<b>Piel</b>	Enrojecimiento. Piel seca.	Guantes de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar la piel con agua abundante o ducharse. Buscar asistencia médica si se siente mal.
<b>Ojos</b>	Enrojecimiento.	Utilizar gafas de protección de montura integral o protección ocular en combinación con protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
<b>Ingestión</b>		No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. Dar a beber uno o dos vasos de agua. Proporcionar asistencia médica.

DERRAMES Y FUGAS	CLASIFICACIÓN Y ETIQUETADO
Eliminar toda fuente de ignición. ¡Evacuar la zona de peligro! ¡Consultar a un experto! Protección personal: equipo autónomo de respiración. NO verterlo en el alcantarillado. NO permitir que este producto químico se incorpore al ambiente. Recoger, en la medida de lo posible, el líquido que se derrama y el ya derramado en recipientes precintables. Absorber el líquido residual en arena o absorbente inerte. A continuación, almacenar y eliminar el residuo conforme a la normativa local.	Conforme a los criterios del GHS de la ONU  <b>PELIGRO</b>
<b>ALMACENAMIENTO</b> A prueba de incendio. Separado de oxidantes fuertes, ácidos y bases. Mantener en la oscuridad. Bien cerrado. Almacenar solamente si está estabilizado. Almacenar en un área sin acceso a desagües o alcantarillas.	Líquido y vapores muy inflamables Tóxico si se inhala Puede ser nocivo en caso de ingestión o en contacto con la piel Susceptible de provocar cáncer Puede irritar las vías respiratorias Nocivo para los organismos acuáticos
<b>ENVASADO</b>	<b>Transporte</b> <b>Clasificación ONU</b> Clase de Peligro ONU: 3; Grupo de Embalaje/Envase ONU: II
	
La información original ha sido preparada en inglés por un grupo internacional de expertos en nombre de la OIT y la OMS, con la asistencia financiera de la Comisión Europea. © OIT y OMS 2018	

10/5/22 18:19

ICSC 0347 - ACETATO DE VINILO (MONÓMERO)

ACETATO DE VINILO (MONÓMERO)		ICSC: 0347
<b>INFORMACIÓN FÍSICO-QUÍMICA</b>		
<p><b>Estado físico; aspecto</b> LÍQUIDO INCOLORO DE OLOR CARACTERÍSTICO.</p> <p><b>Peligros físicos</b> El vapor es más denso que el aire y puede extenderse a ras del suelo; posible ignición en punto distante. Los vapores no están inhibidos y pueden polimerizar y bloquear los venteos.</p> <p><b>Peligros químicos</b> La sustancia polimeriza bajo la influencia del calor y la luz. Esto genera peligro de incendio o explosión. Reacciona violentamente con oxidantes fuertes, ácidos y bases.</p>	<p>Fórmula: <math>C_4H_6O_2</math> / <math>CH_3COOCH=CH_2</math></p> <p>Masa molecular: 86.1</p> <p>Punto de ebullición: 72.7°C</p> <p>Punto de fusión: -93.2°C</p> <p>Densidad relativa (agua = 1): 0.93</p> <p>Solubilidad en agua, g/100ml a 20°C: 2 (escasa)</p> <p>Presión de vapor, kPa a 20°C: 11.7</p> <p>Densidad relativa de vapor (aire = 1): 3.0</p> <p>Punto de inflamación: -8°C c.c.</p> <p>Temperatura de autoignición: 385°C</p> <p>Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 2.6-13.4</p> <p>Coefficiente de reparto octanol/agua como log Pow: 0.73</p>	
<b>EXPOSICIÓN Y EFECTOS SOBRE LA SALUD</b>		
<p><b>Vías de exposición</b> La sustancia se puede absorber por inhalación, a través de la piel y por ingestión.</p> <p><b>Efectos de exposición de corta duración</b> La sustancia irrita el tracto respiratorio. La sustancia irrita levemente los ojos y la piel.</p>	<p><b>Riesgo de inhalación</b> Por evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar bastante rápidamente una concentración nociva en el aire.</p> <p><b>Efectos de exposición prolongada o repetida</b> El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir sequedad y agrietamiento. Esta sustancia es posiblemente carcinógena para los seres humanos.</p>	
<b>LÍMITES DE EXPOSICIÓN LABORAL</b>		
<p>TLV: 10 ppm como TWA; 15 ppm como STEL; A3 (cancerígeno animal). EU-OEL: : 17.6 mg/m<sup>3</sup>, 5 ppm como TWA; 35.2 mg/m<sup>3</sup>, 10 ppm como STEL. MAK: 36 mg/m<sup>3</sup>, 10 ppm; categoría de limitación de pico: I(1); absorción dérmica (H); riesgo para el embarazo: grupo C; cancerígeno: categoría 4</p>		
<b>MEDIO AMBIENTE</b>		
La sustancia es nociva para los organismos acuáticos.		
<b>NOTAS</b>		
<p>La adición de estabilizantes o inhibidores puede influir sobre las propiedades toxicológicas de esta sustancia; consultar a un experto.</p> <p>Las propiedades estabilizadoras de la hidroquinona se limitan a 60 días.</p> <p>Para almacenamientos prolongados se recomiendan otros inhibidores, tales como la difenilamina.</p> <p>NO llevar a casa la ropa de trabajo.</p>		
<b>INFORMACIÓN ADICIONAL</b>		
<p>- Límites de exposición profesional (INSHT 2014): VLA-ED: 5 ppm; 17,6 mg/m<sup>3</sup> VLA-EC: 10 ppm; 35,2 mg/m<sup>3</sup></p> <p>- N° de índice (clasificación y etiquetado armonizados conforme al Reglamento CLP de la UE): 607-023-00-0</p> <p>- <b>Clasificación UE</b> Pictograma: F; R: 11; S: (2)-16-23-29-33</p>		
		<p>La calidad y exactitud de la traducción o el posible uso que se haga de esta información no es responsabilidad de la OIT, la OMS ni la Comisión Europea. © Versión en español, INSST, 2018</p> 