



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI



TREBALL DE FI DE GRAU

Optimització energètica d'un cracker d'EDC

Identificador: TFGEQ_2510

Membres: Nadir Belbachir Harrat

Ivan Hernández Llerena

Celia Román Iglesias

Tutor: Manuel Tierno García

9 de juny de 2025

Departament d'Enginyeria Química. Universitat Rovira i Virgili.	
Vist i plau pel lliurament i defensa del TFG del grau d'Enginyeria Química.	
TÍTOL DEL TFGEQ: <u>Optimització Energètica d'un Cracker d'EDC (TFGEQ_2510)</u>	
SUBTÍTOL	
AUTOR: <u>Ivan Hernández Llerena, Celia Román Iglesias i Nadir Belbachir Harrat</u>	
CURS ACADÈMIC: <u>2024-25</u>	
VIST I PLAU DEL TUTOR ACADÈMIC	
En/Na <u>Manuel Tierno García</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: MANUEL TIERNO GARCIA - DNI 30503619F	Firmado digitalmente por MANUEL TIERNO GARCIA - DNI 30503619F Fecha: 2025.06.08 19:08:45 +02'00'
Data: 08/06/2025	
DECLARACIÓ D'ABSÈNCIA DE CONFLICTES DE CONFIDENCIALITAT	
En/Na <u>Manuel Tierno García</u>, en la seva capacitat de supervisor extern(*) del treball fa constar que ha revisat el contingut del TFGEQ i que no conté cap informació que pugui ser considerada com confidencial per part de l'empresa <u>ERCROS, S.A.</u>	
(*) Cas que el TFGEQ no sigui extern serà el professor tutor qui emplenarà aquesta secció	
Signatura: MANUEL TIERNO GARCIA - DNI 30503619F	Firmado digitalmente por MANUEL TIERNO GARCIA - DNI 30503619F Fecha: 2025.06.08 19:09:10 +02'00'
Data: 08/06/2025	

RESUM EXECUTIU

El procés de craqueig tèrmic de l'EDC requereix processos d'escalfament, per assolir les temperatures de reacció òptimes, i de refredament posterior per a poder garantir el funcionament correcte de les operacions posteriors de separació i purificació del clorur de vinil produït.

En l'actualitat, tota la calor subministrada al corrent d'EDC pur, es transfereix en bescanviadors que funcionen amb vapor. Addicionalment, per tal d'assolir la temperatura de reacció als crackers, s'utilitzen cremadors de gas natural i hidrogen que puguen la temperatura fins a 400-500°C.

Una vegada produïda la reacció de craqueig d'EDC per a produir VCM i HCl, aquest corrent de reacció ha de ser refredat per tal d'assolir les condicions necessàries per a la seva separació de components i purificació d'aquests. Això es realitza en un *quencher* i una bateria d'aerorefrigerants, dissipant aquesta calor a l'aigua i l'atmosfera.

La recuperació d'energia del procés mencionat pot permetre reduir en grans quantitats l'energia tèrmica actualment utilitzada i obtenir un estalvi important en el consum de gas natural fet servir a les calderes de vapor.

El present projecte té com a objectiu optimitzar energèticament l'àrea de craqueig d'EDC i es basa en un nou disseny del sistema de bescanviadors encarregats d'escalfar el corrent d'alimentació de 71 t/h d'EDC pur i de refredar 135 t/h d'una mescla de VCM, EDC i HCl, estalviant vapor quan la planta es troba en estat estacionari.

Aquest estalvi de vapor i gas natural, es tradueix en una reducció important d'un combustible fòssil i de la seva emissió de CO₂ en les calderes i, en conseqüència, un estalvi econòmic important.

La planta a optimitzar és la planta de VCM d'Ercros Vila-seca II, ubicada al Polígon Químic Sud de Tarragona.

La producció actual de la planta és de 200,000 t/any, que es mantindrà constant, ja que l'optimització energètica no afectarà aquesta producció anual.

L'1,2-dicloroetà (EDC) s'utilitza en un 90% en la producció de clorur de vinil (VCM). També es fa servir com a dissolvent per a composts orgànics i com a compost intermedi en la fabricació d'altres substàncies clorades.

El clorur de vinil (VCM) és el producte final de la planta. Aquest s'usa com a monòmer per a la fabricació de PVC a una altra instal·lació situada a la mateixa fàbrica. La planta de PVC aprofitarà part d'aquesta calor recuperada, en forma d'aigua calenta (que ara s'escalfa amb vapor) que s'escalfarà amb la calor del corrent de sortida del cap de la columna.

PROJECT ABSTRACT

The thermal cracking process of EDC requires heating operations to reach the optimal reaction temperatures, followed by cooling to guarantee the proper functioning of the subsequent separation and purification operations of the produced vinyl chloride.

Nowadays, all the heat supplied to the pure EDC stream is transferred through heat exchangers that operate with steam. Additionally, to reach the reaction temperature in the crackers, natural gas and hydrogen burners are used to raise the temperature to 400-500°C.

Once the EDC cracking reaction has taken place to produce VCM and HCl, this reaction stream must be cooled to achieve the necessary conditions for the separation of components and their purification. This is done in a Quencher and a battery of air coolers, which dissipate the heat to the water and atmosphere.

The energy recovery from the mentioned process can allow a significant reduction in the thermal energy currently used and lead to significant savings in the natural gas consumption of the steam boilers.

The present project aims to optimize the energy efficiency of the EDC cracking area and is based on a new design of the heat exchanger system in charge of heating a 71 t/h feed stream of pure EDC and cooling a 135 t/h mixture of VCM, EDC and HCl, saving steam when the plant is operating under steady-state conditions.

This saving of steam and natural gas translates into a significant reduction in fossil fuel consumption and its CO₂ emission from the boiler and, consequently, a substantial economic savings.

The plant to be optimized is the VCM plant of Ercros Vila Seca II, located in the *Polígon Químic Sud de Tarragona*.

The current production of the plant is 200,000 t/year, which will remain constant, as the energy optimization will not affect the annual production.

1,2-dichloroethane (EDC) is used in 90% of cases for the production of vinyl chloride (VCM). It is also used as a solvent for organic compounds and as an intermediate compound in the manufacture of other chlorinated substances.

Vinyl chloride (VCM) is the final product of the plant. This is used as a monomer for the manufacture of PVC in another facility located at the same plant. The PVC plant will use some of this recovered heat, in the form of hot water (which is now heated by steam) that will be heated by the heat of the column head outlet stream.

ÍNDIX

1. Introducció	10
2. Etapa preliminar.....	11
2.1. Descripció del projecte	11
2.2. Abast del projecte	11
2.3. Estudi bibliogràfic.....	12
2.3.1. Característiques dels productes principals	12
2.3.2. Procés general d'obtenció VCM.....	12
2.3.3. Matèries primeres per a la fabricació de EDC	12
2.3.4. Cloració directa de l'etilè.....	13
2.3.5. Oxiclорació d'etilè	13
2.3.6. Purificació d'EDC.....	13
2.3.7. Craqueig d'EDC	14
2.3.8. Purificació de VCM	14
2.4. Antecedents històrics	15
2.5. Planificació inicial del projecte (Diagrama de Gantt)	15
3. Bases per al desenvolupament del projecte	17
3.1. Bases de disseny	17
3.1.1. Especificacions de l'Alimentació.....	17
3.1.2. Capacitat, Flexibilitat Operativa i Factor de Servei.....	17
3.1.3. Especificacions dels Productes.....	17
3.1.4. Condicions de les matèries primeres i productes en el L.B.....	18
3.1.5. Normes de disseny a aplicar.....	18
3.2. Dades bàsiques per al desenvolupament de l'enginyeria.....	19
3.2.1. Energies ("Utilities") disponibles:	19
3.2.1.1. Vapor d'aigua. Nivells i quantitats	19
3.2.1.2. Condensat: Especificacions de la xarxa.....	19
3.2.1.3. Energia elèctrica: Nivells de Tensió i Aplicacions	19
3.2.1.4. Aigües: Tipus, Usos i Qualitats	20
3.2.1.5. Combustibles: Tipus i Especificacions	21
3.2.1.6. Aire: Especificacions i Aplicacions	21
3.2.1.7. Nitrogen: Especificacions i Aplicacions.....	22
3.2.2. Preus de les Energies	22
3.2.3. Dades de l'Emplaçament ("Site"):	23
3.2.3.1. Climàtics, Pluviomètrics, Sísmics	23
3.2.4. Normes i codis de disseny (oficials):.....	23

3.2.4.1. Recipients.....	23
3.2.4.2. Canonades	23
3.2.4.3. Equips Dinàmics: Bombes, Compressors.....	23
3.2.4.4. Instrumentació	23
3.2.4.5. Materials aïllants.....	24
3.2.4.6. Altres.....	24
3.2.5. Sistema d'unitats.....	24
3.2.6. Codificació de Canonades, Equips, Instruments...	24
3.2.6.1. Codificació d'equips	24
3.2.6.2. Identificació de <i>nozzles</i>	25
3.2.6.3. Identificació de canonades	25
3.2.6.4. Identificació de vàlvules	26
3.2.6.5. Identificació d'instruments	26
3.2.6.6. Identificació de motors elèctrics	26
4. Desenvolupament de l'enginyeria bàsica	27
4.1. Elaboració de diagrames	27
4.1.1. Diagrama de blocs: disseny conceptual	28
4.1.2. Diagrama de simulació	29
4.1.3. Diagrama de flux de procés (PFD)	33
4.1.4. Diagrama de canonades i instruments (P&ID)	41
4.1.5. Diagrama de control de procés (PCD).....	45
4.2. Disseny bàsic	48
4.2.1. Disseny de canonades	48
4.2.1.1. Llistat de canonades.....	49
4.2.2. Disseny de la instrumentació i control.....	52
4.2.2.1. Caracterització de les estratègies de control	52
4.2.2.2. Disseny de les vàlvules de control.....	55
4.2.2.3. Llistat d'instrumentació i vàlvules controladores	58
4.2.2.4. Enclavaments	63
4.3. Disseny d'equips.....	64
4.3.1. Disseny dels bescanviadors de calor.....	64
4.3.1.1. E0138	64
4.3.1.2. E0139	64
4.3.1.3. E0140	65
4.3.1.4. Fulles TEMA	65
4.3.2. Disseny del tanc S0123.....	75

4.3.3. Disseny de la bomba P0148.....	78
4.4. Descripcions.....	82
4.4.1. Descripció funcional del projecte	82
4.4.2. Descripció de la instal·lació.....	83
5. Seguretat en el disseny de les instal·lacions	84
5.1. Seguretat de Processos.....	84
5.1.1. Anàlisi de risc preliminar. Detecció ràpida i fiable del problema	84
5.1.2. Zones ATEX (Atmosfera Explosiva)	96
5.1.3. Protecció d'Equips a Sobrepressions	96
6. Mediambient al disseny de les instal·lacions.....	101
6.1. Identificació i avaluació de les emissions a l'aire, aigua i sol	101
6.2. Identificació i Avaluació dels residus sòlids produïts	101
6.3. Consums d'Energia i de Recursos Naturals	101
6.4. Generació de gasos d'efecte hivernacle.....	102
7. Manteniment de les instal·lacions.....	103
7.1. Tancs d'emmagatzematge.....	103
7.2. Bomba centrífuga.....	103
7.3. Bescanviadors de calor	103
7.4. Canonades	104
7.5. Vàlvules de seguretat	104
8. Estudi econòmic.....	105
8.1. Pressupost d'execució del projecte	105
8.2. Compte de resultats.....	106
8.3. Avaluació global de la inversió	107
8.4. Anàlisi de sensibilitat	108
9. Conclusions.....	110
10. Bibliografia	111
A. ANNEXOS	113
A.1. Desenvolupament de l'enginyeria bàsica.....	113
A.1.1. Diagrama de simulació	113
A.2. Disseny bàsic	118
A.2.1. Disseny de canonades	118
A.2.2. Disseny de les vàlvules de control	121
A.3. Disseny d'equips	122
A.3.1. Disseny del tanc S0123.....	122
A.4. Seguretat en el disseny de les instal·lacions	124

A.4.1. Protecció d'equips a sobrepressions	124
A.5. Estudi econòmic.....	129
A.5.1. Pressupost d'execució del projecte	129
A.5.2. Compte de resultats.....	130




1. INTRODUCCIÓ

Taula 1.1. Identificació del projecte.

Títol	Optimització energètica d'un cracker d'EDC
Identificador	TFGEQ_2510
Tutor	Manuel Tierno García
Localització i data	Tarragona, 9 de juny de 2025
Autors	Nadir Belbachir Harrat
	Ivan Hernandez Llerena
	Celia Román Iglesias

El treball fet per cada membre de l'equip s'identificarà mitjançant un codi de colors que es mostrarà a la cantonada superior dreta de cada fulla. La distribució de colors es pot observar a la taula 1.2.

Taula 1.2. Distribució de colors.

Autor	Color
Nadir Belbachir Harrat	Blau 
Ivan Hernandez Llerena	Vermell 
Celia Román Iglesias	Verd 

2. ETAPA PRELIMINAR

2.1. Descripció del projecte

Aquest projecte té l'objectiu de modificar la instal·lació actual mitjançant la integració energètica en la producció de VCM per tal d'optimitzar el procés.

L'optimització energètica del procés no afectarà la capacitat de producció de la instal·lació, cosa que permet reduir l'ús de vapor i gas natural i, en conseqüència, les emissions de CO₂. Aquesta reducció permet augmentar els beneficis econòmics de l'empresa.

2.2. Abast del projecte

S'ha realitzat una simulació des de l'alimentació d'EDC líquid al cracker fins a la sortida del cap de columna T0100. Aquesta simulació s'ha fet en *Aspen Plus* a partir de les dades reals obtingues a la planta d'Ercros per a entendre el procés, obtindrà les dades d'energia i així, identificar els punts i equips on es podria fer una optimització.

S'han dissenyat els bescanviadors (E0138, E0139 i E0140) encarregats d'aprofitar l'energia del procés i, mitjançant l'*Aspen EDR*, s'han creat les fulles d'especificacions dels equips, s'han obtingut les dades d'energia estalviada i la viabilitat del projecte.

S'inclou una memòria de càlcul del balanç de matèria i energia, incloent-hi diagrames de flux i de control, i també plànols i fulls d'especificacions dels equips dissenyats.

S'ha redimensionat el tanc de separació *flash* (S0123) per a augmentar el temps de reserva de producte per a garantir un flux constant a una altra part del procés durant 15 minuts. En conseqüència, també s'ha redimensionat la bomba P0148 que controla el nivell del tanc i envia el producte líquid a diferents zones de la planta.

S'han dissenyat els sistemes de control i la instrumentació dels equips. S'han dimensionat les canonades, les vàlvules de control i les vàlvules PSV del procés. També, s'han proposat estratègies de control per garantir un control automàtic i enclavaments per tal d'assegurar el funcionament segur de la planta.

S'ha fet una anàlisi preliminar de risc i s'han dissenyat sistemes de protecció per a sobrepressions per garantir la seguretat de la instal·lació. A part, també s'ha fet un estudi de les zones ATEX presents en la instal·lació.

S'ha dut a terme un estudi de l'impacte ambiental aplicant la normativa ambiental vigent a causa del CO₂ emès per la combustió de gas natural a les calderes de vapor.

S'ha establert una guia de manteniment dels principals grups d'equips.

Finalment, s'ha fet un estudi econòmic per determinar la rendibilitat econòmica de l'optimització energètica.

No s'ha dut a terme la simulació cinètica del cracker, ja que l'optimització energètica no fa variar la reacció. Tampoc s'han simulat els fluxos interns de la columna T0100.

El límit de bateria són:

- Entrada d'EDC pur des dels tancs d'emmagatzematge.
- Sortida de producte de cap de columna T0100 per l'equip E0137.

2.3. Estudi bibliogràfic

2.3.1. Característiques dels productes principals

L'1,2-Dicloroetà és un líquid inflamable i incolor obtingut per l'addició de clor sobre etilè. Aquesta substància s'empra per a produir VCM, però també s'usa com a intermedi de dissolvents clorats, eliminador de pintures, desgreixant i vernissos.

El clorur de vinil és un monòmer és fase gas incolor, inflamable i tòxic que s'utilitza com a matèria primera per a fabricar PVC, que és un dels plàstics més usats en l'actualitat.

2.3.2. Procés general d'obtenció VCM

L'alimentació del procés està constituïda per clor, etilè i aire, i el producte valuós de sortida és el VCM.

Actualment, el clorur de vinil monòmer és obtingut a partir de la cloració directa de l'etilè i de l'oxiclорació d'etilè amb clorur d'hidrogen i oxigen, seguit de la piròlisi o *cracking* de l'1,2-dicloroetà (EDC). Una part de l'etilè i el clor gas són alimentats al reactor de cloració directa, mentre que l'altra part de l'etilè reacciona al reactor d'oxiclорació juntament amb el HCl reciclat de la piròlisi de l'EDC i l'oxigen.

El procediment esmentat es pot dividir en 5 etapes (ref.1):

- Cloració directa de l'etilè
- Oxiclорació
- Purificació de l'EDC
- Craqueig d'EDC
- Purificació del VCM

Les etapes mencionades es representen al següent diagrama:

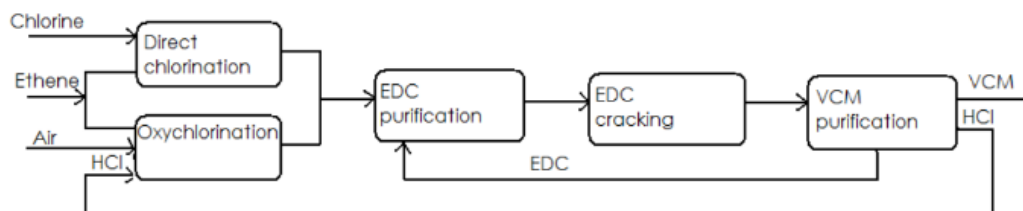


Figura 2.3.2.1. Representació gràfica planta VCM.

2.3.3. Matèries primeres per a la fabricació de EDC

Les matèries primeres utilitzades per a la fabricació de l'EDC són el clor i l'etilè. En les unitats amb oxiclорació també està present l'oxigen com a matèria primera.

L'etilè procedeix normalment d'un *cracker* amb vapor.

El clor gas ha de ser sec i lliure d'inerts (O_2 , N_2 i CO_2). En cas contrari és necessària una líquüefacció i reevaporació posterior del clor per a la reducció del seu contingut en inerts.

L'oxigen pot ser utilitzat directament o bé pot ser reemplaçat per aire; en aquest cas el contingut en nitrogen augmenta considerablement el volum de gasos residuals a tractar.

2.3.4. Cloració directa de l'etilè

El primer pas del procés és la següent reacció:

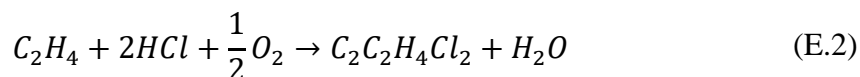


La cloració directa de l'etilè per a obtenir dicloroetà consisteix en una reacció exotèrmica entre el clor i l'etilè en fase gasosa que utilitza la fase líquida del dicloroetà com a mitjà de reacció. Les condicions d'operació varien entre 50 °C i 150 °C de temperatura i d'1 bar a 5 bar de pressió absoluta. La reacció pot tenir lloc amb excés d'etilè o de clor i com a catalitzador s'usen clorurs metàl·lics (normalment clorur fèrric).

Els productes resultants de la reacció són: 99% dicloroetà i menys de l'1% d'altres subproductes com clorur d'etilè i 1,1,2-tricloroetà. La formació d'aquests subproductes es pot reduir fent servir certs inhibidors.

2.3.5. Oxicloració d'etilè

Durant l'etapa d'oxicloració, es duu a terme la següent reacció:



Aquest procés obté un dicloroetà de menor riquesa, però té el gran avantatge que s'obté a partir de clorur d'hidrogen reciclat, coproduït en l'obtenció de clorur de vinil. En el procés d'oxicloració, el clorur d'hidrogen, l'etilè i l'oxigen reaccionen en fase gasosa a una temperatura de 220 °C a 250 °C i a una pressió relativa de 2 bar a 6 bar, i s'obté dicloroetà i vapor d'aigua.

La reacció, catalitzada per clorur de coure (II), és exotèrmica i la calor de reacció és recuperat per intercanvi tèrmic produint-se vapor, que optimitza el rendiment energètic de la planta. La reacció pot realitzar-se en llit fix o en llit fluid. En llit fluid la temperatura en el reactor és més uniforme i les condicions de treball (pressió i temperatura) són més baixes. El correcte control de la temperatura és fonamental per a minimitzar la formació de subproductes no desitjats.

La quantitat d'impureses que es generen en el procés d'oxicloració és molt major que en el de cloració directa. D'entre elles, la formació de tricloroetilè no és desitjada perquè la seva eliminació en la destil·lació és molt complicada, ja que formen un azeòtrop de baix punt d'ebullició.

2.3.6. Purificació d'EDC

El dicloroetà a depurar prové de les següents fonts: procés de cloració directa, procés d'oxicloració i reciclat de la producció de clorur de vinil (dicloroetà no transformat en el procés de piròlisis).

El procés de purificació compren les següents etapes:

- Rentat amb aigua i sosa càustica per a absorbir les traces de clorur d'hidrogen, clor, catalitzador i orgànics solubles en aigua.
- Assecat de l'azeòtrop i destil·lació dels compostos lleugers (productes amb punt d'ebullició inferior al dicloroetà) com ara cloroform, clorur d'etil i tetraclorur de carboni.

- Destil·lació dels compostos pesats (productes amb punt d'ebullició superior al dicloroetà).
- El dicloroetà pur i sec és extret de la part superior de la columna de destil·lació.
- Tractament per destil·lació dels lleugers i dels pesats per a recuperar més dicloroetà i separar aigua dels lleugers.
- Reacció de cloració per a convertir en pesats aquells lleugers que no se separen del dicloroetà per destil·lació.
- Tractament dels venteigs de gasos abans de la seva emissió a l'atmosfera per oxidació tèrmica.

2.3.7. Craqueig d'EDC

En aquesta etapa es troben les modificacions per a estalviar energia. L'EDC pur entra en un reactor de craqueig on es descompon la molècula d'EDC en HCl i VCM seguint la següent reacció:



La producció de clorur de vinil a partir de dicloroetà es realitza per la piròlisi o *cracking* d'aquest a temperatures d'entre 480 °C i 550 °C i a pressions des de 3 a 30 bar, seguit d'un refredament brusc del flux de gasos amb l'objectiu de minimitzar la formació de quitrans i pesats.

El dicloroetà es descompon en clorur de vinil i clorur d'hidrogen per mitjà d'un complex mecanisme de reacció. La conversió del dicloroetà varia entre 50-65% i el dicloroetà no transformat és retornat al procés de purificació. La puresa del dicloroetà (99.5%) que alimenta la piròlisi té un impacte molt important per a reduir la formació d'impureses i *coke*, i la humitat ha de ser menyspreable per a evitar problemes de corrosió.

El dispositiu de reacció consisteix en un forn amb un llarg feix tubular en el seu interior on es produeixen les reaccions. La primera part es troba en la zona de convecció, on es preescalfen els reactius fins a la temperatura on la velocitat de reacció de piròlisi és significativa. La segona part, on transcorre la reacció, es troba en la zona de radiació. Les emissions d'aquest procés són únicament els gasos de la combustió del gas natural en el forn de piròlisi.

2.3.8. Purificació de VCM

Després que es realitzi el craqueig del dicloroetà, el clorur d'hidrogen, el clorur de vinil i el dicloroetà no transformat són separats per destil·lació en dues etapes.

En la primera etapa se separa el clorur d'hidrogen que, després d'una hidrogenació (opcional) per a eliminar les traces d'acetilè, és reciclat com a matèria primera al procés d'oxiclорació, la qual cosa redueix la formació de subproductes no desitjats. La major part dels subproductes volàtils són extrets amb el clorur d'hidrogen i tornen a l'oxiclорació.

En la segona etapa se separa el clorur de vinil del dicloroetà que és reciclat. El clorur de vinil líquid és enviat als dipòsits d'emmagatzematge.

2.4. Antecedents històrics

El 1838 Regnault va produir clorur de vinil (VCM) fent reaccionar dicloroetà (EDC) amb una solució alcohòlica d'hidròxid de potassi. A través de l'exposició directa del monòmer a la llum solar aquest va polimeritzar i va obtenir accidentalment el policlorur de vinil. Regnault no sabia que la pols blanca que hi havia al vas de precipitats era el polímer del líquid que hi havia al començament i va ignorar el seu descobriment.

El 1872 Eugene Baumann a Alemanya va fer el mateix descobriment adonant-se que el producte blanc obtingut no era afectat pels solvents ni pels àcids. El clorur de vinil sorgia de la reacció d'acetilè amb àcid clorhídric. A finals del segle XIX ambdues matèries primeres es produïen en grans quantitats; l'acetilè per a les làmpades i l'àcid clorhídric perquè s'obtenia de la indústria del clor.

La fabricació del VCM va començar, a escala industrial, en la dècada dels 30 mitjançant la reacció de l'àcid clorhídric amb acetilè. Segons va créixer la demanda de VCM i donada la gran disponibilitat d'etilè des del principi dels anys 50, van aparèixer nous processos de fabricació basats en etilè i clor. No obstant això, al principi la indústria no va tenir un gran creixement perquè el craqueig de EDC produeix àcid clorhídric com a subproducte, el qual no tenia tanta sortida comercial. A la fi dels anys 50, el desenvolupament de l'oxiclорació va solucionar el problema de l'àcid clorhídric permetent una expansió de la indústria de VCM.

La divisió de derivats del clor de ERCROS[2] és el líder espanyol en la producció de VCM i PVC i les seves instal·lacions integren tota la cadena de producció d'aquest. A la fàbrica de Vila-seca I s'obtenen clor i sosa a través del clorur de sodi mitjançant electricitat.

Aquest clor s'utilitza a la fàbrica de Vila-seca II on l'activitat és la producció de policlorur de vinil (PVC).

ERCROS és el primer productor espanyol d'aquest material i les seves instal·lacions integren tota la seva cadena de producció, inclosa l'elaboració de les matèries primeres que intervenen en la seva fabricació com el clorur de vinil monòmer (VCM) i el dicloroetà (EDC).

La planta de VCM té una capacitat de 200,000 tones anuals consumint al voltant de 120,000 tones anuals de clor.

El 1969 es va iniciar l'activitat de la fàbrica de Vila-seca II amb la posada en marxa de la planta de cloració directa.

El 1976 va començar el funcionament de les instal·lacions de PVC i un any després la planta del monòmer VCM.

El 1989 es va ampliar la capacitat de producció amb un tercer polimeritzador i una línia d'assecat. A l'any següent es va posar en marxa una planta de cogeneració de vapor i energia elèctrica que va permetre millorar la posició competitiva del centre.

El 2002 es va posar en marxa un quart reactor i una nova línia d'assecatge i l'any 2009 es va ampliar la capacitat de producció un 50%.

2.5. Planificació inicial del projecte (Diagrama de Gantt)

La planificació inicial del projecte mitjançant un diagrama de Gantt ha permès estructurar de manera clara i concisa les diferents tasques a realitzar del projecte. Les tasques s'han distribuït al llarg del temps per tal d'establir els terminis i gestionar de forma eficient el temps.

Mitjançant el diagrama, s'ha pogut controlar l'evolució del projecte i ajustar, de ser necessari, els recursos i el temps de les tasques per adherir-se al calendari previst.

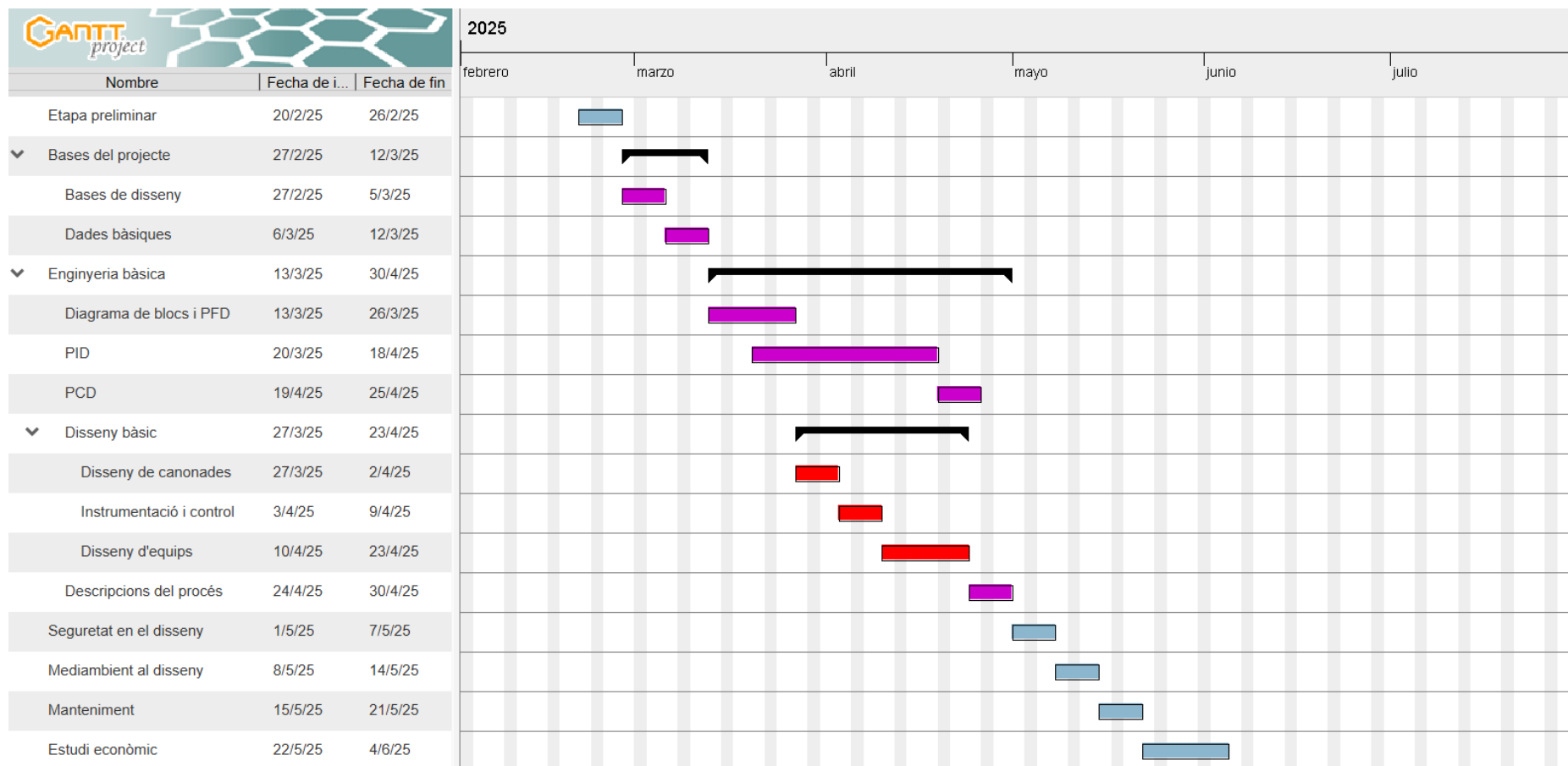


Figura 2.5.1. Diagrama de Gantt del projecte.

3. BASES PER AL DESENVOLUPAMENT DEL PROJECTE

3.1. Bases de disseny

3.1.1. Especificacions de l'Alimentació.

El *cracker* d'EDC té un únic corrent d'alimentació que prové d'un tanc que emmagatzema EDC d'alta puresa. Aquest tanc rep l'EDC després de passar per diversos equips, llavors les especificacions d'aquest corrent poden variar. D'aquesta manera, s'ha seleccionat la mitjana de composicions anuals, quedant absorbides possibles fluctuacions. També s'han exclòs les substàncies que tinguin una composició inferior al 0.01% en pes del total del corrent d'alimentació.

Taula 3.1.1.1. Percentatge en pes dels components a l'alimentació.

Component	Composició màssica (%)
1.2-Dicloroetà	99.536
1.1.2-Tricloroetilè	0.166
Cloroform	0.122
Tetraclorur de carboni	0.090
Dicloroetilè	0.027
Pesats	0.025
Tetracloroetilè	0.024
1.1.2-Tricloroetà	0.010

Com es pot observar, la puresa del corrent d'EDC és del 99.536%.

3.1.2. Capacitat, Flexibilitat Operativa i Factor de Servei.

La instal·lació dissenyada té una capacitat màxima de recuperació de calor de 87,928 MWh/any, considerant un factor de servei de 8,000 hores a l'any (suposant un més d'aturada del *cracker*) i amb una producció a la planta de VCM igual a la seva capacitat de disseny de 200,000 t/any.

Com que la capacitat mitjana demostrada de la planta és de 150,000 t/any, s'ha aplicat un factor de correcció de 0.75.

Treballant en aquest escenari, la recuperació de calor seria de 65,946 MWh/any, valor que s'ha considerat als càlculs de l'estudi econòmic.

La flexibilitat operativa és màxima, ja que permet recuperar la calor produïda en funció de la càrrega operativa de la planta. D'aquesta manera, s'han dissenyat els equips per a recuperar una calor compresa entre 0 i 87,928 MWh/any.

3.1.3. Especificacions dels Productes.

El corrent de sortida del procés, el nostre límit de bateria, correspon a la sortida del bescanviador de calor E0138. Aquest corrent prové anteriorment del cap de la columna de destil·lació T100, encarregada de separar els components lleugers dels pesats provinents del *cracker*.

La composició seleccionada és la mitjana anual i els components seleccionats són els mateixos que els mencionats a l'apartat 3.1.1, excepte si el valor de la composició màssica és inferior al 0.01%.

Taula 3.1.3.1. Composició massica del corrent de sortida.

Component	Composició massica (%)
1.2-Dicloroetà	45.840
Àcid Clorhídric	19.909
Cloroform	0.057
Clorur de Vinil	34.046
Dicloroetilè	0.069
Acetilè	0.023
1.1.2-Tricloroetà	0.057

3.1.4. Condicions de les matèries primeres i productes en el L.B.

Els corrents de l'alimentació i de sortida del procés en una planta contínua requereixen tenir uns paràmetres de temperatura, pressió i cabal constant. D'aquesta manera, es garanteix que no hi hagi canvis que alterin les condicions d'operació òptimes dels equips principals, per a mantenir la composició final constant i per a millor els consums d'energia.

Les característiques dels corrents d'entrada i sortida del procés queden recollits a la taula 3.1.4.1.

Taula 3.1.4.1. Paràmetres corrent d'entrada i sortida.

Paràmetre	Alimentació	Producte a purificar
Temperatura (°C)	60.00	20.00
Pressió (barg)	14.71	4.17
Cabal (kg/h)	71,167	70,195

3.1.5. Normes de disseny a aplicar.

Pel càlcul de la temperatura de disseny s'emprarà el següent criteri:

- La temperatura de disseny serà igual a la temperatura d'operació màxima més 15 °C. Si la suma és inferior a 60 °C, s'utilitzarà com a temperatura de disseny 60 °C.

Pel càlcul de la pressió de disseny:

- Quan la pressió d'operació màxima sigui menor o igual a 10 barg, la pressió de disseny serà igual a la pressió màxima operativa més 1 barg.
- Quan la pressió d'operació màxima sigui superior a 10 barg, la pressió de disseny serà igual al 110% de la pressió màxima operativa.
- En equips que disposin de vàlvula de seguretat o disc de ruptura, la pressió de disseny serà igual a la pressió d'obertura d'aquests elements.
- Per equips que puguin treballar a buit, la pressió de disseny serà igual al buit absolut.

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

Taula 3.2.1.1.1. Nivells de vapor disponibles.

Nivells de vapor	Pressió (barg)	Qualitat
Vapor d'alta pressió (HS)	29	Saturat
Vapor de mitja pressió (MS)	12	Saturat
Vapor de baixa pressió (LS1)	8	Saturat
Vapor de baixa pressió (LS2)	2.0 – 2.4	Saturat

3.2.1.2. Condensat: Especificacions de la xarxa

Taula 3.2.1.2.1. Nivells de condensat disponibles.

Nivells de vapor	Pressió màxima (barg)
Condensat d'alta pressió (CH)	29
Condensat de mitja pressió (CM)	12
Condensat de baixa pressió (CL1)	8
Condensat de baixa pressió (CL2)	2.4

3.2.1.3. Energia elèctrica: Nivells de Tensió i Aplicacions

Taula 3.2.1.3.1. Nivells de tensió.

Nivells de vapor	Voltatge (V)	Freqüència (Hz)	Nº de fases
Motors de potència igual o inferior a 200 kW	380	50	3
Motors de potència superior a 200 kW	600	50	3
Enllumenat	220	-	1

3.2.1.4. Aigües: Tipus, Usos i Qualitats**Taula 3.2.1.4.1.** Aigües i condicions.

Aigües i especificacions	Valors
<ul style="list-style-type: none"> • Aigua de torre (TW) 	
Temperatura d'entrada	27 °C (18 °C a l'hivern)
Temperatura màxima de sortida	37 °C
Pressió d'entrada a cota 0	8 barg màx
Pèrdua de càrrega permesa	0.7 bar
Qualitat	Aigua dèbil amb agents corrosius
PH	7.8 – 8.2
<ul style="list-style-type: none"> • Aigua freda (CHW) 	
Temperatura d'entrada	5 °C
Temperatura màxima de sortida	8° C
Pressió d'entrada a cota 0	5 barg
Qualitat	Aigua desmineralitzada amb additius
<ul style="list-style-type: none"> • Aigua d'addició continua a reactors ACA (CIW) 	
Pressió	18 barg
Temperatura	5° C
Qualitat	Aigua desmineralitzada
<ul style="list-style-type: none"> • Aigua de tancaments (SW) 	
Pressió	15 barg
Temperatura	5° C
Qualitat	Aigua desmineralitzada
<ul style="list-style-type: none"> • Aigua desmineralitzada de procés (PW) 	
Pressió	7.2 barg
Temperatura	45-50° C (màx. = 70°C)
Qualitat	Aigua desmineralitzada
<ul style="list-style-type: none"> • Aigua desmineralitzada de xarxa (ADW1) 	
Pressió	6.9 barg
Temperatura	Ambient
pH	5-6
Clorurs	2.3 ppm
SiO ₂	0.2 ppm
Conductivitat	1.5-20 µ Siemens
Sòlids totals	7.8 ppm
<ul style="list-style-type: none"> • Aigua desmineralitzada a pressió (ADW2) 	
Pressió	7 barg
La resta d'especificacions com ADW1	Aigua desmineralitzada
<ul style="list-style-type: none"> • Aigua crua (CW) 	
Pressió	6 barg
Temperatura	Ambient
Qualitat	Aigua de l'Ebre

Pressió	9 barg
Temperatura	Ambient
Qualitat	Aigua crua
Pressió	4 barg max
Temperatura	10-15 °C

3.2.1.5. Combustibles: Tipus i Especificacions

Taula 3.2.1.5.1. Tipus de combustibles i especificacions.

Combustible i especificacions	Valors								
<ul style="list-style-type: none"> • Gas natural <table style="width: 100%; border: none;"> <tr><td style="width: 80%;">Pressió</td><td style="text-align: right;">2.5 barg</td></tr> <tr><td>Temperatura</td><td style="text-align: right;">>8°C</td></tr> <tr><td>Poder calorífic inferior</td><td style="text-align: right;">10300 kcal/Nm³</td></tr> <tr><td>Qualitat</td><td style="text-align: right;">90.6 % mol metà 7.9 % mol età 0.5 % mol nitrogen</td></tr> </table> 	Pressió	2.5 barg	Temperatura	>8°C	Poder calorífic inferior	10300 kcal/Nm ³	Qualitat	90.6 % mol metà 7.9 % mol età 0.5 % mol nitrogen	
Pressió	2.5 barg								
Temperatura	>8°C								
Poder calorífic inferior	10300 kcal/Nm ³								
Qualitat	90.6 % mol metà 7.9 % mol età 0.5 % mol nitrogen								

3.2.1.6. Aire: Especificacions i Aplicacions

Taula 3.2.1.6.1. Tipus d'aire i especificacions.

Aire i especificacions	Valors																		
<ul style="list-style-type: none"> • Aire d'instruments (IA) <table style="width: 100%; border: none;"> <tr><td style="width: 80%;">Pressió màxima</td><td style="text-align: right;">6 barg</td></tr> <tr><td>Pressió mínima</td><td style="text-align: right;">4 barg</td></tr> <tr><td>Temperatura</td><td style="text-align: right;">35-40 °C</td></tr> <tr><td>Punt de rosada</td><td style="text-align: right;">-10 °C</td></tr> <tr><td>Qualitat</td><td style="text-align: right;">Aire sec</td></tr> </table> • Aire de planta (PA) <table style="width: 100%; border: none;"> <tr><td style="width: 80%;">Pressió màxima</td><td style="text-align: right;">6 barg</td></tr> <tr><td>Pressió mínima</td><td style="text-align: right;">4 barg</td></tr> <tr><td>Temperatura</td><td style="text-align: right;">35-40 °C</td></tr> <tr><td>Qualitat</td><td style="text-align: right;">Aire humit</td></tr> </table> • Aire de respirable (RA) 	Pressió màxima	6 barg	Pressió mínima	4 barg	Temperatura	35-40 °C	Punt de rosada	-10 °C	Qualitat	Aire sec	Pressió màxima	6 barg	Pressió mínima	4 barg	Temperatura	35-40 °C	Qualitat	Aire humit	
Pressió màxima	6 barg																		
Pressió mínima	4 barg																		
Temperatura	35-40 °C																		
Punt de rosada	-10 °C																		
Qualitat	Aire sec																		
Pressió màxima	6 barg																		
Pressió mínima	4 barg																		
Temperatura	35-40 °C																		
Qualitat	Aire humit																		

3.2.1.7. Nitrogen: Especificacions i Aplicacions**Taula 3.2.1.6.1.** Tipus de nitrogen i especificacions.

Aire i especificacions	Valors
• Nitrogen de mitja pressió (MIG)	
Pressió màxima	14 barg
Temperatura	Ambient
Punt de rosada	-40 °C
Puresa	99.99 %
Qualitat	Lliure d'olis
• Nitrogen de baixa pressió (LIG)	
Pressió màxima	8 barg
Temperatura	Ambient
Punt de rosada	-40 °C
Puresa	99.99 %
Qualitat	Lliure d'olis
• Aire de respirable (RA)	
De botelles	

3.2.2. Preus de les Energies**Taula 3.2.1.1.** Energies i preus.

Energia	Preu
Aigua bruta	0.56 €/m ³
Aigua desgasificada	4.50 €/m ³
Aigua desmineralitzada	1.35 €/m ³
Aigua pretactada	0.63 €/m ³
Aigua refrigeració	0.56 €/m ³
Condensat	3.30 €/m ³
Vapor d'alta	27.30 €/t
Vapor de mitja	21.90 €/t
Vapor de baixa	16.30 €/t
Electricitat	0.08 €/kW-h
Aire instrumentació	0.02 €/Nm ³
Nitrogen	0.07 €/Nm ³

3.2.3. Dades de l'Emplacament (“Site”):**3.2.3.1. Climàtics, Pluviomètrics, Sísmics**

- **Dades climàtiques:**

- Pressió baromètrica: 740-780 mm Hg
- Temperatura de l'aire : Màxima 36°C, Mínima -5 °C, Mitjana Anual 16 °C.
- Humitat relativa : 20-98 %.
- Temperatura de disseny per equips elèctrics i instruments: 45°C.
- Vents:
 - Pressió

h < 30 m	P = 100 kg/m ²
h > 30 m	P = 125 kg/m ²
Freqüència > 104 km/h	20 dies/any.
Velocitat màxima	130-140 km/h
Direcció predominant SE a NO i NO a SE (al mateix dia)	
 - Càrrega per nevades 40 kg/m²
- Precipitacions:

Mitja anual	515 l/m ²
Màxim	64 l/m ² h
- Corrosió externa: No existeixen requisits especials (ambient industrial).

- **Dades sísmiques:** MSK grau VI.

3.2.3.2. Elevació i Estructura del Terreny

- Elevació: 23 m sobre el nivell del mar.
- Capacitat de càrrega: 2 kg/cm².

3.2.4. Normes i codis de disseny (oficials):

En aquest apartat es defineixen les normatives pel disseny d'equips.

3.2.4.1. Recipients

Tancs de baixa pressió: API 620.
 Recipients a pressió: ASME VIII div. 1.
 Intercanviadors de calor: TEMA R (si és aplicable)

3.2.4.2. Canonades

ASTM ANSI B31-3

3.2.4.3. Equips Dinàmics: Bombes, Compressors..

DIN o els estàndards del subministrador per bombes especials.

3.2.4.4. Instrumentació

API 550 i ISA.

3.2.4.5. Materials aïllants

- Per temperatures iguals o inferiors a 60°C → No es requereix aïllament excepte en els casos que ho requereixi el procés.
- Per temperatures superiors a 60°C → Com mesura de protecció personal o aïllament per la calor d'acord amb els requisits del procés.
- Per temperatures iguals o inferiors a 12°C → Aïllament per fred.

3.2.4.6. Altres

- **Vàlvules:** DIN.
- **Brides:** DIN.
- **Agitadors:** Estàndards del subministrador.
- **Material elèctric:** CENELEC i Reglament de Baixa Tensió. API 5050 ha de ser utilitzat com principi de classificació d'àrees i selecció d'equips. Classificació de l'àrea: Classe 1, Zona 2.
- **Obra Civil:** DIN i reglaments espanyols.

3.2.5. Sistema d'unitats

Excepte en els casos que s'especifiqui el contrari, es farà servir sistemàticament el Sistema Internacional d'Unitat de Mesura (unitats S.I).

- **Longitud:** mm o m.
- **Volum:** m³.
- **Massa:** kg.
- **Cabal:**
 - Líquids: kg/h, t/h, m³/h.
 - Vapor: kg/h, t/h
 - Gasos: Nm³/h (condicions estàndard 0°C i 1013 mbar gas sec).
- **Temperatura:** Graus Celsius °C.
- **Pressió:** barg, mm columna d'aigua.
- **Viscositat:** cp.
- **Calor:** kcal.
- **Energia:** kWh.
- **Potència:** W, kW.

3.2.6. Codificació de Canonades, Equips, Instruments...

3.2.6.1. Codificació d'equips

Els equips s'identificaran utilitzant el codi següent: **X 0 0 00**

- El primer caràcter alfanumèric farà referència al tipus d'equip segons la taula 3.2.6.1.1.
- El segon dígit correspon a la unitat a la qual pertany l'equip. En el cas que ens ocupa, sempre farà referència a la unitat 0 (Unitat de Fabricació de VCM).
- El tercer caràcter també és de tipus numèric i fa referència a la secció. En aquest cas, sempre farà referència a la secció 1 (zona de cracking).
- Els dígits 4t i 5è fan referència a un número de sèrie consecutiu (vegeu la taula 3.2.6.1.1. que es presenta a continuació).

Taula 3.2.6.1.1. Codificació segons l'equip.

Tipus d'equip	Codi	Nº de sèrie
Agitador	AG	El mateix que el dipòsit
Ventilador/Compressor	C	A partir del 12
Bescanviador de calor	E	A partir del 33
Filtre	F	A partir del 17
<i>Mixer</i>	MZ	A partir del 00
Bomba	P	A partir del 46
Reactor	R	A partir de 04
Columna	T	A partir del 00
Tanc o dipòsit	TK	A partir del 53
Separador	S	A partir del 23
Altres	X	A partir del 00

3.2.6.2. Identificació de nozzles.

El codi dels *nozzles* dels diferents recipients es compon d'una lletra seguida d'un número. La lletra fa referència al servei, mentre que el número distingeix els *nozzles* dedicats al mateix servei. Per exemple: A1, A2 i A3 serien els codis de tres *nozzles* d'un dipòsit dedicades a entrades de procés o serveis.

- A – Entrades de producte (procés o serveis).
- B – Sortides de producte (procés o serveis).
- C – Branques compartides per a diversos serveis.
- E – Venteigs.
- H – Boques d'home i boques de mà.
- J – Preses per a anàlisi (pH).
- L – Sobreexidor.
- N – Indicador, transmissor, controlador o interruptor de nivell.
- P – Indicador, transmissor, controlador o interruptor de pressió.
- R – Vàlvula de seguretat.
- S – Presa de mostra.
- T – Indicador, transmissor, controlador o interruptor de temperatura.
- V – Drenatge.
- W – Suports.
- X – Altres.

3.2.6.3. Identificació de canonades

Les canonades s'identificaran amb el codi següent, compost per sis grups de caràcters (per exemple **100 TW 01 5 02 F42**)

- El primer grup fa referència al diàmetre de la canonada en mm.
- El segon correspon al codi de fluid.
- El tercer grup al número de secció (en aquest cas sempre 01).
- El quart al número de P&ID (en aquest cas de 1 a 3)
- El cinquè és un número de sèrie de la línia (dins del P&ID).
- Finalment, es fa referència al material de la línia.

- En cas que estiguin calorifugades, s'afegirà sota el nom HI (Hot Isolation) o CI (Cold Isolation)

3.2.6.4. Identificació de vàlvules

Es compon de quatre caràcters (per exemple **B W 02 100**)

- El primer fa referència al tipus de vàlvula.
- El segon al tipus de connexió.
- El tercer és un número d'identificació, entre el 01 i el 99.
- L'últim fa referència al diàmetre de la vàlvula en mm.

3.2.6.5. Identificació d'instruments

Es compon també de quatre grups de caràcters (per exemple **TIC 5 0 70**).

- El primer grup indica el codi ISA de l'instrument.
- El segon fa referència a si és un instrument de procés (5) o de serveis (6).
- El tercer al número de P&ID al qual pertany l'instrument (en aquest cas, de l'1 al 3).
- L'últim grup, de dos números, indica un número de sèrie comprès entre el 01 i el 99.

3.2.6.6. Identificació de motors elèctrics

Els motors s'identificaran amb una "M".

4. DESENVOLUPAMENT DE L'ENGINYERIA BÀSICA

4.1. Elaboració de diagrames

4.1.1. Diagrama de blocs: disseny conceptual

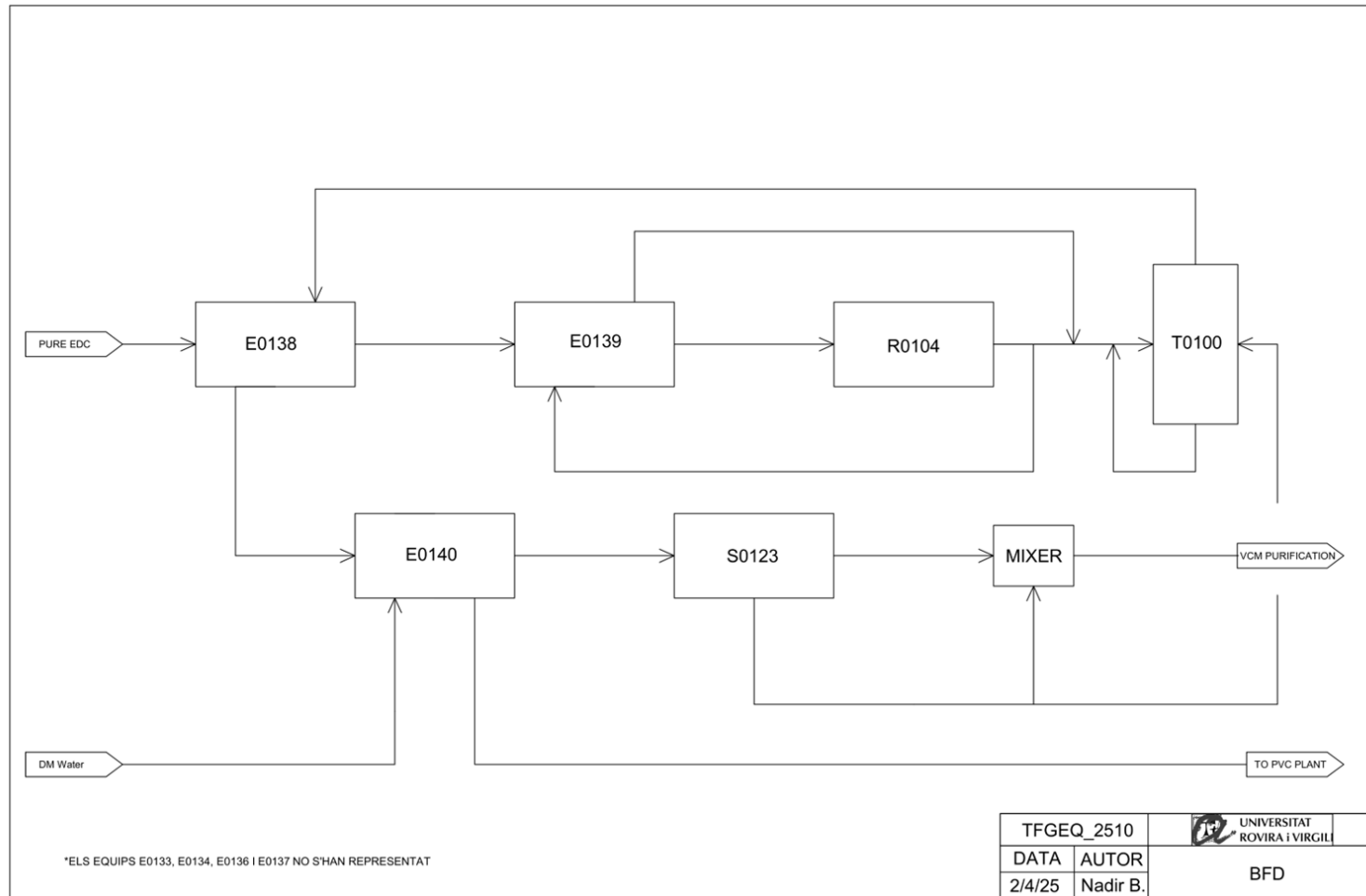


Figura 4.1.1.1. Diagrama de blocs del procés.

4.1.2. Diagrama de simulació

S'han realitzat dues simulacions amb el programa de simulació de procés *Aspen Plus V14*:

- **Simulació 1:** Correspon a la situació actual de la planta i conté tots els equips existents.
- **Simulació 2:** Proposta de modificació que té com a objectiu l'optimització energètica del procés.

El primer pas ha sigut definir tots els compostos que apareixen al procés donats per l'empresa, mitjançant la base de dades de l'aplicació. Una vegada definits els compostos, s'extreuen els de valor del procés (EDC i VCM) i es duu a terme un estudi termodinàmic per a escollir el model que millor s'ajusti a l'equilibri dels dos components. Aquest estudi es troba a l'annex A1.

Una vegada triat el model termodinàmic (*NRTL*), es comença a fer la simulació.

Els primers equips simulats van ser:

- **R0104:** Com que la cinètica del *cracker* quedava fora de l'abast, ja que el projecte no modifica les condicions d'operació d'aquest, es va seleccionar el bloc *Ryield*. Aquest equip actua com a caixa negra, fixant les fraccions màssiques de sortida.
- **T0100:** Per aconseguir una representació rigorosa de la columna de destil·lació amb múltiples plats, s'ha utilitzat el bloc *RadFrac*. S'ha simulat una columna amb condensador i sense *reboiler*, amb 23 plats, i situant l'alimentació al primer plat i el reflux al plat superior.
- **E0133, E0135, E0136, E0137:** Els bescanviadors existents s'han simulat amb el bloc *Heater* per a comprovar la potència tèrmica i el cabal d'entrada dels serveis a cadascun.
- **E0134:** El *kettle* que funciona amb vapor, s'ha estudiat la seva potència tèrmica i el seu cabal de servei a partir del bloc *HeatX*. En aquest bloc, s'ha especificat que utilitzi el model *Shortcut* i que el fluid calent va per carcassa i a contracorrent.
- **PRE-1, PRE-2, PRE-3:** Aquests blocs simulen l'escalfament que es duu a terme amb els gasos calents que provenen de la combustió del gas natural.
- **X0100:** Per a simular el *quench*, s'ha establert a la simulació el bloc *mixer*, ja que l'*Aspen* no conté un bloc amb la funció real d'un quench.
- **Splitter1:** Aquest bloc té la funció de separar en dos el corrent que surt del fons de la columna, ja que l'*Aspen* no permet treure dos corrents pel fons d'aquesta.
- **S0123:** El recipient encarregat de fer l'equilibri per a separar fase gas de la líquida, es simula amb el bloc *Flash2*.
- **Splitter2:** Aquest bloc s'encarrega de dividir en dos el corrent de sortida líquida del *flash*. Un corrent actua de reflux cap a la columna i l'altre corrent que va cap als bescanviadors finals.
- **Mix1:** El *mixer* serveix per ajuntar el que queda del corrent líquid separat al *splitter2* amb la fase gas del S0123.
- **P0146, P0147, P0148:** Les bombes del procés s'han simulat mitjançant el bloc *Pump* establint la pressió de descàrrega.

Una vegada feta la simulació del procés real, s'incorporen els nous equips d'aprofitament de calor:

- **E0138, E0140:** Els nous bescanviadors utilitzen el *HeatX*, que serveix per a fer encreuament de corrents. Als dos s'usa el model *Shortcut* i que l'intercanvi sigui a contracorrent.
- **E0139:** Aquest *kettle* també se simula amb el *HeatX* com l'E0134, però en aquest cas es fa servir un altre corrent del procés i no vapor.

Una vegada incorporats a la simulació, els bescanviadors que funcionaven amb vapor s'han eliminat de la simulació, ja que el projecte consisteix a substituir-los completament pels bescanviadors que creuen corrents. D'aquesta manera, els bescanviadors de vapor només es faran servir a l'arrancada i aturada de la planta perquè quan s'arribi a l'estat estacionari, només funcionaran els nous equips.

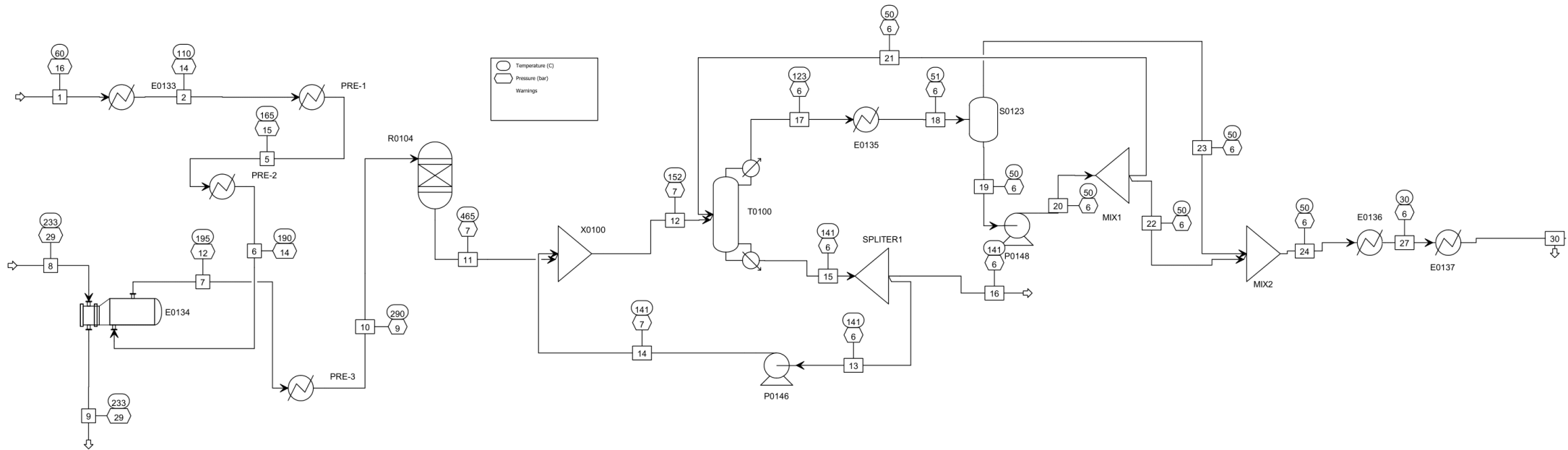


Figura 4.1.2.1. Diagrama de simulació del procés actual.

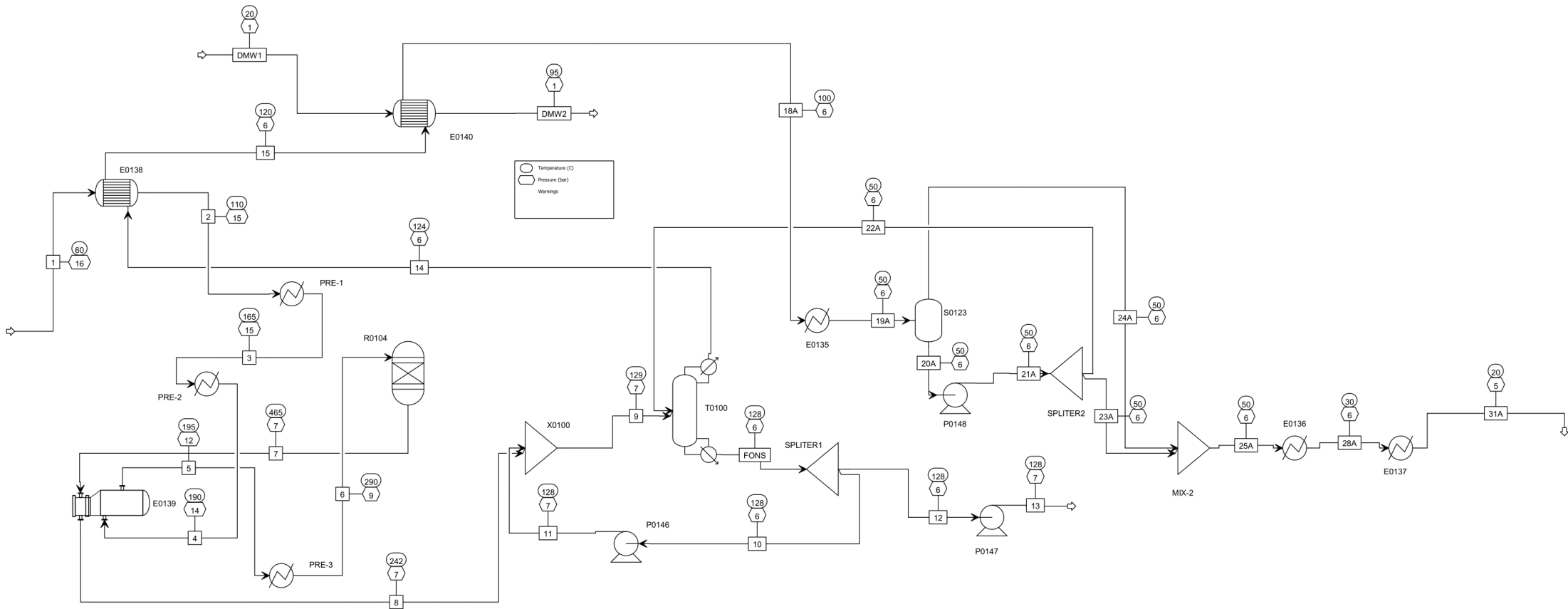


Figura 4.1.2.2. Diagrama de simulació del procés optimitzat.

4.1.3. Diagrama de flux de procés (PFD)

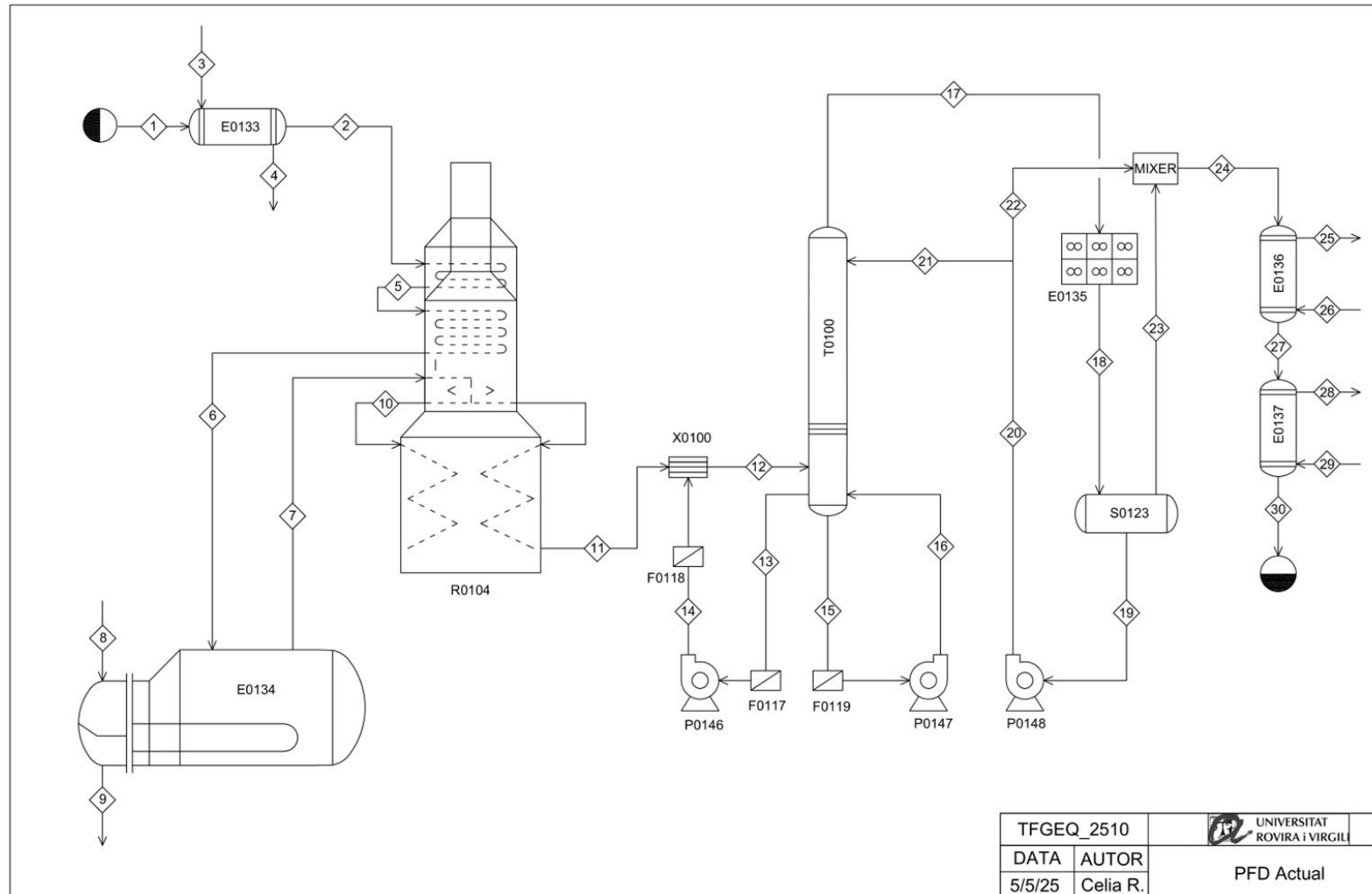


Figura 4.1.3.1. Diagrama de flux del procés actual.

Taula 4.1.3.1. Balanç de matèria del procés actual.

Corrents	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Temperatura (°C)	60.00	110.00	126.40	126.40	165.00	190.00	195.00	232.92	232.92	290.00	
Pressió (barg)	14.71	13.21	2.40	2.40	13.73	13.24	11.08	28.44	28.44	8.04	
Fracció de vapor	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.82	1.00	
Cabal molar (kmol/h)	719	719	129	129	719	719	719	3,108	3,108	719	
Cabal màssic (kg/h)	71,166	71,166	2,327	2,327	71,166	71,166	71,166	56,000	56,000	71,166	
Fraccions màssiques	C ₂ H ₃ Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	C ₂ H ₄ Cl ₂	1.00	1.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	1.00	
	HCl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	C ₂ H ₃ Cl ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	C ₂ H ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	H ₂ O	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00
	C ₂ H ₂ Cl ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	C ₄ H ₅ Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	C ₄ H ₆ Cl ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

Taula 4.1.3.2. Primera continuació balanç de matèria del procés actual.

Corrents	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Temperatura (°C)	465.00	151.78	141.10	141.13	141.09	141.09	123.49	50.90	50.00	50.01
Pressió (barg)	5.49	5.49	5.34	5.74	5.34	6.00	5.34	5.15	5.15	5.34
Fracció de vapor	1.00	0.98	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.22	0.00	0.00
Cabal molar (kmol/h)	1,102	1952	850	850	859	859	1,861	1,861	1,249	1,249
Cabal màssic (kg/h)	71,166	158,465	87,299	87,299	8,8270	8,8270	135,270	135,270	10,5781	10,5781
Fraccions màssiques	C ₂ H ₃ Cl	0.34	0.16	0.02	0.02	0.02	0.29	0.29	0.24	0.24
	C ₂ H ₄ Cl ₂	0.46	0.63	0.76	0.76	0.76	0.60	0.60	0.74	0.74
	HCl	0.20	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.11	0.02
	C ₂ H ₃ Cl ₃	0.00	0.05	0.09	0.09	0.09	0.09	0.00	0.00	0.00
	C ₂ H ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	H ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C ₂ H ₂ Cl ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C ₄ H ₅ Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C ₄ H ₆ Cl ₂	0.00	0.07	0.13	0.13	0.13	0.13	0.00	0.00	0.00

Taula 4.1.3.3. Segona continuació balanç de matèria del procés actual.

Corrents	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Temperatura (°C)	50.01	50.01	50.00	50.00	20.00	35.00	30.00	10.00	20.00	20.00	
Pressió (barg)	5.34	5.34	5.15	5.15	7.00	6.50	4.66	5.50	5.00	4.17	
Fracció de vapor	0.00	0.00	1.00	0.42	0.00	0.00	0.32	0.00	0.00	0.28	
Cabal molar (kmol/h)	768	480	612	1,092	3,583	3,583	1,092	2,471	2,471	1,092	
Cabal màssic (kg/h)	65,075	40,705	29,489	70,195	64,545	64,545	70,195	44,507	44,507	70,195	
Fraccions màssiques	C ₂ H ₃ Cl	0.24	0.24	0.48	0.34	0.00	0.00	0.34	0.00	0.00	0.34
	C ₂ H ₄ Cl ₂	0.74	0.74	0.06	0.46	0.00	0.00	0.46	0.00	0.00	0.46
	HCl	0.02	0.02	0.45	0.20	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.20
	C ₂ H ₃ Cl ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C ₂ H ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	H ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00	0.00
	C ₂ H ₂ Cl ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C ₄ H ₅ Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C ₄ H ₆ Cl ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

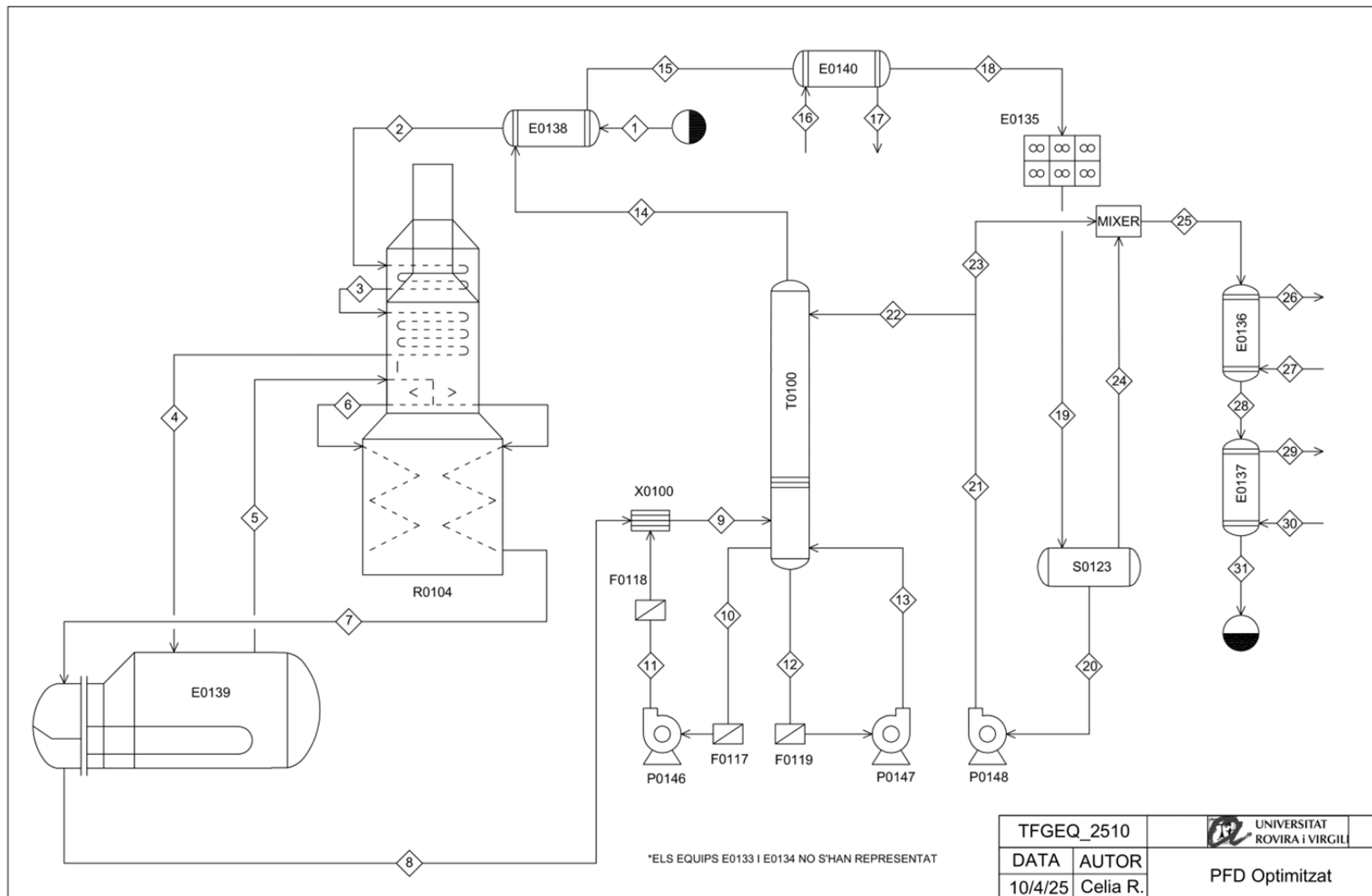


Figura 4.1.3.2. Diagrama de flux del procés optimitzat.

Taula 4.1.3.4. Balanç de matèria del procés optimitzat.

Corrents	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Temperatura (°C)	60.00	110.00	165.00	190.00	195.00	290.00	465.00	242.08	129.33	127.54	127.57
Pressió (barg)	14.71	14.22	13.73	13.24	11.08	8.04	5.49	5.49	5.49	5.34	5.74
Fracció de vapor	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.62	0.00	0.00
Cabal molar (kmol/h)	719	719	719	719	719	719	1,102	1,102	1,970	868	868
Cabal màssic (kg/h)	71,166	71,166	71,166	71,166	71,166	71,166	71,166	71,166	158,416	87,249	87,249
Fraccions màssiques	C ₂ H ₃ Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.34	0.34	0.17	0.04	0.04
	C ₂ H ₄ Cl ₂	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.46	0.46	0.64	0.78	0.78
	HCl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.20	0.09	0.00	0.00
	C ₂ H ₃ Cl ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.05	0.05
	C ₂ H ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	H ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C ₂ H ₂ Cl ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C ₄ H ₅ Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C ₄ H ₆ Cl ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.13

Taula 4.1.3.5. Primera continuació balanç de matèria del procés optimitzat.

Corrents	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
Temperatura (°C)	127.54	127.62	123.54	119.62	20.00	95.00	100.49	50.00	50.00	50.01	
Pressió (barg)	5.34	5.74	5.34	5.34	6.90	6.90	5.34	5.15	5.15	5.34	
Fracció de vapor	0.00	0.00	1.00	0.88	0.00	0.00	0.56	0.22	0.00	0.00	
Cabal molar (kmol/h)	10	10	1,861	1,861	2,775	2,775	1,861	1,861	1,249	1,249	
Cabal màssic (kg/h)	970	970	135,270	135,270	50,000	50,000	135,270	135,270	105,794	105,794	
Fraccions màssiques	C ₂ H ₃ Cl	0.04	0.04	0.29	0.29	0.00	0.00	0.29	0.29	0.24	0.24
	C ₂ H ₄ Cl ₂	0.78	0.78	0.60	0.60	0.00	0.00	0.60	0.60	0.74	0.74
	HCl	0.00	0.00	0.11	0.11	0.00	0.00	0.11	0.11	0.02	0.02
	C ₂ H ₃ Cl ₃	0.05	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C ₂ H ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	H ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C ₂ H ₂ Cl ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C ₄ H ₅ Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C ₄ H ₆ Cl ₂	0.13	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Taula 4.1.3.6. Segona continuació balanç de matèria del procés optimitzat.

Corrents	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Temperatura (°C)	50.01	50.01	50.00	50.00	20.00	35.00	30.00	10.00	20.00	20.00	
Pressió (barg)	5.34	5.34	5.15	5.15	7.00	6.50	4.66	5.50	5.00	4.17	
Fracció de vapor	0.00	0.00	1.00	0.42	0.00	0.00	0.32	0.00	0.00	0.28	
Cabal molar (kmol/h)	768	480	611	1,092	3,583	3,583	1,092	2,471	2,471	1,092	
Cabal màssic (kg/h)	65,075	40,719	29,475	70,195	64,545	64,545	70,195	44,507	44,507	70,195	
Fraccions màssiques	C ₂ H ₃ Cl	0.24	0.24	0.48	0.34	0.00	0.00	0.34	0.00	0.00	0.34
	C ₂ H ₄ Cl ₂	0.74	0.74	0.06	0.46	0.00	0.00	0.46	0.00	0.00	0.46
	HCl	0.02	0.02	0.45	0.20	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.20
	C ₂ H ₃ Cl ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C ₂ H ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	H ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00	0.00
	C ₂ H ₂ Cl ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C ₄ H ₅ Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C ₄ H ₆ Cl ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

4.1.4. Diagrama de canonades i instruments (P&ID)

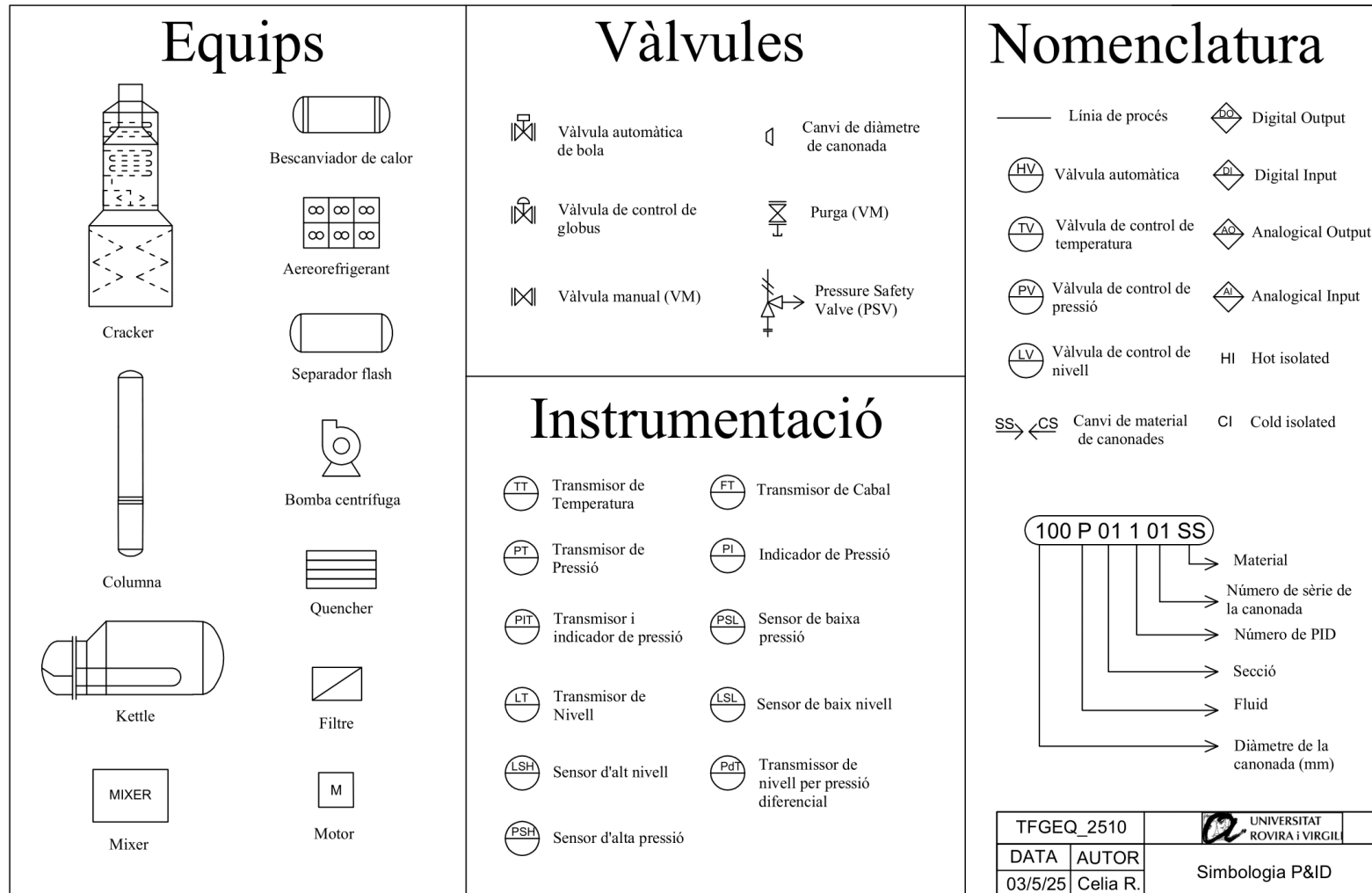


Figura 4.1.4.1. Simbologia P&ID.

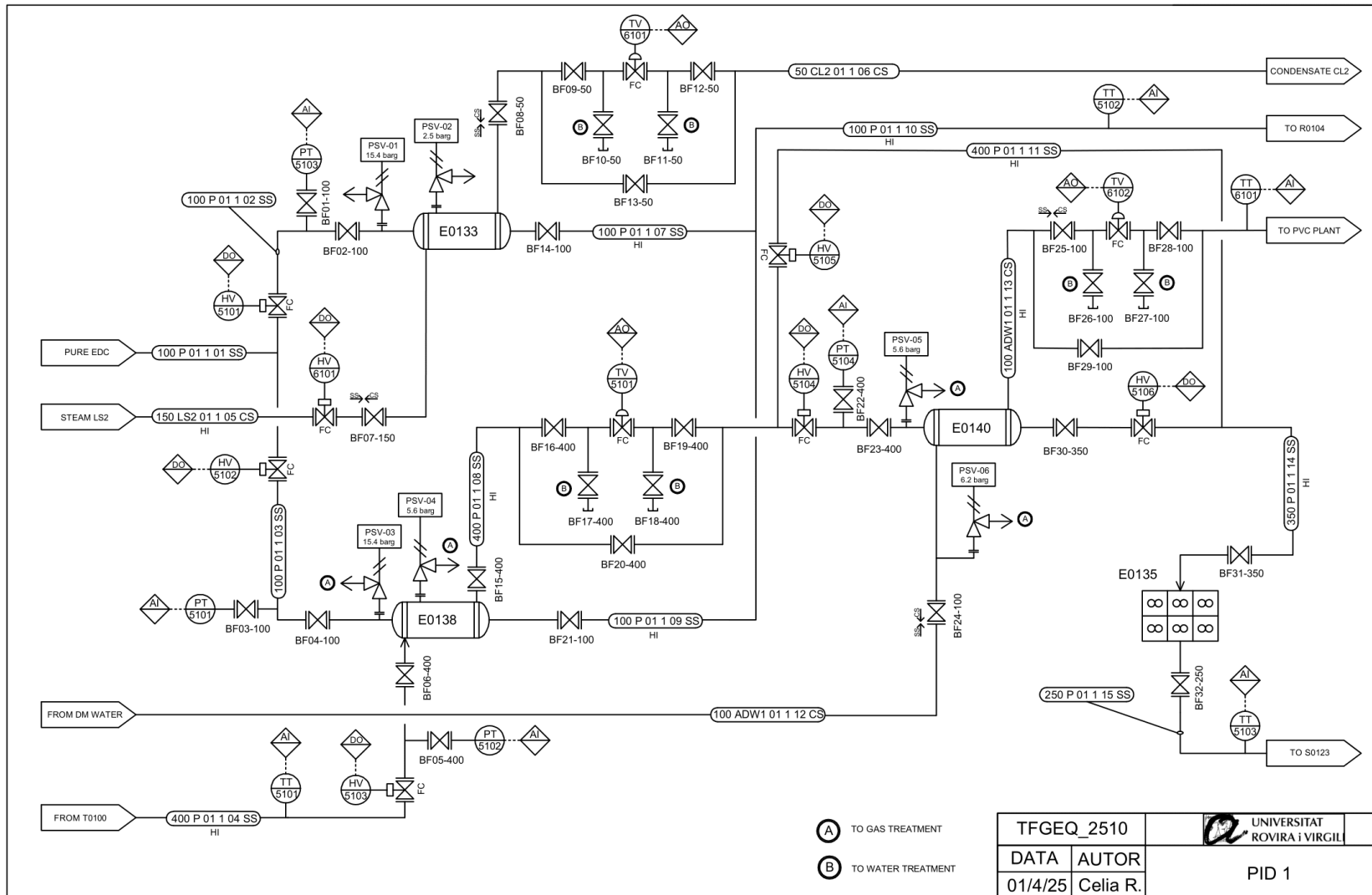


Figura 4.1.4.2. Primer P&ID del procés optimitzat.

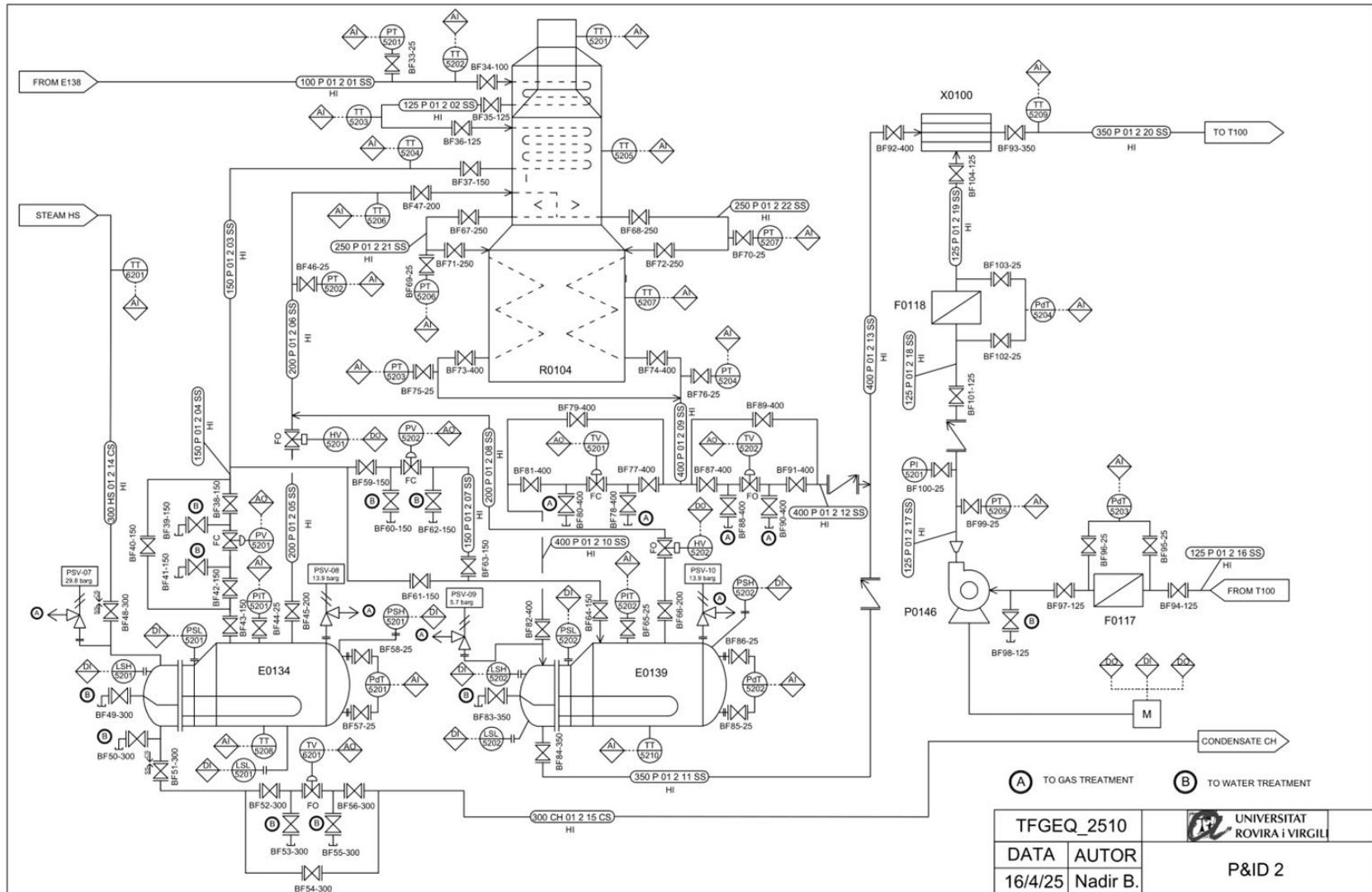


Figura 4.1.4.3. Segon P&ID del procés optimitzat.

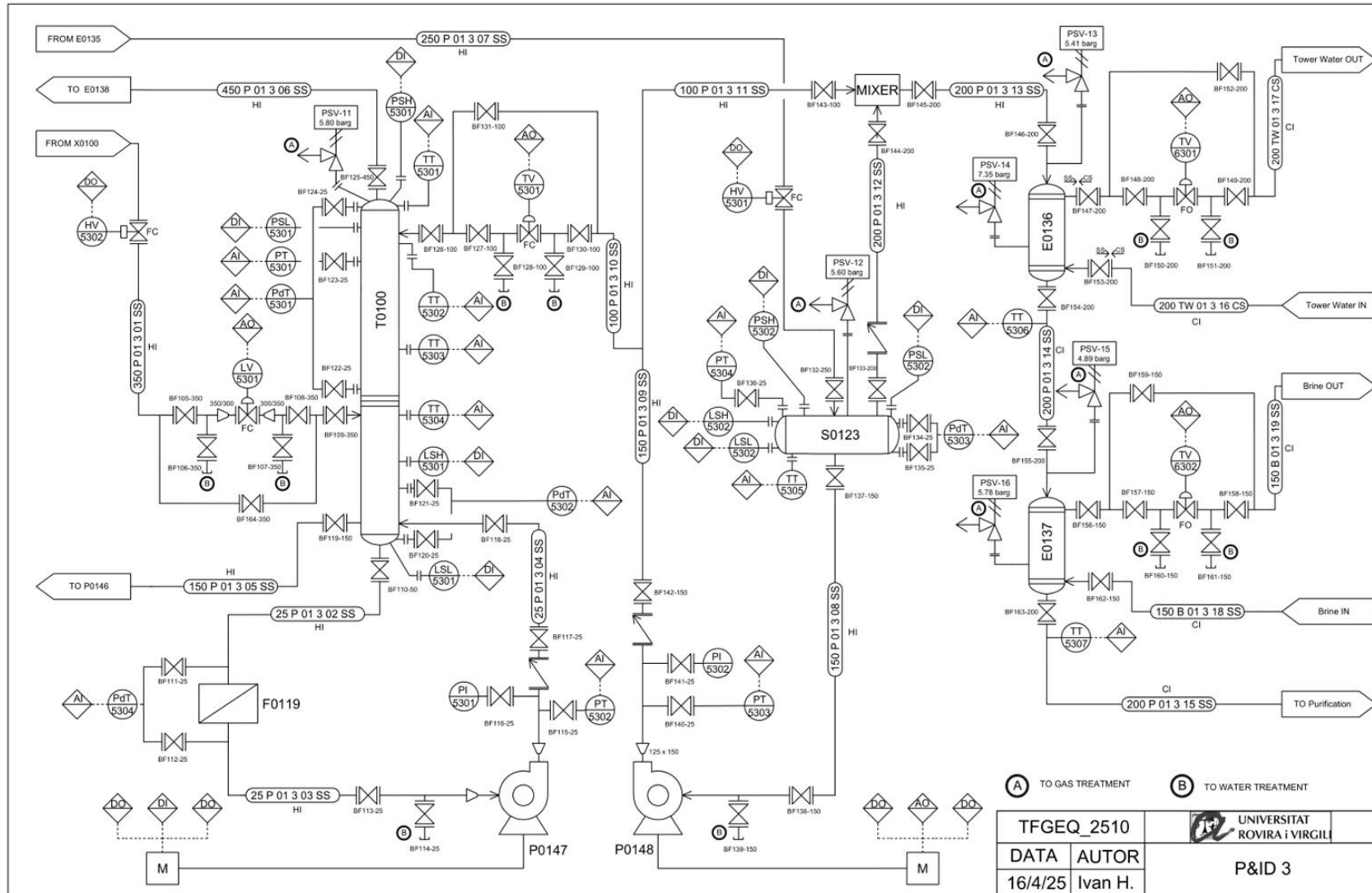


Figura 4.1.4.4. Tercer P&ID del procés optimitzat.

4.1.5. Diagrama de control de procés (PCD)

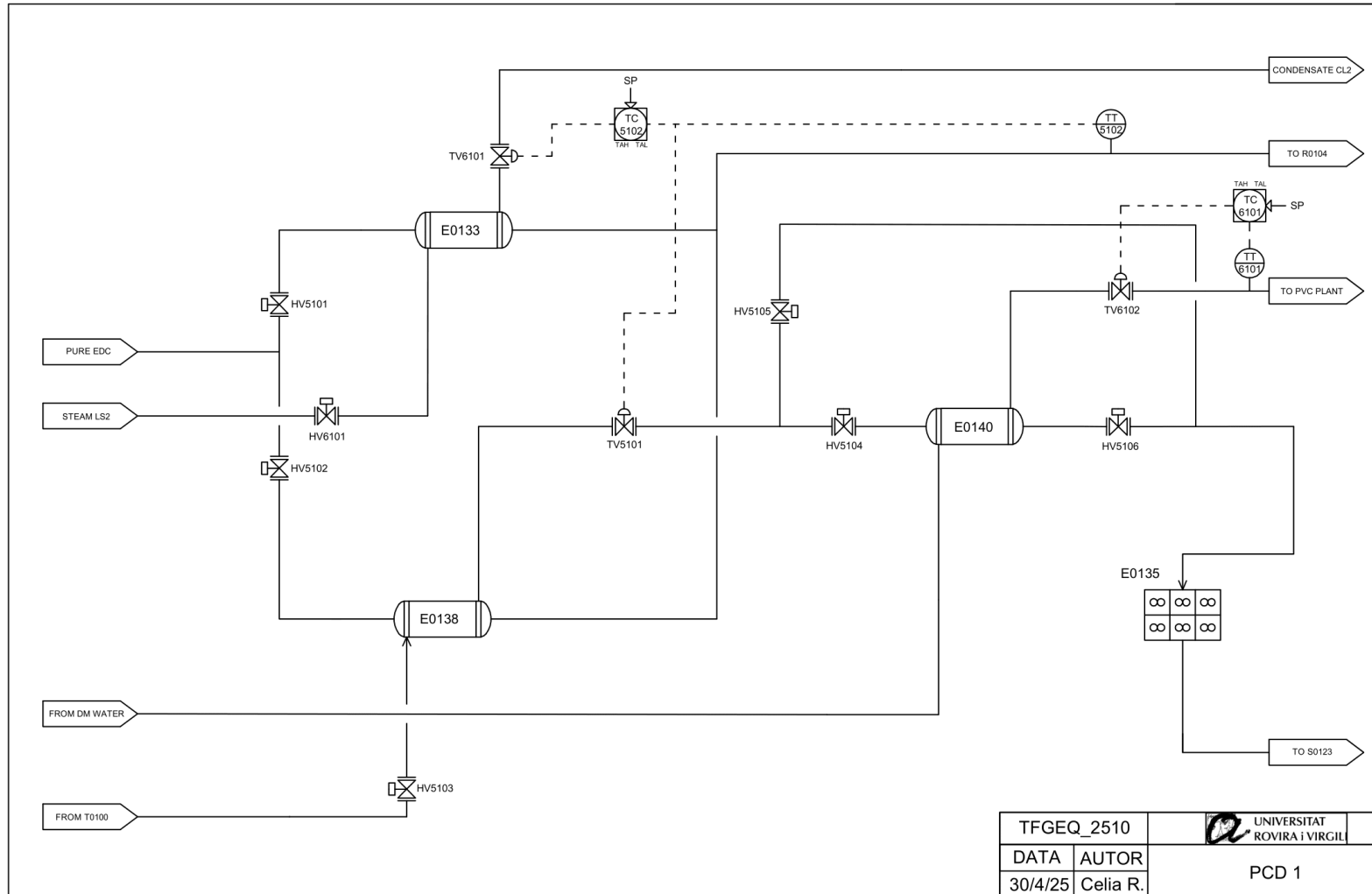


Figura 4.1.5.1. Primer diagrama de control del procés optimitzat.

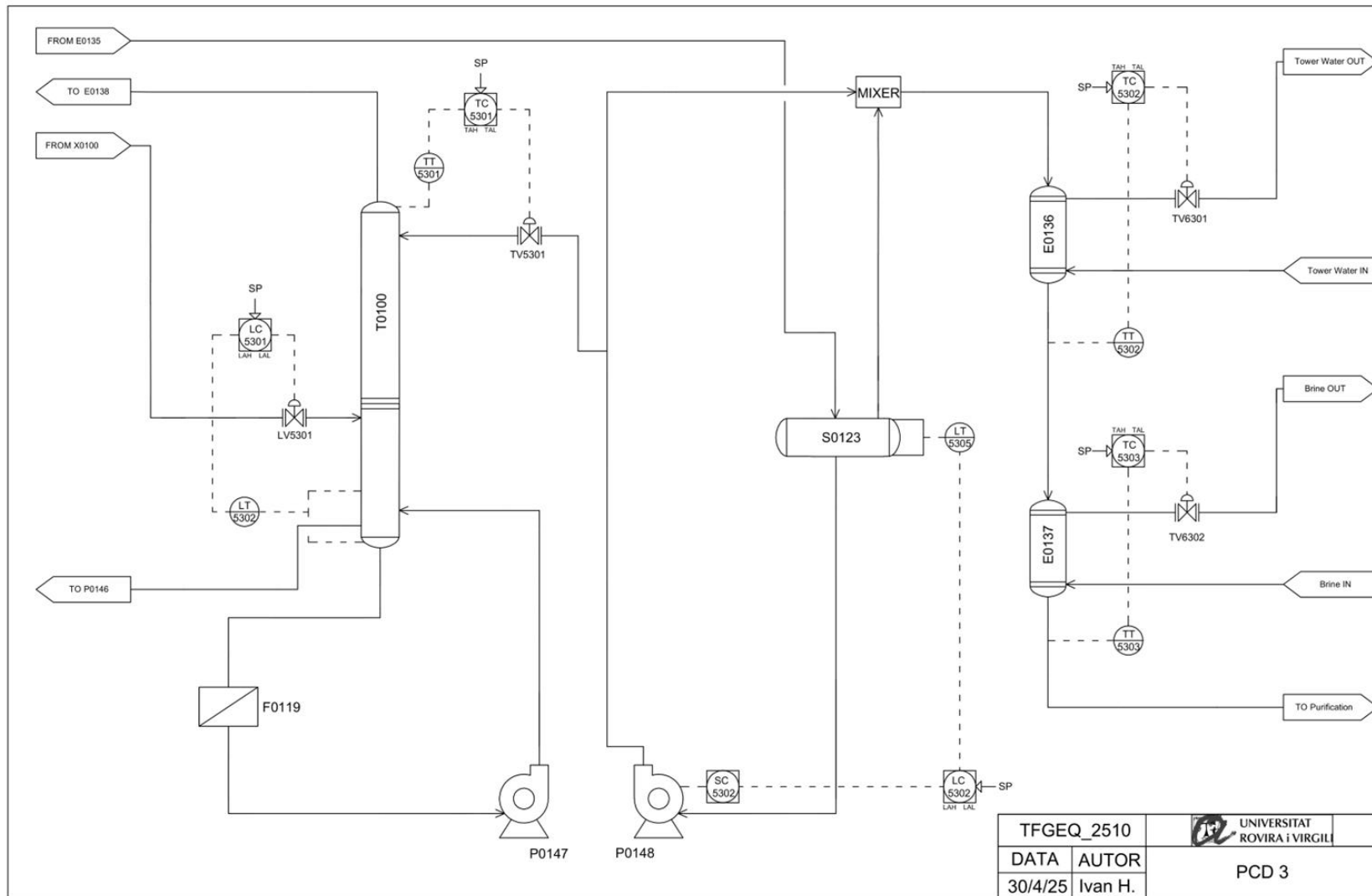


Figura 4.1.5.3. Tercer diagrama de control del procés optimitzat.

4.2. Disseny bàsic

4.2.1. Disseny de canonades

El disseny de les canonades s'ha realitzat a partir de les dades de cabal volumètric obtingudes mitjançant el programari *Aspen Plus*. A partir d'aquests cabals, s'ha calculat l'àrea mínima necessària per al pas del fluid, E.04.

$$A \text{ (m}^2\text{)} = \frac{Q \text{ (m}^3\text{/s)}}{V_{\text{fluid}} \text{ (m/s)}} \quad (\text{E.04})$$

S'han considerat les següents velocitats: 20 m/s pel gas i 2 m/s pel líquid.

Un cop determinada l'àrea, es calcula el diàmetre interior de la canonada mitjançant l'equació E.05.

$$D \text{ (m)} = \sqrt{\frac{A \cdot 4}{\pi}} \quad (\text{E.05})$$

Per al càlcul del gruix mínim de paret necessari, s'ha utilitzat la següent expressió:

$$t = \frac{P_d \cdot D}{2(S \cdot E + P_y)} + A \quad (\text{E.06})$$

On:

- t és el gruix de paret en mm.
- P_d és la pressió de disseny en MPa.
- D és el diàmetre extern de la canonada en mm.
- S és la tensió màxima admissible del material a la temperatura de disseny, en MPa, extreta de les taules del codi ASME (ref.2).
- E és l'eficiència de les soldadures en MPa. En aquest cas s'utilitza 0.85.
- y és el factor adimensional que depèn de la temperatura, 0.4 pels acers.
- A és el sobregruix per la corrosió en mm, que s'ha fet servir 1.25 mm

Segons la guia de compatibilitat de materials de *Graco Chem* (ref.3), s'ha determinat que totes les canonades seran d'acer inoxidable (SS), excepte les que transporten aigua, que seran d'acer al carboni (CS).

Un cop seleccionat el material, s'ha consultat el catàleg de *Peninsular* (ref.4), que conté les dimensions normalitzades per a canonades de cada tipus de material. A partir del gruix mínim calculat i del diàmetre, s'ha escollit un gruix estàndard superior al requerit per garantir la resistència i determinar el Schedule corresponent.

La guia i el catàleg utilitzats, pel disseny de canonades, es mostren a l'annex A.2.1.

Tanmateix, en el cas concret d'aquesta instal·lació, el *Schedule* resultant del càlcul se separa molt del valor estàndard, comportant un augment significatiu del cost. Per tal de reduir aquesta desviació econòmica, s'ha optat per utilitzar el *Schedule* 40 (valor estàndard) a totes les canonades. Això implica que aquestes tindran un gruix superior al mínim requerit pel càlcul.

4.2.1.1. Llistat de canonades*Taula 4.2.1.1.1.* Llistat de canonades.

Canonada	P&ID	Fluid	Fase	DN (mm)	Cabal (m ³ /h)	Pressió (barg)	Temperatura (°C)	Gruix calculat (mm)	Gruix real (mm)	Aïllament tèrmic
100 P 01 1 01 SS	1	P	L	100	59.57	14.71	60	2.11	6.02	-
100 P 01 1 02 SS	1	P	L	100	59.57	14.71	60	2.11	6.02	-
100 P 01 1 03 SS	1	P	L	100	59.57	14.71	60	2.11	6.02	-
400 P 01 1 04 SS	1	P	G	400	9654.24	6.04	124	4.19	9.53	HI
150 LS2 01 1 05 CS	1	LS1	G	150	1289.15	2.40	126	2.77	7.11	HI
50 CL2 01 1 06 CS	1	CL2	L	50	2.47	13.2	110	1.65	3.56	HI
100 P 01 1 07 SS	1	P	L	100	63.88	14.22	110	2.11	6.02	HI
400 P 01 1 08 SS	1	P	G	400	8737.22	5.34	120	4.19	9.53	HI
100 P 01 1 09 SS	1	P	L	100	63.88	14.22	110	2.11	6.02	HI
100 P 01 1 10 SS	1	P	L	100	63.88	14.22	110	2.11	6.02	HI
400 P 01 1 11 SS	1	P	G	400	8737.22	5.34	120	4.19	9.53	HI
100 ADW1 01 1 12 CS	1	ADW1	L	100	54.14	6.90	20	2.11	6.02	-
100 ADW1 01 1 13 CS	1	ADW1	L	100	54.14	6.90	95	2.11	6.02	HI
350 P 01 1 14 SS	1	P	G	350	5994.26	5.34	100	3.96	9.53	HI
250 P 01 1 15 SS	1	P	G	250	2764.21	5.15	50	3.40	9.27	HI
100 P 01 2 01 SS	2	P	L	100	63.88	14.22	110	2.11	6.02	HI
125 P 01 2 02 SS	2	P	L	125	70.28	13.73	165	2.11	6.55	HI
150 P 01 2 03 SS	2	P	L	150	74.17	13.24	190	2.11	7.11	HI
150 P 01 2 04 SS	2	P	L	150	74.17	13.24	190	2.11	7.11	HI
200 P 01 2 05 SS	2	P	G	200	2314.22	11.08	195	2.77	8.18	HI
200 P 01 2 06 SS	2	P	G	200	2314.22	11.08	195	2.77	8.18	HI
150 P 01 2 07 SS	2	P	L	150	74.17	13.24	190	2.11	7.11	HI

200 P 01 2 08 SS	2	P	G	200	2314.22	11.08	195	2.77	8.18	HI
400 P 01 2 09 SS	2	P	G	400	10408.4	5.49	465	4.19	9.53	HI
400 P 01 2 10 SS	2	P	G	400	10408.4	5.49	465	4.19	9.53	HI
350 P 01 2 11 SS	2	P	G	350	7265.14	5.49	242	3.96	9.53	HI
400 P 01 2 12 SS	2	P	G	400	10408.4	5.49	465	4.19	9.53	HI
400 P 01 2 13 SS	2	P	G	400	10408.4	5.49	465	4.19	9.53	HI
300 HS 01 2 14 CS	2	HS	G	300	4440.81	28.44	233	3.96	9.53	HI
300 CH 01 2 15 CS	2	CH	L-G	300	3640.89	28.44	233	3.96	9.53	HI
125 P 01 2 16 SS	2	P	L	125	81.96	5.34	128	2.77	6.55	HI
125 P 01 2 17 SS	2	P	L	125	81.96	5.74	128	2.77	6.55	HI
125 P 01 2 18 SS	2	P	L	125	81.96	5.74	128	2.77	6.55	HI
125 P 01 2 19 SS	2	P	L	125	81.96	5.74	128	2.77	6.55	HI
350 P 01 2 20 SS	2	P	L-G	350	7140.69	5.49	129	3.96	9.53	HI
250 P 01 2 21 SS	2	P	G	250	3718.50	8.04	290	3.40	9.27	HI
250 P 01 2 22 SS	2	P	G	250	3718.50	8.04	290	3.40	9.27	HI
350 P 01 3 01 SS	3	P	L-G	350	7140.69	5.48	130	2.77	9.53	HI
50 P 01 3 02 SS	3	P	L	50	0.91	5.34	128	2.11	3.91	HI
50 P 01 3 03 SS	3	P	L	50	0.91	5.14	128	2.11	3.91	HI
50 P 01 3 04 SS	3	P	L	50	0.91	5.74	128	2.11	3.91	HI
150 P 01 3 05 SS	3	P	L	150	81.96	5.34	128	2.11	7.11	HI
450 P 01 3 06 SS	3	P	G	450	9654.24	5.34	124	2.77	9.53	HI
250 P 01 3 07 SS	3	P	L-G	250	2764.22	5.14	50	2.11	9.27	HI
150 P 01 3 08 SS	3	P	L	150	95.87	5.14	50	2.11	7.11	HI
150 P 01 3 09 SS	3	P	L	150	95.87	8.82	50	2.77	7.11	HI
100 P 01 3 10 SS	3	P	L	100	58.97	5.34	50	2.11	6.02	HI
100 P 01 3 11 SS	3	P	L	100	36.89	5.34	50	2.11	6.02	HI
200 P 01 3 12 SS	3	P	G	200	2668.35	5.14	50	2.11	8.18	HI
200 P 01 3 13 SS	3	P	L-G	200	2705.41	5.14	50	2.11	8.18	HI

200 P 01 3 14 SS	3	P	L-G	200	2261.34	4.65	30	2.11	8.18	CI
200 P 01 3 15 SS	3	P	L-G	200	2163.41	4.16	20	2.11	8.18	CI
200 TW 01 3 16 CS	3	TW	L	200	193.47	7.00	20	2.77	8.18	CI
200 TW 01 3 17 CS	3	TW	L	200	193.47	6.50	35	2.77	8.18	CI
150 B 01 3 18 SS	3	B	L	150	88.92	5.50	10	2.77	7.11	CI
150 B 01 3 19 SS	3	B	L	150	88.92	5.00	20	2.77	7.11	CI

4.2.2. Disseny de la instrumentació i control

4.2.2.1. Caracterització de les estratègies de control

- **Sistema de control de temperatura del bescanviador E0133**

Aquest bescanviador s'utilitza per preescalfar l'EDC pur abans d'entrar al *cracker*, quan el corrent de cap de columna encara no té prou temperatura per escalfar l'EDC pur, mitjançant el bescanviador E0138. La seva variable principal a controlar és la temperatura de sortida de l'EDC. Per fer-ho es fa servir el transmissor de temperatura TT5102 situat a la sortida del bescanviador, que envia un senyal al controlador TC5102, que compara el valor real amb el *setpoint* establert, i a partir d'aquí obre o tanca la vàlvula controladora TV6101, la qual regula el cabal de vapor que passa pel bescanviador, per escalfar l'EDC.

Quan augmenta la temperatura, la vàlvula tanca, i quan disminueix la temperatura, obre. Per tant, el llaç de control és d'acció inversa.

- **Sistema de control de temperatura del bescanviador E0138**

Aquest bescanviador s'utilitza per preescalfar l'EDC pur, abans d'entrar al *cracker*. La seva variable principal a controlar és la temperatura de sortida de l'EDC. Per fer-ho es fa servir el mateix que pel bescanviador E0138, el transmissor de temperatura TT5102 situat a la sortida del bescanviador envia un senyal al controlador TC5102, que compara el valor real amb el *setpoint* establert, i a partir d'aquí obre o tanca la vàlvula controladora TV5101, la qual regula el cabal que surt del cap de columna, que passa pel bescanviador per escalfar l'EDC.

Quan augmenta la temperatura, la vàlvula tanca, i quan disminueix la temperatura, obre. Per tant, el llaç de control també és d'acció inversa.

- **Sistema de control de temperatura del bescanviador E0140**

Aquest bescanviador s'utilitza per escalfar aigua desmineralitzada que anirà a la planta de PVC. La seva variable principal a controlar és la temperatura de sortida de l'aigua desmineralitzada. Per fer-ho es fa servir el transmissor de temperatura TT6101 situat a la sortida del bescanviador, que envia un senyal al controlador TC6101. Aquest últim compara el valor real amb el *setpoint* establert, i a partir d'aquí obre o tanca la vàlvula controladora TV6102, la qual regula el cabal d'aigua desmineralitzada que passa pel bescanviador.

Quan augmenta la temperatura, la vàlvula obre, i quan disminueix la temperatura, tanca. Per tant, el llaç de control també és d'acció directa.

- **Sistema de control de temperatura de l'EDC del bescanviador E0134**

El bescanviador de calor tipus *kettle* E0134 s'utilitza per a vaporitzar l'EDC mitjançant vapor d'alta pressió abans de l'entrada al *cracker*.

La variable principal a controlar és la temperatura de vaporització de l'EDC.

La temperatura es mesura a la carcassa del *kettle* mitjançant el transmissor TT5208. Aquest transmissor envia un senyal al controlador TC5208, que compara el valor real amb el *setpoint* establert i obre o tanca la vàlvula reguladora TV6201, la qual regula el cabal de vapor que circula pels tubs del *kettle*.

El llaç de control és d'acció inversa, en altres paraules, quan augmenta la temperatura, tanca la vàlvula i, quan disminueix la temperatura, l'obre.

- **Sistema de control de pressió del bescanviador E0134**

En aquest cas la variable principal a controlar és la pressió a la qual es troba l'EDC dins de la carcassa del *kettle* E0134.

La pressió es mesura mitjançant el transmissor PIT5201, el qual envia un senyal al controlador PC5201, aquest compara el valor mesurat amb el *setpoint* establert i obre o tanca la vàlvula reguladora PV5201, la qual regula el cabal d'EDC que entra a la carcassa del bescanviador.

El llaç de control és d'acció inversa, en altres paraules, quan augmenta la pressió, tanca la vàlvula i, quan disminueix la pressió, l'obre.

- **Sistema de control de temperatura de l'EDC del bescanviador E0139**

El control és molt similar al bescanviador de calor E0134. Aquest bescanviador s'utilitza per a vaporitzar l'EDC, mitjançant el corrent de sortida del reactor, abans de l'entrada al *cracker*.

La variable principal a controlar és la temperatura de vaporització de l'EDC.

La temperatura es mesura a la carcassa del *kettle* mitjançant el transmissor TT5210. Aquest transmissor envia un senyal al controlador TC5210, que compara el valor real amb el *setpoint* establert i obre o tanca les vàlvules controladores TV5201 i TV5202, encarregades de regular el cabal de sortida del reactor que circula pels tubs del *kettle*.

Aquest cabal de sortida del reactor s'ha de mantenir constant, per aquest motiu s'han instal·lat dues vàlvules de control que presenten un control de rang en oposició, amb una variable controlada (temperatura de l'EDC a la carcassa) i dues variables manipulades: cabal que circula pels tubs del bescanviador (controlat per TV5201) i el *bypass* (controlat per TV5202).

Per exemple, si es detecta una baixada de temperatura a l'equip E0139, el controlador obrirà la vàlvula TV5201 per augmentar el cabal que circula pels tubs de l'intercanviador i tancaria proporcionalment la vàlvula TV5202 per reduir el *bypass*.

El llaç de control és d'acció inversa respecte TV5201, en altres paraules, quan augmenta la temperatura, tanca la vàlvula i, quan disminueix la temperatura, l'obre.

El llaç de control és d'acció directa respecte TV5202, en altres paraules, quan augmenta la temperatura, obre la vàlvula i, quan disminueix la temperatura, la tanca.

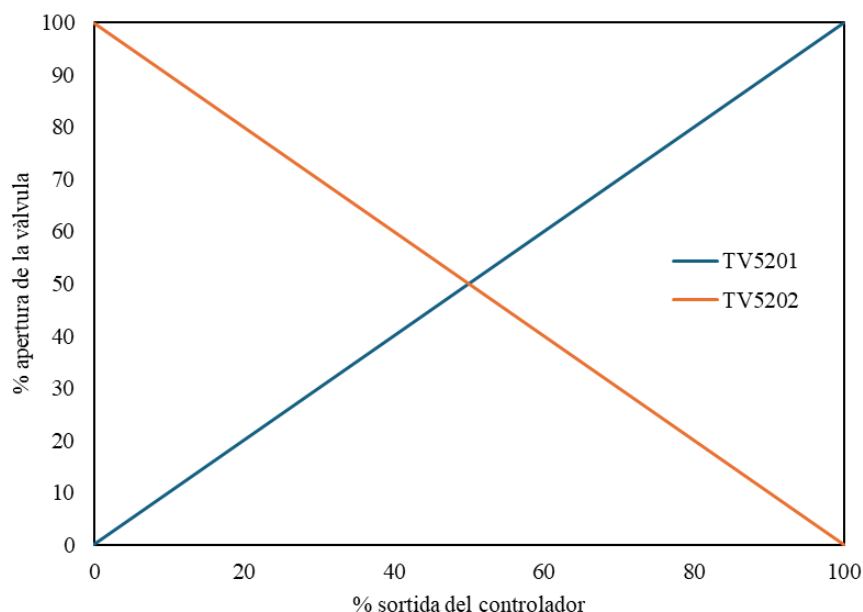


Figura 4.2.2.1.1 Control de temperatura de rang en oposició del *kettle* E0139.

- **Sistema de control de pressió del bescanviador E0139**

En aquest cas la variable principal a controlar és la pressió a la qual es troba l'EDC dins de la carcassa del *kettle* E0139.

La pressió es mesura mitjançant el transmissor PIT5202, el qual envia un senyal al controlador PC5202, aquest compara el valor mesurat amb el *setpoint* establert i obre o tanca la vàlvula reguladora PV5202, la qual regula el cabal d'EDC que entra a la carcassa del bescanviador.

El llaç de control és d'acció inversa, en altres paraules, quan augmenta la pressió, tanca la vàlvula i, quan disminueix la pressió, l'obre.

Adicionalment, per a protegir l'equip de sobrepressions, s'ha instal·lat una vàlvula PSV-10.

- **Sistema de control de nivell del fons de la columna de destil·lació T0100**

La variable a controlar és el nivell dels productes líquids que es troben al fons de la columna.

El nivell es mesura amb el transmissor PdT5302, el qual envia un senyal al controlador LC5301. Aquest mesura la lectura amb el valor del *setpoint* establert i obre o tanca la vàlvula reguladora LV5301, regulant el corrent d'entrada de productes a la columna.

El llaç de control és d'acció inversa, ja que quan puja el nivell, la vàlvula reguladora tanca.

- **Sistema de control de temperatura de la columna de destil·lació T0100**

En aquest cas, la variable a controlar és la temperatura de l'interior de la columna. La temperatura es mesura mitjançant el transmissor de temperatura TT5301. Aquest envia un senyal cap al controlador TC5301, que compara el senyal amb el *setpoint* fixat. Amb aquesta comparació, s'obre o es tanca la vàlvula reguladora TV5301, regulant el corrent d'entrada del reflux al cap de la columna.

Aquest llaç de control és directe, ja que quan puja la temperatura a l'interior de la columna, s'obre també la vàlvula per a augmentar el caudal de reflux, que està més fred.

- **Sistema de control de nivell del recipient S0123**

Per assegurar que s'assoleix un nivell adequat del recipient es proposa un llaç de control on la variable controlada és el nivell i la variable manipulada és la freqüència de la bomba P0148 o alternativament el cabal de sortida de l'equip.

El transmissor PdT5303 mesura el nivell del recipient i l'envia cap al controlador LC5302. Aquest actuarà sobre el controlador de velocitat de la bomba SC5301 depenent de la comparació de la lectura del transmissor amb el *setpoint* fixat.

El llaç de control és directe, ja que si augmenta el nivell del líquid, augmenta la velocitat de la bomba.

- **Sistema de control de temperatura del bescanviador E0136**

La variable a controlar és la temperatura de la sortida de l'equip. Aquesta es mesura amb el transmissor TT5306 i aquest envia el senyal cap al controlador TC5302, que compara el senyal amb el *setpoint* fixat. Amb aquesta comparació, s'obre o es tanca la vàlvula reguladora TV6301, regulant el corrent de sortida de l'aigua de torre que surt del bescanviador.

El llaç de control és inversa perquè si augmenta la temperatura de la sortida del producte, tanca la vàlvula.

- **Sistema de control de temperatura del bescanviador E0137**

La variable a controlar és la temperatura de la sortida de l'equip. Aquesta es mesura amb el transmissor TT5307 i aquest envia el senyal cap al controlador TC5303, que compara el senyal amb el *setpoint* fixat. Amb aquesta comparació, s'obre o es tanca la vàlvula reguladora TV6302, regulant el corrent de sortida de la salmorra que surt del bescanviador.

El llaç de control és inversa perquè si augmenta la temperatura de la sortida del producte, tanca la vàlvula.

4.2.2.2. Disseny de les vàlvules de control

Per a dissenyar les vàlvules de control s'ha de calcular la C_v , és a dir, la quantitat d'aigua que passa per la vàlvula (gal/min) quan se sotmet a una pressió diferencial d'1 psi.

Per a calcular la C_v s'ha de fer una estimació de la pèrdua de càrrega de la vàlvula de control, considerant que F està relacionat amb la pèrdua de càrrega per fricció en bars:

$$\Delta P = F + 0.25 \cdot \Delta P_{\text{fricció}} \quad (\text{E.07})$$

Per a les vàlvules de control dissenyades per a líquids:

$$C_v = 1.16 \cdot Q \cdot \sqrt{\frac{\rho}{\Delta P}} \quad (\text{E.08})$$

On Q és el cabal en m^3/h i ρ és la densitat específica respecte a l'aigua.
Per a les vàlvules de control dissenyades per a gasos:

$$Cv = \frac{w}{94.3 \cdot MM \cdot \sqrt{\frac{\Delta P \cdot \rho}{MM \cdot T}}} \quad (E.09)$$

On W és el cabal en kg/h , MM és la massa molecular del gas, T és la temperatura en K i ρ és la densitat específica respecte a l'aire.

També cal decidir la característica que ha de tenir la vàlvula de control a partir de la variable i l'aplicació de la vàlvula. En funció de l'obturador que porta la vàlvula, a cada % d'obertura de la vàlvula li correspon un % de cabal.

Taula 4.2.2.2.1. Característica d'una vàlvula controladora.

Variable	Aplicació	Característica
Pressió	Líquids i gasos en general. Gas amb retard considerable entre la presa de pressió i la vàlvula de control i amb alta pèrdua de càrrega de la vàlvula de control.	Igual percentatge (%) Lineal
Cabal	Marge de cabal ampli. Marge de cabal estret i amb alta pèrdua de càrrega de la vàlvula de control.	Lineal Igual percentatge (%)
Nivell	Pèrdua de càrrega constant. Augment de la pèrdua de càrrega de la vàlvula amb la càrrega del sistema sobrepasant el doble la pèrdua de càrrega mínima de la vàlvula.	Lineal Apertura ràpida
Temperatura	En general.	Igual percentatge (%)

Un cop se sap la característica de la vàlvula de control i la Cv , cal buscar en el catàleg del fabricant *Masoneilan* (ref.5) una vàlvula de control amb la mateixa característica i amb una Cv igual o immediatament superior al calculat.

A l'annex A.2.2. es mostra el catàleg utilitzat.

Seguint els passos i consideracions prèvies, s'han dimensionat les vàlvules controladores:

Taula 4.2.2.2.2. Vàlvules controladores per a líquids.

Codi	Tipus	Cabal (m³/h)	CV	Mida (mm)
TV-6101	Isopercentual	2.33	3.02	50
TV-6102	Isopercentual	54.14	70.21	100
PV-5201	Isopercentual	74.17	94.25	150
PV-5202	Isopercentual	74.17	94.25	150
TV-5301	Isopercentual	58.96	79.47	100
TV-6301	Isopercentual	193.80	251.34	200
TV-6302	Isopercentual	80.83	108.44	150

Taula 4.2.2.2.3. Vàlvules controladores per a gasos.

Codi	Tipus	Cabal (kg/h)	CV	Mida (mm)
TV-5101	Isopercentual	135,270	787.01	400
TV-5201	Isopercentual	71,166	852.52	400
TV-5202	Isopercentual	71,166	852.52	400
TV-6201	Isopercentual	56,000	774.95	300
LV-5301	Lineal	158,226	882.50	300

4.2.2.3. Llistat d'instrumentació i vàlvules controladores**Taula 4.2.2.3.1.** Llistat d'instrumentació i vàlvules controladores.

Instrument	P&ID	Canonada/ Equip	Descripció	Input / Output	Setpoint / Rang	Tipus
PV5201	2	125 P 01 2 04 SS	Vàlvula de control de pressió	Sortida analògica	0-100 %	Globus
PV5202	2	125 P 01 2 07 SS	Vàlvula de control de pressió	Sortida analògica	0-100 %	Globus
TV5101	1	400 P 01 1 08 SS	Vàlvula de control de temperatura	Sortida analògica	0-100 %	Globus
TV6101	1	50 CL2 01 1 06 CS	Vàlvula de control de temperatura	Sortida analògica	0-100 %	Globus
TV6102	1	100 ADW1 01 1 13 CS	Vàlvula de control de temperatura	Sortida analògica	0-100 %	Globus
TV5201	2	400 P 01 2 10 SS	Vàlvula de control de temperatura	Sortida analògica	0-100 %	Globus
TV5202	2	400 P 01 2 12 SS	Vàlvula de control de temperatura	Sortida analògica	0-100 %	Globus
TV6201	2	300 CH 01 2 15 CS	Vàlvula de control de temperatura	Sortida analògica	0-100 %	Globus
TV5301	3	100 P 01 3 10 SS	Vàlvula de control de temperatura	Sortida analògica	0-100 %	Globus
TV6301	3	200 TW 01 3 17 CS	Vàlvula de control de temperatura	Sortida analògica	0-100 %	Globus
TV6302	3	150 B 01 3 19 SS	Vàlvula de control de temperatura	Sortida analògica	0-100 %	Globus
LV5301	3	350 P 01 3 01 SS	Vàlvula de control de nivell	Sortida analògica	0-100 %	Globus
HV5101	1	150 P 01 1 01 SS	Vàlvula de control automàtica	Sortida digital	Obert / Tancat	Bola
HV5102	1	150 P 01 1 03 SS	Vàlvula de control automàtica	Sortida digital	Obert / Tancat	Bola
HV5103	1	400 P 01 1 04 SS	Vàlvula de control automàtica	Sortida digital	Obert / Tancat	Bola
HV5104	1	400 P 01 1 08 SS	Vàlvula de control automàtica	Sortida digital	Obert / Tancat	Bola
HV5105	1	400 P 01 1 11 SS	Vàlvula de control automàtica	Sortida digital	Obert / Tancat	Bola

HV5106	1	350 P 01 1 14 SS	Vàlvula de control automàtica	Sortida digital	Obert / Tancat	Bola
HV6101	1	150 LS2 01 1 05 CS	Vàlvula de control automàtica	Sortida digital	Obert / Tancat	Bola
HV5201	2	200 P 01 2 05 SS	Vàlvula de control automàtica	Sortida digital	Obert / Tancat	Bola
HV5202	2	200 P 01 2 08 SS	Vàlvula de control automàtica	Sortida digital	Obert / Tancat	Bola
HV5301	3	250 P 01 3 07 SS	Vàlvula de control automàtica	Sortida digital	Obert / Tancat	Bola
HV5302	3	350 P 01 3 01 SS	Vàlvula de control automàtica	Sortida digital	Obert / Tancat	Bola
PT5101	1	100 P 01 1 03 SS	Transmissor de pressió	Entrada analògica	0-15 barg	Bourdon
PT5102	1	400 P 01 1 04 SS	Transmissor de pressió	Entrada analògica	0-10 barg	Bourdon
PT5103	1	100 P 01 1 02 SS	Transmissor de pressió	Entrada analògica	0-15 barg	Bourdon
PT5104	1	400 P 01 1 08 SS	Transmissor de pressió	Entrada analògica	0-10 barg	Bourdon
PT5201	2	100 P 01 2 01 SS	Transmissor de pressió	Entrada analògica	0-15 barg	Bourdon
PT5202	2	200 P 01 2 06 SS	Transmissor de pressió	Entrada analògica	0-15 barg	Bourdon
PT5203	2	400 P 01 2 09 SS	Transmissor de pressió	Entrada analògica	0-10 barg	Bourdon
PT5204	2	400 P 01 2 09 SS	Transmissor de pressió	Entrada analògica	0-10 barg	Bourdon
PT5205	2	125 P 01 2 17 SS	Transmissor de pressió	Entrada analògica	0-10 barg	Bourdon
PT5206	2	250 P 01 2 21 SS	Transmissor de pressió	Entrada analògica	0-10 barg	Bourdon
PT5207	2	250 P 01 2 22 SS	Transmissor de pressió	Entrada analògica	0-10 barg	Bourdon
PT5301	3	T0100	Transmissor de pressió	Entrada analògica	0-10 barg	Bourdon
PT5302	3	50 P 01 3 04 SS	Transmissor de pressió	Entrada analògica	0-10 barg	Bourdon
PT5303	3	150 P 01 3 09 SS	Transmissor de pressió	Entrada analògica	0-10 barg	Bourdon
PT5304	3	S0123	Transmissor de pressió	Entrada analògica	0-10 barg	Bourdon

PI5201	2	125 P 01 2 17 SS	Indicador de pressió		0-10 barg	Bourdon
PI5301	3	50 P 01 3 04 SS	Indicador de pressió		0-10 barg	Bourdon
PI5302	3	150 P 01 3 09 SS	Indicador de pressió		0-10 barg	Bourdon
PdT5201	2	E0134	Transmissor de nivell	Entrada analògica	0-100 %	Pressió diferencial
PdT5202	2	E0139	Transmissor de nivell	Entrada analògica	0-100 %	Pressió diferencial
PdT5203	2	F0117	Transmissor de nivell	Entrada analògica	0-100 %	Pressió diferencial
PdT5204	2	F0118	Transmissor de nivell	Entrada analògica	0-100 %	Pressió diferencial
PdT5301	3	T0100	Transmissor de nivell	Entrada analògica	0-100 %	Pressió diferencial
PdT5302	3	T0100	Transmissor de nivell	Entrada analògica	0-100 %	Pressió diferencial
PdT5303	3	S0123	Transmissor de nivell	Entrada analògica	0-100 %	Pressió diferencial
PdT5304	3	F0119	Transmissor de nivell	Entrada analògica	0-100 %	Pressió diferencial
PIT5201	2	E0134	Indicador i transmissor de pressió	Entrada analògica	0-15 barg	Bourdon
PIT5202	2	E0139	Indicador i transmissor de pressió	Entrada analògica	0-15 barg	Bourdon
TT5101	1	400 P 01 1 04 SS	Transmissor de temperatura	Entrada analògica	0-150 °C	Termoparell
TT5102	1	100 P 01 1 10 SS	Transmissor de temperatura	Entrada analògica	0-150 °C	Termoparell
TT5103	1	250 P 01 1 15 SS	Transmissor de temperatura	Entrada analògica	0-100 °C	Termoparell
TT6101	1	100 ADW1 01 1 13 CS	Transmissor de temperatura	Entrada analògica	0-100 °C	Termoparell
TT5201	2	R0104	Transmissor de temperatura	Entrada analògica	0-200 °C	Termoparell
TT5202	2	100 P 01 2 01 SS	Transmissor de temperatura	Entrada analògica	0-150 °C	Termoparell
TT5203	2	125 P 01 2 02 SS	Transmissor de temperatura	Entrada analògica	0-200 °C	Termoparell
TT5204	2	150 P 01 2 03 SS	Transmissor de temperatura	Entrada analògica	0-250 °C	Termoparell

TT5205	2	R0104	Transmissor de temperatura	Entrada analògica	0-250 °C	Termoparell
TT5206	2	200 P 01 2 06 SS	Transmissor de temperatura	Entrada analògica	0-250 °C	Termoparell
TT5207	2	R0104	Transmissor de temperatura	Entrada analògica	0-500 °C	Termoparell
TT5208	2	E0134	Transmissor de temperatura	Entrada analògica	0-250 °C	Termoparell
TT5209	2	350 P 01 2 20 SS	Transmissor de temperatura	Entrada analògica	0-150 °C	Termoparell
TT5210	2	E0139	Transmissor de temperatura	Entrada analògica	0-250 °C	Termoparell
TT6201	2	300 HS 01 2 14 CS	Transmissor de temperatura	Entrada analògica	0-250 °C	Termoparell
TT5301	3	T0100	Transmissor de temperatura	Entrada analògica	0-150 °C	Termoparell
TT5302	3	T0100	Transmissor de temperatura	Entrada analògica	0-150 °C	Termoparell
TT5303	3	T0100	Transmissor de temperatura	Entrada analògica	0-150 °C	Termoparell
TT5304	3	T0100	Transmissor de temperatura	Entrada analògica	0-150 °C	Termoparell
TT5305	3	S0123	Transmissor de temperatura	Entrada analògica	0-100 °C	Termoparell
TT5306	3	200 P 01 3 14 SS	Transmissor de temperatura	Entrada analògica	0-50 °C	Termoparell
TT5307	3	200 P 01 3 15 SS	Transmissor de temperatura	Entrada analògica	0-50 °C	Termoparell
PSH5201	2	E0134	Sensor d'alta pressió	Entrada digital	ON / OFF	Interruptor de pressió
PSH5202	2	E0139	Sensor d'alta pressió	Entrada digital	ON / OFF	Interruptor de pressió
PSH5301	3	T0100	Sensor d'alta pressió	Entrada digital	ON / OFF	Interruptor de pressió
PSH5302	3	S0123	Sensor d'alta pressió	Entrada digital	ON / OFF	Interruptor de pressió
PSL5201	2	E0134	Sensor de baixa pressió	Entrada digital	ON / OFF	Interruptor de pressió
PSL5202	2	E0139	Sensor de baixa pressió	Entrada digital	ON / OFF	Interruptor de pressió
PSL5301	3	T0100	Sensor de baixa pressió	Entrada digital	ON / OFF	Interruptor de pressió

PSL5302	3	S0123	Sensor de baixa pressió	Entrada digital	ON / OFF	Interruptor de pressió
LSH5201	2	E0134	Sensor d'alt nivell	Entrada digital	ON / OFF	Interruptor de nivell
LSH5202	2	E0139	Sensor d'alt nivell	Entrada digital	ON / OFF	Interruptor de nivell
LSH5301	3	T0100	Sensor d'alt nivell	Entrada digital	ON / OFF	Interruptor de nivell
LSH5302	3	S0123	Sensor d'alt nivell	Entrada digital	ON / OFF	Interruptor de nivell
LSL5201	2	E0134	Sensor de baix nivell	Entrada digital	ON / OFF	Interruptor de nivell
LSL5202	2	E0139	Sensor de baix nivell	Entrada digital	ON / OFF	Interruptor de nivell
LSL5301	3	T0100	Sensor de baix nivell	Entrada digital	ON / OFF	Interruptor de nivell
LSL5302	3	S0123	Sensor de baix nivell	Entrada digital	ON / OFF	Interruptor de nivell

4.2.2.4. Enclavaments

Els enclavaments són mecanismes de seguretat dissenyats per prevenir condicions perilloses derivades d'un mal funcionament o una situació inusual i mantenir la seguretat de la instal·lació.

L'objectiu és prevenir accidents, protegir el personal, evitar danys en els equips i mantenir la integritat de la instal·lació.

Taula 4.2.2.4.1. Llistat d'enclavaments.

EQUIP		Enclavaments
E0134	1	Tancament de la vàlvula HV5201 per baix nivell.
	2	Obertura de la vàlvula HV5201 per alt nivell.
E0139	3	Tancament de la vàlvula HV5202 per baix nivell.
	4	Obertura de la vàlvula HV5202 per alt nivell.
S0123	5	Tancament de la vàlvula HV5301 per alt nivell.
	6	Parada bomba P0148 per baix nivell.
T0100	7	Tancament de la vàlvula HV5302 per alt nivell.
	8	Parada bomba P0147 per baix nivell.

4.3. Disseny d'equips

4.3.1. Disseny dels bescanviadors de calor

Els bescanviadors s'han dissenyat mitjançant el programa *Aspen Exchange Design & Rating*®. D'aquesta manera, amb l'opció de *design* i les característiques d'entrada i sortida dels corrents dels intercanviadors, s'han calculat tenint en compte els criteris extrets del llibre *Coulson & Richardson's Chemical Engineering* (ref.6).

A tots els bescanviadors s'ha establert una velocitat de líquid entre 0.10-1.50 m/s i una velocitat de vapor entre 15-30 m/s. També s'han fet tots els equips en disposició horitzontal i que la carcassa i els tubs estiguin fets d'acer inoxidable. Finalment, els 3 equips dissenyats tenen una configuració del feix de tubs 30°-triangular, per evitar problemes de vibracions i per obtenir una major eficiència en la transferència de calor.

Els equips E0138 i E0140 són bescanviadors de tubs i carcassa els quals tenen una configuració BEM pel seu baix cost econòmic i perquè els tubs es poden col·locar molt a prop de la cara interna de la carcassa, augmentant la relació entre el nombre de tubs i el diàmetre de carcassa. D'altra banda, s'ha seguit el criteri d'ubicar el fluid calent i el que té més fouling pels tubs, ja que la seva neteja mecànica és més senzilla.

L'equip E0139 és un bescanviador de tubs i carcassa de tipus *kettle*, el qual té una configuració BKU, que és la mateixa configuració que l'equip E0134 (existent). En aquest cas, s'ha ubicat a la carcassa el fluid que requereix l'evaporació.

4.3.1.1. E0138

El bescanviador de calor E0138 serveix per escalfar el corrent d'entrada d'EDC pur des dels 60 °C fins als 110 °C mitjançant el corrent de sortida del cap de columna, que es refreda des dels 125 °C fins als 116 °C.

Les característiques dels corrents d'entrada i sortida queden detallades a la taula 4.3.1.1.1.

Taula 4.3.1.1.1. Característiques del bescanviador E0138.

Corrent	Carcassa		Tubs	
	Fred EDC pur		Calent Sortida cap	
Localització	Entrada	Sortida	Entrada	Sortida
Temperatura (°C)	60	110	125	116
Pressió (barg)	14.72	14.62	5.35	4.92
Cabal (kg/s)	19.768		37.575	
Calor bescanviada (kW)	1324.4			

4.3.1.2. E0139

El bescanviador de calor E0139 té l'objectiu de substituir completament l'equip E0134. El nou bescanviador dissenyat serveix per vaporitzar l'EDC pur que entra en fase líquida a 190 °C i surt en forma de vapor a 195 °C. Aquest equip aprofita la calor del corrent de sortida dels productes del *cracker* que es troben a 465 °C i es refreden fins a 240 °C.

Les característiques dels corrents d'entrada i sortida queden detallades a la taula 4.3.1.2.1.

Taula 4.3.1.2.1. Característiques del bescanviador E0139.

	Carcassa		Tubs	
	Fred		Calent	
Corrent	EDC liquid	EDC vapor	Sortida <i>cracker</i>	
Localització	Entrada	Sortida	Entrada	Sortida
Temperatura (°C)	190	195	465	240
Pressió (barg)	12.50	12.35	4.49	4.04
Cabal (kg/s)	19.768		19.768	
Calor bescanviada (kW)	5218.3			

4.3.1.3. E0140

El corrent de sortida del cap de columna encara tenia una temperatura prou alta per a poder continuar aprofitant aquesta calor. D'aquesta manera, es va observar que a la planta de PVC hi havia un corrent d'aigua desmineralitzada que s'havia d'escalfar de 20 °C a 95 °C.

Llavors mitjançant el corrent de sortida del cap de columna que ha passat prèviament pel E0138, es refreda de 118 °C a 99 °C.

Les característiques dels corrents d'entrada i sortida queden detallades a la taula 4.3.1.3.1.

Taula 4.3.1.3.1. Característiques del bescanviador E0140.

	Carcassa		Tubs	
	Fred		Calent	
Corrent	Aigua DMW		Sortida cap columna	
Localització	Entrada	Sortida	Entrada	Sortida
Temperatura (°C)	20	95	118	99
Pressió (barg)	5.90	5.86	5.35	4.95
Cabal (kg/s)	13.889		37.575	
Calor bescanviada (kW)			4747.5	

4.3.1.4. Fulles TEMA

A continuació es mostren les fulles TEMA i les fulles del disseny de la disposició dels tubs i de la carcassa dels equips dissenyats.

TEMA Sheet

Heat Exchanger Specification Sheet


1	Company: Ercros																	
2	Location: Vila-seca, Tarragona																	
3	Service of Unit:					Our Reference:												
4	Item No.:					Your Reference:												
5	Date:			Rev No.:			Job No.:											
6	Size: 559 - 3657,6		mm		Type: BEM		Horizontal		Connected in: 1 parallel 1 series									
7	Surf/unit(eff.)		92,2		m ²		Shells/unit 1		Surf/shell(eff.) 92,2 m ²									
8	PERFORMANCE OF ONE UNIT																	
9	Fluid allocation				Shell Side			Tube Side										
10	Fluid name				EDC			Salida cabeza										
11	Fluid quantity, Total				19,7684			37,5751										
12	Vapor (In/Out)				kg/s		0		0		33,3641		29,9793					
13	Liquid				kg/s		19,7684		19,7684		0		3,3848					
14	Noncondensable				kg/s		0		0		4,211		4,211					
15																		
16	Temperature (In/Out)				°C		60		109,99		125		116,53					
17	Bubble / Dew point				°C		/		/		3,84 / 122,16		1,01 / 119,51					
18	Density		Vapor/Liquid		kg/m ³		/ 1194,76		/ 1114,14		15,01 /		13,78 / 1072,6					
19	Viscosity				mPa-s		/ 0,5129		/ 0,3013		0,0142 /		0,0141 / 0,2461					
20	Molecular wt, Vap										72,69		71,03					
21	Molecular wt, NC										36,44		36,44					
22	Specific heat				kJ/(kg-K)		/ 1,287		/ 1,398		0,983 /		0,973 / 1,443					
23	Thermal conductivity				W/(m-K)		/ 0,1254		/ 0,1121		0,0165 /		0,0162 / 0,1076					
24	Latent heat				kJ/kg						304,3		305,8					
25	Pressure (abs)				bar		15,72		15,6215		6,35		5,92714					
26	Velocity (Mean/Max)				m/s		0,34 / 0,4				29,77 / 29,88							
27	Pressure drop, allow./calc.				bar		0,5		0,0985		0,5		0,42286					
28	Fouling resistance (min)				m ² -K/W		0,00069				0		0 Ao based					
29	Heat exchanged		1324,4		kW				MTD (corrected)		29,07		°C					
30	Transfer rate, Service		493,9		kW		Dirty 529,7		Clean		832,9		W/(m ² -K)					
31	CONSTRUCTION OF ONE SHELL										Sketch							
32					Shell Side			Tube Side										
33	Design/Vacuum/test pressure:g		bar		17,92638/ /			7,58424 / /										
34	Design temperature / MDMT				°C		148,89 /		160 /									
35	Number passes per shell						1		1									
36	Corrosion allowance				mm		0		0									
37	Connections		In		mm		1 152,4 / -		1 406,4 / -									
38	Size/Rating		Out				1 152,4 / -		1 406,4 / -									
39	Nominal		Intermediate				/ -		/ -									
40	Tube #: 430		OD: 19,05		Tks. Average 1,65		mm		Length: 12		ft		Pitch: 23,81		mm		Tube pattern:30	
41	Tube type: Plain				Insert:None				Fin#:		#/m		Material:SS 316					
42	Shell SS 316		ID 558,8		OD 568,33		mm		Shell cover		-							
43	Channel or bonnet		SS 316						Channel cover		-							
44	Tubesheet-stationary		SS 316						Tubesheet-floating		-							
45	Floating head cover				-				Impingement protection		None							
46	Baffle-cross SS 316		Type		Single segmental		Cut(%d)		24,17		Horiz:Spacing: c/c 184,15		mm					
47	Baffle-long -		Seal Type						Inlet		411,16				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 942		Bundle entrance 237		Bundle exit 254		kg/(m-s ²)											
52	Gaskets - Shell side				-		Tube side				Flat Metal Jacket Fibe							
53	Floating head				-													
54	Code requirements				ASME Code Sec VIII Div 1				TEMA class R - refinery service									
55	Weight/Shell		2030,6		Filled with water 3168,5		Bundle 1319		kg									
56	Remarks																	
57																		
58																		

Figura 4.3.1.4.1. Full d'especificació TEMA E0138.

Setting Plan

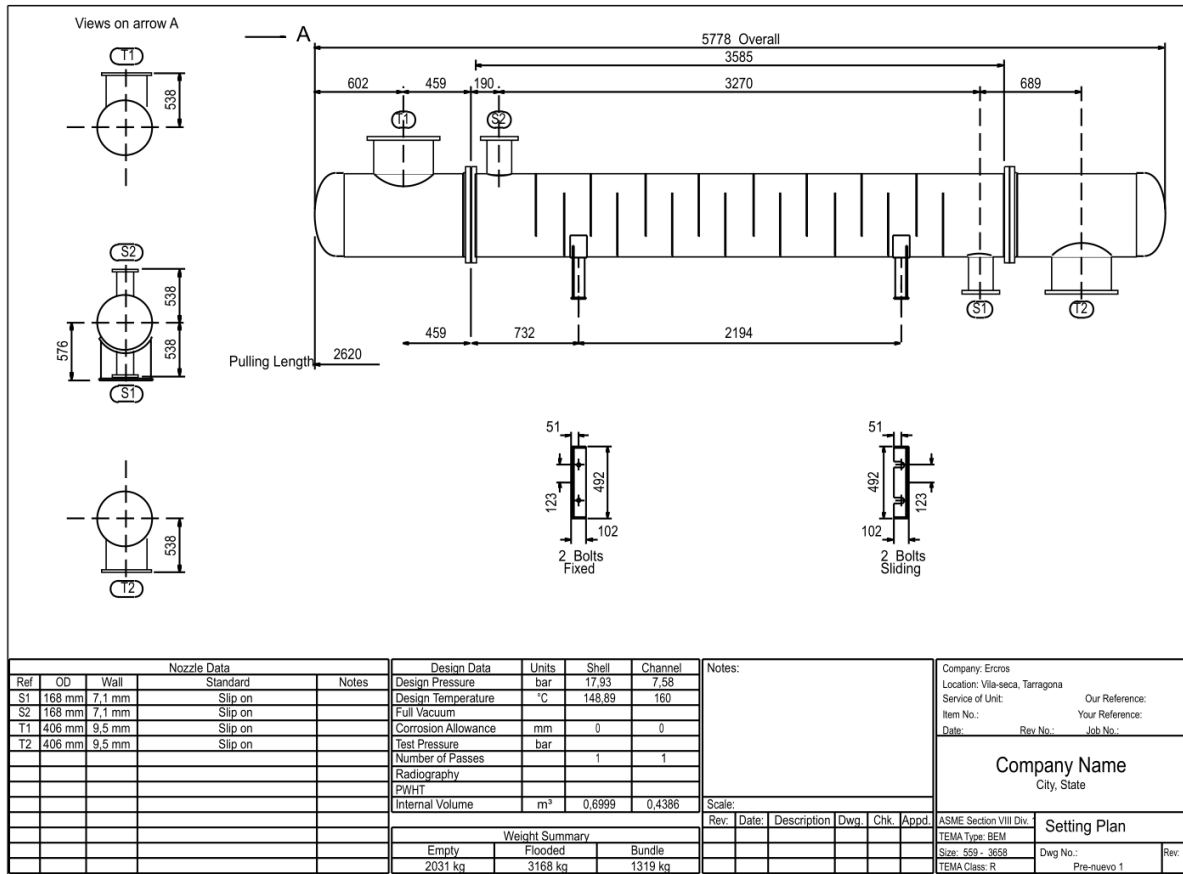


Figura 4.3.1.4.2. Dimensions del bescanviador E0138.

Tubesheet Layout

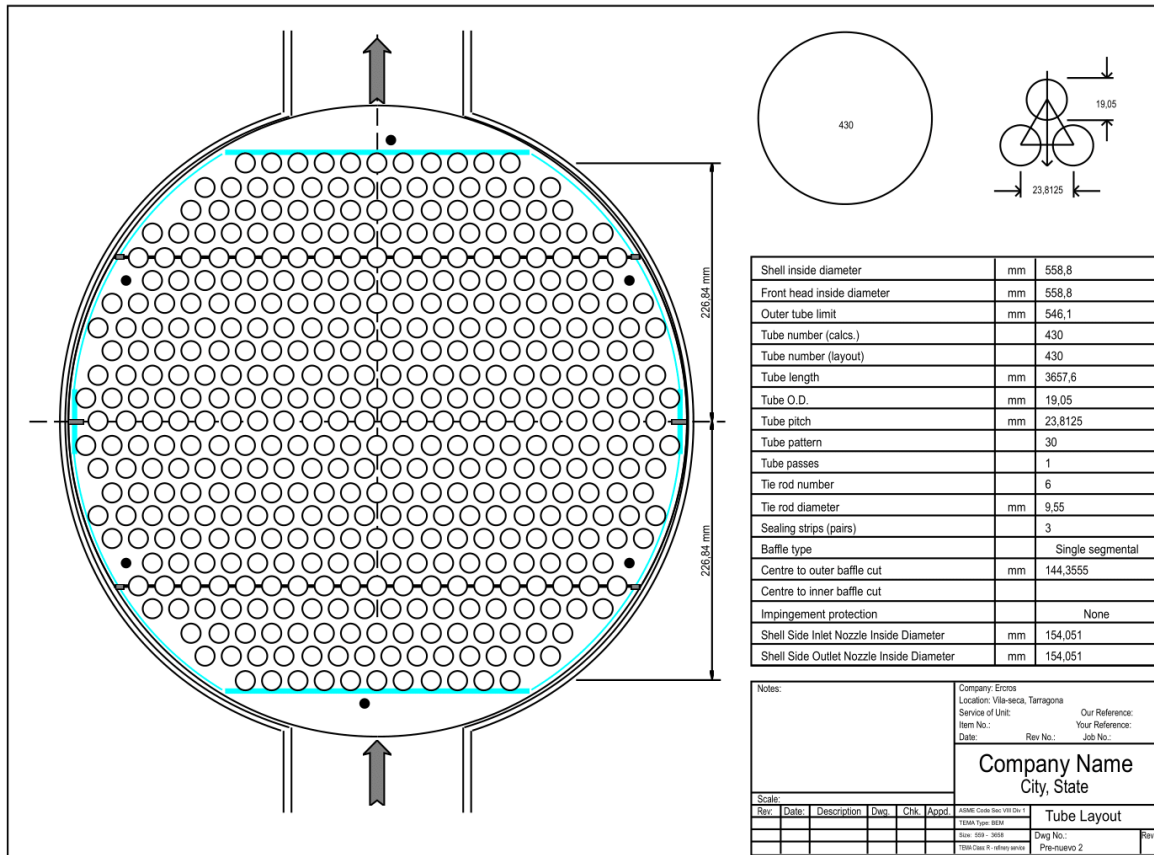


Figura 4.3.1.4.3. Disposició de tubs E0138.

TEMA Sheet

Heat Exchanger Specification Sheet

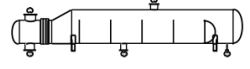
1	Company: Ercros									
2	Location: Vila-seca, Tarragona									
3	Service of Unit:					Our Reference:				
4	Item No.:					Your Reference:				
5	Date:		Rev No.:			Job No.:				
6	Size:		914 /1329 -6096		mm		Type: BKU Horizontal		Connected in: 1 parallel 1 series	
7	Surf/unit(eff.)		392,9		m ²		Shells/unit 1		Surf/shell(eff.) 392,9 m ²	
8	PERFORMANCE OF ONE UNIT									
9	Fluid allocation					Shell Side			Tube Side	
10	Fluid name					EDC			Salida reactor	
11	Fluid quantity, Total					kg/h 71166			71166	
12	Vapor (In/Out)		kg/s		0		19,7684		19,7684 / 19,7684	
13	Liquid		kg/s		19,7684		0		0 / 0	
14	Noncondensable		kg/s		0		0		0 / 0	
15										
16	Temperature (In/Out)		°C		190		195		465 / 239,89	
17	Bubble / Dew point		°C		190,87 /		/		/ /	
18	Density Vapor/Liquid		kg/m ³		/ 959,6		41,89 / 957,63		5,81 / 7,83 /	
19	Viscosity		mPa-s		/ 0,152		0,0148 / 0,151		0,0258 / 0,0188 /	
20	Molecular wt, Vap						98,97		64,56 / 64,56	
21	Molecular wt, NC									
22	Specific heat		kJ/(kg-K)		/ 1,703		1,116 / 1,709		1,252 / 1,083 /	
23	Thermal conductivity		W/(m-K)		/ 0,0908		0,0186 / 0,0905		0,0427 / 0,025 /	
24	Latent heat		kJ/kg				257,9			
25	Pressure (abs)		bar		13,5		13,38853		5,49172 / 5,04524	
26	Velocity (Mean/Max)		m/s		0,78 / 1,08				29,11 / 34,16	
27	Pressure drop, allow./calc.		bar		1		0,11147		0,5 / 0,44649	
28	Fouling resistance (min)		m ² -K/W		0,00069				0,00069 / 0,00086 Ao based	
29	Heat exchanged		5218,3		kW		MTD (corrected)		131,44 °C	
30	Transfer rate, Service		101,9		Dirty		225,5		Clean 346,3 W/(m ² -K)	
31	CONSTRUCTION OF ONE SHELL									
32						Shell Side			Tube Side	
33	Design/Vacuum/test pressure:g		bar		15,16847/ /		6,20528 / /			
34	Design temperature / MDMT		°C		232,22 /		504,44 /			
35	Number passes per shell				1		2			
36	Corrosion allowance		mm		3		3			
37	Connections		In mm		1 203,2 / -		1 406,4 / -			
38	Size/Rating		Out		1 12,7 / -		1 355,6 / -			
39	Nominal		Out - Vapor		1 254 / -		/ -			
40	Tube #: 495 U's		OD: 20		Tks. Average 2		mm		Length: 6096 mm Pitch: 26 mm Tube pattern:30	
41	Tube type: Plain		Insert:None		Fin#: /m		Material:SS 316			
42	Shell SS 316		ID 914,4		OD 933,45		mm		Shell cover SS 316	
43	Channel or bonnet SS 316								Channel cover -	
44	Tubesheet-stationary SS 316								Tubesheet-floating -	
45	Floating head cover -								Impingement protection None	
46	Baffle-cross SS 316		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 391				Bundle entrance 159		Bundle exit 491		kg/(m-s ²)	
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		9764,1		Filled with water 19857		Bundle 6254,3		kg	
56	Remarks									
57										
58										

Figura 4.3.1.4.4. Full d'especificació TEMA E0139.

Setting Plan

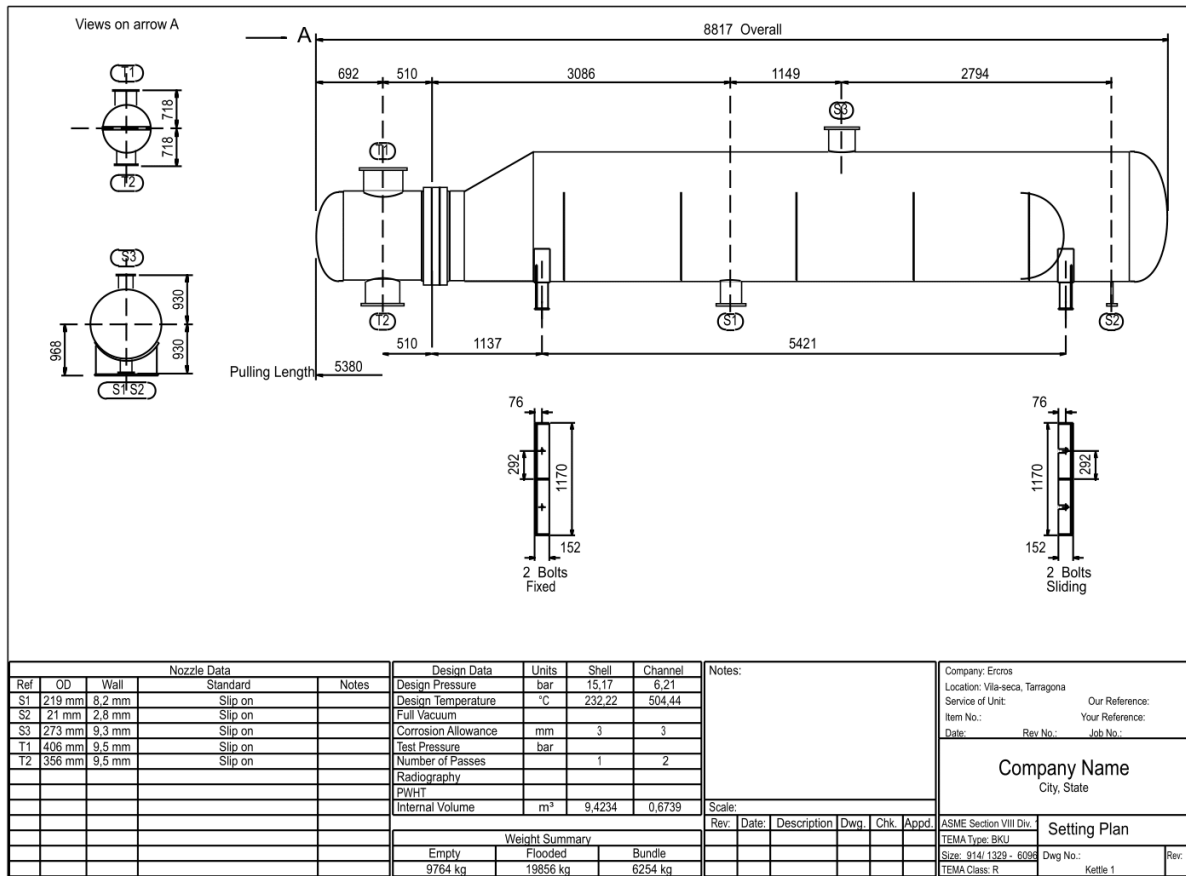


Figura 4.3.1.4.5. Dimensions del bescanviador E0139.

TEMA Sheet

Heat Exchanger Specification Sheet

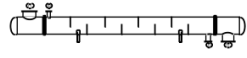
1	Company:									
2	Location:									
3	Service of Unit:		Our Reference:							
4	Item No.:		Your Reference:							
5	Date:	Rev No.:	Job No.:							
6	Size:	635 - 6096	mm	Type:	BEM Horizontal	Connected in:	1 parallel	1 series		
7	Surf/unit(eff.)	201,8	m ²	Shells/unit	1	Surf/shell(eff.)	201,8	m ²		
8	PERFORMANCE OF ONE UNIT									
9	Fluid allocation		Shell Side			Tube Side				
10	Fluid name		Aigua DM			VCM				
11	Fluid quantity, Total		13,8889			37,5751				
12	Vapor (In/Out)		0			34,6151				
13	Liquid		13,8889			2,96				
14	Noncondensable		0			0				
15										
16	Temperature (In/Out)		20			94,96				
17	Bubble / Dew point		159,19 / 159,19			159,02 / 159,02				
18	Density Vapor/Liquid		/ 998,86			/ 923,7				
19	Viscosity		/ 1,0214			/ 0,2957				
20	Molecular wt, Vap					71,25				
21	Molecular wt, NC					62,92				
22	Specific heat		/ 4,526			/ 4,589				
23	Thermal conductivity		/ 0,5991			/ 0,6738				
24	Latent heat		kJ/kg			304,7				
25	Pressure (abs)		6,9			6,86107				
26	Velocity (Mean/Max)		0,14 / 0,19			18,08 / 21,27				
27	Pressure drop, allow./calc.		0,5			0,03893				
28	Fouling resistance (min)		m ² -K/W			0,00017				
29	Heat exchanged		4747,5			kW				
30	Transfer rate, Service		497,5			Dirty 541,3				
31	CONSTRUCTION OF ONE SHELL				Sketch					
32			Shell Side		Tube Side					
33	Design/Vacuum/test pressure:g		bar		8,27371 / /				7,58424 / /	
34	Design temperature / MDMT		°C		132,22 / /				160 / /	
35	Number passes per shell				1				1	
36	Corrosion allowance		mm		0				0	
37	Connections		In		mm				1 152,4 / -	
38	Size/Rating		Out						1 457,2 / -	
39	Nominal		Intermediate				/ -			
40	Tube #: 560		OD: 19,05		Tks. Average 1,65		mm			
41	Tube type: Plain		Insert:None		Fin#:		#/m			
42	Shell SS 316		ID 635		OD 644,52		mm			
43	Channel or bonnet		SS 316		Shell cover		-			
44	Tubesheet-stationary		SS 316		Channel cover		-			
45	Floating head cover		-		Tubesheet-floating		-			
46	Baffle-cross SS 316		Type		Single segmental		Cut(%d) 40,26			
47	Baffle-long -		Seal Type		Impingement protection		None			
48	Supports-tube		U-bend		Type		Inlet 920,75			
49	Bypass seal		0		Type		mm			
50	Expansion joint		-		Type		Expanded only (2 grooves)(App.A 'i')			
51	RhoV2-Inlet nozzle 556		Bundle entrance 19		Type		None			
52	Gaskets - Shell side		-		Bundle exit 85		kg/(m-s ²)			
53	Floating head		-		Gaskets - Tube side		Flat Metal Jacket Fibe			
54	Code requirements		ASME Code Sec VIII Div 1		TEMA class		R - refinery service			
55	Weight/Shell		3669,8		Filled with water		5818,6			
56	Remarks				Bundle		2694,6			
57							kg			
58										

Figura 4.3.1.4.7. Full d'especificació TEMA E0140.

Setting Plan

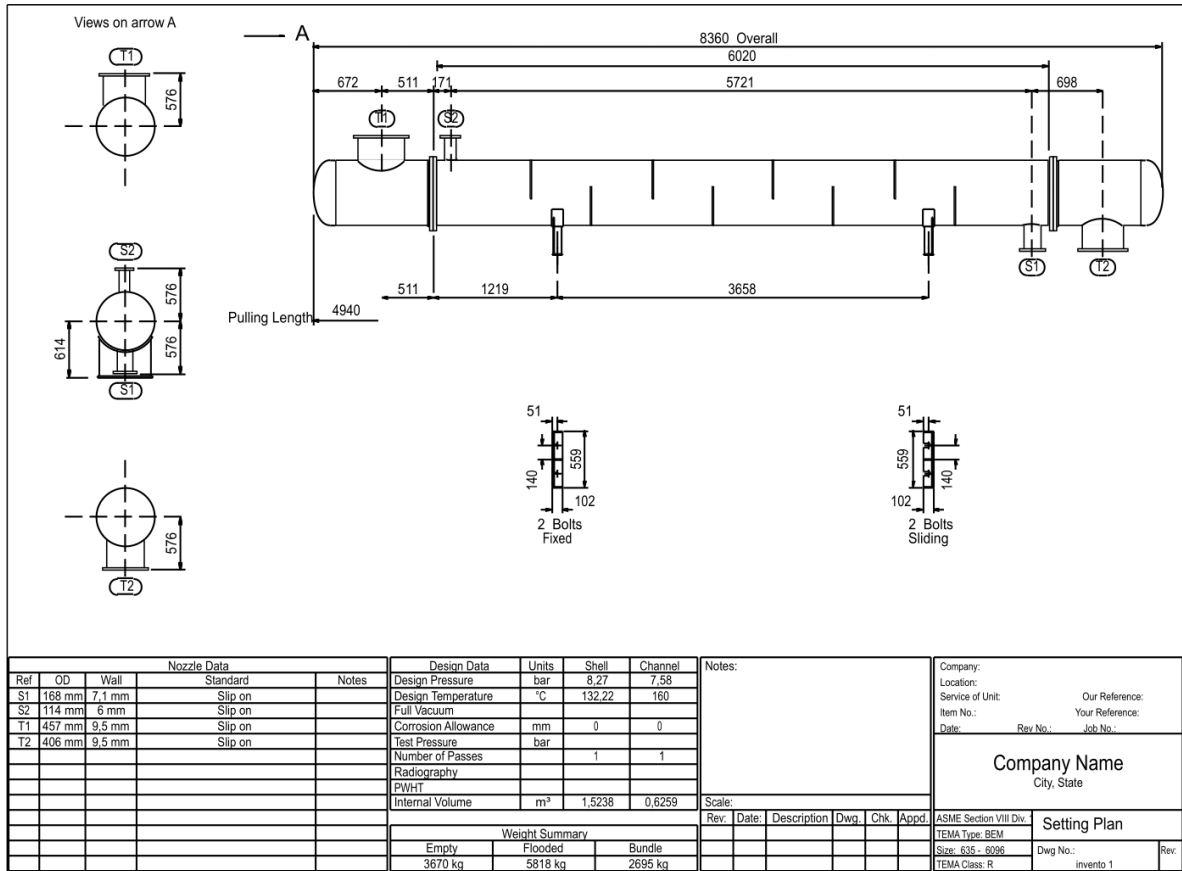


Figura 4.3.1.4.8. Dimensions del bescanviador E0140.

Tubesheet Layout

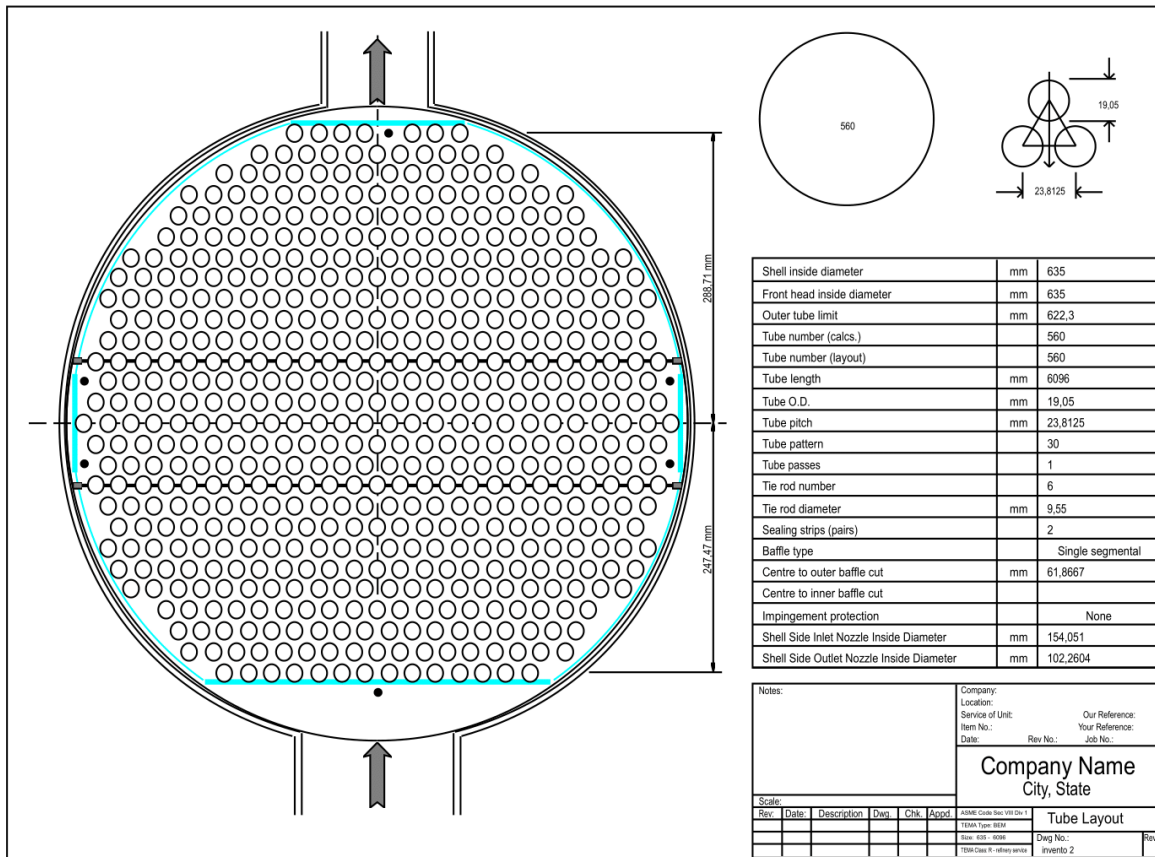


Figura 4.3.1.4.9. Disposició de tubs E0140.

4.3.2. Disseny del tanc S0123

Per a dissenyar el tanc S0123, s'ha de dimensionar en funció del cabal que transporta la bomba i el temps de residència del producte dins del tanc per a garantir un cabal constant.

$$V (m^3) = Q \left(\frac{m^3}{h} \right) \cdot t(h) \quad (E.10)$$

Un cop obtingut el volum requerit, s'ha de dimensionar tenint en compte que mai opera al 100% de capacitat, per tant, es divideix entre el % d'ompliment operacional per obtenir el volum total.

Per al disseny s'ha definit una relació L/D d'1.75 (es recomana L/D=1-2) i s'ha calculat el volum del cilindre i dels capçals torisfèrics amb les següents equacions:

$$V_{cil} (m^3) = \pi \cdot R^2 (m) \cdot L (m) \quad (E.11)$$

Segons la bibliografia (ref.7), per a capçals torisfèrics es plantegen les següents relacions:

$$R (m) \leq D (m) \quad (E.12)$$

$$r (m) \geq 0.1 \cdot R (m) \quad (E.13)$$

$$hc \geq 50 \text{ mm} \quad (E.14)$$

On:

- r és el radi de la curvatura menor
- R és el radi de la curvatura major del capçal
- hc és l'altura del punt on inicia la curvatura menor.

Les relacions dels paràmetres mencionats anteriorment, seguint la normativa ASME, se solen simplificar per a capçals torisfèrics (ref.8):

$$R (m) = D (m) \quad (E.15)$$

$$r (m) = 0.1 \cdot D (m) \quad (E.16)$$

Finalment, el volum dels capçals es pot calcular amb l'equació:

$$V_{capçals} (m^3) = 2 \cdot (0.1 \cdot D^3 + 0.7854 \cdot hc \cdot D^2) \quad (E.17)$$

La diferència entre el volum real i el volum calculat amb l'anterior equació sol tenir percentatges d'error inferiors al 0.50% (ref. 9)

A l'annex A.3.2 hi ha el procediment complet per trobar l'equació E.17.

La suma de volums del cilindre i els capçals ha de ser igual al volum total del tanc. Realitzant una igualació i tenint en compte la relació L/D, s'obté la longitud i diàmetre del tanc S0123.

Seguint la normativa ASME (ref.2), es calculen els gruixos de paret del tanc:

$$t_{cil} (mm) = \frac{P (MPa) \cdot R (mm)}{S (MPa) \cdot E - 0.6 \cdot P (MPa)} \quad (E.18)$$

On:

- P és la pressió de disseny.
- R és el radi del tanc.
- S és la tensió màxima admissible del material a la temperatura de disseny.
- E és l'eficiència de les soldadures en MPa, en aquest cas s'utilitza 0.85.

Per a calcular el gruix dels capçals torisfèrics, es fa servir un factor M que es determina a partir de la relació L/r. A l'annex A.3. es troba la taula amb els diferents valors del factor M.

$$t_{capçal} (mm) = \frac{P (MPa) \cdot L (m) \cdot M}{2 \cdot S (MPa) \cdot E - 0.2 \cdot P (MPa)} \quad (E.19)$$

On:

- L és el radi de curvatura major del capçal.
- M és la relació entre el radi major i menor del capçal, adimensional.

Un cop calculats, els gruixos s'han de normalitzar. En aquest cas, el gruix requerit per al cilindre és superior al dels capçals. S'ha decidit mantenir aquesta diferència, ja que tenir gruixos desiguals comporta a una disminució dels costos de fabricació del tanc.

Finalment, es calcula la màxima pressió admissible i la pressió de prova hidràulica.

$$MAWP (MPa) = \frac{S (MPa) \cdot E \cdot t (mm)}{R (mm) + 0.6 \cdot t (mm)} \quad (E.20)$$

Utilitzant el MAWP i la relació entre la resistència del material a temperatura de la prova hidràulica i la resistència del material a temperatura d'operació:

$$P_p (MPa) = 1.3 \cdot MAWP \cdot \left(\frac{S_{PH}}{S_{OP}} \right) \quad (E.21)$$

Per calcular el pes del tanc (kg) s'ha de tenir en compte el gruix de paret del tanc i la densitat del material. El material escollit, a causa de la compatibilitat química, és l'acer inoxidable (SS) (ref.3). Cal tenir en compte que el pes del capçal (kg) s'ha de multiplicar per dos (cap i fons).

$$Pes_{cil} = \pi \cdot [(R + t)^2 - R^2] \cdot L_{cil} \cdot \rho_{metall} \quad (E.22)$$

$$Pes_{capçal} = 0.1 \cdot [(D + 2 \cdot t)^3 - D^3] + 0.7854 \cdot hc \cdot [(D + 2 \cdot t)^2 - D^2] \cdot \rho_{metall} \quad (E.23)$$

1	GENERAL					Item: S0123
2	Service: Horizontal Flash Separator					
3	Type of roof: Torispherical					
4	Capacity 30 m3					
5	OPERAT. COND.		Usable Capacity	24,00	m3	
6			Operating Pressure	5,25	kg/cm2 g	
7			Operating Temperature	50	°C	
8			Liquid Density	1103,57	kg/m ³	
9			Inlet flow	2.764,22	m3/h	
10			Outlet liquid flow	95,87	m3/h	
10			Outlet gas flow	2.668,35	m3/h	
11	DESIGN DATA		Design Pressure (eff.)	6,48	kg/cm2 g	
12			Design Temperature	70	°C	
13			Corr. Allow.	1	mm	
14			Code:	ASME section VIII Division 2		
15			Type of radiography	Partial		
16			Radiograph:	85 %		
17			Stress Relieve:	<input checked="" type="checkbox"/> Yes	Parts: PSV-12 at 5,60 barg	
18			Insulation:	<input type="checkbox"/> Yes	Thickness (mm.):	
19			Fireproofing:	<input type="checkbox"/> Yes		
20			Sandblast:	<input type="checkbox"/> Yes	Grade:	
21			Paint:	<input type="checkbox"/> Yes	Parts:	
22			Wt. Empty:	3.339,22	kg	
23			Wt. Full of product:	36.400,14	kg	
24			Wt. Full of water:	33.297,34	kg	
25			Hydrostatic Test (eff.)	10,54	kg/cm2 g	
26			Thickness (mm.)	Material Class		
27			Shell	9,50	Stainless Steel AISI 316	
28			Roof	6,30	Stainless Steel AISI 316	
29			Bottom	6,30	Stainless Steel AISI 316	
30	MATERIALS					
31						
32						
33						
34						
35						
36						
37						
38						
39						
40						
41	NOZZLES		Service	Mark	No.	
42			Inlet	A1	1	
43			Gas outlet	B1	1	
44			Liquid outlet	B2	1	
45			PSV-12	R1	1	
46			Manway	H1	1	
47			PT 5304	P1	1	
48			PdT 5303	N1	2	
49			TT 5305	T1	1	
50			LSH 5302	N2	1	
51			LSL 5302	N3	1	
52			PSH 5302	P2	1	
53			PSL 5302	P3	1	
54						
55						
56	NOTES:					
57						
58						
59						
60						
61						
62						
63						
64	REV.		30/04/2025	Nadir B.	APPR.	
65						

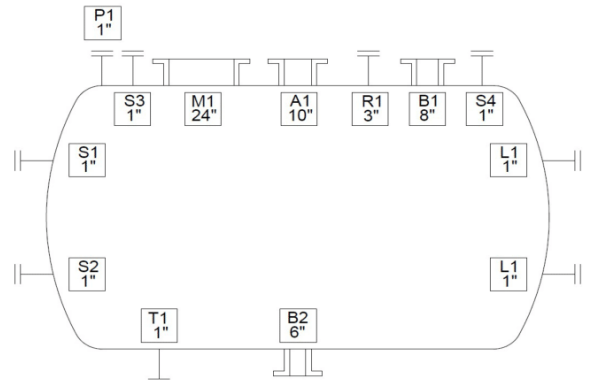


Figura 4.3.2.1. Full d'especificacions tanc S0123.

4.3.3. Disseny de la bomba P0148

Per a dissenyar la bomba P0148 s'ha utilitzat el *software CheChalc* (ref.10) per a fer una estimació dels paràmetres de la bomba.

Per a calcular la pressió d'aspiració s'han seguit les següents equacions:

$$P_{Aspiració} = P_1 + P_{Estàtica} - \Delta P_{Equipament} - \Delta P_{Fricció} \quad (E.24)$$

$$\Delta P_{Fricció} = \Delta P_{Tub} + \Delta P_{Fittings} \quad (E.25)$$

$$P_{Estàtica} = \frac{h_1 \cdot \rho \cdot g}{1000} \quad (E.26)$$

Una vegada calculada la pressió d'aspiració, es calcula la pressió de descàrrega mitjançant les següents equacions:

$$P_{Impulsió} = P_2 + P_{Estàtica} + \Delta P_{Equipament} + \Delta P_{Fricció} \quad (E.27)$$

$$\Delta P_{Fricció} = \Delta P_{Tub} + \Delta P_{Fittings} \quad (E.28)$$

$$P_{Estàtica} = \frac{h_2 \cdot \rho \cdot g}{1000} \quad (E.29)$$

El càlcul de l'alçada de bombeig de la bomba i la potència hidràulica s'ha fet de la següent manera:

$$Alçada_{bombeig}(m) = (P_{Impulsió} - P_{Aspiració}) \cdot \frac{100000}{\rho \cdot g} \quad (E.30)$$

$$Potència(kW) = Alçada_{bombeig}(m) \cdot Q(m^3/h) \cdot SG \cdot \frac{g}{3600} \quad (E.31)$$

Per a calcular les diferents pèrdues de pressió, s'han introduït les següents dades al *software Checalc*, després d'analitzar la bomba P0148 a la planta.

Taula 4.3.4.1. Dades introduïdes al *Checalc*.

	Aspiració	Impulsió
Colze de 90 °	1	4
T brach	-	1
Vàlvula de bola	2	2
Vàlvula de globus	1	1
Alçada canonada (m)	30	5
Llargada canonada (m)	60	7

A partir d'aquests càlculs i el *software Checalc*, s'han obtingut els resultats pel disseny de la bomba P0148.

Aquests es troben a la taula 4.3.4.2.

Taula 4.3.4.2. Resultats del disseny de la bomba P0148.

Característiques	Valors
Cabal (m^3/h)	95.87
Pressió d'aspiració (barg)	5.77
Pressió d'impulsió (barg)	8.82
Pressió diferencial (bar)	3.05
Alçada bombeig (m)	28.18
Potència hidràulica (kW)	8.11
NPSH disponible (m)	33.95

Un cop conegudes les característiques de la bomba, s'ha consultat un catàleg de la companyia *Grundfos* (ref.11), per poder seleccionar la bomba.

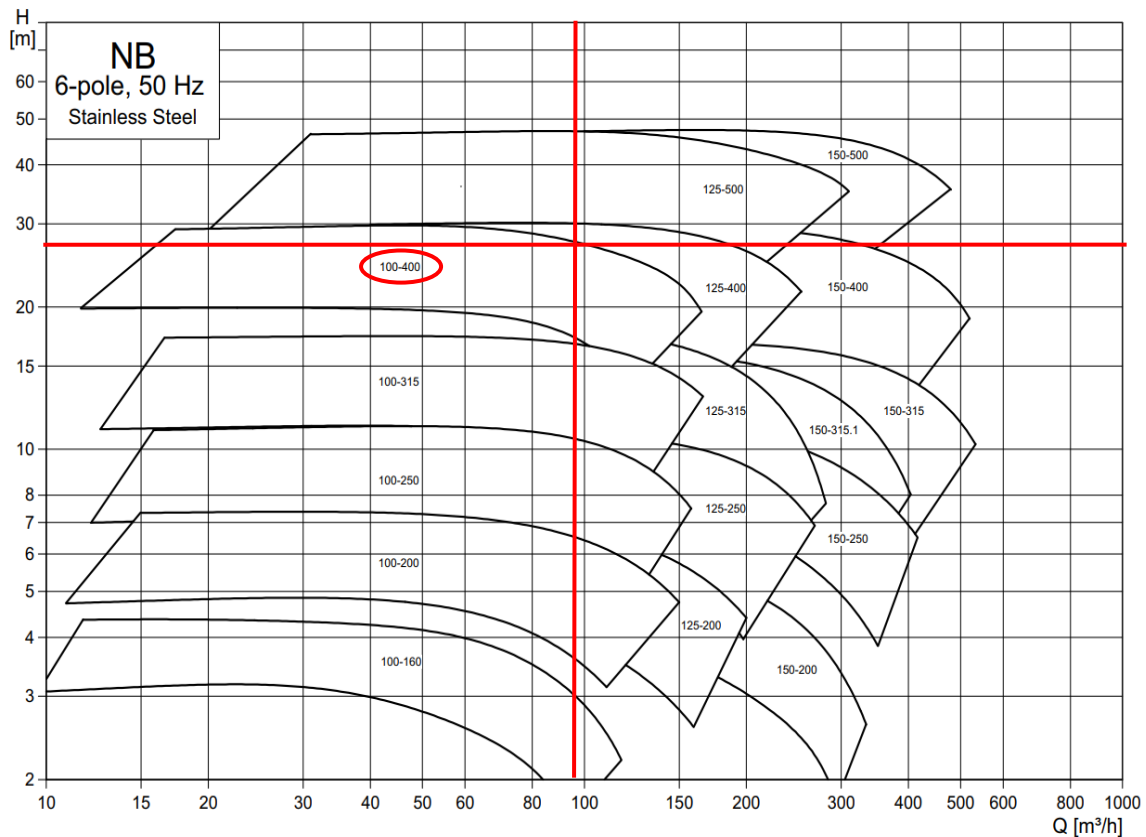


Figura 4.3.4.1. Rang d'operació per a la bomba P0148.

Un cop seleccionat el tipus de bomba, es mira la corba característica d'aquesta, figura 4.3.4.1, per obtenir el tipus de rodet necessari, el NPSH requerit i la potència.

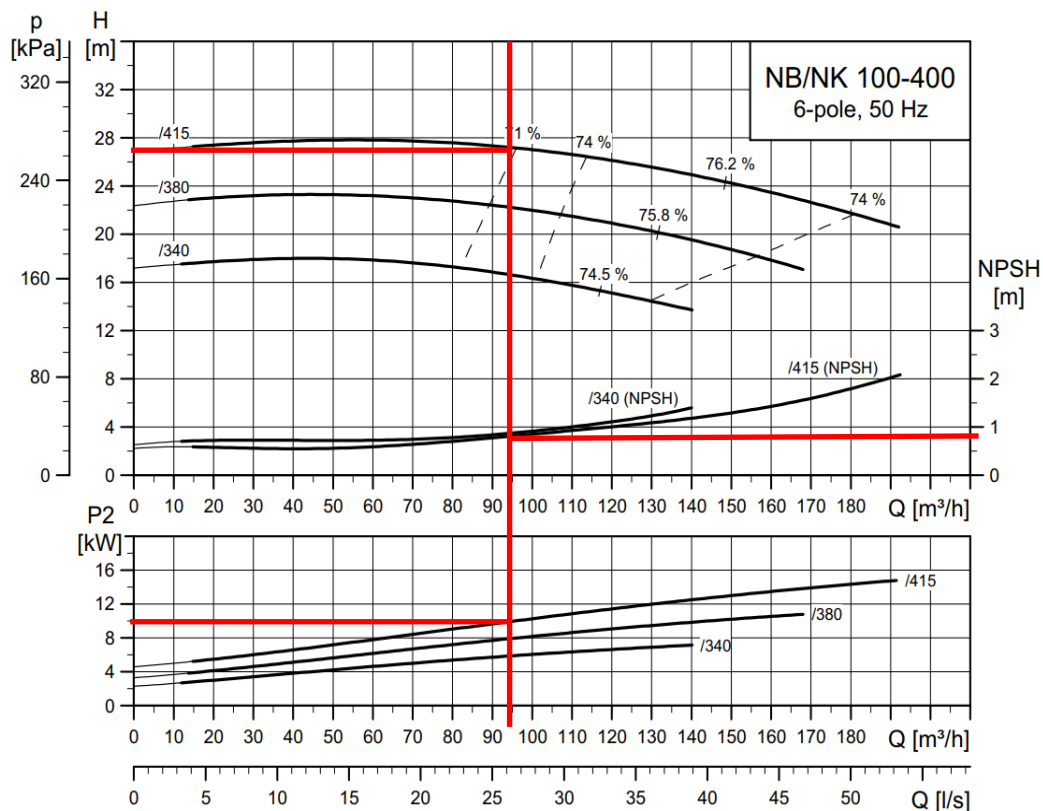


Figura 4.3.4.2. Corba característica per a la bomba P0148.

Del gràfic de dalt de la figura s'obté que el rodet necessari és de tipus 415 i que el NPSH requerit de la bomba és de 0.9 m. Mitjançant la gràfica de baix es determina que la potència de la bomba és de 10 kW.

La bomba seleccionada presenta un NPSH requerit inferior al disponible a la instal·lació, per tant, no s'esperen problemes de cavitació.

La figura 4.3.4.3. es tracta del full d'especificacions de la bomba dissenyada.

1	Nº OF PUMPS	RUN:	SPARE:	<p style="text-align: center;">Pump Curve</p>
2	SERVICE	P0148		
3				
4				
5	FLUID PUMPED	EDC / VCM / HCL		
6	OPER.TEMP	50	°C	
7	DENSITY	1103,57	kg/m3	
8	VISCOSITY	0,33	cP	
9	VAPOR PRESS.	2,11	bar	
10	NORM.CAPACITY	95,87	m3/h	
11	MAX.CAPACITY		m3/h	
12				
13	SUCTION CONDITIONS			
14	TOTAL SUCT.PR.,	5,88	kg/cm ² g	
15	NPSH (m.w.c.)	33,95	m	
16				
17	DISCHARGE CONDITIONS			
18	LIQUID HEAD		kg/cm ² g	
19	TOTAL DISCH.PR,	8,89	kg/cm ² g	
20	DIFF.PRESSURE	3,11	kg/cm ²	
21	DIFF.HEAD (m.w.c.)	28,18	m	
22	PUMP REQUIREMENTS			<p style="text-align: center;">Gen.Arr.Drawin</p>
23	TYPE PUMP	NB100-400		
24	ESTIMATED EFF.		%	
25	ESTIMATED Rot.freq.	50	s-1	
26	ESTIMATED Power	10	kW	
27	TYPE DRIVER			
28	STEAM (abs.)		kg/cm ² g °C	
29	ELECTRICITY	V:	PH: Hz	
30				
31				
32	PUMP MATERIALS			
33	CASE	SS 304		
34	IMPELLER	SS 304		
35	SHAFT	SS 304		
36	SHAFT SLEEVE	SS 304		
37	SEAL/PACKING	SS 304		
38	PISTON	SS 304		
39				
40	Nozzles	Mark	Nº	Rating
41	Suction			
42	Discharge			
43				
44				
45	0	29/04/2025	Celia R.	
46	REV.	DATE	PREP.	APPR.
47				

Figura 4.3.3.1. Full d'especificacions bomba P0148.



4.4. Descripcions

4.4.1. Descripció funcional del projecte

L'abast del projecte comença amb el corrent d'entrada d'EDC líquid (60°C i 15 kg/cm²g) que s'escalfa al bescanviador E0133 amb vapor de baixa pressió fins als 110 °C. Una vegada s'ha arribat a l'estat estacionari al procés i per obtenir un estalvi d'energia, el corrent d'entrada al procés deixarà de passar pel E0133 i passarà pel E0138, que aprofitarà la calor del corrent de cap de columna per escalfar el corrent d'entrada fins als 110 °C.

A continuació, es produeix un augment de temperatura de l'EDC a la zona de preescalfament del *cracker* (R0104) mitjançant els gasos de combustió. El corrent d'EDC passa de 110 °C a 190 °C a la sortida de la zona de preescalfament.

Llavors el corrent d'EDC arriba al E0134, on es vaporitza completament el corrent d'EDC (195 °C i 12,3 barg) utilitzant vapor d'alta pressió. En arribar a l'estat estacionari del procés, es deixarà d'usar l'E0134 i s'empararà l'E0139, que farà servir l'energia dels productes a la sortida del *cracker* per vaporitzar l'EDC. El vapor d'EDC passa per últim cop per la zona de preescalfament per augmentar la temperatura fins als 290 °C.

Seguidament, el corrent entra a la zona de reacció del R0104 per a transformar l'EDC en HCl i VCM, en una conversió del 53%. A la zona de reacció, la canonada és escalfada directament amb la combustió del gas natural, que provoca un augment de la temperatura fins als 465 °C i que tinguin lloc les reaccions de craqueig.

Els productes a la sortida del reactor necessiten una baixada de temperatura per a aturar la reacció, llavors el corrent arriba al bescanviador E0139 que servia per vaporitzar l'EDC líquid, reduint la temperatura fins als 240 °C. El corrent encara s'ha de refredar més, i aquesta disminució de la temperatura es dona lloc al sistema de *quenching* (X0100) amb part del líquid del fons de la columna T0100.

Llavors el corrent surt del X0100 a una temperatura de 130 °C, i es dirigeix a l'entrada de la torre de destil·lació T0100. Pel fons de la columna surt majoritàriament EDC i pesats, els quals es recirculen cap al X0100 mitjançant la bomba P0146, després de passar per filtres que capturen els pesats.

Pel cap de la columna surt VCM, HCl i part d'EDC. Per aprofitar la calor, aquest corrent s'envia cap al E0138, encarregat de preescalfar l'EDC pur de l'inici del procés. Després d'aquest refredament, el corrent té una temperatura de 120 °C, que és suficient per escalfar un corrent de DMW de 50 t/h a 20 °C. Aquest intercanvi de calor es dona al E0140, que provoca que el corrent de DMW arribi als 95 °C i el corrent del cap es refredi fins als 100 °C.

El corrent dels productes de cap passa per un aerorefrigerant (E0135) per arribar als 50 °C, per a fer l'equilibri al S0123. La part líquida que surt per l'inferior del recipient passa per la bomba P0148 per augmentar la pressió fins als 8,8 barg. D'aquest corrent de líquid, 65 t/h es recirculen al plat superior de la columna com a reflux.

La resta del corrent líquid, s'ajunta amb la fase gas que surt per la part superior del S0123 a un *mixer* per a enviar la barreja cap al tren d'intercanviadors encarregats de refredar-la. El primer intercanviador (E0136) utilitza 193 t/h d'aigua de torre a 20 °C, que aconsegueix refredar la barreja a 30 °C.

Per últim, els productes arriben al E0137 que usa 88 t/h de salmorra a 10 °C per refredar els productes a 20 °C.

4.4.2. Descripció de la instal·lació

Donat que l'objectiu del projecte és l'aprofitament energètic d'una instal·lació existent, es descriuran els equips que entren a l'abast del projecte.

L'equip E0138 es tracta d'un bescanviador de calor de carcassa i tubs amb 5.78 m de llarg i 0.56 m de diàmetre de carcassa, fabricat amb acer inoxidable, i dissenyat amb una àrea de 92.2 m², que s'aconsegueix gràcies a 430 tubs de 3.65 m i un diàmetre 19.05 mm.

L'equip E0139 és un bescanviador de calor de tubs i carcassa, més concretament, un *kettle*. Aquest té una carcassa de 0.93 m de diàmetre i 8.82 m de llarg. Aquest bescanviador té 495 tubs de 20 mm de diàmetre i 6.09 m de llarg. Tot això dona com a resultat una àrea d'intercanvi de calor de 392 m².

L'últim bescanviador dissenyat es l'E0140, que també és de tubs i carcassa. Aquest equip té 560 tubs de 19.05 mm de diàmetre i 6.09 m de llarg. La carcassa mesura 8.36 m de llarg i 0.64 m de diàmetre. Amb aquestes mesures, s'aconsegueix 201.8 m² d'intercanvi de calor.

La bomba P0148 és de tipus NB d'acer inoxidable per a 50 Hz. Aquesta s'ha dissenyat per a un cabal de 95 m³/h i una pressió de succió de 5.77 barg. Mitjançant un motor de 6 pols i 1000 rpm, la bomba impulsa el fluid fins a una pressió de descàrrega de 8.82 barg i una altura diferencial de 28.18 m. La bomba es de tipus 100-400 amb un rodet de 415 i ofereix una potència de 10 kW.

El separador *flash* S0123 és un tanc horitzontal de 30 m³, amb un volum útil del 80%, de capçals torisfèrics. Té una relació L/D de 1.75, amb una longitud de 4.64 m i un diàmetre de 2.65 m. La part cilíndrica del tanc té un gruix de 9.5 mm i els capçals torisfèrics tenen un gruix de 6.3 mm. L'equip S0123 està fet amb acer inoxidable AISI 316 amb un pes en buit de 3.34 tones.

5. SEGURETAT EN EL DISSENY DE LES INSTAL·LACIONS

5.1. Seguretat de Processos

5.1.1. Anàlisi de risc preliminar. Detecció ràpida i fiable del problema

Per tal d'identificar possibles riscos associats al procés dissenyat, s'ha fet una anàlisi HAZOP (Hazard and Operability Study). Aquesta eina permet revisar el procés pas a pas per detectar possibles problemes o situacions no desitjades que podrien afectar la seguretat o el funcionament correcte de la instal·lació.

L'estudi s'ha aplicat a diversos punts crítics del procés, s'han definit els límits de la instal·lació, i s'han seleccionat els nodes a analitzar, aplicant-hi les paraules guia corresponents per revisar condicions com la pressió, temperatura, cabal o nivell.

Gràcies al HAZOP, s'han pogut preveure riscos potencials i mesures preventives abans que es produeixin. Això ajuda a garantir que la proposta funcioni bé en el dia a dia, sense comprometre la seguretat ni la fiabilitat del procés.

A la taula 5.1.1.1. es presenta el HAZOP complet amb els nodes analitzats i les possibles situacions detectades.

Taula 5.1.1.1. Estudi HAZOP del procés.

Paraula guia	Desviació	Causes	Conseqüències	Salvaguardes	Accions a emprendre
Node: E0138					
Més	Pressió	Bloqueig a la sortida per tubs	Sobrepresió dins del bescanviador amb risc de ruptura i fuites d'EDC	PSV-03	PT 5101 i alarma d'alta pressió, PAH 5101
		Bloqueig a la sortida per carcassa	Sobrepresió dins de la carcassa amb risc de ruptura i fuites d'EDC	PSV-04	PT 5102 i alarma d'alta pressió, PAH 5102
Més	Temperatura	Augment de cabal a l'entrada dels tubs del bescanviador	Evaporació de l'EDC a les canonades, amb possible sobrepresió i risc de ruptura	TT 5102 ho detecta i es tanca TV 5101	Alarma d'alta temperatura TAH 5102, a TT 5102
		Augment de temperatura a l'entrada dels tubs del bescanviador	Evaporació de l'EDC a les canonades, amb possible sobrepresió i risc de ruptura	TT 5102 ho detecta i tanca TV 5101	Alarma d'alta temperatura, TAH, a TT 5102
		Fallada de TT 5102 (llegeix menys temperatura que la real)	Evaporació de l'EDC a les canonades, amb possible sobrepresió i risc de ruptura	TT 5202 redundant	Alarma d'alta temperatura TAH 5202, a TT 5202
Menys	Temperatura	Disminució de cabal a l'entrada dels tubs del bescanviador	No conseqüències de seguretat, els preescalfaments al <i>cracker</i> o els <i>kettles</i> compensen la manca de temperatura	TT 5102 ho detecta i s'obre TV 5101	Alarma de baixa temperatura, TAL 5102, a TT 5102
		Disminució de temperatura a l'entrada dels tubs del bescanviador	No conseqüències de seguretat, els preescalfaments al <i>cracker</i> o els <i>kettles</i> compensen la manca de temperatura	TT 5102 ho detecta i s'obre TV 5101	Alarma de baixa temperatura, TAL 5102, a TT 5102

		Fallada de TT 5102 (llegeix més temperatura que la real)	No conseqüències de seguretat, els preescalfaments al <i>cracker</i> o els <i>kettles</i> compensen la manca de temperatura	TT 5202 redundat	Alarma de baixa temperatura, TAL 5202, a TT 5202
Node: E0133					
Més	Pressió	Vapor LS2 d'entrada a més pressió	Sobrepessió dins del bescanviador amb risc de ruptura i fuites de vapor d'aigua	PSV-02	
		Bloqueig a la sortida per tubs	Sobrepessió dins del bescanviador amb risc de ruptura i fuites d'EDC	PSV-01	PT 5103 i alarma d'alta pressió, PAH 5103
		Bloqueig a la sortida per carcassa	Sobrepessió dins de la carcassa amb risc de ruptura i fuites de vapor d'aigua	PSV-02	
Més	Temperatura	Augment de cabal a l'entrada dels tubs del bescanviador	Evaporació de l'EDC a les canonades, amb possible sobrepessió i risc de ruptura	TT 5102 ho detecta i es tanca TV 6101	Alarma d'alta temperatura, TAH, a TT 5102
		Augment de temperatura a l'entrada dels tubs del bescanviador	Evaporació de l'EDC a les canonades, amb possible sobrepessió i risc de ruptura	TT 5102 ho detecta i tanca TV 6101	Alarma d'alta temperatura, TAH, a TT 5102
		Fallada de TT 5102 (llegeix menys temperatura que la real)	Evaporació de l'EDC a les canonades, amb possible sobrepessió i risc de ruptura	TT 5202 redundat	Alarma d'alta temperatura TAH 5202, a TT 5202
Menys	Temperatura	Disminució de cabal a l'entrada dels tubs del bescanviador	No conseqüències de seguretat, els preescalfaments al <i>cracker</i> o els <i>kettles</i> compensen la manca de temperatura	TT 5102 ho detecta i s'obre TV 6101	Alarma de baixa temperatura, TAL 5102, a TT 5102

		Disminució de temperatura a l'entrada dels tubs del bescanviador	No conseqüències de seguretat, els preescalfaments al <i>cracker</i> o els <i>kettles</i> compensen la manca de temperatura	TT 5102 ho detecta i s'obre TV 6101	Alarma de baixa temperatura, TAL 5102, a TT 5102
		Fallada de TT 5102 (llegeix més temperatura que la real)	No conseqüències de seguretat, els preescalfaments al <i>cracker</i> o els <i>kettles</i> compensen la manca de temperatura	TT 5202 redundant	Alarma de baixa temperatura TAL 5202, a TT 5202
Node: E0140					
Més	Pressió	Bloqueig a la sortida per tubs	Sobrepresió dins del bescanviador amb risc de ruptura i fuites d'EDC	PSV-05	PT 5104 i alarma d'alta pressió, PAH 5104
		Bloqueig a la sortida per carcassa	Sobrepresió dins de la carcassa amb risc de ruptura i fuites d'aigua desmineralitzada	PSV-06	
Més	Temperatura	Disminució de cabal d'aigua desmineralitzada, a l'entrada dels tubs del bescanviador	No conseqüències de seguretat, l'aerorefrigerant E0135 compensa l'excés de temperatura	TT 6101 ho detecta i s'obre TV 6102	Alarma d'alta temperatura, TAH 6101, a TT 6101
		Disminució de temperatura de l'aigua desmineralitzada a l'entrada dels tubs del bescanviador	No conseqüències de seguretat, l'aerorefrigerant E0135 compensa l'excés de temperatura	TT 6101 ho detecta i s'obre TV 6102	Alarma d'alta temperatura, TAH 6101, a TT 6101
		Fallada de TT 6101 (llegeix menys temperatura que la real)	No conseqüències de seguretat, l'aerorefrigerant E0135 compensa l'excés de temperatura		

Menys	Temperatura	Augment de cabal a l'entrada dels tubs del bescanviador	No conseqüències de seguretat, l'aerorefrigerant E0135 compensa l'excés de temperatura, treballant menys	TT 6101 ho detecta i es tanca TV 6102	Alarma de baixa temperatura, TAL, a TT 6101
		Augment de temperatura a l'entrada dels tubs del bescanviador	No conseqüències de seguretat, l'aerorefrigerant E0135 compensa l'excés de temperatura, treballant menys	TT 6101 ho detecta i es tanca TV 6102	Alarma de baixa temperatura, TAL, a TT 6101
		Fallada de TT 6101 (llegeix més temperatura que la real)	No conseqüències de seguretat, l'aerorefrigerant E0135 compensa l'excés de temperatura, treballant menys		
Node: E0134					
Més	Pressió	Vapor HS d'entrada a més pressió pels tubs del <i>kettle</i>	Sobrepresió dins del bescanviador amb risc de ruptura i fuites	PSV-07	
		Bloqueig a la sortida dels tubs del <i>kettle</i>	Sobrepresió dins del bescanviador amb risc de ruptura i fuites.	PSV-07	
		Bloqueig a la sortida d'EDC per carcassa del <i>kettle</i>	Sobrepresió dins del bescanviador amb risc de ruptura i fuites d'EDC	PSV-08 i sensor d'alta pressió PSH 5201	Alarma d'alta pressió PAH 5201
		Augment del nivell d'EDC a la carcassa del <i>kettle</i>	Sobrepresió dins del bescanviador amb risc de ruptura i fuites d'EDC	PSV-08 i sensor d'alta pressió PSH 5201.	Alarma d'alta pressió PAH 5201
Menys	Pressió	Descens del nivell d'EDC a la carcassa del <i>kettle</i> . Condensació de la fase gas	No conseqüències per a la seguretat	Sensor de baixa pressió PSL 5201	Alarma de baixa pressió PAL 5201

Més	Temperatura	Augment de cabal a l'entrada dels tubs del <i>kettle</i>	Evaporació excessiva de l'EDC a la carcassa, amb possible sobrepressió i risc de ruptura	TT 5208 ho detecta i es tanca TV 6201	Alarma d'alta temperatura TAH 5208
		Augment de temperatura a l'entrada de la carcassa del <i>kettle</i>	No conseqüències per a la seguretat.	TT 5208	Alarma d'alta temperatura TAH 5208
		Augment de temperatura a l'entrada dels tubs del <i>kettle</i>	Evaporació excessiva de l'EDC a la carcassa, amb possible sobrepressió i risc de ruptura	TT 5208 ho detecta i es tanca TV 6201	Alarma d'alta temperatura TAH 5208
		Fallada de TT 5208 (llegeix menys temperatura que la real)	Evaporació excessiva de l'EDC a la carcassa, amb possible sobrepressió i risc de ruptura	TT 5206 redundant	Alarma d'alta temperatura TAH 5206
Menys	Temperatura	Disminució de cabal a l'entrada de la carcassa del <i>kettle</i>	No conseqüències de seguretat	TT 5208 ho detecta i s'obre TV 6201	Alarma de baixa temperatura TAL 5208
		Disminució de temperatura a l'entrada de la carcassa del <i>kettle</i>	No conseqüències de seguretat	TT 5208 ho detecta i s'obre TV 6201	Alarma de baixa temperatura TAL 5208
		Fallada de TT 5208 (llegeix més temperatura que la real)	No conseqüències de seguretat	TT 5206 redundant	Alarma de baixa temperatura TAL 5206
Més	Nivell	Augment de cabal a l'entrada de la carcassa del <i>kettle</i>	Ompliment del dipòsit. Arrossegament líquid a sortida fase gas.	Indicador de nivell PdT 5201, es tanca PV 5201 i s'obre HV 5201	Alarma d'alt nivell LSH 5201
		Fallada de PdT 5201 (llegeix més nivell que el real)			

Menys	Nivell	Disminució de cabal a l'entrada de la carcassa del <i>kettle</i>	Evaporació excessiva de l'EDC a la carcassa, amb possible sobrepressió i risc de ruptura	Indicador de nivell PdT 5201, s'obre PV 5201 i es tanca HV 5201	Alarma de baix nivell LSL 5201
		Fallada de PdT 5201 (llegeix menys nivell que el real)			
Node : E0139					
Més	Pressió	Bloqueig a la sortida dels tubs del <i>kettle</i>	Sobrepressió dins del bescanviador amb risc de ruptura i fuites	PSV-09	
		Bloqueig a la sortida d'EDC per carcassa del <i>kettle</i>	Sobrepressió dins del bescanviador amb risc de ruptura i fuites d'EDC	PSV-10 i sensor d'alta pressió PSH 5202	Alarma d'alta pressió PAH 5202
		Augment del nivell d'EDC a la carcassa del <i>kettle</i>	Sobrepressió dins del bescanviador amb risc de ruptura i fuites d'EDC	PSV-08 i sensor d'alta pressió PSH 5202	Alarma d'alta pressió PAH 5202
Menys	Pressió	Descens del nivell d'EDC a la carcassa del Kettle. Condensació de la fase gas	No conseqüències per a la seguretat	Sensor de baixa pressió PSL 5202.	Alarma de baixa pressió PAL 5202
Més	Temperatura	Augment de cabal a l'entrada dels tubs del <i>kettle</i>	Evaporació excessiva de l'EDC a la carcassa, amb possible sobrepressió i risc de ruptura	TT 5210 ho detecta i es tanca TV 5201	Alarma d'alta temperatura TAH 5210
		Augment de temperatura a l'entrada de la carcassa del <i>kettle</i>	No conseqüències per a la seguretat	TT 5210	Alarma d'alta temperatura TAH 5210
		Augment de temperatura a l'entrada dels tubs del <i>kettle</i>	Evaporació excessiva de l'EDC a la carcassa, amb possible sobrepressió i risc de ruptura	TT 5210 ho detecta i tanca TV 5201	Alarma d'alta temperatura TAH 5210

		Fallada de TT 5210 (llegeix menys temperatura que la real)	Evaporació excessiva de l'EDC a la carcassa, amb possible sobrepressió i risc de ruptura	TT 5206 redundat	Alarma d'alta temperatura TAH 5206
Menys	Temperatura	Disminució de cabal a l'entrada de la carcassa del <i>kettle</i>	No conseqüències de seguretat	TT 5210 ho detecta i s'obre TV 5201	Alarma de baixa temperatura TAL 5210
		Disminució de temperatura a l'entrada de la carcassa del <i>kettle</i>	No conseqüències de seguretat	TT 5210 ho detecta i s'obre TV 5201	Alarma de baixa temperatura TAL 5210
		Fallada de TT 5210 (llegeix més temperatura que la real)	No conseqüències de seguretat	TT 5206 redundat	Alarma de baixa temperatura TAL 5206
Més	Nivell	Augment de cabal a l'entrada de la carcassa del <i>kettle</i>	Ompliment del dipòsit. Arrossegament de líquid a la sortida de fase gas	Indicador nivell PdT 5202, es tanca PV 5202 i s'obre HV 5204	Alarma d'alt nivell LSH 5202
		Fallada de PdT 5202 (llegeix més nivell que el real)			
		Disminució de temperatura a l'entrada dels tubs del <i>kettle</i>	Ompliment del dipòsit. Arrossegament líquid a sortida fase gas.	Indicador nivell PdT 5202, es tanca PV 5202 i s'obre HV 5204	Alarma d'alt nivell LSH 5202
Menys	Nivell	Disminució de cabal a l'entrada de la carcassa del <i>kettle</i>	Evaporació excessiva de l'EDC a la carcassa, amb possible sobrepressió i risc de ruptura	Indicador nivell PdT 5202, s'obre PV 5202 i es tanca HV 5204	Alarma de baix nivell LSL 5202
		Fallada de PdT 5202 (llegeix menys nivell que el real)			

Node : S0123					
Temperatura	Més temperatura	Entrada de producte a més temperatura	No conseqüències per a la seguretat	Indicador de temperatura TT5305	Alarma d'alta temperatura TAH5302
	Menys temperatura	Entrada de producte a menys temperatura	No conseqüències per a la seguretat	Indicador de temperatura TT5305	Alarma de baixa temperatura TAL5302
Pressió	Més pressió	Augment del nivell del líquid	Ruptura equip per sobrepressió	PSV-12 Sensor d'alta pressió PSH5302	Alarma d'alta pressió PAH5302
	Menys pressió	Condensació de fase gas Descens del nivell de líquid	No conseqüències per a la seguretat	Sensor de baixa pressió PSH5302	Alarma de baixa pressió PAL5302
Nivell	Més nivell	Augment cabal d'entrada	Ompliment del dipòsit. Arrossegament líquid a sortida fase gas	Indicador de nivell PdT5303 Sensor d'alt nivell LSH5302	Alarma d'alt nivell LAH5302 Enclavament que tanqui HV5301 per senyal LSH5302
		Menys cabal a la succió de la bomba P0148			
	Menys nivell	Descens cabal d'entrada	Descebament de la bomba	Indicador de nivell PdT5303 Sensor de baix nivell LSL5302	Alarma de baix nivell LAL5302 Enclavament que pari la bomba quan s'activi senyal LSL5302
		Fuita al dipòsit			
		Més cabal a la succió de la bomba P0148			

Node: T0100					
Temperatura	Més temperatura	Entrada de producte a més temperatura	No conseqüències per a la seguretat	Indicador de temperatura TT5304.	Alarma d'alta temperatura TAH5301
		Error TV5301 tanca completament			
	Menys temperatura	Entrada a producte a menys temperatura	No conseqüències per a la seguretat	Indicador de temperatura TT5302	Alarma de baixa temperatura TAL5301
		Error TV5301 obre completament			
Pressió	Més pressió	Augment del nivell del líquid	Ruptura equip per sobrepressió	PSV-11. Sensor d'alta pressió PSH5301 Sensor de pressió diferencial (PdT5301)	Alarma d'alta pressió PAH5301
		Bloqueig sortida cap columna			
	Menys pressió	Condensació de fase gas	No conseqüències per a la seguretat	Sensor de baixa pressió PSL5301 Sensor de pressió diferencial (PdT5301)	Alarma de baixa pressió PAL5301
		Descens del nivell de líquid			
		Fuita al cap de la columna			

Nivell	Més nivell	Augment cabal d'entrada	Ompliment dels plats columna. Arrossegament líquid a sortida cap.	Indicador de nivell PdT5302 Instal·lar sensor d'alt nivell LSH5301 Sensors diferencials de pressió a l'entrada i sortida dels filtres (PdT5304, PdT5203, PdT5204)	Alarma d'alt nivell LAH5301 Enclavament que tanqui HV5302 per senyal LSH5301 Alarma PAH5303
		Menys cabal a la succió de la bomba P0147/P0146			
		Error LV5301 obre completament			
		Obstrucció filtres F0119/F0118/F0119			
	Menys nivell	Descens cabal d'entrada	Descebament de la bomba	Indicador de nivell PdT5302. Sensor de baix nivell LSL5301.	Alarma de baix nivell LAL5301. Enclavament que pari la bomba quan s'activi senyal LSL5301.
		Fuita fons columna			
		Fuita al fons de la columna			
		Més cabal a la succió de la bomba P0148			
		Error LV5301 tanca completament			
	Node: Instal·lació				
Més	Temperatura	Incendi extern a la zona d'instal·lació	Escalfament sobrat dels equips, sobrepressió, risc de fallida estructural i fuites de producte	Sistema fix contraincendis, vàlvules de seguretat, disseny ATEX	Manteniment del sistema contraincendis i formació del personal en protocols d'emergència

Menys	Temperatura	Pèrdues de calor	Augment del consum energètic, desviacions control del procés i pèrdua d'eficiència	Instal·lar aïllament tèrmic als equips que operin a temperatures >50 °C	Manteniment del material aïllant
-------	-------------	------------------	--	---	----------------------------------

5.1.2. Zones ATEX (Atmosfera Explosiva)

D'acord amb la norma UNE-EN 1127-1 (ref.12), una zona ATEX és una àrea on pot formar-se una atmosfera explosiva deguda a la presència de substàncies perilloses en prou concentració per provocar una ignició. La seva classificació depèn de la freqüència i durada amb què aquesta atmosfera pot estar present.

Per tal de definir els requisits que han de complir els diferents components de la instal·lació elèctrica en zones amb risc d'explosió, s'estableix una classificació basada en el tipus de substàncies inflamables presents:

- **Classe I:** gasos, vapors i inflamables.
- **Classe II:** pols combustibles.
- **Classe III:** fibres o partícules en suspensió.

En aquest cas, considerant que es tracta de la Classe II, aquesta pot subdividir-se en les següents tres zones segons la freqüència i durada de la presència d'una atmosfera explosiva:

1. **Zona 0:** zona de treball on una atmosfera explosiva formada per una mescla d'aire amb gas, vapor o boira inflamable és present de manera continuada, durant llargs períodes de temps o amb una freqüència superior a 1000 hores l'any.
2. **Zona 1:** zona de treball on és probable la formació ocasional d'una atmosfera explosiva durant el funcionament normal, amb una freqüència entre 10 i 1000 hores l'any.
3. **Zona 2:** zona de treball on és poc probable, en condicions normals de funcionament, que es formi una atmosfera explosiva, amb una freqüència de menys de 10 hores l'any.

En aquesta instal·lació es considerarà que els bescanviadors de calor s'ubicaran en una zona Classe I Zona 1, atès que l'EDC és un compost inflamable que podria estar present amb una probabilitat moderada en condicions habituals de funcionament.

5.1.3. Protecció d'Equips a Sobrepressions

Per tal de garantir la seguretat dels equips davant possibles situacions de sobrepressió, s'han incorporat vàlvules de seguretat, PSV, en els punts més crítics del procés. Aquestes vàlvules estan pensades per obrir-se automàticament quan la pressió supera el *set point* establert, permetent així l'alliberament del fluid per evitar posar en perill els equips i la seguretat de les persones.

El disseny de les PSV s'ha fet utilitzant el *Catálogo General de Válvulas Nacional* (ref.13), que segueix la normativa API 520.

En primer lloc, es calcula l'àrea de l'orifici, per fer-ho es fan servir les següents equacions segons si és per líquid (E.32) o per gasos i vapors (E.33).

$$A = \frac{W}{5042 \cdot K \cdot K_p \cdot K_3 \cdot K_v \cdot \sqrt{(P - P_b) E}} \quad (\text{E.32})$$

$$A = \frac{W}{387.2 \cdot C \cdot P \cdot K \cdot K_p \cdot K_2 \cdot K_v} \cdot \sqrt{\frac{V_1}{P}} \quad (\text{E.33})$$

On:

- A és l'àrea de l'orifici en cm².
- W és el cabal de descàrrega en kg/h.
- P és la pressió de descàrrega en kg/cm²a.
- P_b és la contrapressió absoluta en kg/cm² a.
- C és el coeficient d'expansió en funció de k.
- k és la relació de calors específiques (cp/cv).
- V₁ és el volum específic del vapor a P i T en m³/kg.
- E és la densitat relativa en kg/dm³.
- K és el coeficient de descàrrega.
- K₂ és el coeficient corrector per contrapressió en vàlvules equilibrades si, P₂ > 0.15 P₁ (gasos i vapors).
- K₃ és el coeficient corrector per contrapressió en vàlvules convencionals si, P₂ > 0.15 P₁ (líquids).
- K_v és el coeficient corrector per líquids viscosos.
- K_p és el coeficient corrector per sobrepressió diferent del 25%.

Mitjançant el catàleg de vàlvules i les dades obtingudes de la simulació del procés amb *Aspen Plus*, s'han determinat els valors necessaris per al càlcul de l'àrea mínima de l'orifici. Un cop calculada aquesta àrea, es consulta la taula d'orificis del catàleg per seleccionar el codi estandarditzat més petit que tingui una àrea igual o superior, això es mostra a l'annex A.4.

A continuació, a la taula corresponent al tipus de fluid, es localitza la fila de la pressió d'apertura i es llegeix el cabal associat a l'orifici seleccionat, el qual ha de ser igual o superior al cabal real del procés, per garantir una descàrrega segura.

Amb la lletra de l'orifici identificada, es consulta la taula de pressions màximes admissibles, per triar una combinació de mida de connexió i ràting compatible amb les condicions de pressió i temperatura del sistema. Es verifica que la pressió d'apertura escollida sigui inferior a la màxima permesa per a aquella configuració, i que compleixi amb els requisits de l'equip o la línia protegida.

A partir d'aquest procediment s'han pogut dimensionar totes les vàlvules de seguretat del procés, i a continuació s'adjunten els fulls d'especificació corresponents.

6. MEDIAMBIENT AL DISSENY DE LES INSTAL·LACIONS

Ercros té un gran compromís amb el medi ambient, complint així, els requisits legals establerts en l'Autorització Ambiental i la resta de compromisos voluntaris adquirits. El sistema de Gestió Mediambiental és auditat anualment segons la norma ISO14001.

En aquest apartat s'estudia l'impacte ambiental d'aquest projecte. La modificació que s'ha plantejat, permet una reducció en el consum de vapor mitjançant l'aprofitament de l'energia residual dels corrents de procés, contribuint a una major eficiència energètica i assegurant, al mateix temps, el compliment de la normativa ambiental vigent.

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

Respecte a emissions a l'aire el projecte té un impacte ambiental positiu. Se substitueix l'ús de vapor generat a les calderes, per vapor obtingut a partir de la recuperació de calor del mateix procés, reduint el consum de gas natural destinat a la producció de vapor. En conseqüència, disminueixen les emissions de gasos d'efecte hivernacle, principalment diòxid de carboni (CO₂). Aquesta reducció s'estima quantitativament a l'apartat 6.4.

El projecte no comport cap emissió directa a l'aigua, ja que no s'introdueixen nous efluents líquids ni es modifiquen els existents.

Per últim, no es preveuen emissions directes al sol.

6.2. Identificació i Avaluació dels residus sòlids produïts

En aquest cas no es preveu la generació de residus sòlids derivats del funcionament habitual de la instal·lació, ja que l'abast del projecte es limita a la incorporació de nous bescanviadors de calor. Tanmateix, durant les fases de muntatge o futures operacions de manteniments, es podrien generar determinats residus puntuals.

Els residus identificats són principalment les juntes dels equips i els materials d'aïllament tèrmic. Tot i que no són residus perillosos, cal assegurar-ne una gestió adequada. Les juntes han de ser identificades segons el seu material i dipositades al contenidor corresponent. S'ha d'aplicar el mateix criteri als residus d'aïllament tèrmic.

6.3. Consums d'Energia i de Recursos Naturals

Amb la millora implementada en el procés de craqueig tèrmic d'EDC, s'aconsegueix una reducció significativa del consum energètic i de recursos naturals gràcies a la integració de sistemes de recuperació de calor. Aquest nou disseny permet reutilitzar l'energia tèrmica que abans es dissipava, reduint el consum d'energia i de fonts externes com el gas natural.

Els estalvis anuals calculats es troben a la taula 6.3.1:

Taula 6.3.1. Estalvis anuals d'energia i gas natural.

Recurs estalviat	Estalvi anual calculat
Energia	65,946 MWh/any
Gas natural	87,928 MWh/any

Pel càlcul dels recursos, s'ha tingut en compte la calor estalviada amb el nou procés dissenyat. La suma de la calor dels tres bescanviadors és de 10,991 kW, aquest valor multiplicat pel factor de servei, 8,000 h/any, es tradueix en un estalvi energètic de 87,928 MWh/any. Aquest seria el valor si es tingués en compte que la instal·lació treballa al

100% d'eficiència, amb una producció de la planta de VCM igual a la seva capacitat de disseny de 200,000 t/any. A causa del fet que la capacitat mitjana demostrada de la planta és de 150,000 t/any, s'ha d'aplicar un factor de correcció de 0.75. Per tant, l'estalvi energètic de la instal·lació dissenyada és de 65,946 MWh/any. Per obtenir el gas natural estalviat, es multiplica el valor energètic, pel rendiment mitjà de la caldera, 75%, amb la que es produïa el vapor. S'obté que l'estalvi de gas natural és de 87,928 MWh/any.

6.4. Generació de gasos d'efecte hivernacle

Pel que fa a les emissions de gasos d'efecte hivernacle, el nou procés comporta una reducció significativa d'emissions de CO₂. En el procés tradicional, aquest vapor es produïa mitjançant les calderes alimentades amb gas natural, el qual és una font emissora directa de CO₂ durant la combustió per aportar calor.

El factor d'emissió de CO₂ del gas natural és de 201.70 kg CO₂/MWh gas natural (ref.14). Considerant els 87,928 MWh/any d'estalvi de gas natural, això equival a una reducció de 17,735.08 t de CO₂ a l'any, emissions que es deixen de generar gràcies al nou procés dissenyat.

7. MANTENIMENT DE LES INSTAL·LACIONS

7.1. Tancs d'emmagatzematge

El projecte consta d'un tanc a pressió (ASME) per als productes del cap de la columna T0100 com el VCM o HCl. L'equip necessita un pla de manteniment per evitar fugues que puguin provocar dispersions tòxiques. El principal problema que pot tenir aquest tanc és la corrosió, encara que s'hagi instal·lat un sobregruix d'1 mm i que s'hagi seleccionat un material que és adequat per les substàncies que contindrà.

Es realitzarà un manteniment per monitoritzar el paràmetre del gruix, és a dir, es mesurarà anualment el gruix de la paret del tanc per observar si el valor d'aquest gruix està per sobre dels valors mínims pels quals la integritat del tanc estigués en perill.

7.2. Bomba centrífuga

Els principals problemes que pot tenir una bomba centrífuga són la cavitació, velocitats altes del fluid, obstrucció de l'impulsor, escassetat de cabal a l'interior de la bomba, insuficient NPSH, desequilibri del rotor, defectes mecànics i possibles fuites.

El bon funcionament de les bombes és indispensable per a evitar parades no programades, llavors s'ha d'executar un bon pla de manteniment.

A part de dur a terme un pla a seguir per part de l'equip del manteniment de la planta, és indispensable que els operadors de la planta, que estan en contacte diàriament amb aquests equips, tinguin una bona formació per a detectar incidències de manera preventiva.

A la taula 7.2.1 es mostra el pla de manteniment amb les freqüències de quan s'ha de realitzar cada acció.

Taula 7.2.1. Tasques a realitzar pel manteniment de les bombes i freqüència.

Tasca a realitzar	Freqüència (mesos)
Verificació de la presa de terra	12
Estrènyer els borns elèctrics	12
Radiografiar interior	12
Comprovar suports	12
Inspecció de la bancada	12
Comprovar nivell de vibracions i sorolls	6
Verificar pressió de succió i descàrrega	6
Lubricar vàlvules properes	3
Comprovar fuges al cos de la bomba	3
Verificar nivell d'oli de lubricació	3
Observar alineació de l'eix	1
Mesurar temperatura rodaments	0.5

7.3. Bescanviadors de calor

La zona més fràgil i vulnerable dels intercanviadors dissenyats són els tubs interns que es podria trencar la soldadura dels tubs amb la placa tubular o l'aparició de fluid de procés a la línia de vapor.

Tenir un problema als intercanviadors per tenir un mal manteniment tindria greus conseqüències per a la creació de productes al *cracker*, ja que no s'arribaria a la temperatura d'operació.

Els problemes més habituals als intercanviadors de tub i carcassa són l'embrutament dels tubs, el desgast de la unió entre la placa tubular i els tubs i la corrosió.

A la taula 7.3.1 es mostra les accions a realitzar amb les seves freqüències per a tenir un bon manteniment de l'equip.

Taula 7.3.1. Tasques a realitzar pel manteniment dels bescanviadors i freqüència.

Tasca a realitzar	Freqüència (mesos)
Neteja química del interior	24
Inspecció visual interior equip	12
Radiografies per a detectar porus	12
Control d'eficiència	6
Inspecció visual exterior equip	6

7.4. Canonades

Per un bon manteniment de les canonades és imprescindible per a garantir la seguretat dels equips, les persones i del medi ambient. Totes les canonades del projecte estan calorifugades, ja que la majoria dels corrents del procés estan per damunt dels 60 °C, excepte les canonades dels serveis encarregats de refredar com l'aigua de torre o la salmorra.

Els problemes més comuns a les canonades són deguts a la corrosió a la canonada o sota l'aïllament i l'erosió de la canonada, principalment als colzes.

A la taula 7.4.1 es descriuen les diferents tasques a realitzar i la seva freqüència mensual.

Taula 7.4.1. Tasques a realitzar pel manteniment de les canonades i freqüència.

Tasca a realitzar	Freqüència (mesos)
Radiografia (Calorifugada)	12
Inspecció visual (No calorifugada)	12
Radiografia (No calorifugada)	12
Radiografia als colzes	6

7.5. Vàlvules de seguretat

Per a tenir un correcte i segur funcionament de la planta, el bon estat de les vàlvules de seguretat és essencial per evitar accidents dels equips.

Per a realitzar el manteniment d'aquests equips s'ha tingut en compte el reglament dels equips a pressió, ja que es descriu que les vàlvules s'han de desmuntar, provar i ajustar durant la inspecció de l'equip on s'han muntat.

D'aquesta manera, es farà un manteniment anual que correspondrà a la parada anual de la planta, per a comprovar la pressió d'apertura de la vàlvula i l'estanquitat d'aquesta.

8. ESTUDI ECONÒMIC

Aquest estudi econòmic té com a objectiu avaluar la viabilitat de la implementació del sistema dissenyat.

8.1. Pressupost d'execució del projecte

En primer lloc, s'ha calculat la inversió dels equips dissenyats. Pels bescanviadors de calor E0138, E0139 i E0140 el cost s'ha obtingut, en primer lloc, mitjançant l'eina de simulació *Aspen EDR*. Donat que aquest *software* donava preus relativament baixos, finalment, s'ha optat per fer servir el mateix *software online* (ref.15), per calcular els preus de tots els equips dissenyats al projecte. Aquesta eina dona els preus en dòlars de l'any 2014.

Pel càlcul del cost actual dels equips es fa servir l'equació E.34.

$$C_A = C_B \cdot \frac{CEPCI_A}{CEPCI_B} \quad (E.34)$$

L'índex CEPCI (*Chemical Engineering Plant Cost Index*) del 2025 i el 2014, s'ha obtingut de la revista *Chemical Engineering* (ref.16).

A la taula 8.1.1. es troben els valors del CEPCI pels diferents anys.

Taula 8.1.1. Valor del CEPCI per cada any.

Any	CEPCI
2014	576.1
2025	798.8

Mitjançant l'equació E.34. i el cost de cada equip, s'ha calculat el cost total d'equips en dòlars per l'any 2025. A partir d'aquí s'ha passat a euros, amb la conversió actual de maig de 2025 (1€ = 1.13 \$) (ref.17).

A la taula 8.1.2. es troben els preus actuals dels equips.

Taula 8.1.2. Preu dels equips a l'any 2025.

Equip	Cost any 2025 (€)
E0138	191,788
E0139	617,328
E0140	303,026
P0148	34,480
S0123	120,864
E0141*	250,000
Total	1,520,486

*El bescanviador E0141 no s'ha calculat, ni dissenyat, ja que queda fora de l'abast del projecte, però es té en compte a efectes de càlcul de la inversió total. S'instal·larà a la planta de PVC per tal d'aprofitar l'aigua calenta generada al E0140, i substituint a l'actual que consumeix vapor.

A continuació s'utilitza el full de càlcul, facilitat per la URV, que permet calcular el cost total de la inversió.

A la taula 8.1.3. es presenta el resum dels costos d'instal·lació, tot i que a l'annex A.5.1. es pot comprovar els factors utilitzats per cada partida i tot el càlcul detallat.

Taula 8.1.3. Costos de la inversió.

	Cost (€)
Equips principals	1,520,486
Equips no llistats	76,024
Instal·lació	1,315,524
Indirectes	844,490
Imprevistos	407,685
Total	4,164,209.75

8.2. Compte de resultats

Per al compte de resultats, es té en compte que els únics costos fixos de la instal·lació només provenen del manteniment de la instal·lació, ja que no es considera la necessitat de contractar nous operaris per al seu funcionament i tampoc la construcció de nous edificis, s'utilitzaran els existents. El cost anual de manteniment s'ha considerat un 2% de la inversió total.

Els costos variables de les matèries primeres i els ingressos pels productes, no es tenen en compte perquè continuen sent els mateixos que hi havia anteriorment. El benefici de la instal·lació depèn de l'estalvi de serveis, que són costos variables. En aquest cas la reducció d'emissions de CO₂, serà un nou ingrés per la instal·lació, i també la reducció de gas natural utilitzat per produir el vapor. El preu considerat per les emissions de CO₂ és de 80 €/t (ref.18) i el del gas natural de 34,83 €/MWh (ref.19).

A la taula 8.2.1. es mostra el compte de resultats. Els valors negatius de l'apartat de costos variables, representen l'estalvi anual de gas natural. I els ingressos que apareixen són per la reducció d'emissions de CO₂.

Taula 8.2.1. Compte de resultats.

	Cost (€/any)
Costos fixos	
Personal	0
Manteniment	83,284
Estructura	0
Total fixos	83,284
Costos variables	
Matèries primeres	0
Serveis	0
Energies	-3,062,532
Total variables	-3,062,532
Total despeses	-2,979,248
Ingressos	1,060,740
Amortització	176,979
Benefici brut	3,863,009
Impostos	1,352,053
<i>Cash flow</i>	2,510,956

A l'annex A.5.2. es troba el compte de resultats de manera detallada.

L'estalvi total segons la taula és de 2,979,248 € anuals, i gràcies a la reducció d'emissions de CO₂, la instal·lació té uns ingressos anuals de 1,060,740 €.

8.3. Avaluació global de la inversió

S'han utilitzat diferents mètodes per determinar la viabilitat del projecte. En primer lloc, es mostra a la figura 8.3.1., el *cash flow* acumulat durant el període de vida útil de la instal·lació que són uns 20 anys.

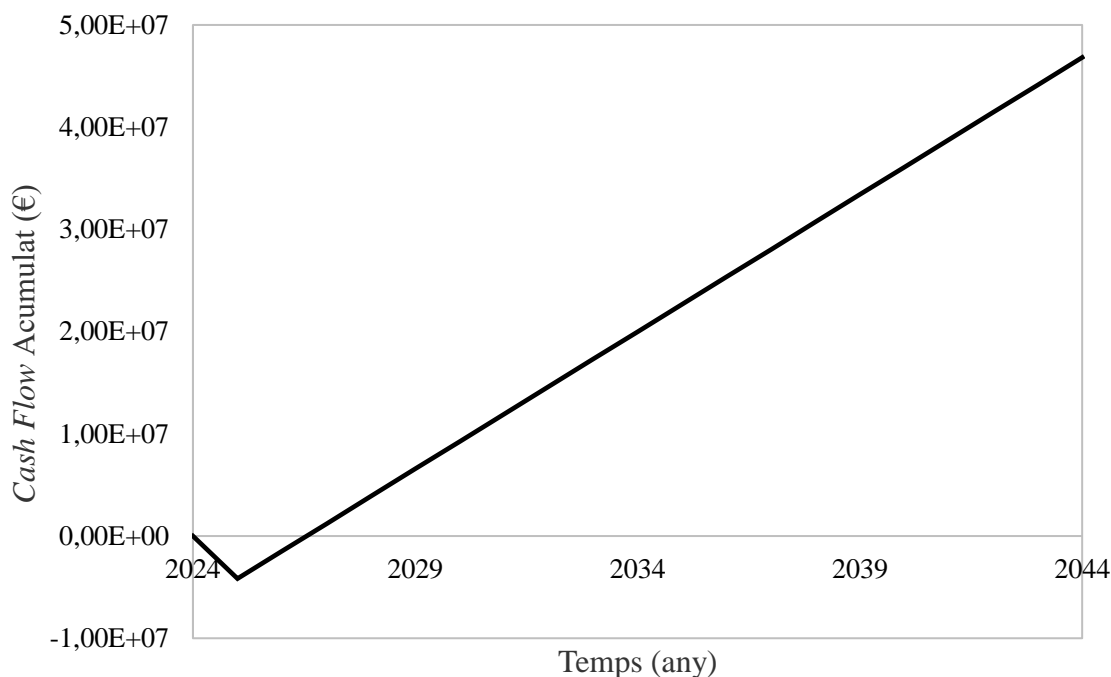


Figura 8.3.1. *Cash flow* acumulat durant la vida útil de la instal·lació.

S'ha utilitzat el mètode *Payback* per conèixer el temps de retorn de la inversió. Com que els *cash flows* són constants al llarg del temps, el *Payback* s'ha calculat usant l'equació E.35.

$$\text{Payback} = \frac{\text{Inversió inicial}}{\text{Cash flow}} = 1.66 \text{ anys} \quad (\text{E.35})$$

A partir d'aquests càlculs es determina que el retorn de la inversió es produirà al cap d'1 any i 8 mesos aproximadament. També s'han utilitzat els mètodes VAN i TIR, per avaluar la rendibilitat del projecte. Pel càlcul del VAN s'ha fet servir una taxa de descompte del 10.5 %, i d'aquesta manera s'ha obtingut un valor de 14,626,576 €. Finalment, s'ha calculat la TIR, amb un valor de 60.30 %. Amb un valor positiu del VAN i el resultat de la TIR superior a la taxa de descompte, es pot confirmar que el projecte és econòmicament molt viable.

Tot i que en aquest projecte no s'ha considerat l'aplicació del sistema de Certificats d'Estalvi Energètic (CAE), cal destacar que hauria estat una opció viable per valorar econòmicament la millora energètica proposada. Els CAE (ref.20) són documents electrònics que acrediten estalvis d'energia final aconseguits mitjançant actuacions

d'eficiència energètica. Cada CAE equival a un kWh d'energia final estalviada. Aquest sistema permet valorar econòmicament aquests estalvis, fomentant així un mercat actiu en l'àmbit de l'eficiència energètica. El preu per cada CAE és de 182 €/MWh i això permetria obtenir un estalvi addicional.

8.4. Anàlisi de sensibilitat

S'ha dut a terme una anàlisi de sensibilitat per a dos casos, pel cost del gas natural i pel cost d'emissió per cada tona de CO₂. Per cada cas també es mostrarà el *Payback*, el VAN i la TIR corresponent.

En primer lloc, s'observa l'anàlisi de sensibilitat pel preu del gas natural, s'han agafat tres preus, que es mouen favorablement, com desfavorablement un 20% del preu actual.

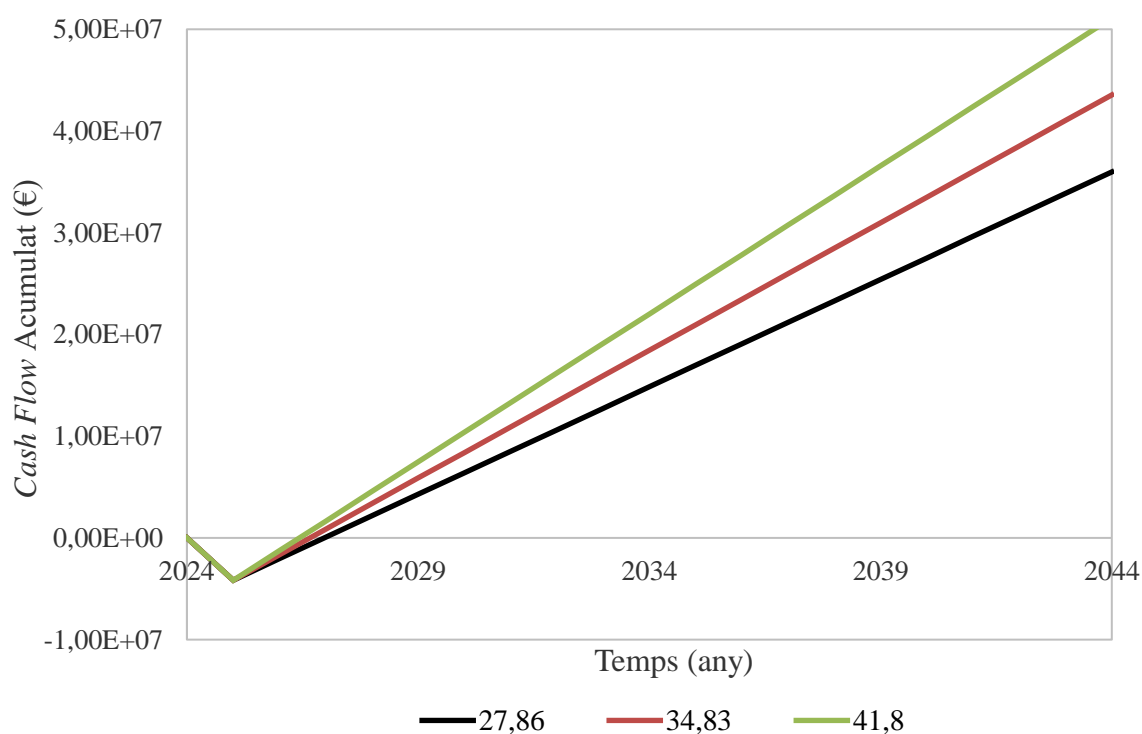


Figura 8.4.1. Cash flow acumulat segons el preu del gas natural.

Taula 8.4.1. VAN, TIR i *Payback* segons el preu del gas natural.

Preu (€/MWh)	VAN (€)	TIR (%)	<i>Payback</i> (anys)
27.86	11,708,234	50.70	1.97
34.83	14,626,576	60.30	1.66
41.80	17,544,918	69.90	1.43

Com es pot comprovar, els resultats econòmics són sensibles al cost considerat pel gas natural tot i que, en tots els casos, la instal·lació presenta molt bona rendibilitat.

Finalment, es fa el mateix estudi però pel preu de les emissions de CO₂.

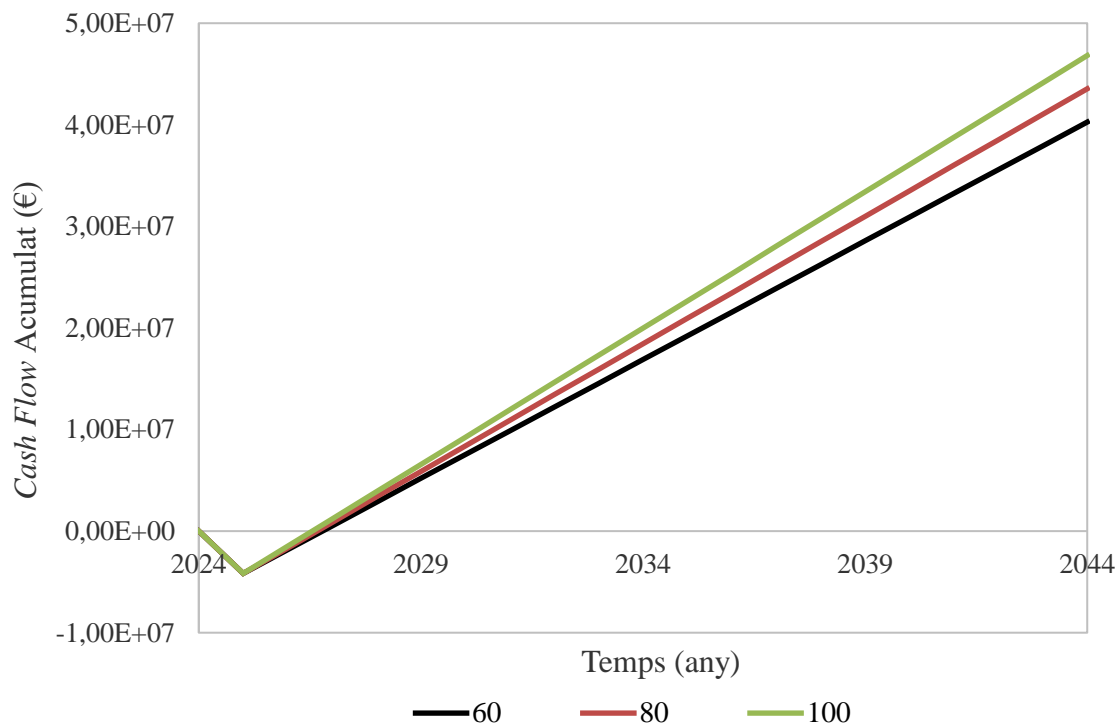


Figura 8.4.2. Cash flow acumulat segons el preu de les emissions de CO₂.

Taula 8.4.2. VAN, TIR i Payback segons el preu de les emissions de CO₂.

Preu (€/t CO ₂)	VAN (€)	TIR (%)	Payback (anys)
60	13,363,803	56.1	1.78
80	14,626,576	60.3	1.66
100	15,889,348	64.4	1.55

En aquest cas, s'observa que la rendibilitat és menys sensible al preu considerat per les emissions de CO₂.

En tots els casos que s'han plantejat el projecte continua sent viable econòmicament, el VAN és positiu, la TIR és molt superior a la taxa de descompte, i la inversió es recupera, en tots els casos, en menys d'un any.

9. CONCLUSIONS

A partir de les dades inicials donades per l'empresa, s'ha simulat el procés real de la planta i s'han obtingut uns valors al balanç de matèria correctes. També s'ha aconseguit simular amb èxit la proposta d'optimització energètica, obtenint uns valors força elevats d'estalvi energètic.

Amb les dades de temperatura, pressió i cabal obtinguts, s'han dimensionat els bescanviadors encarregats d'optimitzar energèticament el procés i s'ha comprovat que poden substituir, a l'estat estacionari, als bescanviadors que utilitzen vapor.

També s'ha dissenyat un separador *flash* nou per assegurar un subministrament continu de VCM a altres zones de la planta durant 15 minuts. Al dimensionament del tanc s'ha tingut en compte les condicions d'operació de temperatura i pressió, i mitjançant el codi ASME (ref.2), s'ha estudiat el gruix de la paret.

A continuació, s'ha calculat la bomba P0148, que aspira el líquid contingut a aquest separador i l'impulsa cap a la següent columna de purificació. Per l'estudi, s'ha utilitzat el software *CheCalc* (ref.10) d'on és possible obtenir les característiques principals d'aquesta (cabal, increment de pressió i NPSH disponible). Amb aquests valors, s'ha seleccionat una bomba del catàleg *Grundfos* (ref.11).

Partint dels cabals volumètrics obtinguts a la simulació, s'han dimensionat les canonades, i mitjançant el codi ASME (ref.2), s'han calculat els gruixos necessaris, per anar posteriorment a un catàleg i seleccionar les canonades estàndards adients.

Coneixent els cabals i les pèrdues de càrrega generades a les canonades i equips, ha estat possible estimar les característiques de les vàlvules controladores i s'han seleccionat del catàleg *Masoneilan* (ref.5).

S'ha elaborat els diagrames de blocs, de flux i de canonades i instrumentació de la zona estudiada de la instal·lació de craqueig d'EDC. A partir d'aquests diagrames, s'ha dissenyat el sistema de control per a evitar desviacions del procés sobre els valors òptims del funcionament. També s'han definit els enclavaments que permeten operar la planta de forma segura.

S'ha avaluat la seguretat de la instal·lació portant a terme un HAZOP dels equips dissenyats i de la columna T0100, juntament amb l'estudi de les possibles zones ATEX de la planta.

Paral·lelament, s'han calculat les vàlvules encarregades de protegir els equips per sobrepressió i s'ha escollit la vàlvula idònia per a cada equip. Aquestes s'han seleccionat del catàleg *Nacional* (ref.13).

Pels nous equips, s'han establert les accions de manteniment necessàries per a tenir un funcionament correcte en el temps.

Finalment, s'ha fet un estudi de la quantitat d'energia recuperada per la substitució dels equips, el vapor estalviat i la reducció d'emissions de CO₂ a les calderes que cremen gas natural per produir aquest vapor. D'aquesta manera, a més de l'estalvi de gas, l'empresa no hauria de pagar els corresponents drets d'emissió.

La inversió inicial del projecte seria d'uns 4.2 M€, que es recuperaria en aproximadament 1 any i 8 mesos, tenint en compte un preu d'emissió de CO₂ de 80 €/t i de 34,83 €/MWh pel gas natural.

10. BIBLIOGRAFIA

1. Karlsen, S. (2011). Energy utilization in EDC cracking (Master's thesis). Norwegian University of Science and Technology, Department of Chemical Engineering.
2. American Society of Mechanical Engineers. (2020). ASME B31.3: Process piping. ASME.
3. Graco Inc. (2016). Chemical compatibility guide.
4. Peninsular de Vástagos S.L. (2015). Tabla de dimensiones ASME: Tubos de acero al carbono según norma ASME B36.10 y tubos inoxidables según norma ASME B36.19 [Catálogo técnico].
5. Dresser Masoneilan. (1992). 10000 Series control valves: Specification data (SD CH2500 3/92) [Folleto técnico].
6. Coulson & Richardson's chemical engineering: Vol. 1. Fluid flow, heat transfer and mass transfer (8th ed.). (2022). Butterworth-Heinemann.
7. Azbel, D. S., & Cheremisinoff, N. P. (1982). Chemical and process equipment design: Vessel design and selection. Ann Arbor Science.
8. Megyesy, E. F. (2008). Pressure vessel handbook (14.^a ed.). PV Publishing, Inc.
9. Azbel, D. S., & Cheremisinoff, N. P. (1982). Chemical and process equipment design: Vessel design and selection. Ann Arbor Science.
10. CheCalc. (s.f.). Pump sizing calculation.
11. Grundfos. (s.f.). NB, NBE, NK, NKE: Single-stage end-suction pumps according to EN 733 (50 Hz). Grundfos Holding A/S.
12. UNE/CTN 163. (2020, 21 de octubre). UNE-EN 1127-1:2020. Atmósferas explosivas: Prevención y protección contra la explosión. Parte 1: Conceptos básicos y metodología (equivalente a EN 1127-1:2019). Asociación Española de Normalización (UNE).
13. Válvulas Nacional. (s.f.). Catálogo técnico: Válvulas industriales. Válvulas Nacional S.A.
14. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2022). Anexo 7: Emisiones de gases de efecto invernadero por categorías del IPCC (1990–2020).
15. MATCHE. (s.f.). Equipment cost estimation.
16. Chemical Engineering. (2023, abril). Economic indicators: CEPCI update. Chemical Engineering, 130(4), 72.
17. España. Ministerio de la Presidencia, Justicia y Relaciones con las Cortes. (2025, 7 de junio). Orden PCM/557/2025, de 5 de junio, por la que se actualizan los anexos I, II y III del Real Decreto 817/2009, de 8 de mayo, de desarrollo parcial de la Ley 30/2007, de 30 de octubre, de Contratos del Sector Público. Boletín Oficial del Estado, núm. 137, 7 de junio de 2025.
18. Sendeco2. (2025). Precios CO2.

19. MIBGAS. (2025, 26 de mayo). Resultados del mercado: 26/05/2025.
20. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2025). Certificados de Ahorro Energético (CAE).
21. Gmehling, J., Onken, U., & Arlt, W. (Eds.). (1981–). Vapor-liquid equilibrium data collection. DECHEMA.
22. Beer, F. P. (1984). Mecánica vectorial para ingenieros (Tomo I). McGraw-Hill.

A. ANNEXOS

A.1. DESENVOLUPAMENT DE L'ENGINYERIA BÀSICA

A.1.1. Diagrama de simulació

S'ha dut a terme un estudi comparatiu de diversos models termodinàmics amb l'objectiu de determinar quin model s'adequa més al comportament dels compostos. L'estudi se centra en la separació del clorur de vinil (VCM) i diclorur d'etilè (EDC), ja que són compostos claus i de gran valor en el procés.

Els models estudiats, per fer una simulació fiable, han estat NRTL, UNIQUAC, PR i SRK. Per a l'estudi, es compararan els punts experimentals obtinguts del llibre DECHEMA (ref.21), els quals són propers al comportament real, amb els punts obtinguts mitjançant ASPEN Plus.

S'ha estudiat NRTL i UNIQUAC perquè són models útils en mescles no ideals que presentin interaccions moleculars complexes. També s'ha estudiat PR i SRK perquè són útils per a sistemes on hi ha un ampli rang de pressió i temperatura en hidrocarburs. Tot i això, en aquest cas, en ser una mescla d'hidrocarburs clorats, cal tenir en compte que poden sofrir grans variacions.

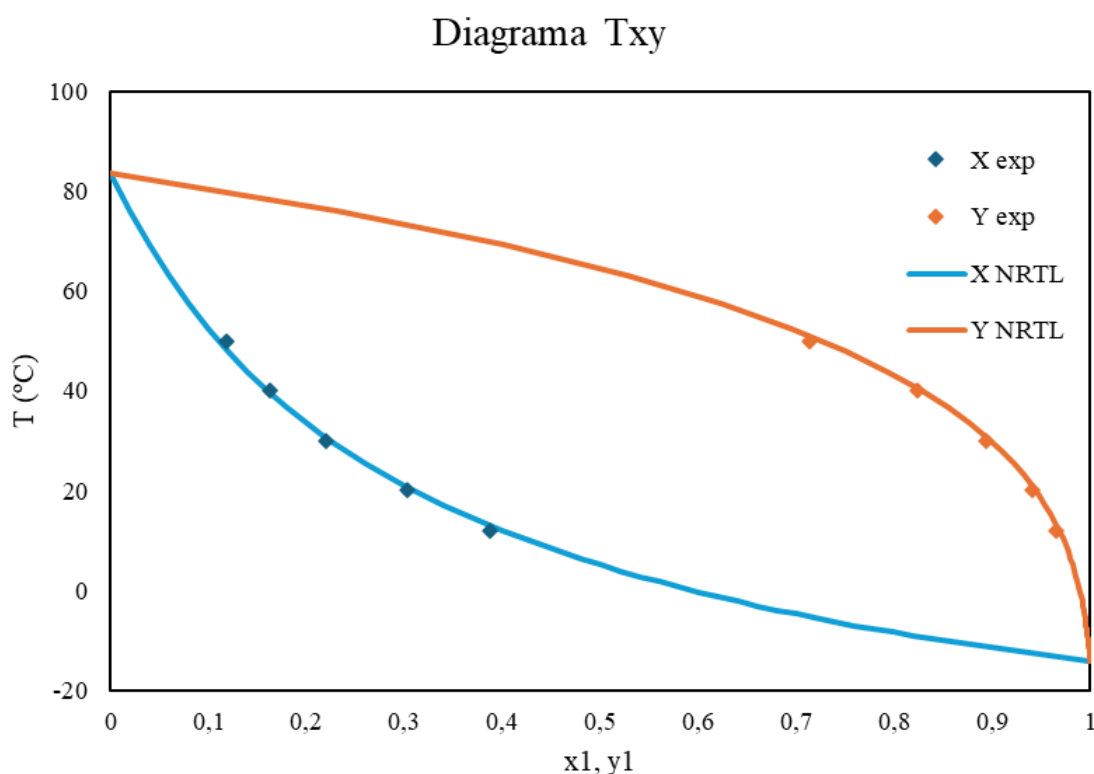


Figura A.1.1.1. Diagrama Txy per a la mescla binària utilitzant el model NRTL

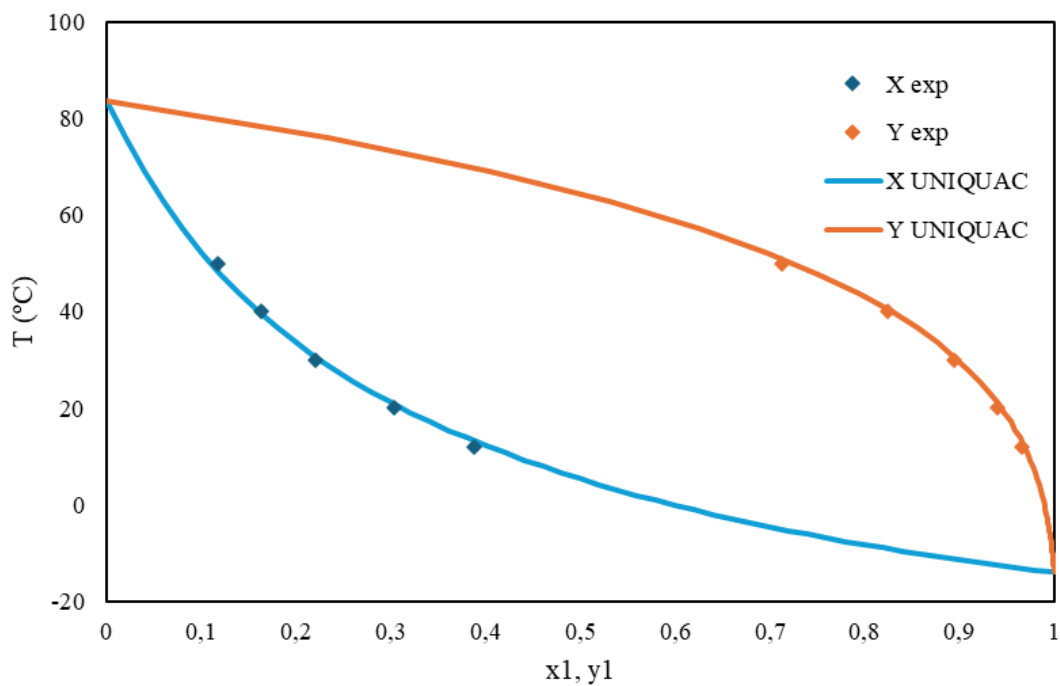
Taula A.1.1.1. Error de temperatura del model NRTL

Temperatura experimental	Temperatura NRTL	Error (%)	Error mitjà (%)
50	48.40	3.30	3.45
40	39.53	1.20	
30	30.66	2.16	
20	20.70	3.39	
12	12.93	7.22	

Taula A.1.1.2. Error de la fracció de vapor del model NRTL

Fracc.vapor experimental	Fracc.vapor NRTL	Error (%)	Error mitjà (%)
0.71	0.74	4.27	1.08
0.82	0.83	1.00	
0.89	0.89	0.01	
0.94	0.94	0.12	
0.97	0.97	0.01	

Diagrama Txy

**Figura A.1.1.2.** Diagrama Txy per a la mescla binària utilitzant el model UNIQUAC.

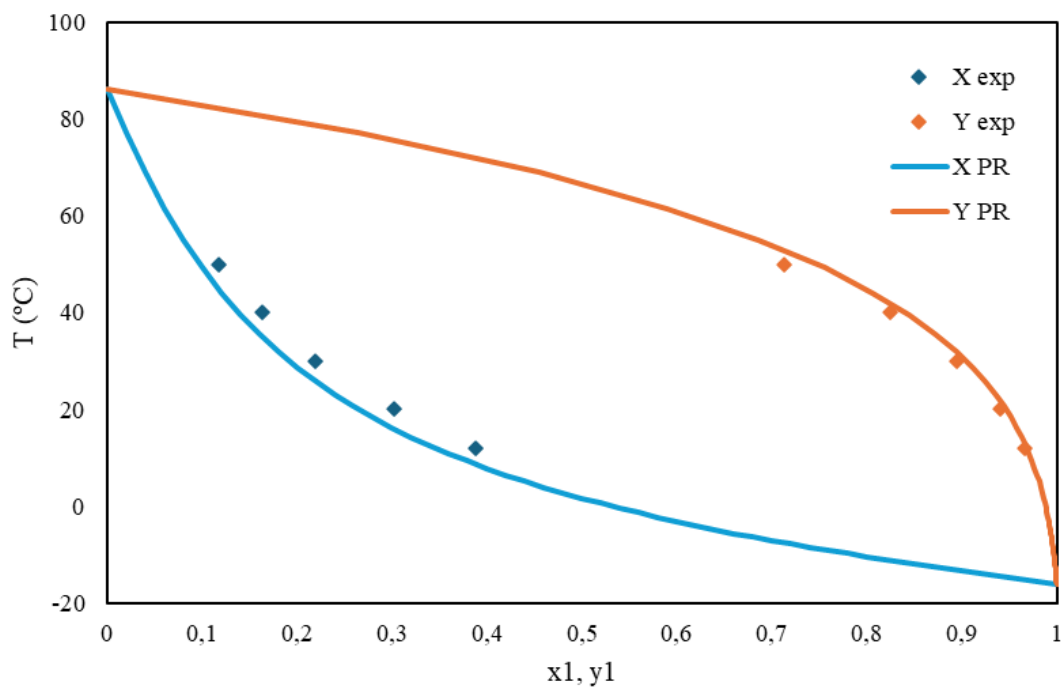
Taula A.1.1.3. Error de temperatura del model UNIQUAC.

Temperatura experimental	Temperatura UNIQUAC	Error (%)	Error mitjà (%)
50	48.24	3.65	3.98
40	39.43	1.45	
30	30.66	2.17	
20	20.83	3.97	
12	13.14	8.65	

Taula A.1.1.4. Error de la fracció de vapor del model UNIQUAC.

Fracc.vapor experimental	Fracc.vapor UNIQUAC	Error (%)	Error mitjà (%)
0.71	0.75	4.45	1.12
0.82	0.83	1.04	
0.89	0.89	0.02	
0.94	0.94	0.05	
0.97	0.97	0.05	

Diagrama Txy

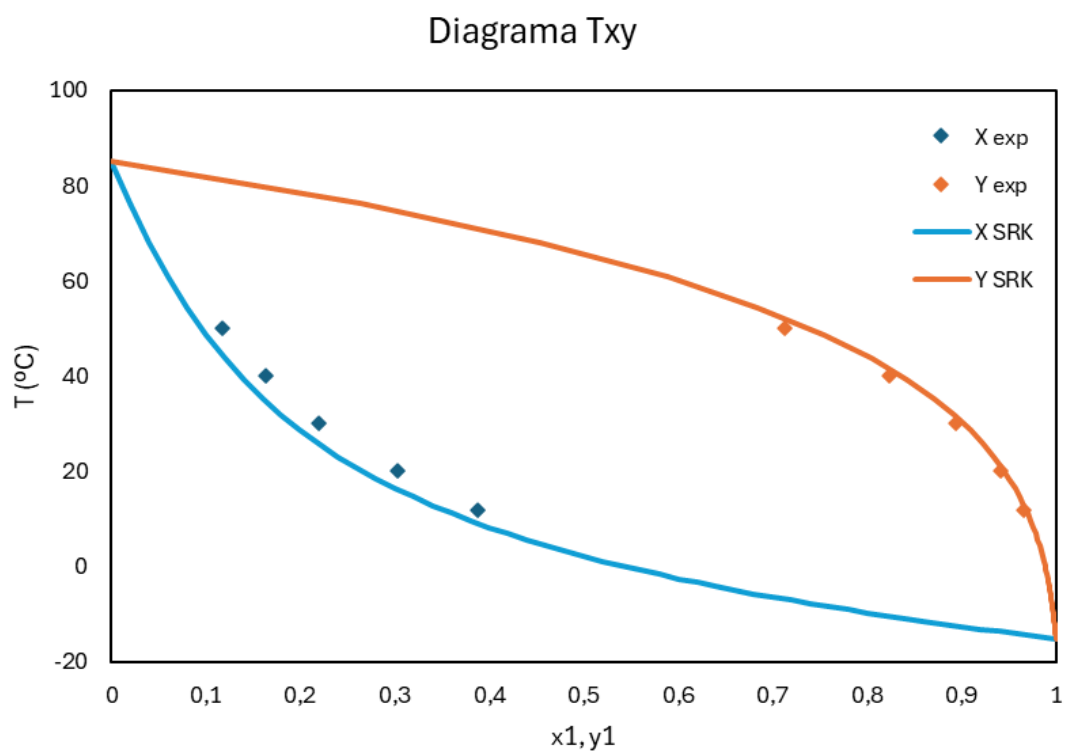
**Figura A.1.1.3.** Diagrama Txy per a la mescla binària utilitzant el model PR.

Taula A.1.1.5. Error de temperatura del model PR.

Temperatura experimental	Temperatura PR	Error (%)	Error mitjà (%)
50	44.66	11.96	21.11
40	34.96	14.42	
30	25.76	16.46	
20	15.98	25.13	
12	8.72	37.59	

Taula A.1.1.6. Error de la fracció de vapor del model PR.

Fracc.vapor experimental	Fracc.vapor PR	Error (%)	Error mitjà (%)
0.71	0.80	11.02	4.60
0.82	0.88	5.94	
0.89	0.92	3.25	
0.94	0.96	1.85	
0.97	0.98	0.94	

**Figura A.1.1.4.** Diagrama Txy per a la mescla binària utilitzant el model SRK.

Taula A.1.1.7. Error de temperatura del model SRK.

Temperatura experimental	Temperatura SRK	Error (%)	Error mitjà (%)
50	44.28	12.91	19.88
40	34.79	14.99	
30	25.78	16.35	
20	16.22	23.33	
12	9.10	31.82	

Taula A.1.1.8. Error de la fracció de vapor del model SRK.

Fracc.vapor experimental	Fracc.vapor SRK	Error (%)	Error mitjà (%)
0.71	0.80	10.78	4.43
0.82	0.87	5.72	
0.89	0.92	3.07	
0.94	0.96	1.72	
0.97	0.97	0.84	

Després d'analitzar els resultats de l'estudi i observant l'error mitjà respecte a la fracció de vapor i temperatura, es pot determinar que el model termodinàmic que millor s'ajusta a l'equilibri líquid vapor del VCM i EDC, és NRTL seguit de UNIQUAC.

Aquests resultats eren previsibles pel fet que la mescla de VCM i EDC presenta fortes interaccions polars a causa de la presència del clor, afavorint un comportament no ideal.

A.2. DISSENY BÀSIC

A.2.1. Disseny de canonades

A la figura A.2.1.1. es mostra la guia de compatibilitat de materials (ref.3) utilitzada per determinar el material de les canonades.

CHEMICAL COMPATIBILITY

CHEMICALS	METALS					PLASTICS, ELASTOMERS & LEATHER																			
	Aluminum	Carbon Steel	Cast/Ductile Iron	304 Stainless Steel	316 Stainless Steel	Acetal	Buna	CSM (Hypalon)	EPR, EPDM	Fluorocarbon	Fluoroelastomer (FKM)	Geolast (Buna & Polypropylene)	Hastelloy C	TPE	Leather	Nitrile (TS)	Nitrile (TFE)	Nylon	Polychloroprene	Polypropylene	PTFE	PVDF	Styrene (EPDM & Polypropylene)	UHMWPE	Urethane
Dry Cleaning Fluid	A	A	A	A	A	-	D	-	D	A	A	-	-	-	-	C	D	-	D	D	A	A	D	D	D
DTE Light Oil	-	-	-	-	-	-	-	-	D	-	A	-	-	B	-	A	B	-	B	-	B	-	D	A	D
Dyes	B	-	B	A	A	C	C	-	-	-	A	-	A	-	-	-	-	A	C	-	-	-	-	-	-
Ethyl Alcohol (Ethanol)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Epichlorohydrin	D	A	A	A	A	A	D	-	C	D	D	D	A	D	-	D	D	A	D	B	A	D	B	-	D
Epsom Salts (Magnesium Sulfate)	B	A	A	A	B	B	A	A	A	A	A	A	B	-	-	A	A	B	A	A	A	A	A	A	-
Esam-6 Fluid	-	-	-	-	-	-	-	-	A	-	D	-	-	-	-	-	-	-	B	-	-	-	B	-	-
Esstic 42,43	-	-	-	-	-	-	-	-	D	-	A	-	-	D	-	A	A	-	B	-	-	-	D	-	B
Ethane	A	A	A	A	A	A	A	B	D	A	A	A	A	-	-	A	C	D	C	D	A	A	C	-	B
Ethanol (Ethyl Alcohol)	B	B	B	A	A	A	C	A	A	-	A	-	A	A	-	A	A	C	A	A	A	A	A	A	D
Ethanol Chloride	-	-	-	-	-	-	-	-	C	-	B	-	-	-	-	D	D	-	D	-	A	-	B	-	-
Ethanolamine	B	A	B	A	A	D	B	C	B	D	D	A	B	-	-	B	B	A	C	D	A	D	A	A	C
Ether	B	C	C	A	A	A	D	D	C	-	C	D	B	-	-	-	-	A	D	D	A	B	-	-	-
Ether Sulfate	-	B	-	D	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	-	-	A	-	-	-	-
Ethers	B	B	C	B	B	A	-	-	C	-	D	-	B	D	A	D	D	A	D	D	A	D	C	D	D
Ethylene Oxide	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ethylene Trichloride (Trichloroethene)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ethyl (Liquor)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ethyl Acetate	B	A	A	B	B	A	D	D	B	D	D	D	B	B	-	D	D	B	D	C	A	D	C	B	D
Ethyl Acetate 120° F	B	-	B	B	B	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	-	B	A	-	-	A	-
Ethyl Acetate 140° F	B	-	B	B	B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	B	-	B	A	D	-	D	-
Ethyl Acetate 70° F	B	B	B	B	B	A	-	-	-	-	-	-	-	C	-	-	-	A	-	A	A	A	A	A	-
Ethyl Acetoacetate	A	-	A	A	-	A	D	-	C	D	D	D	A	D	-	D	D	-	D	-	A	A	C	A	D
Ethyl Acrylate	A	-	A	A	A	A	D	-	C	D	D	D	A	-	-	D	D	-	D	D	A	C	C	-	D
Ethyl Alcohol (Ethanol)	B	-	B	A	-	A	-	-	B	-	-	-	A	-	-	-	-	D	A	A	A	A	B	A	-
Ethyl Alcohol (Ethanol)	B	-	B	A	-	A	-	A	B	A	-	A	A	-	-	A	A	D	A	A	A	A	A	A	D
Ethyl Aluminum Dichloride	-	-	-	-	-	D	-	-	B	B	-	-	-	-	-	D	D	-	-	-	A	-	-	-	-
Ethyl Amine (Monoethylamine)	B	-	B	A	-	D	-	A	D	D	-	-	-	-	-	D	-	-	D	-	A	-	-	-	D
Ethyl Benzene	B	A	B	B	B	A	D	-	D	A	A	D	A	-	-	D	D	-	D	D	A	C	D	A	D
Ethyl Benzoate	A	A	A	A	A	A	D	-	D	A	A	D	A	-	-	D	D	D	D	C	A	D	C	-	D
Ethyl Bromide (Bromoethane)	A	-	A	A	-	D	-	D	-	A	D	-	-	-	-	B	C	-	D	D	A	-	D	-	D
Ethyl Butyl Acetate	-	-	-	-	-	D	-	-	D	D	-	-	-	-	-	D	D	-	-	-	A	-	-	-	-
Ethyl Butyl Alcohol	-	-	-	-	-	A	-	-	B	B	-	-	D	-	-	A	A	-	-	-	A	-	-	-	D
Ethyl Butyl Ketone	-	-	-	-	-	D	-	-	D	D	-	-	-	-	-	D	D	-	-	-	A	-	-	-	-

Figura A.2.1.1. Guia de compatibilitat de materials GracoChem (ref.3).

A la figura A.2.1.2. i A.2.1.3. es pot observar el catàleg de *Peninsular* (ref.4) d'on s'han obtingut les dimensions normalitzades de les canonades.

Peninsular

Steel Tubes

www.peninsulardevastagos.es
 info@peninsulardevastagos.es
 Tel: +34 954 25 90 22 - Fax: +34 954 67 63 15

Tabla de dimensiones ASME. Tubos de acero al carbono segun norma ASME B 36.10. Tubos inoxidables según norma ASME B 36.19. ASME Pipes Schedules. Carbon steel pipes in acc. with ASME B36.10. Stainless steel pipes in acc. with ASME B36.19

Diametro Nominal		Diam. Ext.		Espesor. Wall thickness (mm) Peso. Weight (Kg/meter)																			
Nominal Pipe Size NPS	Nominal Diameter DN	Outside Diameter mm	SCH 5S	SCH 5	SCH 10S	SCH 10	SCH 20	SCH 30	SCH 40S	STD	SCH 40	SCH 60	SCH 80S	XS	SCH 80	SCH 100	SCH 120	SCH 140	SCH 160	XXS			
¼	6	10.3			1.24			1.45		1.73				2.41									
					0.27		0.32		0.37		0.47												
					0.28		0.32		0.37		0.48												
¼	8	13.7			1.65			1.85		2.24				3.02									
					0.49		0.54		0.63		0.80												
					0.50		0.55		0.64		0.81												
¾	10	17.2			1.65			1.85		2.31				3.20									
					0.63		0.70		0.85		1.10												
					0.64		0.71		0.86		1.12												
¾	15	21.3	1.65		2.11			2.41		2.77				3.73					4.78	7.47			
					0.8		1.00		1.13		1.27		1.62							1.95	2.56		
					0.81		1.02		1.14		1.27		1.65							1.98	2.59		
¾	20	26.7	1.65		2.11			2.41		2.87				3.91					5.56	7.82			
					1.02		1.28		1.44		1.68		2.20							2.89	3.64		
					1.03		1.30		1.46		1.71		2.23							2.94	3.69		
1	25	33.4	1.65		2.77			2.90		3.38				4.55					6.35	9.09			
					1.29		2.10		2.18		2.50		3.24							4.24	5.45		
					1.31		2.13		2.22		2.54		3.29							4.30	5.53		
1¼	32	42.2	1.65		2.77			2.97		3.56				4.85					6.35	9.70			
					1.85		2.70		2.87		3.37		4.46							5.61	7.76		
					1.67		2.73		2.92		3.44		4.53							5.69	7.88		
1½	40	48.3	1.65		2.77			3.18		3.68				5.08					7.14	10.16			
					1.90		3.10		3.54		4.05		5.41							7.24	9.55		
					1.92		3.15		3.59		4.11		5.49							7.35	9.69		
2	50	60.3	1.65		2.77			3.18		3.91				5.54					8.74	11.07			
					2.39		3.93		4.48		5.44		7.49							11.12	13.45		
					2.42		3.99		4.55		5.52		7.60							11.29	13.66		
2½	65	73.0	2.11		3.05			4.78		5.16				7.01					9.53	14.02			
					3.69		5.26		8.05		8.64		14.92							14.92	20.40		
					3.75		5.35		8.17		8.77		11.59							15.15	20.72		
3	80	88.9	2.11		3.05			4.78		5.49				7.62					11.13	15.24			
					4.52		6.46		9.92		11.29		15.27							21.35	27.68		
					4.59		6.56		10.07		11.47		15.51							21.67	28.11		
3½	90	101.6	2.11		3.05			4.78		5.74				8.08						16.15			
					5.18		7.41		11.41		13.57		18.63								34.03		
					5.26		7.53		11.57		13.78		18.92								34.56		
4	100	114.3	2.11		3.05			4.78		6.02				8.56			11.13		13.49	17.12			
					5.84		8.37		12.91		16.08		22.32							33.54	41.03		
					5.93		8.50		13.11		16.32		22.67							34.05	41.66		
5	125	141.3	2.77		3.40			6.55		9.53				12.70			15.09		18.26	21.95			
					9.46		11.56		21.77		30.97		40.28							49.12	57.43		
					9.61		11.74		22.10		31.44		40.90							49.87	58.32		
6	150	168.3	2.77		3.40			7.11		10.97				14.27			18.26		21.95				
					11.31		13.82		28.26		42.56		54.20							67.55	79.21		
					11.48		14.04		28.69		43.21		55.03							68.59	80.43		
8	200	219.1	2.77		3.76		6.35	7.04		8.18		10.31		12.70		15.09	18.26	20.62	23.01	22.23			
					14.78		19.97		33.31	36.81		42.54		53.08		64.64		75.91	90.43	100.91	111.26	107.91	
					15.00		20.27		33.83	37.38		43.20		53.90		65.63		77.08	91.82	102.47	112.97	109.57	
10	250	273.1	3.40		4.19		6.35	7.80		9.27				12.70		15.09	18.26	21.44	25.40	28.58	25.40		
					22.61		27.78		41.76	51.02		60.30				81.54	95.99	114.73	133.03	155.12	172.30	155.12	
					22.96		28.21		42.41	51.81		61.23				82.79	97.47	116.50	135.08	157.51	174.95	157.51	
12	300	323.9	3.96		4.57		6.35	8.38		9.53		10.31	14.27	12.70		17.48	21.44	25.40	28.58	33.32	25.40		
					31.24		35.98		49.72	65.19		73.90		79.72	108.94	97.45	132.06	159.89	186.94	208.10	238.72	186.94	
					31.72		36.54		50.48	66.20		75.00		80.94	110.62	98.95	134.10	162.35	189.82	211.31	242.40	189.82	
14	350	355.6	3.96		4.78	6.35	7.92	9.53		9.53		11.13	15.09	12.70		19.05	23.83	27.79	31.75	35.71			
					34.34		41.35	54.69	67.90	81.33		81.33		94.55	126.71	107.39		158.10	194.96	224.65	253.56	281.70	
					34.87		41.99	55.53	68.95	82.58		82.58		96.00	128.66	109.04		160.54	197.97	228.11	257.47	286.04	

Fila negra: espesor en mm. Black row: wall thickness in mm.
 Fila azul: aceros al carbono - peso Kg/metro. Blue row: Carbon Steel - weight Kg/meter
 Fila roja: aceros inoxidables - peso Kg/metro. Red row: Stainless Steel - weight Kg/meter

Figura A.2.1.2. Primera pàgina catàleg *Peninsular* (ref.4).

Tabla de dimensiones ASME. Tubos de acero al carbono segun norma ASME B 36.10. Tubos inoxidables según norma ASME B 36.19. ASME Pipes Schedules. Carbon steel pipes in acc. with ASME B36.10. Stainless steel pipes in acc. with ASME B36.19

Nominal Pipe Size NPS	Nominal Diameter DN	Diam. Ext. Outside Diameter mm	Espesor. Wall thickness (mm) Peso. Weight (Kg/meter)																		
			SCH 5S	SCH 5	SCH 10S	SCH 10	SCH 20	SCH 30	SCH 40S	STD	SCH 40	SCH 60	SCH 80S	XS	SCH 80	SCH 100	SCH 120	SCH 140	SCH 160	XXS	
16	400	406,4	4,19	4,78	6,35	7,92	9,53	9,53	12,70	16,66	12,70	21,44	26,19	30,96	36,53	40,49					
			41,56	47,34	62,64	77,83	93,27	93,27	123,30	160,12	123,30	203,53	245,56	286,64	333,19	365,36					
18	450	457,2	4,19	4,78	6,35	7,92	11,13	9,53	14,27	19,05	12,70	23,83	29,36	34,93	39,67	45,24					
			46,81	53,33	70,60	87,75	122,43	105,21	155,87	205,83	139,21	254,67	309,76	363,73	408,45	459,59					
20	500	508,0	4,78	5,54	6,35	7,92	12,70	9,53	15,09	20,62	12,70	26,19	32,54	38,10	44,45	50,01					
			59,32	68,64	78,65	117,20	155,12	117,15	183,42	247,83	155,12	311,17	381,53	441,49	508,11	564,81					
22	550	558,8	4,78	5,54	6,35	7,92	12,70	9,53	15,88	22,23	12,70	28,58	34,93	41,28	47,63	53,98					
			65,31	75,58	86,51	129,08	171,03	129,08	212,61	294,14	171,03	373,69	451,25	526,82	600,40	671,99					
24	600	609,6	5,54	6,35	7,92	9,53	14,27	9,53	17,48	24,61	12,70	30,96	38,89	46,02	52,37	59,54					
			82,53	94,46	141,02	209,50	141,02	255,24	355,02	186,94	441,78	547,33	639,58	719,63	807,63						
26	650	660,4			7,92	12,70			9,53		12,70										
					127,43	202,85			152,96				202,85								
28	700	711,2			7,92	12,70	15,88		9,53		12,70										
					137,36	218,76	272,29		164,90				218,76								
30	750	762,0	6,35	7,92		12,70	15,88		9,53		12,70										
			118,33	147,28		234,67	292,18		176,84				234,67								
32	800	812,8			7,92	12,70	15,88		9,53	17,48		12,70									
					157,20	250,58	312,07		188,78	342,83		250,58									
34	850	863,6			7,92	12,70	15,88		9,53	17,48		12,70									
					167,12	268,49	331,97		200,71	364,73		268,49									
36	900	914,4			7,92	12,70	15,88		9,53	19,05		12,70									
					177,04	282,40	351,86		212,65	420,61		282,40									
38	950	965,2				17,48	20,62		215,93	427,09		288,75									
40	1000	1016,0							9,53		12,70										
42	1050	1066,8							9,53		12,70										
44	1100	1117,6							9,53		12,70										
46	1150	1168,4							9,53		12,70										
48	1200	1219,2							9,53		12,70										

Fila negra: espesor en mm. Black row: wall thickness in mm.
Fila azul: aceros al carbono - peso Kg/metro. Blue row: Carbon Steel - weight Kg/meter
Fila roja: aceros inoxidables - peso Kg/metro. Red row: Stainless Steel - weight Kg/meter

Figura A.2.1.3. Segona pàgina catàleg Peninsular (ref.4).

A.2.2. Disseny de les vàlvules de control

A la figura següent es mostra el catàleg *Masoneilan* (ref.5) que s'ha utilitzat pel disseny de les vàlvules de control.

V-Port Trim

ANSI Class: 150 through 1500

Sizes: 2" through 16"

Flow Characteristics: **EQUAL PERCENTAGE**

Percent of Plug Travel			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
F _L	Full Area Reduced Area		.96	.96	.96	.96	.95	.94	.94	.93	.91	.90
			.96	.96	.95	.94	.93	.92	.91	.90	.89	.88
Valve Size (inches)	Orifice Diameter (inches) Upper/Lower	Travel (inches)	Rated C _v									
			2	1.438/1.355	0.8	0.6	1.1	1.5	2.0	2.8	4.2	5.5
2.000/1.906	0.8	1.4		2.8	3.8	5.3	7.2	10.5	13.9	21.6	31.2	48
3	1.876/1.782	1.5	1.3	2.6	3.5	4.8	6.6	9.7	12.8	19.8	28.6	44
	2.625/2.531	1.5	3.3	6.6	8.8	12.1	16.5	24.2	31.9	49.5	71.5	110
4	2.376/2.282	1.5	2.3	4.7	6.2	8.6	11.7	17.2	22.6	35.1	50.7	78
	3.500/3.406	1.5	5.8	11.7	15.6	21.4	29.2	42.9	56.5	87.7	126	195
6	3.500/3.406	2.0	5	11	14	20	27	40	52	81	117	180
	5.250/5.156	2.0	14	27	36	50	68	99	130	202	292	450
8	4.626/4.531	2.5	9	18	24	33	45	66	87	135	195	300
	7.000/6.875	2.5	23	45	60	83	112	165	217	337	487	750
10	5.250/5.156	2.5	14	28	37	51	69	101	133	207	299	460
	8.750/8.625	2.5	35	70	93	127	174	255	336	522	754	1160
12	6.375/6.250	3.5	20	39	52	72	98	143	189	293	423	650
	10.500/10.375	3.5	49	97	130	178	243	356	469	729	1053	1620
14	12.251/12.126	4	60	120	160	220	300	440	580	900	1300	2000
16	14.000/13.860	4	77	153	207	281	384	563	742	1152	1664	2560

Figura A.2.2.1. Taula utilitzada pel disseny de les vàlvules isopercentuals.

Contoured Trim

ANSI Class: 150 through 1500

Sizes: 2" through 12"

Flow Characteristics: **LINEAR**

Percent of Plug Travel			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
F _L	Full Area Reduced Area		.63	.64	.65	.70	.77	.85	.90	.90	.89	.88
			.63	.64	.65	.70	.75	.80	.82	.82	.81	.80
Valve Size (inches)	Orifice Diameter (inches) Upper/Lower	Travel (inches)	Rated C _v									
			2	1.438/1.355	0.8	1.9	3.8	5.7	7.6	9.5	11.4	13.3
2.000/1.906	0.8	4.8		9.6	14.4	19.2	24	28.8	33.6	38.4	43.2	48
3	1.876/1.782	1.5	4.4	8.8	13.2	17.6	22	26.4	30.8	35.2	39.6	44
	2.625/2.531	1.5	11	22	33	44	55	66	77	88	99	110
4	2.376/2.282	1.5	7.8	15.6	23.4	31.2	39	46.8	54.6	62.4	70.2	78
	3.500/3.406	1.5	19.5	39	58.5	78	97.5	117	136	156	175	195
6	3.500/3.406	2.0	18	36	54	72	90	108	126	144	162	180
	5.250/5.156	2.0	45	90	135	180	225	270	315	360	405	450
8	4.626/4.531	2.5	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
	7.000/6.875	2.5	75	150	225	300	375	450	525	600	675	750
10	5.250/5.156	2.5	46	92	138	184	230	276	322	368	414	460
	8.750/8.625	2.5	116	232	348	464	580	696	812	928	1044	1160
12	6.375/6.250	3.5	65	130	195	260	325	390	455	520	585	650
	10.500/10.375	3.5	162	324	486	648	810	972	1134	1296	1458	1620

Figura A.2.2.2. Taula utilitzada pel disseny de les vàlvules lineals.

A.3. DISSENY D'EQUIPS

A.3.1. Disseny del tanc S0123

En aquest apartat es mostra la simplificació de l'equació pel càlcul del volum dels capçals torisfèrics (ref.22).

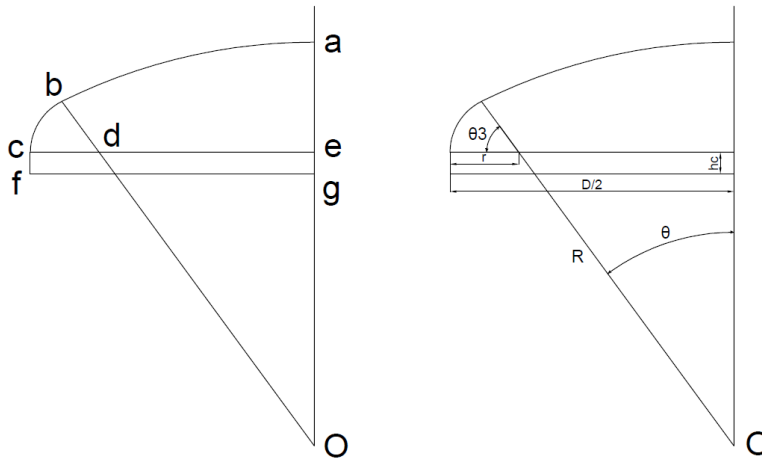


Figura A.3.1.1. Superfície generatriu d'un capçal torisfèric

$$\theta = \text{sen}^{-1} \cdot \frac{\left(\frac{D}{2} - r\right)}{R - r} \quad (\text{E.36})$$

$$\theta_3 = \frac{\pi}{2} - \alpha \quad (\text{E.37})$$

Per a trobar el volum s'han de trobar les àrees i centroides dels diferents elements definits a la figura anterior. La fórmula general és la següent:

$$A = \sum_{i=1}^n A_i \quad (\text{E.38})$$

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot A_i}{A} \quad (\text{E.39})$$

$$V = 2 \cdot \pi \cdot \sum_{i=1}^n x_i \cdot A_i \quad (\text{E.40})$$

Les equacions específiques del capçal torisfèric:

$$A_{aob} = \frac{\theta}{2} \cdot R^2 \quad (\text{E.41})$$

$$x_{aob} = \frac{2 \cdot R \cdot \text{sen}^2\left(\frac{\theta}{2}\right)}{3 \cdot \left(\frac{\theta}{2}\right)} \quad (\text{E.42})$$

$$A_{doc} = -\frac{\left(\frac{D}{2} - r\right) \cdot A'}{2} \quad (\text{E.43})$$

$$x_{doc} = \frac{\left(\frac{D}{2} - r\right)}{3} \quad (\text{E.44})$$

$$A_{cefg} = \frac{D}{2} \cdot hc \quad (\text{E.45})$$

$$x_{cefg} = \frac{D}{4} \quad (\text{E.46})$$

$$A_{bdc} = \frac{\theta_3}{2} \cdot r^2 \quad (\text{E.47})$$

$$x_{cefg} = \left(\frac{D}{2} - r\right) + \frac{2 \cdot r \cdot \text{sen}\left(\frac{\theta_3}{2}\right)}{3 \cdot \left(\frac{\theta_3}{2}\right)} \cdot \cos\left(\frac{\theta_3}{2}\right) \quad (\text{E.48})$$

Un cop definits totes les àrees i centroides que intervenen, se substitueix en la fórmula del volum i s'obté la següent fórmula:

$$V = \pi \cdot \left\{ \frac{4}{3} \cdot R^3 \cdot \text{sen}^3\left(\frac{\theta}{2}\right) + r^2 \cdot \left[\left(\frac{D}{2} - r\right) \cdot \theta_3 + \frac{r \cdot \text{sen}\left(\frac{\theta_3}{2}\right)}{3} \cdot \cos\left(\frac{\theta_3}{2}\right) \right] + \frac{hc \cdot D^2}{8} - \frac{A' \cdot \left(\frac{D}{2} - r\right)^2}{3} \right\} \quad (\text{E.49})$$

Seguint la normativa ASME, se solen simplificar per a capçals torisfèrics:

$$R = D \quad (\text{E.50})$$

$$r = 0.1 \cdot D \quad (\text{E.51})$$

Finalment, el volum del capçal es pot calcular amb l'equació:

$$V_{\text{capçal}} (m^3) = (0.1 \cdot D^3 + 0.7854 \cdot hc \cdot D^2) \quad (\text{E.52})$$

Per a calcular el gruix dels capçals torisfèrics es requereix un factor M que depèn de la relació L/r.

Taula A.3.1.1. Factor M per al disseny del tanc torisfèric.

		Factor M									
L/r	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	
M	1	1.06	1.1	1.15	1.18	1.22	1.25	1.28	1.31	1.34	

A.4. SEGURETAT EN EL DISSENY DE LES INSTAL·LACIONS

A.4.1. Protecció d'equips a sobrepressions

Pel disseny de les PSV, s'han utilitzat les taules següents extretes del *Catálogo General de Válvulas Nacional* (ref.13).

Caudales de Descarga para Gases (Nm ³ /h) al 10% de Sobrepresión • Gases Discharge Flow (Nm ³ /h) at 10% Overpressure															
Valores de k distintos de '0.01, multiplicar por K _c k values different to '0.01, multiply by K _c				Densidad relativa al aire distinta 1, multiplicar por K _g Relative to air specific gravity different to 1, multiply by K _g						Temperatura distinta de 15°, multiplicar por K _t Different temperature to 15°, multiply by K _t					
P ₁ Kg/cm ²	Orificios cm ² • Orifices cm ²														
	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q	R	T
	0'31	0'71	1'265	1'98	3'245	5'06	8'3	11'85	18'4	23'2	28	41'2	71'3	103'2	167'5
0,5	27	61	109	171	280	437	716	1023	1588	2002	2416	3555	6153	8906	14454
1	36	83	147	230	377	588	965	1378	2140	2698	3256	4791	8291	12000	19477
1,5	45	104	185	290	475	740	1214	1733	2691	3393	4095	6026	10428	15094	24499
2	55	125	223	349	572	892	1463	2088	3243	4089	4935	7261	12566	18188	29521
2,5	64	146	261	408	669	1044	1712	2444	3795	4784	5774	8497	14704	21283	34543
3	73	168	299	468	766	1195	1961	2799	4346	5480	6614	9732	16842	24377	39565
3,5	83	189	337	527	864	1347	2209	3154	4898	6176	7453	10967	18979	27471	44587
4	92	210	375	586	961	1499	2458	3510	5450	6871	8293	12202	21117	30565	49609
4,5	101	232	413	646	1058	1650	2707	3865	6001	7567	9132	13438	23255	33659	54631
5	110	253	451	705	1156	1802	2956	4220	6553	8262	9972	14673	25393	36754	59653
6	129	295	526	824	1350	2105	3454	4931	7656	9654	11651	17143	29668	42942	69697
7	148	338	602	943	1545	2409	3951	5641	8760	11045	13330	19614	33944	49130	79742
8	166	381	678	1061	1739	2712	4449	6352	9863	12436	15009	22085	38219	55319	89786
9	185	423	754	1180	1934	3016	4947	7063	10966	13827	16688	24555	42495	61507	99830
10	203	466	830	1299	2129	3319	5445	7773	12070	15218	18367	27026	46770	67696	109874
11	222	508	906	1418	2323	3623	5942	8484	13173	16610	20046	29496	51046	73884	119918
12	241	551	982	1536	2518	3926	6440	9194	14276	18001	21725	31967	55321	80072	129962
13	259	593	1057	1655	2712	4229	6938	9905	15380	19392	23404	34437	59597	86261	140007
14	278	636	1133	1774	2907	4533	7435	10616	16483	20783	25083	36908	63872	92449	150051
15	296	679	1209	1892	3102	4836	7933	11326	17587	22174	26762	39379	68148	98638	160095
16	315	721	1285	2011	3296	5140	8431	12037	18690	23566	28441	41849	72423	104826	170139
17	333	764	1361	2130	3491	5443	8928	12747	19793	24957	30120	44320	76699	111014	180183
18	352	806	1437	2249	3685	5747	9426	13458	20897	26348	31799	46790	80974	117203	190227
19	371	849	1512	2367	3880	6050	9924	14168	22000	27739	33478	49261	85250	123391	200272
20	389	891	1588	2486	4074	6353	10422	14879	23103	29130	35157	51731	89525	129580	210316
25	482	1104	1968	3080	5047	7871	12910	18432	28620	36086	43552	64084	110903	160522	
30	575	1317	2347	3673	6020	9388	15399	21985	34137	43042	51948	76437	132281	191464	
35	668	1530	2726	4267	6993	10905	17887	25538	39654	49998	60343	88790	153658		
40	761	1743	3105	4861	7966	12422	20376	29091	45171	56954	68738	101143	175036		
45	854	1956	3485	5454	8939	13939	22864	32644	50687	63910	77133	113496	196413		
50	947	2169	3864	6048	9912	15456	25353	36197	56204	70866	85528	125848			
55	1040	2382	4243	6642	10885	16973	27842	39750	61721	77822	93923	138201			
60	1133	2594	4623	7235	11858	18490	30330	43303	67238	84778	102318	150554			
65	1226	2807	5002	7829	12831	20007	32819	46856	72755	91734	110713	162907			
70	1319	3020	5381	8423	13804	21525	35307	50408	78271	98690	119109	175260			
75	1412	3233	5760	9016	14777	23042	37796	53961	83788	105646	127504	187613			
80	1505	3446	6140	9610	15750	24559	40284	57514	89305	112602	135899				
85	1598	3659	6519	10204	16723	26076	42773	61067	94822	119558	144294				
90	1690	3872	6898	10797	17696	27593	45261	64620	100339	126514	152689				
95	1783	4085	7278	11391	18669	29110	47750	68173	105855	133470					
100	1876	4298	7657	11985	19641	30627	50239	71726	111372	140426					
110	2062	4723	8415	13172	21587	33662	55216	78832	122406	154338					
120	2248	5149	9174	14359	23533	36696	60193	85938							
130	2434	5575	9933	15547	25479	39730	65170	93044							
140	2620	6001	10691	16734	27425	42764	70147	100150							
150	2806	6426	11450	17921	29371	45799	75124	107255							
160	2992	6852	12208	19108	31317	48833	80101	114361							
170	3178	7278	12967	20296	33263	51867	85078	121467							
180	3364	7704	13725	21483	35208	54901	90055	128573							
190	3549	8129	14484	22670	37154	57935	95033								
200	3735	8555	15242	23858	39100	60970	100010								
220	4107	9407	16760	26232	42992	67038	109964								
240	4479	10258	18277	28607	46884										
260	4851	11110	19794	30982	50775										
280	5222	11961	21311	33356	54667										
300	5594	12813	22828	35731											
320	5966	13664	24345	38105											
340	6338	14516	25862	40480											

Figura A.4.1.1. Cabals de descàrrega per gasos.

Caudales de Descarga para Líquidos (m ³ /h) al 25% de Sobrepresión • <i>Líquids Discharge Flow (m³/h) at 25% Overpressure</i>																
Densidad relativa al agua distinta 1, multiplicar por K _g <i>Relative to water specific gravity different to 1, multiply by K_g</i>										Sobrepresión distinta del 25%, multiplicar por K _p <i>Overpressure different to 25%, multiply by K_p</i>						
P ₁ Kg/cm ²	Orificios cm ² • <i>Orifices cm²</i>															
	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q	R	T	
	0'31	0'71	1'265	1'98	3'245	5'06	8'3	11'85	18'4	23'2	28	41'2	71'3	103'2	167'5	
0,5	0'79	1'81	3'23	5'05	8'28	12'91	21'17	30'23	46'94	59'18	71'43	105'10	181'89	263'27	427'30	
1	1'12	2'56	4'56	7'14	11'71	18'26	29'94	42'75	66'38	83'70	101'02	148'64	257'23	372'32	604'30	
1,5	1'37	3'14	5'59	8'75	14'34	22'36	36'67	52'36	81'30	102'51	123'72	182'05	315'05	456'00	740'11	
2	1'58	3'62	6'45	10'10	16'56	25'82	42'35	60'46	93'88	118'37	142'86	210'21	363'78	526'54	854'61	
2,5	1'77	4'05	7'22	11'29	18'51	28'86	47'35	67'60	104'96	132'34	159'72	235'02	406'72	588'69	955'48	
3	1'94	4'44	7'90	12'37	20'28	31'62	51'87	74'05	114'98	144'97	174'97	257'45	445'54	644'88	1046'68	
3,5	2'09	4'79	8'54	13'36	21'90	34'15	56'02	79'98	124'19	156'59	188'99	278'08	481'24	696'55	1130'54	
4	2'24	5'12	9'13	14'29	23'41	36'51	59'89	85'50	132'77	167'40	202'03	297'28	514'47	744'64	1208'60	
4,5	2'37	5'43	9'68	15'15	24'83	38'73	63'52	90'69	140'82	177'55	214'29	315'31	545'67	789'81	1281'91	
5	2'50	5'73	10'21	15'97	26'18	40'82	66'96	95'60	148'44	187'16	225'88	332'37	575'19	832'54	1351'26	
6	2'74	6'27	11'18	17'50	28'68	44'72	73'35	104'72	162'60	205'02	247'44	364'09	630'09	912'00	1480'23	
7	2'96	6'78	12'07	18'90	30'97	48'30	79'23	113'11	175'63	221'45	267'27	393'26	680'58	985'07	1598'83	
8	3'16	7'25	12'91	20'20	33'11	51'63	84'70	120'92	187'76	236'74	285'72	420'42	727'57	1053'08	1709'22	
9	3'36	7'68	13'69	21'43	35'12	54'77	89'83	128'26	199'15	251'10	303'05	445'92	771'70	1116'96	1812'90	
10	3'54	8'10	14'43	22'59	37'02	57'73	94'69	135'19	209'92	264'68	319'44	470'04	813'44	1177'38	1910'96	
11	3'71	8'50	15'14	23'69	38'83	60'55	99'31	141'79	220'17	277'60	335'04	492'98	853'15	1234'85	2004'24	
12	3'87	8'87	15'81	24'75	40'55	63'24	103'73	148'10	229'96	289'95	349'93	514'90	891'08	1289'76	2093'36	
13	4'03	9'24	16'46	25'76	42'21	65'82	107'97	154'14	239'35	301'78	364'22	535'93	927'47	1342'42	2178'83	
14	4'18	9'58	17'08	26'73	43'80	68'30	112'04	159'96	248'38	313'18	377'97	556'16	962'48	1393'10	2261'08	
15	4'33	9'92	17'68	27'67	45'34	70'70	115'97	165'58	257'10	324'17	391'24	575'68	996'26	1441'99	2340'44	
16	4'47	10'25	18'26	28'57	46'83	73'02	119'78	171'01	265'53	334'80	404'07	594'56	1028'93	1489'28	2417'20	
17	4'61	10'56	18'82	29'45	48'27	75'27	123'46	176'27	273'70	345'10	416'51	612'86	1060'60	1535'12	2491'59	
18	4'74	10'87	19'36	30'31	49'67	77'45	127'04	181'38	281'64	355'11	428'58	630'63	1091'35	1579'62	2563'83	
19	4'88	11'17	19'89	31'14	51'03	79'57	130'52	186'35	289'36	364'84	440'32	647'91	1121'25	1622'91		
20	5'00	11'46	20'41	31'95	52'36	81'64	133'92	191'19	296'87	374'32	451'76	664'74	1150'38	1665'07		
25	5'59	12'81	22'82	35'72	58'54	91'28	149'72	213'76	331'91	418'50	505'09	743'20	1286'17	1861'60		
30	6'13	14'03	25'00	39'13	64'12	99'99	164'01	234'16	363'59	458'44	553'29	814'13	1408'93			
35	6'62	15'15	27'00	42'26	69'26	108'00	177'15	252'92	392'73	495'18	597'63	879'36	1521'81			
40	7'07	16'20	28'86	45'18	74'04	115'46	189'39	270'39	419'84	529'37	638'89	940'08	1626'89			
45	7'50	17'18	30'62	47'92	78'53	122'46	200'87	286'79	445'31	561'48	677'64	997'11	1725'57			
50	7'91	18'11	32'27	50'51	82'78	129'08	211'74	302'30	469'40	591'85	714'30	1051'04				
55	8'29	19'00	33'85	52'98	86'82	135'38	222'07	317'06	492'31	620'74	749'16	1102'34				
60	8'66	19'84	35'35	55'33	90'68	141'40	231'95	331'16	514'20	648'34	782'48	1151'36				
65	9'02	20'65	36'79	57'59	94'39	147'18	241'42	344'68	535'20	674'81	814'43	1198'37				
70	9'36	21'43	38'18	59'77	97'95	152'73	250'53	357'69	555'40	700'29	845'17	1243'61				
75	9'69	22'18	39'52	61'86	101'39	158'10	259'33	370'24	574'89	724'86	874'84	1287'26				
80	10'00	22'91	40'82	63'89	104'71	163'28	267'83	382'39	593'75	748'64	903'53					
85	10'31	23'62	42'08	65'86	107'93	168'31	276'07	394'15	612'02	771'68	931'33					
90	10'61	24'30	43'30	67'77	111'06	173'18	284'08	405'58	629'76	794'05	958'33					
95	10'90	24'97	44'48	69'62	114'11	177'93	291'86	416'69	647'02	815'81						
100	11'18	25'62	45'64	71'43	117'07	182'55	299'44	427'52	663'83	837'00		25	1'000	0'20	2'24	
110	11'73	26'87	47'87	74'92	122'79	191'46	314'06	448'39	696'23	877'85		24	0'990	0'30	1'82	
120	12'25	28'06	49'99	78'25	128'25	199'98	328'02	468'32				23	0'970	0'40	1'58	
130	12'75	29'21	52'04	81'45	133'48	208'14	341'42	487'45				22	0'960	0'50	1'41	
140	13'23	30'31	54'00	84'52	138'52	216'00	354'31	505'85				21	0'940	0'60	1'29	
150	13'70	31'37	55'90	87'49	143'38	223'58	366'74	523'60				20	0'925	0'70	1'19	
160	14'15	32'40	57'73	90'36	148'09	230'91	378'77	540'77				19	0'905	0'80	1'12	
170	14'58	33'40	59'50	93'14	152'64	238'02	390'43	557'42				18	0'882	0'90	1'05	
180	15'00	34'37	61'23	95'84	157'07	244'92	401'75	573'58				17	0'855	1'00	1'00	
190	15'42	35'31	62'91	98'46	161'37	251'63	412'76					16	0'825	1'10	0'95	
200	15'82	36'23	64'54	101'02	165'56	258'17	423'48					15	0'795	1'20	0'91	
220	16'59	37'99	67'69	105'95	173'65	270'77	444'15					14	0'760	1'30	0'81	
240	17'33	39'68	70'70	110'66	181'37							13	0'725	1'40	0'84	
260	18'03	41'30	73'59	115'18	188'77							12	0'690	1'50	0'81	
280	18'71	42'86	76'37	119'53	195'90							11	0'660	1'60	0'79	
300	19'37	44'37	79'05	123'73								10	0'640	1'70	0'76	
320	20'01	45'82	81'64	127'78										1'80	0'74	
340	20'62	47'23	84'15	131'72										1'90	0'72	

Figura A.4.1.2. Cabals de descàrrega per líquids.

Caudales de Descarga para Vapor (Kg/h) al 10% de Sobrepresión • Steam Discharge Flow (Kg/h) at 10% Overpressure															
Valores para vapor saturado Saturated steam values		Para vapor recalentado, multiplicar por K_s For superheated steam, multiply by K_s													
P ₁ Kg/cm ²	Orificios cm ² • Orifices cm ²														
	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q	R	T
	0'31	0'71	1'265	1'98	3'245	5'06	8'3	11'85	18'4	23'2	28	41'2	71'3	103'2	167'5
0,5	20	46	82	128	210	327	537	766	1190	1500	1810	2664	4610	6672	10829
1	23	53	95	149	244	380	623	889	1381	1741	2101	3092	5351	7745	12570
1,5	36	83	148	232	380	593	972	1388	2155	2718	3280	4826	8352	12089	19621
2	40	91	163	255	417	651	1067	1524	2366	2983	3600	5298	9168	13270	21539
2,5	52	119	213	333	546	851	1396	1993	3095	3902	4709	6929	11992	17357	28172
3	56	128	228	356	584	911	1494	2133	3312	4176	5040	7416	12834	18576	30150
3,5	68	155	277	433	710	1107	1815	2592	4024	5074	6124	9011	15594	22571	36635
4	72	164	292	457	749	1167	1915	2734	4245	5352	6460	9505	16449	23809	38643
4,5	83	191	340	532	873	1361	2232	3187	4948	6239	7530	11079	19173	27752	45043
5	87	200	355	556	912	1422	2332	3330	5170	6519	7868	11577	20035	28999	47068
6	102	234	416	651	1067	1664	2730	3898	6052	7631	9210	13552	23453	33946	55097
7	117	269	479	749	1228	1914	3140	4483	6961	8777	10593	15587	26974	39042	63368
8	133	304	541	847	1388	2164	3550	5068	7870	9923	11976	17622	30496	44140	71643
9	148	339	603	945	1548	2414	3960	5653	8778	11068	13357	19654	34014	49232	79906
10	163	374	666	1042	1708	2663	4368	6236	9683	12209	14735	21681	37521	54308	88145
11	178	408	728	1139	1867	2911	4775	6818	10586	13348	16109	23704	41021	59375	96369
12	194	443	790	1236	2026	3159	5182	7398	11488	14485	17482	25723	44515	64432	104577
13	209	478	852	1333	2185	3407	5589	7980	12391	15623	18855	27744	48013	69495	112794
14	224	513	914	1430	2344	3656	5996	8561	13293	16761	20228	29765	51510	74556	121009
15	239	548	976	1527	2503	3903	6402	9141	14193	17896	21599	31781	55000	79607	129207
16	254	583	1038	1625	2663	4153	6812	9725	15101	19040	22979	33812	58515	84694	137464
17	270	617	1100	1721	2821	4399	7216	10303	15997	20170	24343	35820	61989	89723	145626
18	285	652	1162	1819	2981	4649	7626	10888	16906	21316	25726	37854	65509	94818	153896
19	300	687	1224	1916	3140	4896	8031	11466	17803	22448	27092	39864	68988	99854	162069
20	315	722	1286	2013	3299	5144	8438	12047	18706	23586	28466	41885	72485	104916	
25	392	897	1598	2501	4098	6391	10483	14966	23239	29301	35363	52034	90050	130339	
30	468	1072	1911	2991	4901	7643	12537	17899	27792	35042	42293	62231	107695	155878	
35	541	1239	2208	3456	5664	8832	14487	20683	32116	40494	48872	71912	124450		
40	618	1416	2523	3949	6471	10091	16552	23632	36694	46267	55839	82163	142190		
45	692	1584	2822	4417	7239	11288	18516	26436	41048	51756	62464	91911	159060		
50	769	1762	3140	4915	8055	12560	20602	29414	45673	57587	69502	102267			
55	848	1943	3462	5419	8881	13848	22715	32431	50357	63494	76630	112756			
60	928	2125	3786	5925	9711	15142	24838	35461	55062	69426	83790	123291			
65	994	2277	4056	6349	10405	16225	26613	37996	58998	74389	89780	132105			
70	1073	2458	4380	6856	11236	17521	28740	41032	63712	80333	96954	142660			
75	1147	2628	4682	7329	12012	18730	30723	43864	68109	85877	103644	152505			
80	1228	2813	5013	7846	12859	20051	32890	46957	72912	91933	110954				
85	1312	3004	5352	8377	13729	21408	35116	50136	77848	98156	118464				
90	1394	3194	5690	8906	14596	22760	37334	53302	82764	104355					
95	1475	3379	6021	9424	15444	24083	39503	56399	87574	110419					
100	1560	3573	6366	9965	16331	25466	41772	59638	92603	116760					
110	1716	3930	7001	10959	17960	28006	45938	65586	101839	128406					
120	1895	4341	7734	12106	19840	30937	50746	72451							
130	2034	4658	8299	12990	21290	33198	54455	77746							
140	2225	5095	9078	14209	23288	36313	59565	85041							
150	2384	5460	9729	15227	24956	38915	63832	91134							
160	2592	5937	10578	16556	27134	42310	69402	99086							
170	2759	6320	11260	17625	28885	45041	73881	105481							
180	2995	6859	12220	19127	31347	48880	80179	114472							
190	3195	7317	13037	20405	33442	52146	85536								
200	3480	7969	14199	22224	36423	56795	93162								
220	4091	9369	16692	26127	42819	66769	109522								

Figura A.4.1.3. Cabals de descàrrega per vapor.

Presiones Máximas (Kg/cm²) Válvulas de Seguridad 3-5211/3-5261 • Maximum Pressure (Kg/cm²) Safety Valves 3-5211/3-5261

Orificio Orifice	Tamaño Size	Rating	Entrada • Inlet								Salida • Outlet	
			Temperatura °C • Temperature °C								Modelo Model 3-5211	Modelo Model 3-5261
			-270 a -100	-100 a -50	-50 a -30	-30 a 38	38 a 230	230 a 425	230 a 425	230 a 540		
D	1 x 2	150 x 150	19'3	19'3	19'3	19'3	11'6	6'4	-	-	16'1	
	1 x 2	300 x 150	43'2	50'6	50'6	50'6	45'7	25'6	28'8	15'1	16'1	
	1 x 2	600 x 150	86'8	101	101	101	91'7	51'3	57'3	30'2	16'1	
	1 1/2 x 2	900 x 300	130	151	151	151	137	77'3	86'1	45'3	42'1	
	1 1/2 x 2	1500 x 300	216	253	253	253	228	128	143	75'2	42'1	
E	1 1/2 x 2 1/2	2500 x 300	281	281	421	421	381	214	239	125	42'1	
	1 x 2	150 x 150	19'3	19'3	19'3	19'3	11'6	6'4	-	-	16'1	
	1 x 2	300 x 150	43'2	50'6	50'6	50'6	45'7	25'6	28'8	15'1	16'1	
	1 x 2	600 x 150	86'8	101	101	101	91'7	51'3	57'3	30'2	16'1	
	1 1/2 x 2	900 x 300	130	151	151	151	137	77'3	86'1	45'3	42'1	
F	1 1/2 x 2	1500 x 300	182	182	253	253	228	128	143	75'2	42'1	
	1 1/2 x 2 1/2	2500 x 300	267	267	421	421	381	214	239	125	42'1	
	1 1/2 x 2	150 x 150	19'3	19'3	19'3	19'3	11'6	6'4	-	-	16'1	16'1
	1 1/2 x 2	300 x 150	43'2	50'6	50'6	50'6	45'7	25'6	28'8	15'1	16'1	16'1
	1 1/2 x 2	600 x 150	86'8	101	101	101	91'7	51'3	57'3	30'2	16'1	16'1
G	1 1/2 x 2 1/2	900 x 300	130	151	151	151	137	77'3	86'1	45'3	42'1	35'1
	1 1/2 x 2 1/2	1500 x 300	154	154	253	253	228	128	143	75'2	42'1	35'1
	1 1/2 x 2 1/2	2500 x 300	239	239	351	351	351	214	239	125	42'1	35'1
	1 1/2 x 2 1/2	150 x 150	19'3	19'3	19'3	19'3	11'6	6'4	-	-	16'1	16'1
	1 1/2 x 2 1/2	300 x 150	43'2	50'6	50'6	50'6	45'7	25'6	28'8	15'1	16'1	16'1
H	1 1/2 x 2 1/2	600 x 150	86'8	101	101	101	91'7	51'3	57'3	30'2	16'1	16'1
	1 1/2 x 2 1/2	900 x 300	112	112	151	151	137	77'3	86'1	45'3	42'1	33
	2 x 3	1500 x 300	172	172	253	253	228	128	143	75'2	42'1	33
	2 x 3	2500 x 300	182	182	253	253	253	214	239	125	42'1	33
	1 1/2 x 3	150 x 150	19'3	19'3	19'3	19'3	11'6	6'4	-	-	16'1	16'1
I	1 1/2 x 3	300 x 150	19'3	19'3	19'3	19'3	19'3	19'3	-	-	16'1	16'1
	2 x 3	300 x 150	43'2	50'6	50'6	50'6	45'7	25'6	28'8	15'1	16'1	16'1
	2 x 3	600 x 150	86'8	101	101	101	91'7	51'3	57'3	30'2	16'1	16'1
	2 x 3	900 x 300	104	104	151	151	137	77'3	86'1	45'3	42'1	16'1
	2 x 3	1500 x 300	112	112	193	193	193	128	143	75'2	42'1	29'1
J	2 x 3	150 x 150	19'3	19'3	19'3	19'3	11'6	6'4	-	-	16'1	16'1
	2 x 3	300 x 150	19'3	19'3	19'3	19'3	19'3	19'3	-	-	16'1	16'1
	2 1/2 x 4	300 x 150	35'1	35'1	50'6	50'6	45'7	25'6	28'8	15'1	16'1	16'1
	2 1/2 x 4	600 x 150	43'9	43'9	101	101	91'7	51'3	57'3	30'2	16'1	16'1
	3 x 4	900 x 300	56'2	56'2	151	151	137	77'3	86'1	45'3	42'1	16'1
K	3 x 4	1500 x 300	56'2	56'2	189	189	189	128	143	75'2	42'1	16'1
	3 x 4	150 x 150	19'3	19'3	19'3	19'3	11'6	6'4	-	-	16'1	10'5
	3 x 4	300 x 150	36'9	36'9	50'6	50'6	45'7	25'6	28'8	15'1	16'1	10'5
	3 x 4	600 x 150	42'1	42'1	101	101	91'7	51'3	57'3	30'2	16'1	10'5
	3 x 6	900 x 300	42'1	42'1	151	151	137	77'3	86'1	45'3	42'1	10'5
L	3 x 6	1500 x 300	52'7	52'7	151	151	151	128	143	75'2	42'1	14
	3 x 4	150 x 150	19'3	19'3	19'3	19'3	11'6	6'4	-	-	16'1	7
	3 x 4	300 x 150	19'3	19'3	19'3	19'3	19'3	19'3	-	-	16'1	7
	4 x 6	300 x 150	37'6	37'6	50'6	50'6	45'7	25'6	28'8	15'1	16'1	11'9
	4 x 6	600 x 150	37'6	37'6	70'3	70'3	70'3	51'3	57'3	30'2	16'1	11'9
M	4 x 6	900 x 300	49'2	49'2	105	105	105	77'3	86'1	45'3	16'1	11'9
	4 x 6	1500 x 300	-	-	-	-	-	105	105	75'2	16'1	11'9
	4 x 6	150 x 150	19'3	19'3	19'3	19'3	11'6	6'4	-	-	16'1	5'6
	4 x 6	300 x 150	36'9	36'9	50'6	50'6	45'7	25'6	28'8	15'1	16'1	11'2
	4 x 6	600 x 150	42'1	42'1	77'3	77'3	77'3	51'3	57'3	30'2	16'1	11'2
N	4 x 6	900 x 300	-	-	-	-	-	77'3	77'3	45'3	16'1	11'2
	4 x 6	150 x 150	19'3	19'3	19'3	19'3	11'6	6'4	-	-	16'1	5'6
	4 x 6	300 x 150	31'6	31'6	50'6	50'6	45'7	25'6	28'8	15'1	16'1	11'2
	4 x 6	600 x 150	35'1	35'1	70'3	70'3	70'3	51'3	57'3	30'2	16'1	11'2
	4 x 6	900 x 300	-	-	-	-	-	70'3	70'3	45'3	16'1	11'2
O	4 x 6	150 x 150	12'3	12'3	19'3	19'3	11'6	11'6	-	-	16'1	5'6
	4 x 6	300 x 150	21'0	21'0	36'9	36'9	36'9	36'9	28'8	15'1	16'1	10'5
	4 x 6	600 x 150	33'7	33'7	70'3	70'3	70'3	70'3	57'3	30'2	16'1	10'5
	4 x 6	900 x 300	-	-	-	-	-	70'3	70'3	45'3	16'1	10'5
	6 x 8	150 x 150	11'6	11'6	11'6	11'6	11'6	6'4	-	-	8	4'9
P	6 x 8	300 x 150	17'5	17'5	21'0	21'0	21'0	21'0	11'6	11'6	8	8
	6 x 8	600 x 150	21'0	21'0	42'1	42'1	42'1	42'1	42'1	30'2	8	8
	6 x 8	150 x 150	3'8	3'8	7'0	7'0	7'0	6'4	-	-	4'2	4'2
	6 x 8	300 x 150	3'8	3'8	7'0	7'0	7'0	7'0	7'0	7'0	4'2	4'2
	6 x 10	300 x 150	10'5	10'5	16'1	16'1	16'1	16'1	-	-	7'0	7'0
Q	6 x 10	600 x 150	14'0	14'0	21'0	21'0	21'0	21'0	21'0	21'0	7'0	7'0
	8 x 10	150 x 150	3'5	3'5	4'5	4'5	4'5	4'5	-	-	2'1	2'1
	8 x 10	300 x 150	4'5	4'5	8'4	8'4	8'4	8'4	8'4	8'4	4'2	4'2
Clase de Materiales • Materials Class			G-H	F	E	A	B	C				

Figura A.4.1.4. Pressions màximes.

Rating	Tamaño		Orificio Orifice	Dimensiones • Dimensions								Peso • Weight		
	Size			A	B	C	D	E	F	G	H	Std.	Palanca lever	
Entrada • Inlet ASA 150-300 PN 16-40	1"	2"	D-E	114	105	483	34	494	100	136	14	18	20	
	1 1/2"	2"	F	153	124	554	40	572	102	160	18	24	26	
	1 1/2"	2 1/2"	G	135	124	554	40	572	102	160	18	28	30	
	1 1/2"	3"	H	135	124	559	38	577	102	160	18	29	31	
	2"	3"	H-J	147	135	671	45	683	123	190	19	44	47	
	2 1/2"	4"	J	171	155	697	48	709	123	190	19	50	53	
	Salida • Outlet ASA 150 PN 16	3"	4"	K-L	178	171	780	50	790	142	246	19	72	77
		4"	6"	L-M-N-P	210	197	964	50	996	171	304	20	120	128
		6"	8"	Q-R	305	235	1139	58	1144	191	392	22	200	208
		6"	10"	R	305	238	1142	58	1147	191	392	22	230	238
Entrada • Inlet ASA 600 PN 64-100	1"	2"	D-E	114	105	483	34	494	100	136	14	20	22	
	1 1/2"	2"	F	135	124	554	40	572	102	160	18	26	28	
	1 1/2"	2 1/2"	G	135	124	554	40	572	102	160	18	31	33	
	2"	3"	H	147	135	671	45	683	123	190	19	48	51	
	2 1/2"	4"	J	171	155	711	48	723	123	190	19	55	58	
	Salida • Outlet ASA 150 PN 16	3"	4"	K	178	171	780	50	790	142	246	19	76	81
		4"	6"	L-M-N-P	227	203	973	60	1005	171	304	21	140	148
		6"	8"	Q	305	247	1151	68	1156	191	392	22	212	220
		6"	10"	R	305	250	1154	70	1159	191	392	22	248	256
	Entrada • Inlet ASA 900 PN 160	1 1/2"	2"	D-E	140	124	553	50	571	102	173	18	28	30
1 1/2"		2 1/2"	F-G	152	124	553	50	571	102	173	18	33	35	
2"		3"	H	162	154	687	57	699	123	202	19	54	57	
Salida • Outlet ASA 300 PN 40		3"	4"	J-K	181	185	799	67	809	142	246	19	87	92
		4"	6"	L-M-N-P	252	227	1000	66	1032	171	315	21	170	180
		6"	8"	P	316	286	1201	81	1206	191	400	25	258	266
Entrada • Inlet ASA 1500 PN 250	1 1/2"	2"	D-E	140	124	553	50	571	102	173	18	31	33	
	1 1/2"	2 1/2"	F	152	124	553	50	571	102	173	18	37	39	
	2"	3"	G-H	162	154	687	57	699	123	202	19	62	65	
	Salida • Outlet ASA 300 PN 40	3"	4"	J	181	185	799	67	808	142	246	19	95	100
		3"	6"	K	216	197	834	67	844	142	246	19	130	135
		4"	6"	L	252	240	1013	79	1046	171	315	25	195	205
E-I ASA 2500/PN 320-400 S-O ASA 300/PN 40	1 1/2"	2 1/2"	D-E-F	165	140	576	63	694	102	178	18	42	44	
	2"	3"	G	171	156	690	70	702	123	210	19	66	69	

Dimensiones en mm. Pesos en kg. Dimension mm. Weight kg.

Figura A.4.1.5. Dimensions de les vàlvules.

A.5. ESTUDI ECONÒMIC

A.5.1. Pressupost d'execució del projecte

Per estimar el cost total de la inversió s'ha fet servir el full d'*Excel* següent:

(EP)	Estimado 1.520.486,00 €	Nr.Equipos 6	Indices de coste 1,00			Bajo -10%	Probable 1.520.486	Alto 10%	
Coste equipo principal (CEP) M Euros	Estimado					1.368.437	1.520.486	1.672.535	
Coste equipos no listados M Euros	PFC: Muy elaborado 2-10% PFC: Preliminar 10-20%			5%		68.422	76.024	83.627	
Equipo base (CEB)						1.436.859	1.596.510	1.756.161	
Coste medio M Euros				253.414					
	Comentarios			Factores					
Montaje equipo básico	Alto			13	14	16	227.503		
Cimentaciones y estructuras	Alto			6	8	10	124.528		
Tuberías	Alto petroq.			25	34	42	534.831		
Aislamiento equipos y tuberías	Medio P.Quím.			2	4	6	65.457		
Electricidad + Iluminación	Líquidos			4	5	6	75.834		
Instrumentación	Media			3	5	8	83.817		
No Contabilizado	P. Complicado			3	5	6	71.843		
Edificios	Eq. exterior			3	8	14	131.712		
Otros									
Servicios de edificios % de edificio									
Iluminación									
Ventilación y aire acondic.									
Calefacción									
Fontanería									
otros									
Total servicios	0			0	0	0	-		
Subtotal factores				57	82	108			
Ajustes	Bajo Alto 5% -5%								
Coste de los factores (CF)				60	82	102	864.486	1.315.524	1.793.480
Coste directo de límites de planta (CD)							2.301.346	2.912.035	3.549.641
Costes indirectos (CI)	29% de CD						667.390	844.490	1.029.396
Subtotal							2.968.736	3.756.525	4.579.037
Imprevistos	14% de CD						322.188	407.685	496.950
Coste Total de la Instalacion (CTI)							3.290.924 -21%	4.164.210 4.164.209,75 €	5.075.987 22%
Autor:				Proyecto Nr. Titulo:					

Figura A.5.1.1. Full d'*Excel* pel càlcul de la inversió.

A.5.2. Compte de resultats

Per dur a terme aquest apartat s'ha utilitzat el full d'Excel que es mostra a la figura A.5.2.1.

COSTES DE FABRICACION					INGRESOS PRODUCCION				
COSTES FIJOS DIRECTOS					INGRESOS VARIABLES				
1. Costes de Personal					1. Productos Finales:	Unidad	Produccion Unidades/año	Precio Venta/Tratamiento Euros/unidad	Precio Venta Euros /año
Tipo	Nº Personas	Coste unitario medio €/año		Coste/año	Emissiones de CO2	tonelada	13.259	80	1.060.740
Operarios Instalacion		40.000		0					
Laboratorio		40.000		0					
Envasado		30.000		0					
Supervision		40.000		0					
Gestión		35.000		0					
Total Costes de Personal									
				0					
					2. Subproductos (Abono):	tonelada			0
					3. Residuos (Coste):	tonelada			0
					Total Ingresos				1.060.740
2. Mantenimiento									
	Coste Total de la Instalacion (CTI)	% CTI /año		Coste año					
Edificios		1%		0					
Instalac.	4164209,75	2%		83.284					
Otros				0					
Total mantenimiento									
				83.284					

Figura A.5.2.1. Primera part del full d'Excel pel compte de resultats.

COSTES VARIABLES DIRECTOS						INVENTARIOS CAPITAL CIRCULANTE					
4. Materias Primas											
	unidad	Consumo / Unidad producida	unidades/año	precio / unidad	Coste / año		Tiempo resid. medio/meses	Toneladas	Valor Euros	Tasa de interes	Valor
						Materias primas					
						VCM	0	0	0	7%	0
						Agente de Suspensión	0	0	0	7%	0
						Agua	0	0	0	7%	0
						Iniciador	0	0	0	7%	0
						Productos					
						Materias Primas	0	0	0	7%	0
						Total Materias Primas					
5. Energías y Servicios											
	Unidad	Consumo / Unidad producida	unidades/año	precio / unidad Euro	Coste / año Euro	Total inventario			0		0
Servicios											
	tonelada		0	27,3	0	INGRESOS	1.060.740				
	tonelada		0	16,3	0	GASTOS					
Agua condensada											
	m3		0		0	Costes fijos					
	m3		0	1,35	0	Personal	0				
	m3		0	0,56	0	Mantenimiento	83.284				
	m3		0	0,56	0	Estructura	0				
Energías											
	kW-h		0	0,08	0	Total fijos	83.284				
	MWh/año		-87.928	34,83	-3.062.532	Costes variables					
	M³N		0		0	Materias Primas	0				
	M³N		0		0	Servicios	0				
						Energías	-3.062.532				
						Total variables	-3.062.532				
						TOTAL GASTOS	-2.979.248				

Figura A.5.2.2. Segona part del full d'Excel pel compte de resultats.

COSTES DE ESTRUCTURA					CAPITAL DIRECTO / AMORTIZACION				
COSTES FIJOS					(Activo Fijo)				
IN-DIRECTOS									
	Costo Total/año	% Soportado por la instalacion		Coste / año		Vida años	Valor	Valor resid.	Amortiz/año
Direccion	0	1%		0	Edificios	20		0	0
Seguridad y M. Ambiente	0	1%		0	Equipos/instalac.	20	4.164.210	624.631	176.979
Administracion	0	1%		0	Catalizadores				
SS Medicos	0	1%		0	Equipos vida corta				
RR Humanos	0	1%		0					
Total Costes Estructura				0	Totales		4.164.210	624.631	176.979
Total Costes Fijos				83.284					
Total Costes Variables				-3.062.532					

Figura A.5.2.3. Tercera part del full d'Excel pel compte de resultats.