



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI



# **Estudi de dos possibles optimitzacions de vapor amb el desenvolupament d'una d'elles en el *Site* de Covestro**

**Grau en Enginyeria Química  
Treball de Fi de Grau**

**TFG 2024/2025**

Tutor: Joan Codina Jornet

Supervisor extern: Felipe Pitarch Guardiola

Àurea Caravaca Martí

Aida Yong Galindo Domènech

Sara Panella Navarro

**11/06/2025**



<p><b>Departament d'Enginyeria Química. Universitat Rovira i Virgili.</b></p> <p><b>Vist i plau pel lliurament i defensa del TFG del grau d'Enginyeria Química.</b></p>	
<p>TÍTOL DEL TFGEQ: Estudi dos possibles optimitzacions de vapor amb el desenvolupament d'una d'elles en el Site de Covestro</p> <p>SUBTÍTOL .....</p>	
<p>AUTOR: Àurea Caravaca Martí</p>	
<p>CURS ACADÈMIC: 2024-2025</p>	
<p><b>VIST I PLAU DEL TUTOR ACADÈMIC</b></p>	
<p>En Joan Codina Jornet .....                  en la seva capacitat de tutor acadèmic fa constar que considera que el TFGEQ</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> és adequat i en conseqüència recomana la seva defensa</p> <p><input type="checkbox"/> no en recomana la defensa per presentar les mancances exposades en el document annex</p>	
<p>Signatura:</p> <p><b>Joan Codina Jornet</b></p> <p>Firmado digitalmente por: Joan Codina Jornet                  ND: CN = Joan Codina Jornet O = Covestro OU = Email SignCert                  Fecha: 2025.06.11 08:16:16 +02'00'</p>	<p>Data:</p>
<p><b>DECLARACIÓ D'ABSÈNCIA DE CONFLICTES DE CONFIDENCIALITAT</b></p>	
<p>En Felipe Pitarch, en la seva capacitat de supervisor extern<sup>(*)</sup> del treball fa constar que ha revisat el contingut del TFGEQ i que no conté cap informació que pugui ser considerada com confidencial per part de l'empresa COVESTRO, S.L.</p> <p>(*) Cas que el TFGEQ no sigui extern serà el professor tutor qui emplenarà aquesta secció</p>	
<p>Signatura:</p> <p><b>Felipe Pitarch</b></p> <p>Firmado digitalmente por Felipe Pitarch                  Fecha: 2025.06.11 08:43:11 +02'00'</p>	<p>Data:</p>

## RESUM EXECUTIU

En aquest projecte s'ha estudiat la viabilitat de la implementació d'una unitat de compressió de vapor per millorar l'eficiència energètica i econòmica de la planta.

El vapor a comprimir procedeix de l'excedent dels consumidors i del que actualment consumeix el sistema de refrigeració d'aigua per absorció (*broad*). Així doncs, l'objectiu principal es basa en determinar el rati d'hores de funcionament òptim entre el compressor i la màquina d'absorció.

Tot aquell fred que es deixi de produir a la *broad*, s'haurà de generar amb el cicle de refrigeració per compressió de l'amoníac, existent al *site*.

Per duu a terme aquest estudi, s'han analitzat les dades de procés de l'any 2024 mitjançant el PI. D'aquesta forma, s'ha determinat el fred generat per la *broad*, i el cabal d'amoníac equivalent per produir el mateix fred al cicle de refrigeració per compressió.

A partir d'aquesta dada, s'ha determinat un model que relaciona el consum elèctric del cicle de refrigeració per compressió i el cabal d'amoníac a comprimir, diferenciant els requeriments energètics per a les condicions climatològiques d'hivern i d'estiu.

Per poder avaluar la rendibilitat del projecte, s'han establert dues fórmules matemàtiques que determinen (en funció del cabal d'aigua a refredar i de les temperatures d'entrada i de sortida d'aquesta) l'estalvi econòmic que suposa parar la màquina d'absorció i posar en marxa el turbocompressor. Després d'aplicar les fórmules a les dades del 2024, s'ha pogut observar que el funcionament continu de la nova instal·lació hauria estat rendible durant tots els mesos de l'any. A més a més, la reducció de la combustió de gas natural a les calderes de cogeneració, s'ha traduït en una disminució de 7,840 t CO<sub>2</sub> eq/any, afavorint als objectius de descarbonització de l'empresa, i possibilitant la concessió de subvencions per part de l'estat.

En la fase de disseny preliminar, s'han dimensionat el *Knock Out Drum* i les bombes del circuit d'oli de lubricació. En canvi, el turbocompressor i el temperador seran proveïts per distribuïdors externs, amb les especificacions a definir en fases de desenvolupament més avançades.

Paral·lelament, s'ha realitzat un estudi de seguretat HAZOP per identificar riscos i definir salvaguardes i accions.

Finalment, l'avaluació econòmica (entre la fase FEL 1 i FEL 2) ha estimat que, amb una subvenció estatal del 40% de la inversió inicial, el període de retorn seria d'aproximadament 1 any i 8 mesos, amb un VAN de 6.5 M€ i una TIR del 58.79 %. Per tant, es demostra la viabilitat del desenvolupament del projecte a l'empresa.

## ÍNDIX

1. Introducció.....	9
1.1. Dades i informació principal del projecte .....	9
1.2. Agraïments .....	9
2. Etapa preliminar .....	10
2.1. Definició i descripció del projecte .....	10
2.2. Abast del projecte .....	10
2.3. Antecedents històrics.....	11
2.3.1. Història de Covestro .....	11
2.3.2. Necessitats de l'empresa .....	11
2.4. Estudi d'alternatives .....	11
2.4.1. Selecció del projecte.....	11
2.4.2. Alternatives de disseny del procés escollit .....	12
2.5. Planificació inicial del projecte .....	13
3. Bases de disseny.....	14
3.1. Especificació dels corrents d'entrada i sortida.....	14
3.2. Capacitat operativa .....	14
3.3. Factor de servei .....	14
3.4. Legislació, normes i codis de disseny .....	15
3.4.1. Normativa d'equips .....	15
3.4.2. Legislació ambiental.....	16
3.4.3. Suport financer per a iniciatives de transició ecològica.....	16
3.5. Especificacions de la xarxa de serveis.....	18
3.6. Localització .....	19
3.7. Zona d'implementació de la unitat de compressió .....	20
3.7.1. Condicions meteorològiques.....	21
4. Enginyeria bàsica .....	22
4.1. Diagrama de blocs .....	22
4.2. Diagrama de flux i balanç de matèria.....	23
4.3. Balanç de matèria.....	25
4.3.1. Cabal de vapor de la màquina d'absorció .....	25
4.3.2. Cabal de vapor excedent del site .....	26
4.4. Balanç d'energia .....	27
4.4.1. Fred produït per l'absorbidor.....	27

---

4.4.2. Cicle de refrigeració d'amoníac .....	28
4.4.3. Cabal d'amoníac i calor extreta de l'aigua .....	29
4.4.4. Potència consumida al cicle i cabal d'amoníac .....	29
4.4.5. Estalvi econòmic .....	33
4.5. Descripció funcional del procés.....	36
4.6. P&ID .....	37
4.7. Layout de la unitat de compressió.....	40
4.8. Disseny i llistat de canonades .....	41
4.9. Disseny i llistat d'equips .....	45
4.9.1. Disseny del turbocompressor i el temperador .....	45
4.9.2. Disseny del Knock Out Drum .....	45
4.9.3. <i>Data sheet</i> del Knock Out Drum.....	48
4.9.4. <i>Data sheet</i> preliminar del turbocompressor.....	49
4.9.5. <i>Data sheet</i> preliminar de les bombes .....	50
4.9.6. <i>Data sheet</i> preliminar del temperador.....	51
4.10. Disseny i llistat de vàlvules .....	53
4.11. Disseny i llistat d'instrumentació i control .....	59
5. Estudi de seguretat .....	63
5.1. Anàlisi de riscos: HAZOP.....	63
5.1.1. Paràmetres de l'anàlisi .....	63
5.1.2. Caracterització de les conseqüències i matriu de riscos .....	64
5.2. Taula d'anàlisi HAZOP.....	66
5.3. Zones ATEX .....	72
5.3.1. Classificació de les zones ATEX .....	72
5.3.2. Xarxa contra incendis.....	73
6. Estudi Mediambiental.....	74
6.1. Emissions atmosfèriques.....	74
6.2. Tractament de residus: olis de lubricació del turbocompressor.....	76
7. Manteniment de les instal·lacions.....	77
7.1. Tipus de manteniment.....	77
7.1.1. Manteniment correctiu .....	77
7.1.2. Manteniment preventiu .....	77
7.1.3. Manteniment predictiu .....	77
7.2. Pla de manteniment .....	78
7.2.1. Manteniment del turbocompressor.....	79

7.2.2. Manteniment del temperador .....	80
7.2.3. Manteniment del KOD .....	81
7.2.4. Manteniment de les bombes.....	81
7.2.5. Manteniment del tanc d'oli .....	82
7.2.6. Manteniment de canonades.....	82
7.2.7. Manteniment de vàlvules .....	82
7.2.8. Manteniment d'elements de control.....	83
7.2.9. Organigrama de manteniment.....	84
7.2.9.1. Organigrama del turbo compressor .....	84
7.2.9.2. Organigrama del KOD .....	85
7.2.9.3. Organigrama del les bombes .....	86
7.2.9.4. Organigrama del dipòsit d'oli lubricant .....	87
7.2.9.5. Organigrama de les canonades .....	87
7.2.9.6. Organigrama de les vàlvules (incloent vàlvules de seguretat).....	88
7.2.9.7. Organigrama dels elements de control .....	88
7.3. Estratègia i llistat de recanvis.....	89
8. Manuals d'operació.....	91
8.1. Posada en marxa .....	91
8.2. Funcionament en continu .....	94
8.3. Parada .....	97
9. Avaluació econòmica.....	100
9.1. Dades de partida.....	100
9.2. Inversió inicial.....	101
9.3. Estudi de viabilitat .....	102
9.3.1. VAN (Valor actual net) .....	102
9.3.2. TIR (Taxa Interna de Retorn) .....	102
9.3.3. <i>Payback period</i> .....	102
9.4. Taula de resultats .....	103
10. Conclusions .....	104
11. Fonts consultades .....	105
A.1. Gantt real .....	110
A.2. Dates de les reunions i exemple d'acta.....	111
A.3. Alternatives de disseny del procés escollit.....	113
A.3.1. Simulació d'un compressor.....	113
A.3.2. Simulació de dos compressors en sèrie amb refrigeració intermèdia .....	114

A.3.3. Simulació de dos compressors en paral·lel.....	116
A.4. Subvencions màximes del perte.....	116
A.6. Taules d'estalvi econòmic amb el compressor durant 2024 .....	118
A.7. Disseny i llistat de canonades .....	130

## **1. INTRODUCCIÓ**




### **1.1. Dades i informació principal del projecte**

El treball de fi de grau següent, titulat “Estudi de dos possibles optimitzacions de vapor amb el desenvolupament d’una d’elles en el *Site* de Covestro”, amb codi d’identificació TFGEQ\_2506, ha estat realitzat per Sara Panella Navarro, Aida Yong Galindo Domènech i Àurea Caravaca Martí. El projecte ha estat tutoritzat per Joan Codina Jornet i supervisat per Felipe Pitarch Guardiola.

Es tracta d’un treball dividit en dos grans blocs: l’anàlisi de dades reals de l’any 2024 de la planta d’*utilities* i MDI del *site* de Tarragona, i el disseny d’una nova instal·lació de compressió de vapor implementable al mateix *site*.

L’objectiu principal ha estat determinar el consum real d’un cicle de fred per compressió d’amoniac i, en funció de l’estalvi de comprimir el vapor en lloc d’emprar-lo en una altra màquina de fred, decidir quan posar en marxa una configuració o l’altra.

La repartició de les tasques s’identifica mitjançant la llegenda següent, on cada autora té un color assignat:

-  Àurea Caravaca Martí
-  Aida Yong Galindo Domènech
-  Sara Panella Navarro

### **1.2. Agraïments**

En primer lloc, voldríem agrair al nostre tutor Joan Codina Jornet i al nostre supervisor Felipe Pitarch Guardiola, el seu acompanyament i suport durant tot el transcurs del projecte.

Gràcies també a la resta de membres de l’equip de Covestro que ens ha ajudat a comprendre el funcionament de les diferents zones del *site* i ens han aconsellat a nivell tècnic. Agrair també la col·laboració de tots aquells companys i companyes a les nostres respectives empreses per resoldre els nostres dubtes i aconsellar-nos, la vostra experiència ha estat una gran font d’aprenentatge.

Finalment, agrair el suport dels nostres amics i familiars durant tot el transcurs del grau i, especialment, aquests darrers mesos amb la realització del treball de fi de grau.

## **2. ETAPA PRELIMINAR**

### **2.1. Definició i descripció del projecte**

Aquest projecte es basa en l'estudi i millora de l'eficiència energètica i econòmica de la planta de Covestro. Per fer-ho s'han estudiat les dades de l'any 2024.

Actualment, es disposa de dues alternatives per generar fred a la planta. La primera, es fa mitjançant un cicle d'absorció gràcies a la màquina de bromur de liti (BrLi), anomenada comercialment *broad*, i la segona, utilitza un cicle convencional de refrigeració per compressió d'amoníac.

Degut a la forta tendència d'ús d'energies renovables, les quals tenen un preu per MWh més barat, l'objectiu d'aquest projecte és determinar el temps òptim de funcionament d'una alternativa o de l'altra. D'aquesta manera, s'ha obtingut una fórmula que permet calcular l'estalvi econòmic que suposa deixar de refrigerar amb el sistema d'absorció i fer fred només amb el sistema de refrigeració per compressió, tenint en compte les condicions climàtiques de fred i calor. Per fer-ho, s'ha considerat el fred que deixa de produir la màquina de BrLi, els kg equivalents d'amoníac per a generar el mateix fred, la potència elèctrica dels compressors necessària i el preu de la tona de vapor.

A més a més, també s'ha dissenyat un sistema de compressió de vapor capaç de comprimir el vapor excedent i el que deixaria de consumir la *broad* un cop s'aturés.

D'aquesta manera, l'empresa aconseguiria estalviar-se la crema de metà i la posterior expansió del vapor de 30 barg generat per les calderes de cogeneració, i com a conseqüent, el pagament de les emissions per tona de CO<sub>2</sub>.

### **2.2. Abast del projecte**

L'objectiu principal del projecte és realitzar una fórmula per poder optimitzar l'alternança entre les hores de funcionament del compressor a dissenyar i l'absorbidor, que s'utilitza per refrigerar aigua.

Es realitza un estudi de seguretat i el disseny d'alguns dels equips que formaran part del sistema de compressió. A més a més, es duu a terme una avaluació ambiental per conèixer la reducció d'emissions de CO<sub>2</sub> equivalent que comportaria la implantació del projecte i un balanç econòmic, tot tenint en compte les possibles subvencions que podria atorgar l'estat a l'empresa per realitzar un projecte de descarbonització industrial.

En referència a l'avaluació econòmica, s'han utilitzat les dades de procés i els preus del MWh de l'any 2024 per fer una estimació de l'estalvi que hagués comportat tenir el compressor en funcionament durant l'any esmentat.

S'ha estimat la inversió inicial en 2.44 M€ i, considerant que els ingressos anuals són de 1.87 M€, es recuperaria en un període inferior a 2 anys. El VAN i la TIR del projecte, considerant una vida útil de 20 anys, resulten de 6.5 M€ i 58.79 %, respectivament.

## **2.3. Antecedents històrics**

### **2.3.1. Història de Covestro**

L'actual centre de producció de MDI (disocianat dimetil fenil), dedicada a la producció d'isocianats i d'HCl (àcid clorhídric), va entrar en funcionament l'any 1971 al *site* de Tarragona. No obstant, no va ser fins l'any 2015 que la rama dedicada als materials va esdevenir l'actual Covestro®, la qual es va separar de BAYER®. L'any 2018 la planta de MDI tenia una capacitat anual de 170,000 tones i s'estan estudiant possibles ampliacions, amb les quals s'estima que la producció podria arribar a produir 220,000 tones. [1]

Antigament, el clor (necessari per produir àcid clorhídric) s'obtenia d'empreses externes però, des de fa dos anys, la pròpia empresa va posar en marxa una planta la qual abastia aquesta matèria primera a la planta de MDI, i així poder tenir una producció més sostenible. Aquesta planta és coneguda com ELO, on el principal objectiu és la producció de clor mitjançant la tecnologia ODC (càode d'oxigen despolaritzat), un tipus d'electròlisi.

Aquest procés requereix un voltatge menor i, per tant, comporta un estalvi energètic. Segons estudis realitzats per la pròpia empresa, una vegada aquesta planta arribés a una operació completa es reduirien 22,000 tones de CO<sub>2</sub> anuals, contribuint així a l'objectiu climàtic que es va imposar en l'empresa per l'any 2035. [2]

### **2.3.2. Necessitats de l'empresa**

Degut que l'objectiu de l'empresa és tenir una sostenibilitat circular, una de les moltes maneres que existeixen per aconseguir-ho, és el reaprofitament dels corrents excedents. En aquest cas, l'empresa necessita retornar un vapor excedent de baixa pressió (0.3 barg) a la xarxa de vapor de mitja pressió (5.0 barg), ja que diferents processos del *site*, entre ells, processos de la pròpia empresa, en consumeixen.

El vapor que s'haurà de comprimir es pot aproximar a 6.6 Tm/h, una part del qual prové del que actualment es ventaja a l'atmosfera i la resta el que consumeix la *broad* per produir fred.

Pel que fa a l'alternació dels diferents sistemes de refrigeració, el que es busca es tenir un menor consum elèctric, de manera que en hores on el preu del MWh sigui més barat serà més rendible refrigerar només amb un dels sistemes (refrigeració per compressió) que hi ha actualment, i a la inversa (refrigeració per absorció).

## **2.4. Estudi d'alternatives**

### **2.4.1. Selecció del projecte**

A l'hora de delimitar quina és la part de la planta escollida per centrar el projecte i el seu abast, s'han plantejat dues possibles opcions: A i B.

L'opció A consisteix en un estudi de reducció del consum de vapor de la xarxa de mitja pressió (5 barg) de la planta d'ELO, amb l'aprofitament d'un vapor de baixa pressió (0.3 barg) generat a la planta de MDI.

Aquest estudi comportaria la modificació de diverses etapes d'evaporació de la planta d'ELO i la interconnexió de dues plantes que es troben separades a camp per més de mig quilòmetre. A més a més, l'abast és difícilment assumible amb els recursos temporals disponibles. El projecte tampoc tindria una alta viabilitat, ja que no es pot assegurar que la utilització de vapor de baixa pressió seria suficient per suportar la pèrdua de càrrega de les canonades. Altres opcions més simples, que donen un aprofitament parcial del vapor excedentari han estat estudiades per altres projectes de fi de grau.

L'opció B, en canvi, es centraria en el disseny d'un compressor que seria capaç de transformar el vapor de baixa pressió, generat en diverses zones del *site*, en vapor de mitja. Aquest aprofitament es traduiria en una disminució del consum a les calderes i, per tant, també una reducció d'emissions i costos.

Actualment, la generació de fred recau en un cicle de refrigeració per absorció i un de compressió clàssic (on el fluid emprat és l'amoníac). Amb la implementació del nou sistema de compressió de vapor, l'objectiu seria establir un pla itinerant que alternés el mètode actual d'amoníac amb l'encesa i apagat del cicle d'absorció. Quan el cicle d'absorció es trobés apagat, el vapor de baixa pressió que se li destinaria (més l'excedent que no es pot aprofitar i s'allibera a l'atmosfera), seria el cabal emprat al nou compressor. Aquest pla s'aniria actualitzant en funció de les demandes energètiques de la planta, així com del cost de l'electricitat.

Tenint en compte els punts anteriors (especialment la viabilitat i la possible implementació real al *site*), s'ha decidit escollir l'opció B.

#### 2.4.2. Alternatives de disseny del procés escollit

Degut que la compressió d'una corrent pot realitzar-se de diferents maneres, es va decidir fer un estudi per tal de veure quina de les tres configuracions era la més òptima per poder-la implementar a planta, mitjançant simulacions amb el *software* Aspen Plus. Es va decidir utilitzar compressors isoentròpics amb una eficiència del 75.00 %.

**Taula 2.1.** Comparació dels resultats obtinguts

	1 compressor	2 compressors	2 compressors
<b>Configuració</b>	-	En sèrie	En paral·lel
<b>Potència consumida (kW)</b>	715.00	676.15	735.73
<b>Rendiment (%)</b>	75.00	75.00	75.00
<b>Cabal d'entrada (Tm/h)</b>	6.62	6.62	3.31 per compressor
<b>Pressió de descàrrega (barg)</b>	5.01	5.00	5.01
<b>Temperatura de sortida (°C)</b>	309.68	235.50	315.09
<b>Consum d'aigua de torre (kg/s)</b>	-	Hivern: 2.00 Estiu: 2.71	-



2.5. Planificació inicial del projecte

1

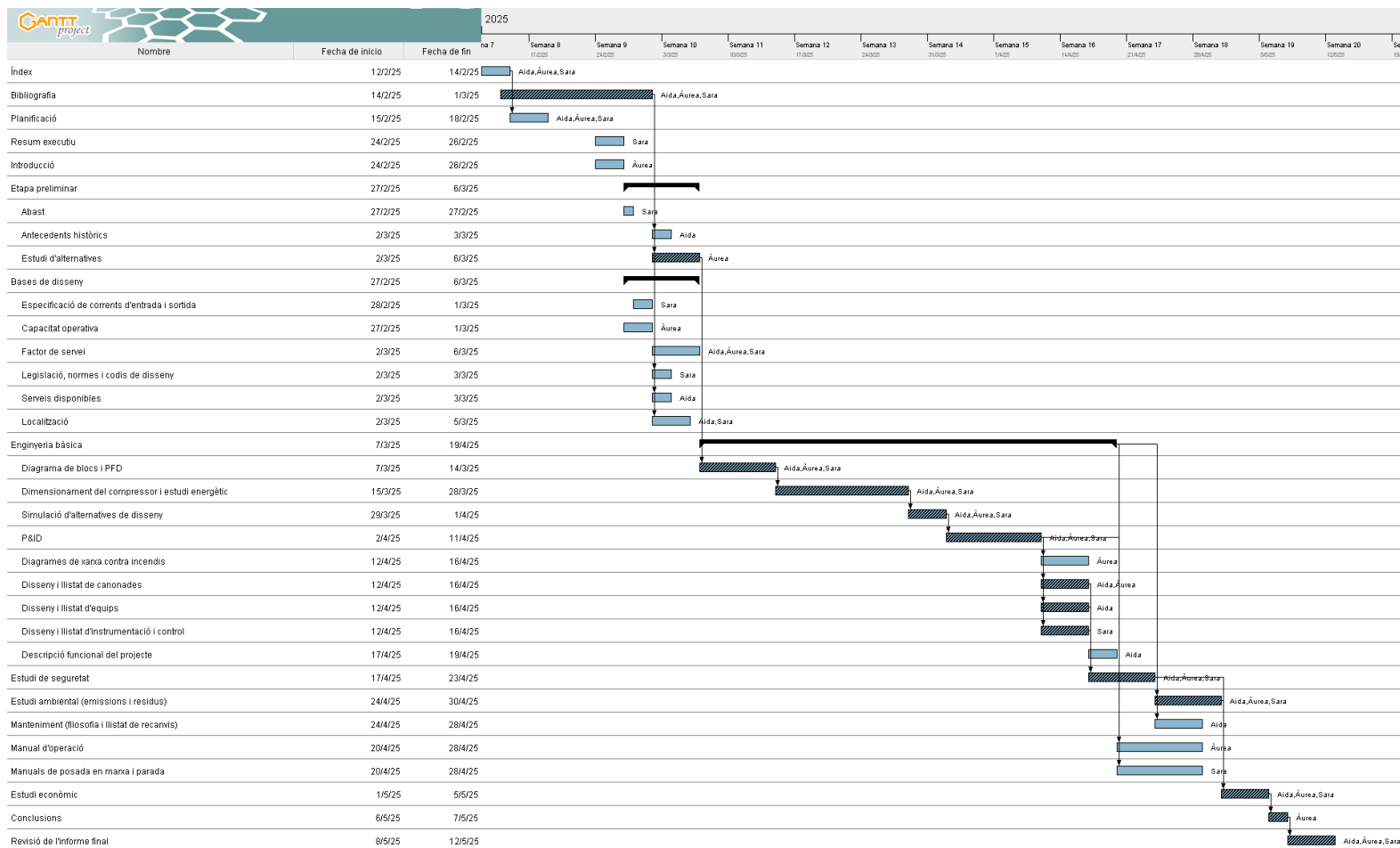


Figura 2.1. Diagrama de Gantt

<sup>1</sup> Es pot consultar el Gantt real a l'Annex A.1

### **3. BASES DE DISSENY**

#### **3.1. Especificació dels corrents d'entrada i sortida**

El compressor compta amb una entrada de vapor a 0.3 barg saturat. Aquest corrent està compost pel cabal de vapor que habitua a ser consumit al cicle de refrigeració per absorció quan aquest està en marxa i l'excedent de vapor que s'envia a l'atmosfera quan el compressor no s'utilitza. La unió d'aquestes dues corrents resulta un cabal de 6.6 Tm/h.

La sortida del temperador, el qual es troba després de l'etapa de compressió, constarà del mateix cabal, però a una pressió de 5 barg i una temperatura de 175 °C, la qual es propera a la de saturació però lleugerament reescalfat per tal d'evitar condensacions en línia i assegurar que la temperatura sigui inferior a 200 °C (marcat per especificació de *Utilities*) i en base a la qual s'han dut a terme tots els HAZOPs de tots els equips de la instal·lació.

Aquest vapor de mitja pressió s'enviarà a la línia general de vapor de 5 barg del *site*.

#### **3.2. Capacitat operativa**

Per tal de dimensionar el compressor, s'ha determinat tant el cabal alliberat pel silenciador de la planta d'MDI (excedent de tot el *site* que és alliberat a l'atmosfera) com l'alimentat a la màquina d'absorció. A més a més, s'ha determinat la capacitat de refrigeració de la màquina d'absorció per poder realitzar un estudi energètic comparant els valors amb el cicle de compressió simple d'amoníac.

Quan la màquina d'absorció (que empra bromur de liti com a fluid absorbent d'aigua) es troba en funcionament, rep contínuament un cabal de vapor que li proporciona la calor necessària per funcionar. Aquest cabal posteriorment, surt de la màquina i retorna a la xarxa de condensat de baixa pressió.

Per conèixer un valor representatiu del cabal, s'ha decidit utilitzar la mitjana aritmètica de dades horàries de tot l'any 2024. Per fer-ho, s'ha utilitzat la base de dades de PI de Covestro. A l'apartat 4.3 *Balanç de matèria* es troba l'explicació detallada de l'obtenció d'aquestes dades.

#### **3.3. Factor de servei**

L'any 2024 la planta va estar parada aproximadament 406 hores. Tenint en compte que l'any tenia 8,784 h i que la instal·lació a implementar es rendible les 24 hores del dia durant tot l'any, es pot determinar el factor de servei.

$$\text{Factor de servei} = \frac{\text{hores totals} - \text{hores parada}}{\text{hores totals}} \cdot 100 = \frac{8784 - 406}{8784} \cdot 100 = 95.37\% \quad (\text{E.3.1})$$

Degut a què només es disposa d'un compressor, es planificaran aturades anuals per al seu manteniment. No obstant, durant l'any 2024 es suposa que s'aprofita l'aturada no programada de la planta per realitzar aquest manteniment.

L'apartat 4.4 *Balanç d'energia* justifica l'estalvi econòmic, i el per què es rendible tenir sempre en marxa el nou compressor.

### 3.4. Legislació, normes i codis de disseny

#### 3.4.1. Normativa d'equips

El compressor de vapor que es vol instal·lar, s'ha dissenyat mitjançant les especificacions del codi americà ASME (secció VIII, divisió 1), degut al seu prestigi tècnic i compatibilitat internacional. A més a més, per poder operar dintre de la Unió Europea, l'equip ha de ser avaluat i certificat per la Directiva PED (2014/68/UE). La transposició de la PED a l'Estat Espanyol és el RD 709/2015 [3].

**Taula 3.1.** Normativa d'equips i de la xarxa de canonades

Equip/Sistema	Categoria	Norma/ legislació/codi	Aplicació específica
Compressor de vapor	Disseny d'equips a pressió	PED 2014/68/UE [4]	Obligatòria a Europa per equips amb pressió màxima admissible major a 0.5 bar.
		ASME VIII Div.1 [5]	Normativa americana per al disseny d'equips a pressió.
		ISA 5.1-2009 [6]	Estableix els símbols estandarditzats per instrumentació i control i equips de procés.
	Prevenició de riscos laborals	Llei 31/1995 de PRL [7]	Avaluació de riscos derivats del funcionament del compressor.
		ISO 12100 / Directiva 2006/42/CE [8]	Normes de disseny segur de maquinària.
		Directiva 2003/10/CE [9]	Si el nivell de so és major a 80dB, s'han d'implementar mesures de protecció i EPI per als operaris.
Absorbidor (BrLi)	Instal·lacions frigorífiques	RD 809/2021 [10]	Reglament d'equips a pressió: Inspeccions periòdiques, registres i compliment documental.
		RD 552/2019 [11]	Normativa que regula les instal·lacions frigorífiques a Espanya.
	Prevenició de riscos laborals	Llei 31/1995 de PRL [7]	Avaluació de riscos associats a l'absorbidor.
Cicle de refrigeració amb amoníac	Instal·lacions frigorífiques	RD 552/2019 [11]	Normativa que regula les instal·lacions frigorífiques a Espanya.
	Disseny d'equips a pressió	PED 2014/68/UE [4]	Obligatòria a Europa per equips amb pressió màxima admissible major a 0.5 bar.
	Prevenició de riscos laborals	Llei 31/1995 de PRL [7]	Avaluació de riscos associats a l'absorbidor.
Canonades	Canonades a pressió	PED 2014/68/UE [4]	Obligatòria a Europa per equips amb pressió màxima admissible major a 0.5 bar.
		EN 13480 [12]	Disseny, fabricació i instal·lació de canonades metàl·liques a Europa.
	Disseny de canonades	DIN [13]	Normativa alemanya per especificacions de les canonades.
		ASME VIII Div.1 [5]	Normativa americana per al disseny d'equips i canonades a pressió.

### 3.4.2. Legislació ambiental

El compressor de vapor d'aigua no està sotmès a legislació ambiental envers a tractament de productes contaminants, ja que el vapor d'aigua no és nociu pel medi ambient ni perillós per la salut humana. No obstant això, se li apliquen lleis degut a altres condicions ambientals:

**Taula 3.2.** Normativa d'equips, de la instal·lació elèctrica i de la xarxa de canonades

Factor	Norma/legislació	Aplicació específica
Contaminació acústica	Decret 176/2009 [14] Llei 16/2002 [15]	El compressor ha de complir amb els límits d'emissió sonora (entre 55 i 65 dB depenent de la franja horària). Si no es compleix s'hauran d'afegir aïllants de so o silenciadors.
Gestió de residus	Llei 7/2022 [16]	Afecta als residus generats com olis, filtres o aïllaments tèrmics.
Autorització Ambiental Integrada (AAI)	Llei 5/2013 [17]	Com la planta realitza activitats de l'Annex I de la Llei IPPC [18], el compressor ha de formar part de la documentació tècnica del sistema.

### 3.4.3. Suport financer per a iniciatives de transició ecològica

El projecte que es vol dur a terme, com s'ha esmentat anteriorment, no només generaria una disminució d'emissions de gasos d'efecte hivernacle a causa de la reducció d'activitat de les calderes de metà, sinó que també aprofitaria l'excedent de vapor que fins ara s'ha estat llençant a l'atmosfera, millorant així l'eficiència energètica de la planta.

El Govern Espanyol, amb la finalitat de poder assolir les obligacions adquirides amb la Unió Europea a través de la Directiva d'Eficiència Energètica [19], ha creat el sistema CAE (*Certificado de Ahorro Energético*). Aquest sistema impulsa un mercat que permet monetitzar els estalvis energètics, ja que els subjectes obligats (empreses energètiques que per llei estan obligades a assolir una quantitat d'estalvi energètic a l'any) poden comprar estalvis energètics a aquells que els aconsegueixin o poden comprar CAE a altres subjectes obligats o delegats (empreses que es comprometen amb subjectes obligats per liquidar una quantitat determinada de CAE amb el seu nom cada any) [20].

Els CAE es quantifiquen de forma que l'empresa presenta un document electrònic al final de l'any en què es demostra que, després de dur a terme un projecte d'eficiència energètica, ha generat una quantitat determinada d'estalvi energètic. Així doncs, per cada kWh estalviat, l'estat dona una quantitat determinada de CAE a l'empresa i aquesta serà la seva moneda de canvi al mercat creat.

Aquesta iniciativa governamental, tot i no cobrir costos del projecte de forma directa, genera un benefici econòmic a l'empresa si el projecte es tira endavant, ja que es consideraria una actuació d'estalvi energètic i aportaria valor al mercat dels CAE.

Això permetria a Covestro reduir el consum econòmic en compensacions d'emissió o, en cas de complir l'objectiu anual sense comprar compensacions, poder negociar amb altres empreses per vendre els CAE atorgats.

Per poder fer una estimació del valor monetari que suposaria per l'empresa realitzar aquest projecte, s'ha pres com a referència un altre estudi que es va fer fa uns anys a la mateixa planta de COVESTRO®, a la concentradora de dos a tres efectes. Aquest projecte suposava un estalvi de 11800 kg/h de vapor a 5 bar i de 8625 kg/h de vapor a 10 bar. Si es realitza el càlcul del valor energètic d'aquestes dues corrents mitjançant les entalpies, el resultat suposa un estalvi energètic de 2081.95 kWh.

$$E_{\text{vap}} \text{ (kWh)} = Q \left( \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \cdot (H_{\text{vap}} - H_{\text{liq}}) \left( \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) \quad (\text{E.3.1})$$

Segons l'informe del projecte, proporcionat per l'empresa, el valor estimat de les CAE que es van atorgar a aquest projecte va ser de 1,800,000€.

Amb la referència esmentada i segons l'estudi energètic realitzat, el projecte comportaria un estalvi energètic de 3932.04 kWh i, per tant, el valor estimat de les CAE's d'aquest projecte és 3,399,500€.

Per altra banda, existeix un altre projecte de suport financer governamental, dirigit per la Subdirecció General d'Economia Circular, que aplica en aquesta millora. És anomenat *Proyecto Estratégico para la Recuperación y Transformación Económica* (PERTE) [21] i té com a finalitat donar l'empenta econòmica necessària a aquells projectes que apostin per la incorporació de l'economia circular i la transformació energètica a la indústria espanyola.

Actualment hi ha 12 PERTE aprovats a Espanya que inverteixen en projectes de diferents sectors. Aquell que és d'interès en el projecte implicat és el PERTE de descarbonització industrial, que vol impulsar processos productius de la indústria manufacturera d'Espanya. La convocatòria de 2024 estava dotada amb un pressupost de 500 milions d'euros en subvencions i 500 milions d'euros en préstecs [22] i, pel que fa a la convocatòria de 2025, es preveu que es disposi de 430 milions d'euros en subvencions i 1050 milions d'euros en préstecs [23].

Per a poder optar a aquest suport financer, s'ha de demostrar que el projecte genera una reducció d'emissions de la instal·lació de forma directa i una millora substancial de l'eficiència energètica per l'estalvi d'energia elèctrica [24]. Són dos requisits que el projecte compleix degut a la reducció d'ús de les calderes de metà i l'aprofitament de l'excedent de vapor, el qual ha estat produït amb energia elèctrica.

Per quantificar els requisits esmentats, el govern ha instaurat un mínim de reducció d'emissions de 3000 tCO<sub>2</sub>e/any per poder optar a la subvenció [24]. S'ha fet una estimació de la reducció d'emissions de CO<sub>2</sub> que hagués suposat tenir el projecte implantat durant el 2024 i el resultat ha estat de 7840 tCO<sub>2</sub>e/any, així que es compleix el líndar instaurat.

Finalment, cal esmentar que per a les empreses no considerades PYME (*Pequeñas y Medianas Empresas*) la subvenció podria arribar fins al 40% del cost total en el cas dels projectes de descarbonització industrial [24], factor que reduiria de forma considerable la inversió inicial.

### 3.5. Especificacions de la xarxa de serveis

La taula següent mostra els serveis dels que disposa el sistema de compressió dissenyat, així com les seves especificacions.

*Taula 3.5.* Xarxa de serveis disponible

Servei	Pressió de treball (barg)		Pressió de disseny (barg)	Temperatura de treball (°C)		Temperatura de disseny (°C)
	P <sub>màx</sub>	P <sub>mín</sub>		T <sub>màx</sub>	T <sub>mín</sub>	
<b>Aigua desmineralitzada</b>	6	4	6	30	5	50
<b>Aigua industrial</b>	6	5	6	30	5	50
<b>Aigua de refrigeració</b>	4	3	6	32	5	50
<b>Vapor de 5 bar (M.P)</b>	6	4	6	200	158	200
<b>Aire d'instrumentació</b>	6	4.5	10	35	5	50
<b>Amoníac 0 °C</b>	3.4	2.6	18	-	-	43
<b>Nitrogen 6 bar</b>	6	4	6	35	5	50

### 3.6. Localització

A continuació, es mostra la ubicació de la planta MDI (1) i la planta d'*utilities* (2) dins el *site* de COVESTRO®, el qual es troba al polígon químic sud, vial dels prats, a Tarragona.



*Figura 3.1.* Ubicació Covestro

### 3.7. Zona d'implementació de la unitat de compressió

La següent imatge mostra la implantació del compressor que s'ha dissenyat a la zona de MDA. Aquí s'observa que serà una zona de fàcil construcció i que es podrà tractar com un *green field* a l'estar fora de les unitats productives existents. A l'apartat 4.7 es mostra el *layout* de la unitat.



*Figura 3.2.* Zona d'implementació de la unitat de compressió

### 3.7.1. Condicions meteorològiques

La planta està situada a la regió costera de Catalunya, a la zona meridional. Per tant, posseeix un clima mediterrani, amb temperatures suaus tot l'any, estius secs i calorosos i hiverns relativament freds i amb pluja.

Segons l'Institut d'Estadística de Catalunya [25], les dades meteorològiques recollides de l'estació meteorològica del Complex Educatiu de Tarragona durant el 2023 van ser les següents:

*Taula 3.6.* Registres meteorològics mensuals de Tarragona l'any 2023

Mes	G	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<b>Tmax (°C)</b>	15.3	15.1	19.3	21.1	24.0	27.8	30.4	31.5	27.9	25.3	20.8	17.5
<b>Tmin (°C)</b>	4.4	4.4	8.9	11.4	14.1	19.4	23.1	22.6	19.4	16.7	10.5	6.8
<b>Precip. (mm)</b>	1.6	52.7	10.1	0.7	28.4	9.5	15.6	5.3	44.2	42.3	2.0	1.7

*Taula 3.7.* Mitjana anual dels registres de Tarragona l'any 2023

<b>Temperatura mitjana màxima (°C)</b>	23.1
<b>Temperatura mitjana mínima (°C)</b>	13.5
<b>Precipitacions totals (mm)</b>	214.1
<b>Humitat relativa mitjana (%)</b>	66.0

## 4. ENGINYERIA BÀSICA

### 4.1. Diagrama de blocs

En el diagrama següent es pot observar la connexió entre els equips rellevants per al disseny del compressor.

A la planta hi ha tres línies de vapor a diferent pressió: 30 barg, 5 barg i 0.3 barg. El vapor d'alta pressió es produeix mitjançant unes calderes de cogeneració de metà i, una part d'aquest vapor, s'expansiona fins a 5 barg per al consum d'alguns equips de la planta.

El vapor de baixa pressió (0.3 barg), en canvi, es produeix a partir d'uns generadors i també té diferents consumidors a la planta. Al final d'aquesta línia hi ha un silenciador per llançar a l'atmosfera l'excedent de vapor no utilitzat.

Un dels equips que consumeixen vapor de baixa pressió és el cicle de refrigeració per absorció mitjançant bromur de liti, que refrigera aigua per utilitzar-la a la planta. No obstant això, hi ha un altre sistema de refrigeració per compressió simple, amb amoníac com a refrigerant. Aquest, disposa d'un evaporador que compleix la mateixa funció que el cicle de refrigeració per absorció, refredar aigua. Aquest últim no consumeix vapor de cap tipus.

Com s'ha esmentat anteriorment, s'està estudiant la idea de parar el cicle de refrigeració per absorció i augmentar la producció de fred del cicle de refrigeració amb amoníac en certs moments de l'any amb la finalitat de poder aprofitar el vapor que consumiria aquest primer equip per comprimir-lo a 5 barg i, d'aquesta forma, reduir la producció de vapor a 30 barg mitjançant les calderes, fet que disminuiria les emissions de CO<sub>2</sub>.

Així doncs, es vol dissenyar el compressor entre les línies de vapor de 0.3 barg i 5 barg per poder comprimir, no només el vapor que no s'està consumint al cicle de refrigeració per absorció, si no també l'excedent que s'habitua a alliberar a atmosfera i així poder aprofitar-lo.

Finalment, cal esmentar que la vàlvula d'expansió entre la línies de vapor de 5 barg i 0.3 barg només s'obre en cas que hi hagi algun problema que provoqui la falta de vapor de 0.3 barg a la línia.

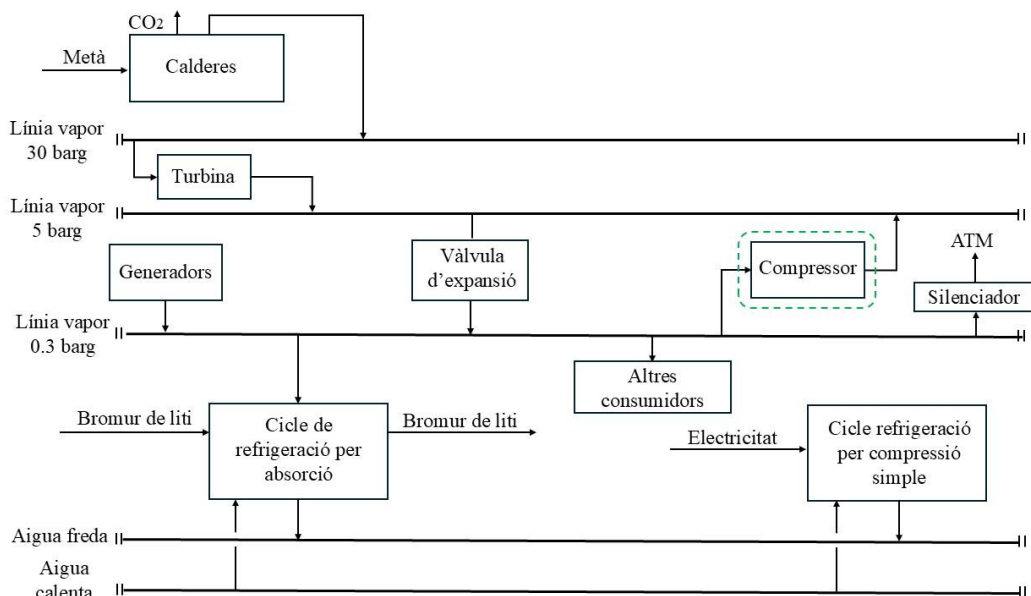
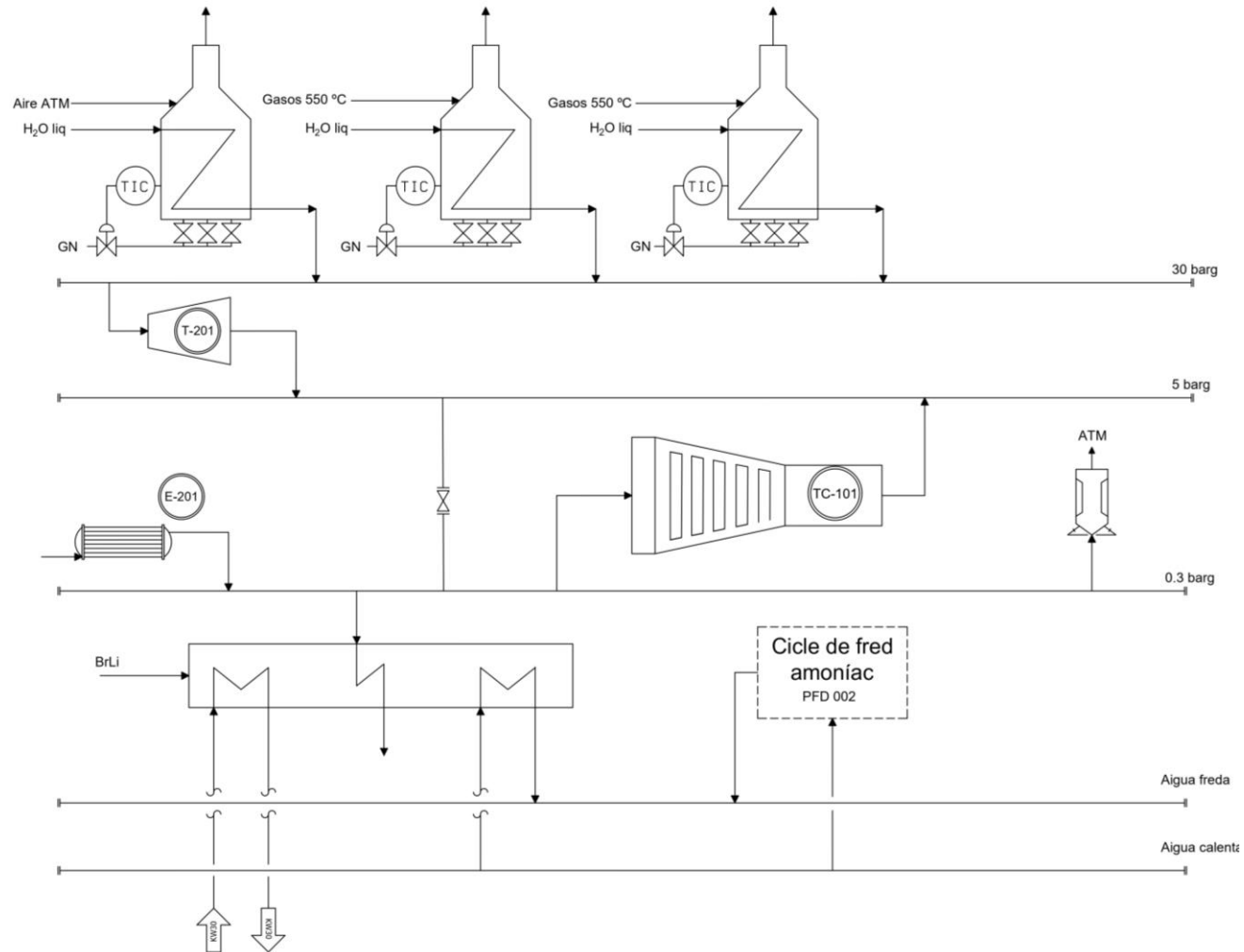


Figura 4.1. Diagrama de blocs



**4.2. Diagrama de flux i balanç de matèria**

A continuació, es mostren els dos diagrames de flux, el primer és el general, i el darrer el que mostra en detall la planta d'*utilities*.



**Figura 4.2.** PFD dels sistemes de generació de fred i vapor

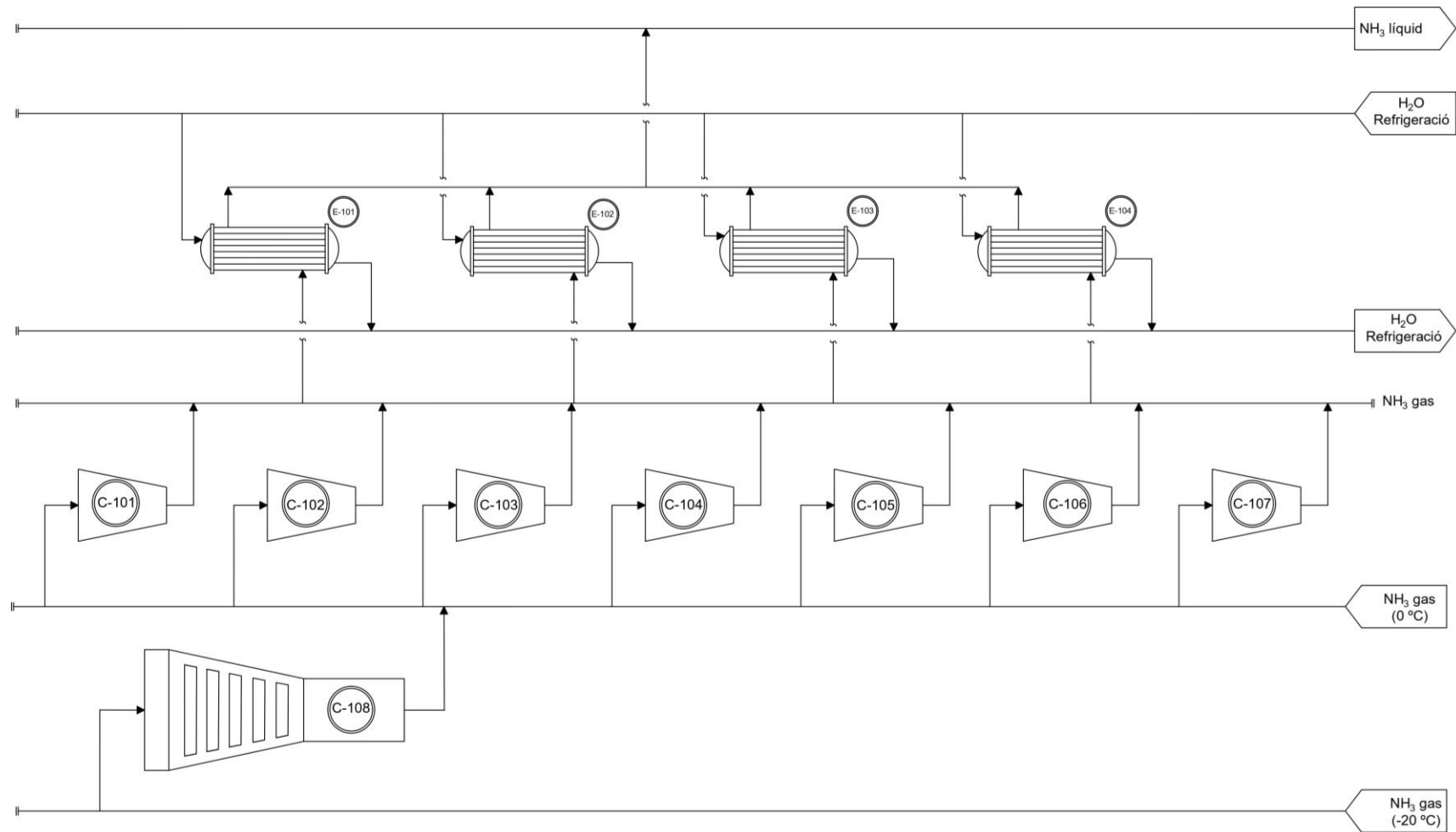


Figura 4.3. PFD del cicle de refrigeració d'amoníac

### 4.3. Balanç de matèria

Tal i com s'ha comentat a l'apartat 3.2, les dades que corresponen al cabal total a comprimir s'han extret de la base de dades de PI de Covestro.

Per tenir una representació acurada dels valors de cabal, tant alliberats pel silenciador com subministrats a la màquina d'absorció, s'han emprat les dades mitjaneres hora a hora durant tot un any (2024). Per a cada instrument del qual s'extreuen aquestes dades, s'assoleixen les 8794 xifres.

#### 4.3.1. Cabal de vapor de la màquina d'absorció

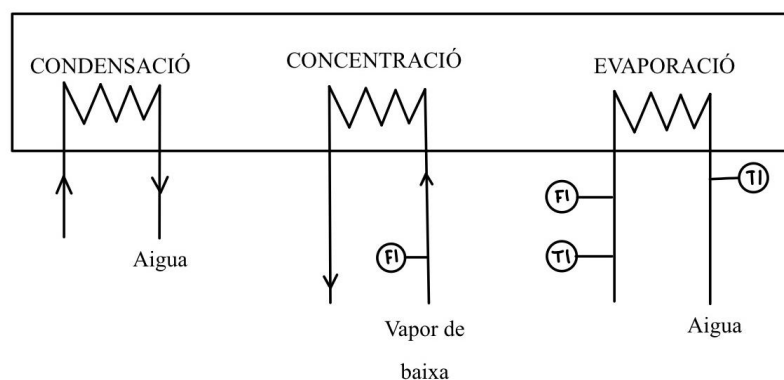
A continuació, es pot observar un esquema de la màquina on apareixen tant el cabalímetre del vapor com el de l'aigua de refrigeració (necessari posteriorment per al balanç d'energia).

Aquesta representació no correspon a la disposició real, ja que la *broad* (també designada amb aquest nom), es pot observar a camp com una gran caixa negra que conté al seu interior múltiples serpentins, difusors, col·lectors, etc., entre altres tipus d'instrumentació i equips.

El funcionament de la màquina es basa en la utilització de calor en lloc d'electricitat per a generar fred. En aquest cas, l'aportació de calor ve donada per un corrent de vapor de baixa pressió (aproximadament 0.4 barg).

Aquesta màquina conté quatre parts principals que tenen les funcions següents:

- **Evaporació:** És la zona on es genera el fred. L'aigua, que actua com a refrigerant, s'evapora a molt baixa pressió, absorbint el calor del procés/ambient. La seva temperatura oscil·la entre els 6 i els 13 °C aproximadament.
- **Absorbidor:** El vapor d'aigua es absorbit per bromur de liti (LiBr), conformant una solució diluïda.
- **Generador/concentrador:** El bromur de liti, mitjançant l'aportació de calor amb el vapor de baixa pressió, s'escalfa fins que allibera l'aigua i com a resultat s'obté una solució concentrada de LiBr.
- **Condensació:** El vapor d'aigua alliberat passa a la zona de condensació, i canviant de fase, cedeix calor a l'aigua de refrigeració (una aigua a més temperatura que la emprada a l'evaporador, al voltant dels 30 °C). L'aigua que ha condensat es manté a l'interior de la màquina per tornar a començar el cicle.



**Figura 4.4.** Esquema de la màquina d'absorció

Com es pot observar a la figura 4.4, a la dreta es troba el corrent d'aigua a refrigerar (el que surt de la màquina és el que s'ha refredat). Al centre, el cabal de vapor alimentat per a proporcionar calor a la màquina d'absorció i, finalment, a l'esquerra les corrents del condensat.

#### 4.3.2. Cabal de vapor excedent del site

D'altra banda, com també s'ha comentat anteriorment, al compressor li arribarà un cabal de vapor a comprimir conformat també per l'excedent generat en múltiples zones del *site*.

Els equips generadors són, de forma simplificada, equips on s'han produït processos exotèrmics que necessiten extreure calor a temperatures baixes, entre 180 °C i 120 °C. Aquest calor s'aprofita per generar vapor de baixa pressió.

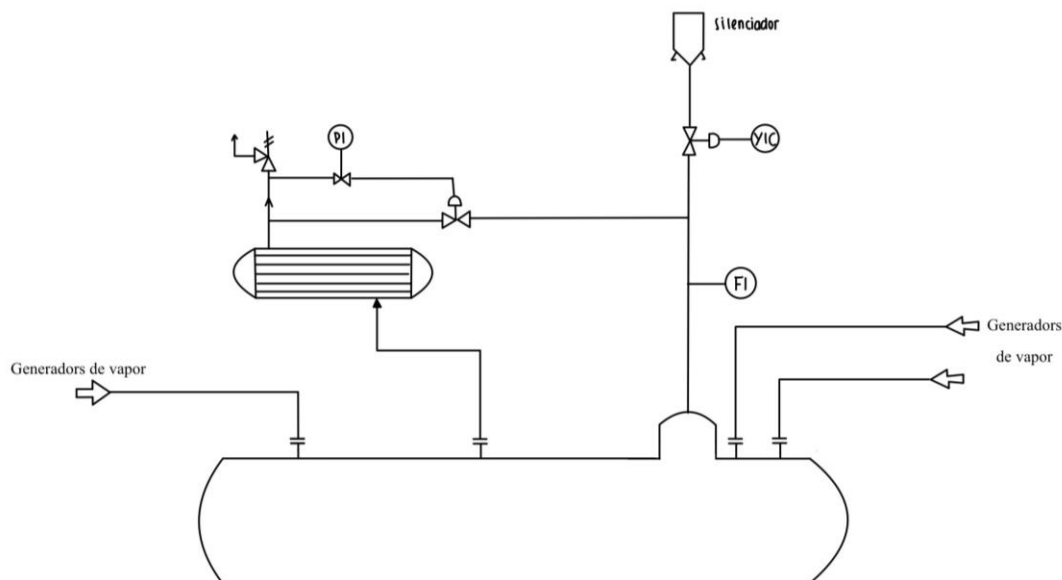
Aquests corrents de vapor fan cap a un mateix col·lector des d'on es reparteix de nou a altres màquines o equips que el puguin consumir directament. En el moment en què tots els consumidors estan coberts, el vapor excedent s'allibera a l'atmosfera a través del silenciador.

Ja que el cabalímetre més proper al silenciador no engloba tot el cabal alliberat, s'ha plantejat una alternativa per calcular aquest valor. Observant que a la seva entrada hi ha una vàlvula de la qual queda registrada el percentatge d'obertura, s'ha fet servir una relació experimental determinada per l'equip de Covestro en un estudi previ:

- A un percentatge del 42%, el cabal és de 2.9 Tm/h.

Mitjançant aquest valor conegut i l'obertura registrada, s'ha pogut obtenir el cabal mitjà per hora durant tot l'any 2024.

A continuació, es pot observar un esquema molt simplificat de la posició del silenciador i la vàlvula de pas del vapor:



**Figura 4.5.** Esquema del col·lector de vapor i el silenciador

Finalment, a la taula 4.1., queden recollits els valors emprats per al càlcul del cabal total a comprimir (percentatge d'obertura de la vàlvula del silenciador) i també el cabal d'aigua mitjà per hora que es refreda a la màquina d'absorció:

**Taula 4.1** Dades mitjanes per hora del balanç de matèria

Paràmetre	Valor mitjà per hora del 2024
Cabal de la màquina d'absorció (Tm/h)	3.49
Cabal d'aigua de refrigeració a la <i>broad</i> (m <sup>3</sup> /h)	372.8
Percentatge d'obertura de la vàlvula del silenciador (%)	43.4
Cabal alliberat al silenciador (Tm/h)	3.13
Cabal total a comprimir (Tm/h)	6.62

#### 4.4. Balanç d'energia

##### 4.4.1. Fred produït per l'absorbidor

Per saber de quanta energia s'està parlant i la quantitat d'amoníac necessari per poder cobrir aquesta refrigeració que ja no estarà generant l'absorbidor, s'ha fet un balanç d'energia.

En primer lloc, s'han pres les dades del cabalímetre d'entrada de vapor a l'absorbidor i de la temperatura d'entrada i sortida de l'aigua de tot l'any 2024, amb intervals d'una hora.

Amb aquesta informació s'ha realitzat el balanç d'energia:

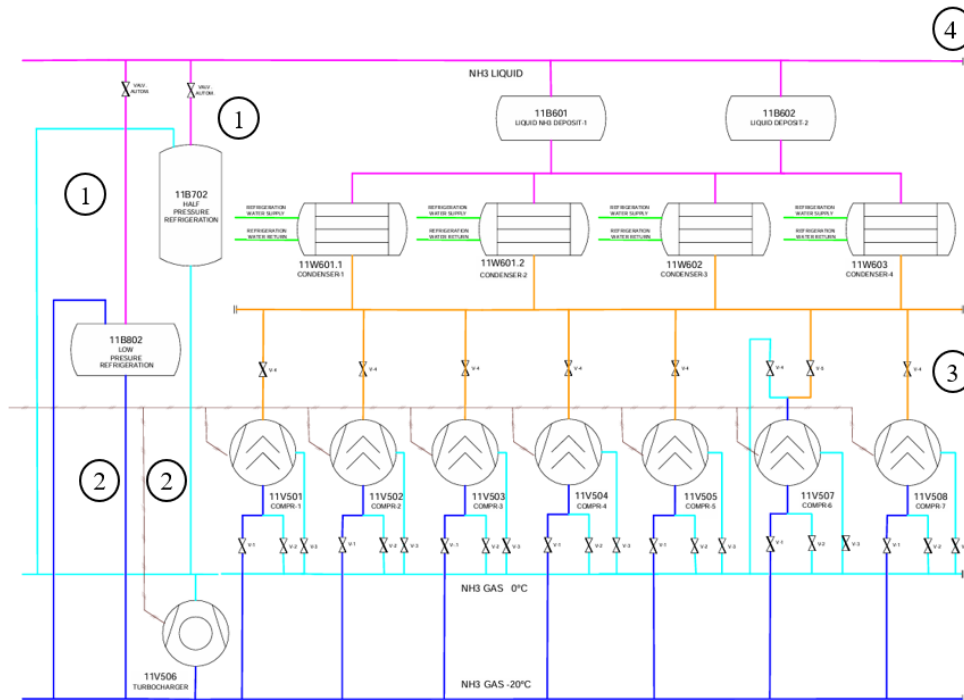
$$Q_{\text{absorbidor}} = \dot{m}_{\text{H}_2\text{O}} \left( \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \cdot C_{p\text{H}_2\text{O}} \left( \frac{\text{kJ}}{\text{K}\cdot\text{kg}} \right) \cdot (T_f - T_0) (\text{K}) \quad (\text{E.4.1})$$

La calor estreta per l'absorbidor duran l'any 2024 (mitjana) és de -1.657.5 kJ/s (kW).

#### 4.4.2. Cicle de refrigeració d'amoníac

El cicle de refrigeració d'amoníac funciona com un cicle tancat de refrigeració simple amb 4 etapes: evaporació, compressió, condensació i expansió.

A la següent figura es mostra l'esquema unifilar del cicle on s'observa l'etapa de compressió i la de condensació, que son les que es produeixen a la unitat d'*utilities*. Les etapes d'expansió i evaporació es produeixen en cadascuna de les unitats productives, no tan sols de Covestro, sinó també de diferents empreses implantades en el *site* de Covestro.



**Figura 4.6.** Esquema unifilar del cicle d'amoníac

Com es pot observar a la figura, el sistema té dos pre-refrigeradors d'amoníac, un turbocompressor, set compressors (cinc amb la mateixa capacitat i dos més grans), quatre condensadors i dos dipòsits.

Hi ha dos circuits d'amoníac en diferents condicions que estan connectats entre ells. El primer, representat de color blau fosc a l'esquema, està a una temperatura de  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  (0.7 barg), mentre que el segon, representat en blau clar, es troba a una temperatura de  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  (3 barg).

La pre-refrigeració de l'amoníac abans d'entrar als compressors (1→2) es duu a terme als refrigeradors 11B702 i 11B802. El funcionament dels dos evaporadors és diferent, ja que un treballa a mitja pressió i l'altre a baixa. És per això, que al 11B802 l'amoníac gas surt a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  i al 11B702 surt a  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

L'amoníac gas fred va cap al sistema de compressió (2→3), on es comprimirà amoníac de  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  o de  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  en funció de la demanda de fred. També cal esmentar que els compressors no funcionen tots alhora i que sistema de funcionament d'aquests depèn de les condicions d'entrada de l'amoníac.

Un cop comprimit, s'envia cap als quatre condensadors (3→4).

La pressió de condensació de l'amoniac variarà en funció de les condicions ambientals, ja que com més baixa sigui la temperatura ambient, més baixa serà la temperatura a la que sortirà l'amoniac dels compressors i, per tant, més baixa la pressió de condensació.

Finalment, l'amoniac condensat s'envia cap a les unitats productives on s'expansionarà i evaporarà. Aquestes unitats disposen d'un sistema de subrefredament on es refreda el líquid que entra amb la sortida del gas fred resultant de l'evaporació.

#### 4.4.3. Cabal d'amoniac i calor extreta de l'aigua

La necessitat de generar més fred al cycle de refrigeració per compensar que l'absorbidor estigui parat, comportarà un augment de consum de cabal d'amoniac per refrigerar i, en conseqüència, els compressors del cycle consumiran més potència.

Per poder relacionar el cabal d'amoniac amb l'energia que se li ha d'extreure a l'aigua, s'ha realitzat el següent balanç d'energia, on s'utilitza l'entalpia d'evaporació per fer el càlcul, ja que és la part del cycle on es genera el fred que posteriorment permetrà la transferència tèrmica entre l'aigua i l'amoniac a l'evaporador.

$$Q_{H_2O} = Q_{NH_3} \quad (E.4.2)$$

$$\dot{m}_{H_2O} \cdot C_{pH_2O} \cdot \Delta T = \dot{m}_{NH_3} \cdot \Delta H_{evap.NH_3} \quad (E.4.3)$$

Amb aquest balanç, ja es pot aïllar el cabal d'amoniac i conèixer la seva relació amb la calor de l'aigua a extreure. Per fer el càlcul de la calor extreta a l'absorbidor, com ja s'ha esmentat anteriorment, s'han utilitzat les dades proporcionades pels indicadors de temperatura de l'entrada i la sortida de l'absorbidor i el cabalímetre de l'entrada del mateix equip per cada hora durant tot l'any 2024. L'entalpia d'evaporació s'ha calculat fent la diferència entre l'entalpia de saturació a 0°C en estat gasós i en estat líquid.

Els moments on la diferència de temperatura d'entrada i sortida de l'aigua a l'absorbidor és positiva s'han descartat, ja que això indica que l'equip està parat.

En cas de què a l'any 2024 només s'hagués generat fred amb el cycle d'amoniac, el consum extra seria de 4,791.4 kg/h d'amoniac per extreure un total de 1.67 MWh d'energia en forma de calor de l'aigua.

#### 4.4.4. Potència consumida al cycle i cabal d'amoniac

Un cop coneguda la relació entre la calor extreta de l'aigua i el cabal d'amoniac, és indispensable poder traduir aquest cabal en consum elèctric del cycle, per a així conèixer com afectaria econòmicament el consum de potència afegit degut a l'augment de cabal d'aigua a tractar.

S'ha partit de la hipòtesi que el consum dels set compressors és l'energia total consumida pel cycle, ja que els altres equips (vàlvules d'expansió, condensadors i evaporadors) no realitzen treball mecànic actiu i, per tant, l'únic consum elèctric que poden arribar a comportar seria a causa de components auxiliars com bombes i ventiladors. El consum d'aquests equips més

petits comparat amb el dels compressors és poc significatiu. Aquesta hipòtesi permetrà simplificar el càlcul, aconseguir uns resultats pròxims a la realitat i realitzar una fórmula d'estalvi elèctric que es podrà adaptar a qualsevol any i condició climàtica.

Un altre factor rellevant a l'hora de trobar aquesta relació, és la variació de la pressió de condensació de l'amoníac en funció de la temperatura ambient. A l'hivern, la temperatura ambient és més freda i, per tant, la pressió de condensació de l'amoníac es reduirà significativament, mentre que a l'estiu passarà just el contrari, l'amoníac tindrà una pressió de condensació més elevada a la sortida dels compressors.

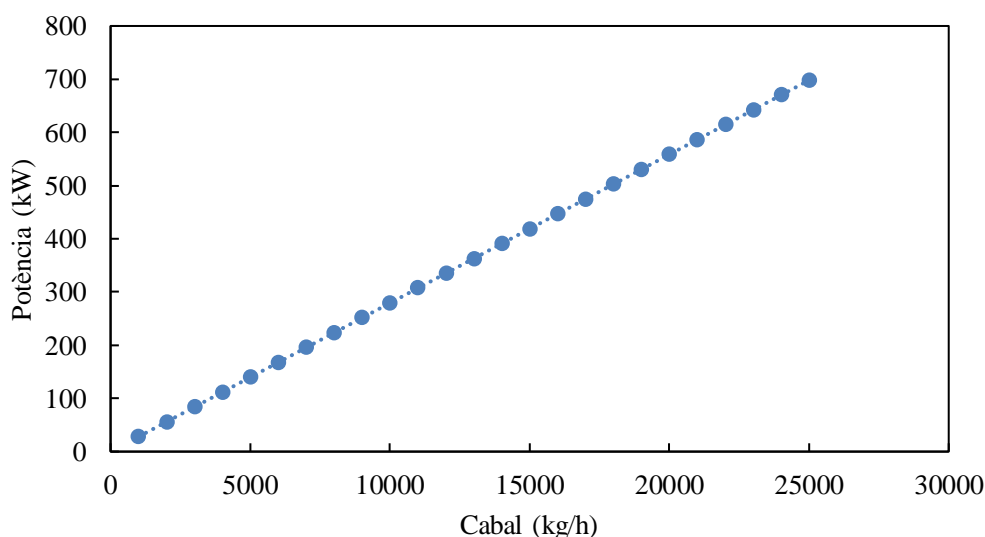
Per tal de tenir en compte aquest factor, s'han calculat dues relacions entre la potència consumida al cicle i el cabal d'amoníac, una per a quan els compressors treballen en condicions d'hivern ( $P_{\text{cond}} = 7$  barg), i una per a quan ho fan en condicions d'estiu ( $P_{\text{cond}} = 11$  barg).

També s'han intentat estudiar les dades on la pressió de condensació és de 9 barg, però els moments on ha passat això al 2024 són escassos per realitzar una recta de regressió representativa.

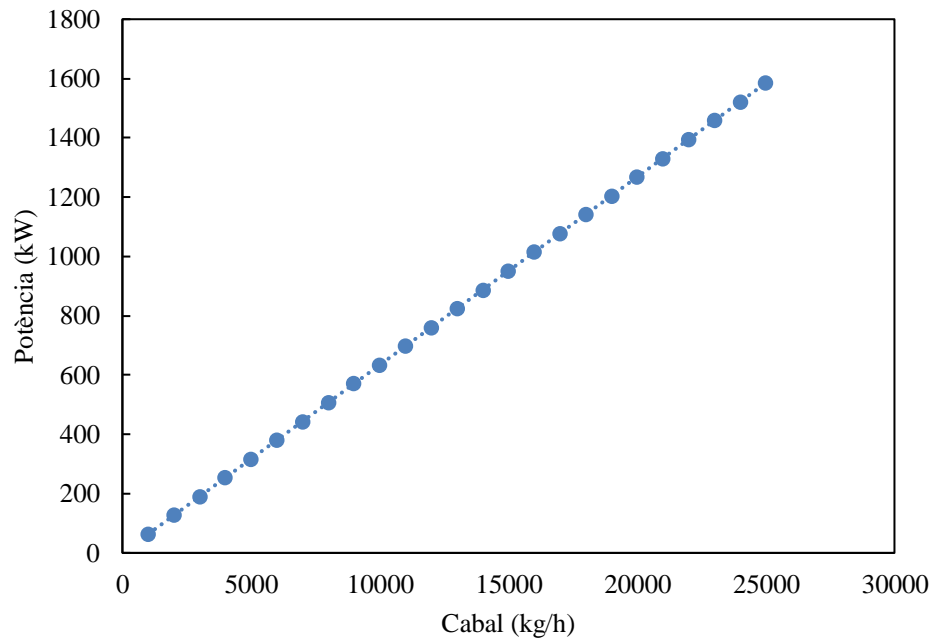
Per trobar aquesta relació, s'ha realitzat un gràfic de la potència en funció de cabal per a cada pressió de condensació. D'aquesta forma, s'ha aconseguit una recta de regressió amb l'equació que representa aquesta relació entre les dues variables i la  $R^2$ , que determina si els valors del gràfic s'ajusten a la regressió construïda.

Abans de fer el gràfic amb les dades reals, s'ha simulat el compressor amb Aspen Plus per veure quina és la tendència entre les variables d'operació de l'equip. És a dir, si és lineal, quadràtica, exponencial, etc. Per fer-ho s'ha realitzat una anàlisi de sensibilitat, on s'ha assignat com a variable independent el cabal d'entrada al compressor, que es troba en un rang de valors d'entre 0 i 25000 kg/h i la potència com a variable dependent.

Els dos gràfics següents mostren la tendència que hauria de seguir el compressor



**Gràfic 4.1.** Relació teòrica entre la potència consumida al cicle en funció del cabal d'amoníac (7 barg)



**Gràfic 4.2.** Relació teòrica entre la potència consumida al cicle en funció del cabal d'amoniac (11 barg)

Com es pot observar als gràfics, com més cabal entra als compressors, més potència hauran de consumir. També queda representat que la potència consumida per arribar a 11 barg és significativament més elevada que en el cas dels 7 barg.

Amb aquests dos gràfics es veu clarament la tendència esperable, així que ja es poden analitzar les dades reals.

En primer lloc, s'han realitzat quatre gràfics representant els valors dels indicadors de pressió situats a l'entrada dels quatre condensadors respecte el temps, per veure quin estava en funcionament tota l'estona i així decidir quin dels quatre condensadors s'utilitza per determinar la pressió de sortida del compressor. Després d'aquest estudi, es decideix que el més representatiu és l'indicador del condensador P0603.

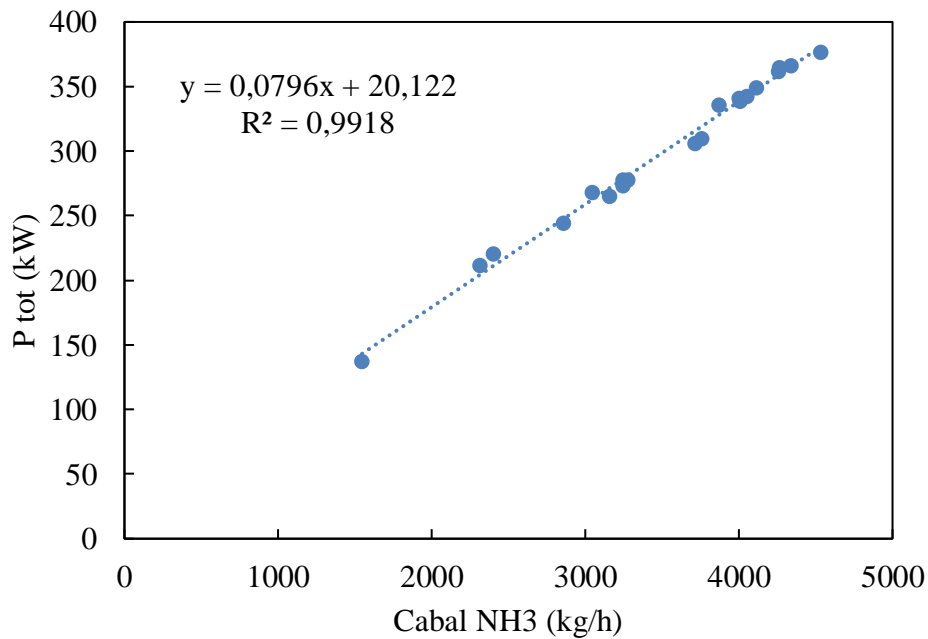
Un cop coneguda la pressió de condensació, s'extreuen del PI les dades de pressió i temperatura d'entrada i intensitat de cadascun dels set compressors. Amb la intensitat, sabent que la línia és trifàsica, i que el voltatge d'aquesta és 6000 V, es calcula la potència consumida pel compressor. En aquest cas, es pren un factor de potència de 0.99.

$$P \text{ (kW)} = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (\text{E.4.4})$$

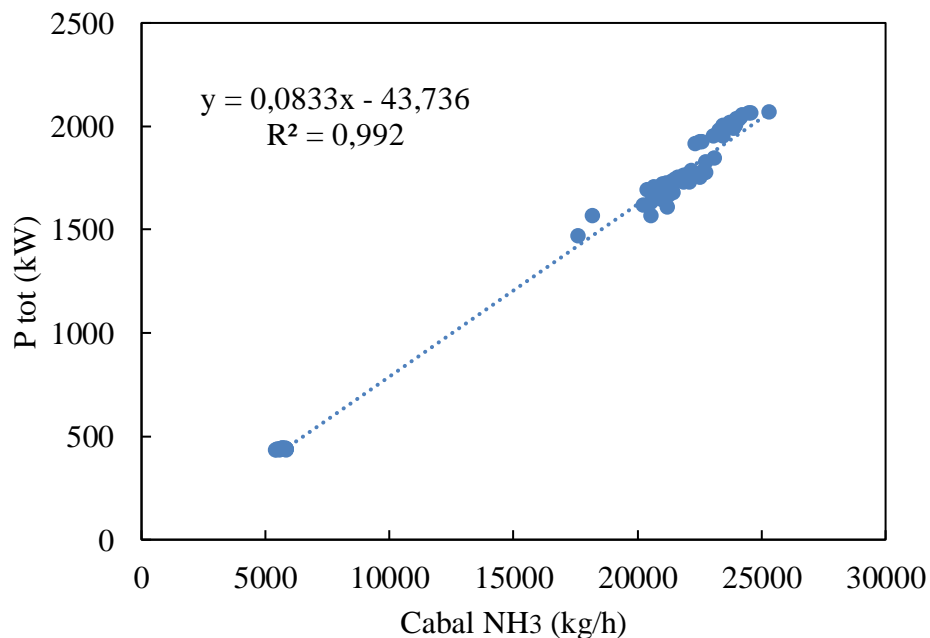
Finalment, es realitza el cribratge de dades, que consisteix en filtrar-les de forma que només quedin aquelles on la pressió de condensació de l'amoniac sigui la del valor estudiat (7 barg o 11 barg), amb un marge de  $\pm 0.1$  barg. Amb les dades que interessin per l'estudi, ja es poden sumar les potències de cadascun dels compressors i representar aquest valor en funció del cabal d'amoniac total, extret també amb el PI.

Cal esmentar, que el cabal s'ha representat en kg/h perquè l'origen de l'amoníac que entra als compressors és el mateix i, per tant, compartiran condicions d'entrada.

Els següents gràfics mostren les dues representacions de la potència consumida al cicle en funció del cabal d'amoníac a tractar quan la pressió de condensació és 7 barg i 11 barg, respectivament.



**Gràfic 4.3.** Relació real entre la potència consumida al cicle en funció del cabal d'amoníac (7barg)



**Gràfic 4.4.** Relació real entre la potència consumida al cicle en funció del cabal d'amoníac (11barg)

Entre les dues casuístiques hi ha una diferència molt clara i aquesta és la quantitat de cabal d'amoníac a comprimir. Això és degut a què, a l'estiu, la demanda de fred és molt més gran.

També es pot observar que, en els dos casos, l'ordenada a l'origen no és 0. Això és degut a què quan no passa cabal, el compressor treballa a ralenti, de forma que existeix un consum mínim. A la gràfica a pressió de condensació de 11 barg, l'ordenada a l'origen és negativa (-43.74 kW), però el seu ordre de magnitud comparat amb la potència consumida és tan petit que es pot dir que aquest valor tendeix pràcticament a 0.

#### 4.4.5. Estalvi econòmic

L'estudi energètic realitzat permet construir una fórmula per saber els moments on la planta treu més benefici econòmic tenint en marxa l'absorbidor o el compressor. Les variables que s'han tingut en compte són les següents:

- Preu del vapor de 5 barg (40 €/Tm).
- Cabal del vapor comprimit al compressor en cas d'estar funcionant.
- Consum elèctric del compressor de vapor.
- Potència extra consumida pel cicle de refrigeració per compressió degut a la parada de l'absorbidor.
- Preu de l'electricitat per hora (€/MWh).

Si es calcula de forma que, als beneficis de tenir el compressor en marxa se'ls hi resta les despeses, el resultat del balanç serien les equacions següents:

- 7 barg

$$E_{\text{comp.}} = Q_{\text{vap}} \cdot C_{\text{vap 5barg}} - \frac{\left(0.0796 \cdot \frac{\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}} \cdot C_{\text{pH}_2\text{O}} \cdot \Delta T}{\Delta H_{\text{evap.NH}_3}} + 20.122\right)}{1000} \cdot C_{\text{elec}} - C_{\text{comp.vap}} \cdot C_{\text{elec}} \quad (\text{E.4.5})$$

- 11 barg

$$E_{\text{comp.}} = Q_{\text{vap}} \cdot C_{\text{vap 5barg}} - \frac{\left(0.0833 \cdot \frac{\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}} \cdot C_{\text{pH}_2\text{O}} \cdot \Delta T}{\Delta H_{\text{evap.NH}_3}} - 43.736\right)}{1000} \cdot C_{\text{elec}} - C_{\text{comp.vap}} \cdot C_{\text{elec}} \quad (\text{E.4.6})$$

On:

- $Q_{\text{vap}}$ : cabal de vapor (Tm/h)
- $C_{\text{vap 5 barg}}$ : cost del vapor a 5 barg  $\left(\frac{\text{€}}{\text{Tm}}\right)$
- $\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}}$ : cabal d'aigua refrigerada (kg/s)
- $C_{\text{pH}_2\text{O}}$ : calor específica de l'aigua a 25 °C (kJ/kg·K)
- $\Delta H_{\text{evap.NH}_3}$ : entalpia d'evaporació de l'amoníac a 0 °C
- $c_{\text{elec}}$ : cost de la electricitat  $\left(\frac{\text{€}}{\text{MWh}}\right)$
- $C_{\text{comp.vap}}$ : consum del compressor de vapor (MWh)

S'ha realitzat la prova del funcionament de les fórmules amb les dades de l'any de 2024, ja que es disposava del preu de l'electricitat per hora. S'ha demostrat que durant aquest any, si el compressor que s'ha dissenyat hagués estat en funcionament, l'empresa sempre hagués obtingut beneficis.

Això és degut a l'elevat preu del vapor, que és conseqüència de l'elevat cost del preu del gas natural. Per fer-ho s'han utilitzat els preus del MWh de la OMIE, on s'observa que hi ha franges horàries on el cost és 0 degut a l'ús d'energies renovables.

A la següent taula es mostren els resultats del mes de febrer a 7 barg de pressió de condensació. Els resultats s'han representat de forma que, com més verda és la casella, més diners s'hagués estalviat l'empresa.

S'ha considerat que de principis de maig fins a finals d'octubre (corba de compressors a 11 barg), la planta ha treballat amb el turbocompressor d'amoniac en marxa (de -20 °C a 0 °C). D'altra banda, els mesos de gener fins abril i el novembre i el desembre (corba de compressors a 7 barg), la planta ha treballat amb el turbocompressor parat.

A l'Annex A.3., es troben les taules l'estalvi mensual per hora i mes.



FEBRER	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
01-feb	192.6	203.7	209.9	208.0	212.2	202.8	190.6	170.9	164.5	168.8	197.5	204.2	206.8	209.2	209.4	205.0	195.1	177.8	144.0	150.9	156.9	168.1	175.5	184.8
02-feb	194.1	198.7	198.9	205.0	206.0	203.9	196.1	172.9	158.4	160.6	189.3	199.3	199.2	198.6	205.4	204.7	202.6	185.4	171.9	164.8	164.3	173.1	182.3	198.9
03-feb	197.3	202.1	204.2	204.6	204.4	202.8	201.6	197.7	190.9	194.7	200.8	209.9	215.4	217.5	215.2	209.1	200.9	186.9	166.1	159.4	149.7	154.4	165.1	183.5
04-feb	189.2	192.0	190.5	193.1	195.4	194.8	198.2	196.9	192.9	205.1	214.0	220.0	226.4	224.4	225.2	228.9	214.7	200.3	172.5	158.9	109.5	123.4	169.8	179.2
05-feb	183.5	182.3	187.0	187.4	188.3	186.4	181.2	170.5	153.1	162.6	174.7	182.4	194.5	206.7	205.1	193.7	183.3	177.2	162.2	112.6	45.6	132.6	171.6	176.7
06-feb	176.8	175.5	181.3	182.9	186.8	181.8	174.9	165.3	116.0	147.6	167.7	177.6	179.1	197.4	203.4	196.6	190.3	177.5	167.6	154.7	155.0	167.6	180.4	196.8
07-feb	215.3	218.7	220.9	226.6	242.2	220.6	208.9	180.3	175.3	182.8	185.7	194.2	212.5	219.1	226.8	233.9	222.9	220.4	199.1	183.0	177.1	186.9	200.2	212.4
08-feb	210.1	219.6	226.8	229.0	229.4	228.4	217.6	207.7	199.0	216.5	222.3	223.4	221.0	228.3	225.4	226.1	217.7	214.8	211.6	217.2	217.2	220.6	217.7	235.9
09-feb	240.3	254.6	262.4	264.6	264.6	255.1	232.0	209.0	198.0	187.8	187.9	197.4	205.5	210.2	206.5	208.1	210.4	214.2	210.3	189.6	180.6	195.0	211.2	221.9
10-feb	232.7	249.9	262.0	264.4	264.4	264.5	264.6	264.6	264.5	264.7	268.1	268.6	268.6	268.6	268.6	268.6	268.6	268.1	264.7	237.4	223.4	222.9	227.8	240.6
11-feb	225.3	239.5	241.9	243.1	237.4	238.3	222.1	220.4	217.0	216.0	214.6	217.0	217.3	217.4	217.6	217.6	209.5	190.4	164.1	163.0	172.1	181.8	197.1	217.1
12-feb	218.9	220.5	224.8	226.5	226.2	224.5	222.2	218.7	204.8	209.0	216.5	220.6	221.8	218.8	219.4	219.2	227.5	215.2	190.1	152.5	165.3	176.7	185.1	190.1
13-feb	199.8	215.5	216.6	216.3	215.9	212.4	200.6	182.9	154.6	182.2	186.7	192.5	196.2	198.5	198.3	196.8	188.2	181.7	161.3	155.3	167.3	181.4	185.7	193.5
14-feb	196.8	200.3	202.5	205.6	203.0	200.5	191.0	184.0	173.2	188.3	195.9	211.7	209.2	215.0	216.4	217.2	213.8	191.9	185.6	159.8	171.9	183.0	192.1	196.6
15-feb	209.0	220.2	225.4	223.9	224.0	223.5	211.8	194.0	191.4	196.5	205.9	201.8	202.8	208.2	212.4	212.3	211.4	209.2	198.5	190.4	194.4	195.2	198.4	201.4
16-feb	206.5	206.9	208.2	213.1	218.0	213.3	205.3	194.5	185.5	193.9	207.2	209.7	216.4	213.3	215.6	215.7	210.1	205.2	189.2	180.5	171.6	182.9	190.9	194.8
17-feb	211.1	213.8	213.2	214.9	217.0	216.3	217.5	213.1	212.2	214.6	218.5	223.5	224.8	224.5	225.8	228.1	224.4	208.9	181.9	159.2	170.0	176.2	180.3	180.3
18-feb	193.5	201.2	205.3	208.0	209.1	207.6	211.6	209.0	208.7	212.7	216.5	222.0	223.1	224.6	225.1	229.2	226.4	214.6	200.7	184.7	183.6	190.5	195.2	200.2
19-feb	215.8	214.3	214.4	216.0	214.9	218.7	214.8	200.6	197.4	213.4	217.8	228.2	229.1	228.8	229.6	232.3	227.7	212.0	198.3	182.2	175.1	184.9	199.8	207.8
20-feb	213.7	219.1	224.8	224.4	224.4	219.4	210.6	195.8	200.6	211.8	229.0	232.8	232.6	232.7	232.8	231.2	229.8	213.9	175.9	172.5	46.6	123.8	191.5	202.2
21-feb	204.7	208.4	211.7	214.8	213.9	207.9	207.4	186.6	179.0	211.1	227.5	229.3	229.2	232.8	234.1	234.2	230.6	224.9	211.1	192.0	201.6	210.4	215.1	223.0
22-feb	240.9	248.5	251.3	251.5	254.9	254.8	248.8	250.8	248.8	251.6	256.2	257.9	264.2	264.5	264.5	264.5	262.3	257.4	256.0	256.2	253.9	252.4	256.0	261.4
23-feb	256.5	263.4	264.6	266.3	265.4	264.6	260.1	254.9	254.7	260.1	264.6	264.6	264.8	268.1	268.6	268.6	268.1	264.4	254.1	249.3	247.1	245.8	251.3	254.0
24-feb	259.4	262.4	264.6	263.4	262.4	262.4	260.9	258.5	259.5	264.0	264.6	268.6	268.6	268.6	268.6	268.6	268.6	264.6	258.3	248.8	228.1	237.5	251.1	256.7
25-feb	263.2	264.6	264.7	264.7	264.6	264.9	264.7	264.8	264.8	264.7	264.7	264.7	268.1	268.1	268.1	268.6	268.6	265.6	264.4	262.4	259.5	259.3	262.1	264.5
26-feb	264.6	264.7	268.5	268.5	268.5	265.6	264.7	254.5	255.3	264.4	264.7	264.6	268.1	268.1	268.6	268.6	268.4	264.6	264.5	255.6	253.3	255.6	262.6	264.3
27-feb	265.3	267.3	268.6	268.6	268.6	268.6	264.5	262.9	262.4	264.5	268.0	268.6	268.6	268.6	268.6	268.6	268.0	266.2	262.7	255.6	236.0	250.7	260.3	261.3
28-feb	264.7	264.6	264.5	264.5	264.6	264.6	264.5	261.3	261.0	264.5	268.0	268.6	268.6	268.6	268.6	268.6	268.6	264.4	255.0	236.3	183.4	206.5	244.4	254.7
29-feb	250.6	256.2	260.5	261.2	261.6	261.3	261.7	255.0	255.4	261.2	264.5	268.5	268.6	268.6	268.6	268.6	268.6	264.7	262.9	259.3	261.3	262.7		264.6

#### **4.5. Descripció funcional del procés**

A continuació, s'explica en detall el funcionament de la nova instal·lació de compressió de vapor del *site*.

A l'entrada de l'àrea de compressió 100, s'alimenta un vapor de baixa pressió al voltant dels 400 mbarg que es troba saturat. Aquest vapor arriba com a excedent de diferents generadors del *site*.

Degut a la importància de no introduir líquid al turbocompressor per evitar danys mecànics, a la seva entrada s'instal·la un *Knock Out Drum*. Aquest equip, que correspon a un *vessel* de 15 m<sup>3</sup> de capacitat, conté en el seu interior un rebliment que en contacte amb el vapor atrapa les possibles gotes que d'altra manera serien arrastrades fins al TC-101.

Al fons del dipòsit hi ha una purga que segueix a una trampa de vapor, permetent que el condensat recollit s'extregui de forma automàtica quan la trampa en detecti la quantitat suficient (trampa de vapor tipus flotador o balancí).

Un cop retirades les possibles gotes de líquid, el vapor entra al turbocompressor. L'equip, del qual no es coneixen exactament els detalls tècnics perquè serà dissenyat per un proveïdor extern a Covestro, converteix el vapor de 400 mbarg en un de mitja pressió de 5.0 barg. Fixant aquest valor de pressió, s'assegura que després d'assolir la temperatura de la xarxa, aquest es podrà connectar per distribuir i reaprofitar en múltiples zones del *site*.

Adicionalment, per assegurar el bon funcionament del turbocompressor, s'inclouen dos sistemes de lubricació. El primer sistema està destinat a la protecció del motor i el reductor i, el segon, als interns i als coixinets de l'eix de rotació. Degut a la variació de temperatura d'ambdós zones, es requereixen dos tipus diferents d'oli. Per al motor i el reductor, l'oli emprat és Reflo 68<sup>TM</sup> i, per als coixinets, Castrol Perfect<sup>®</sup>.

En tots dos sistemes de lubricació es poden trobar bombes lobulars (idònies per a fluids viscosos) i bescanviadors de calor que refreden l'oli amb aigua desmineralitzada per tal d'evitar la formació de precipitats i incrustacions. Les bombes (P-101 i P-102 per al motor, i P-103 i P-104 per als coixinets) es troben duplicades per protegir el TC-101 en cas de d'una fallada sobtada d'una d'elles.

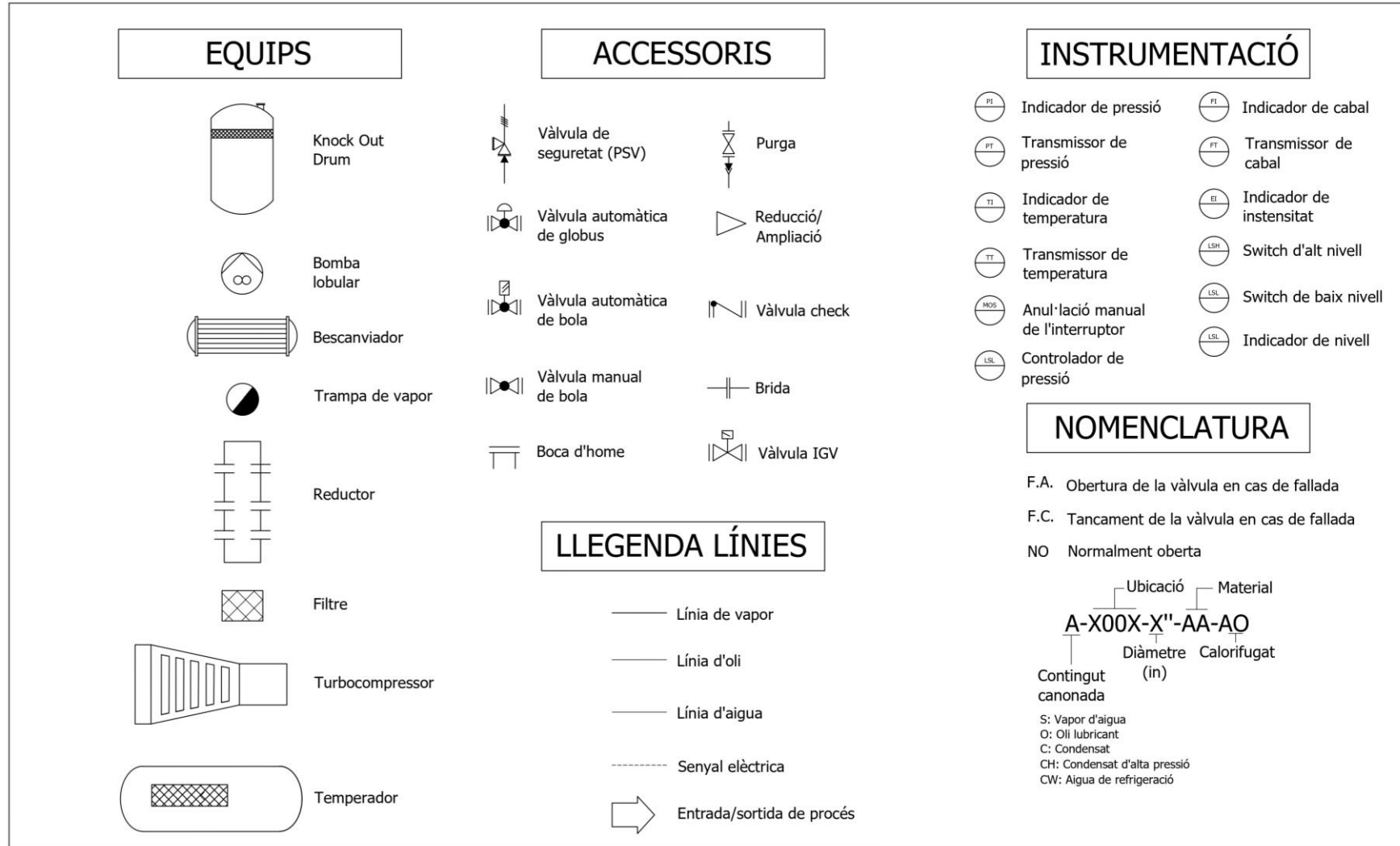
A la sortida del TC-101, el vapor es troba a 310 °C aproximadament. Per assolir la temperatura de 175 °C, s'ha decidit incorporar un temperador que, mitjançant la polvorització d'un corrent de condensat de 10 barg a co-corrent, permet assolir aquesta temperatura.

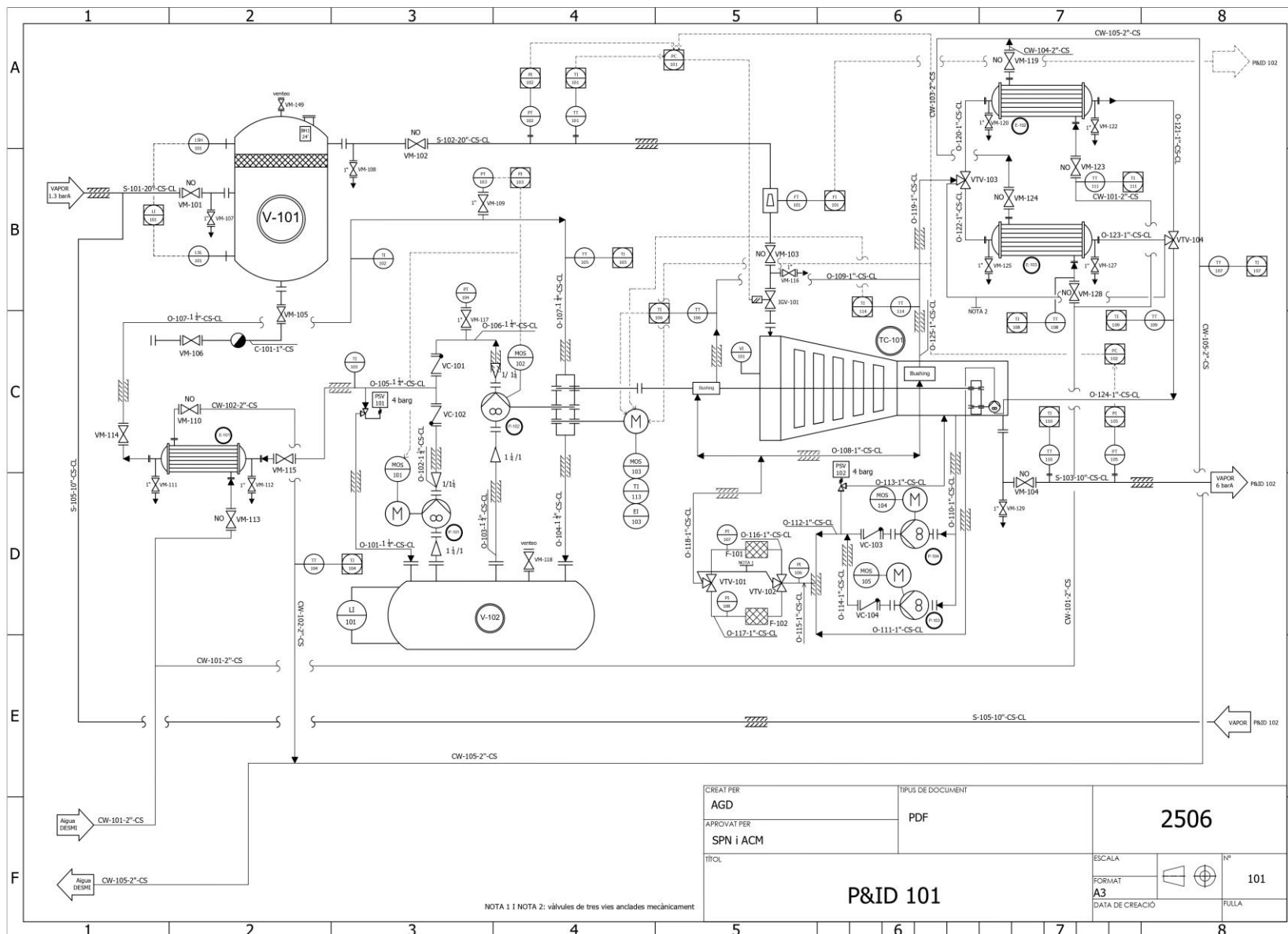
A la sortida del temperador es pot enviar el vapor directament a la xarxa de mitja pressió del *site* o recircular-lo. Aquest corrent de recirculació (S-105) s'utilitza al moment de l'arrancada per assegurar que no s'envia vapor a unes condicions diferents a les de la xarxa i, durant l'operativa, queda completament tancada (a excepció dels casos en què es produeixi bombeig al TC-101).

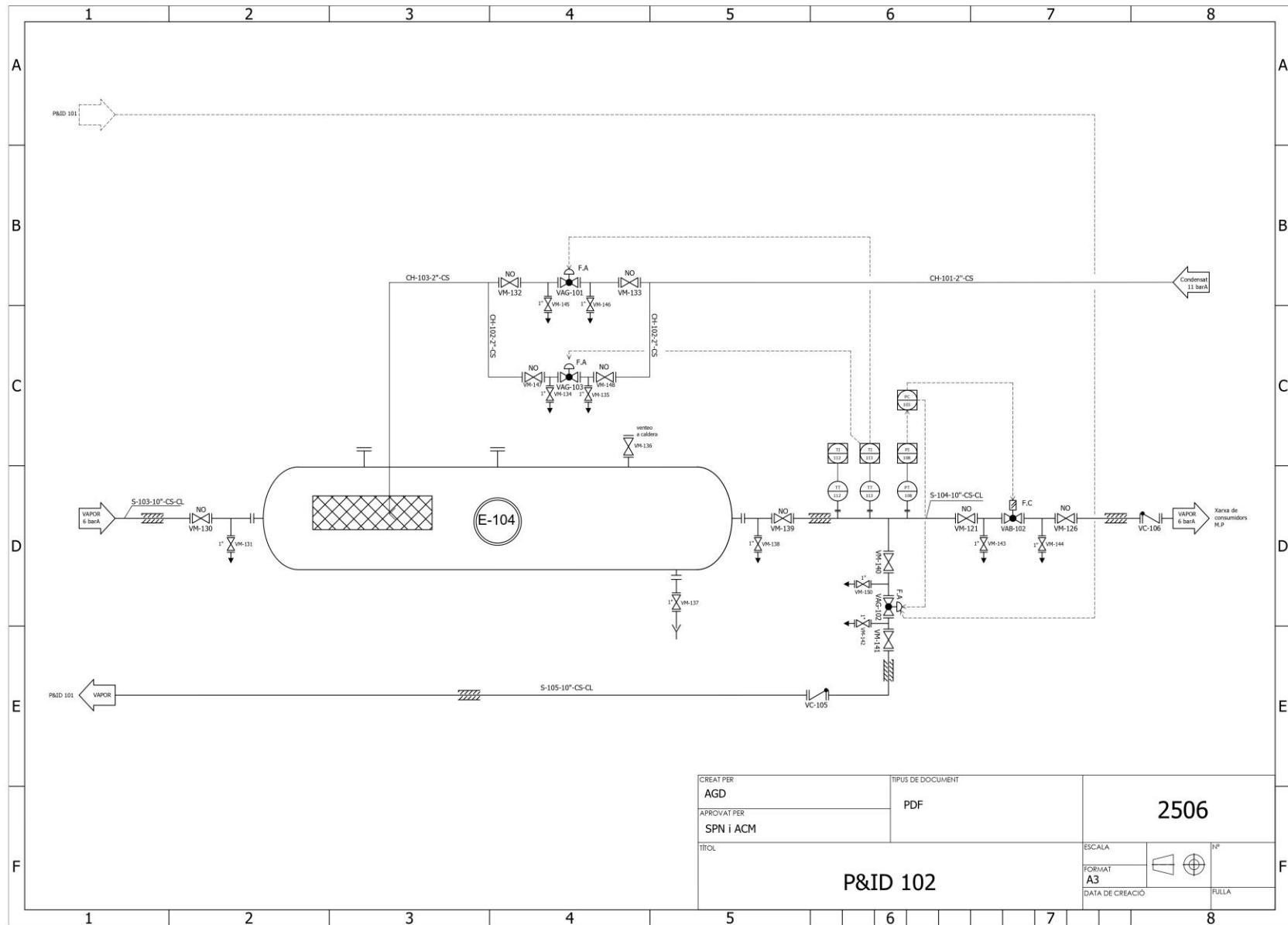


**4.6. P&ID**

A continuació, es mostra el diagrama P&ID del compressor que s'ha dissenyat, juntament amb la seva simbologia.



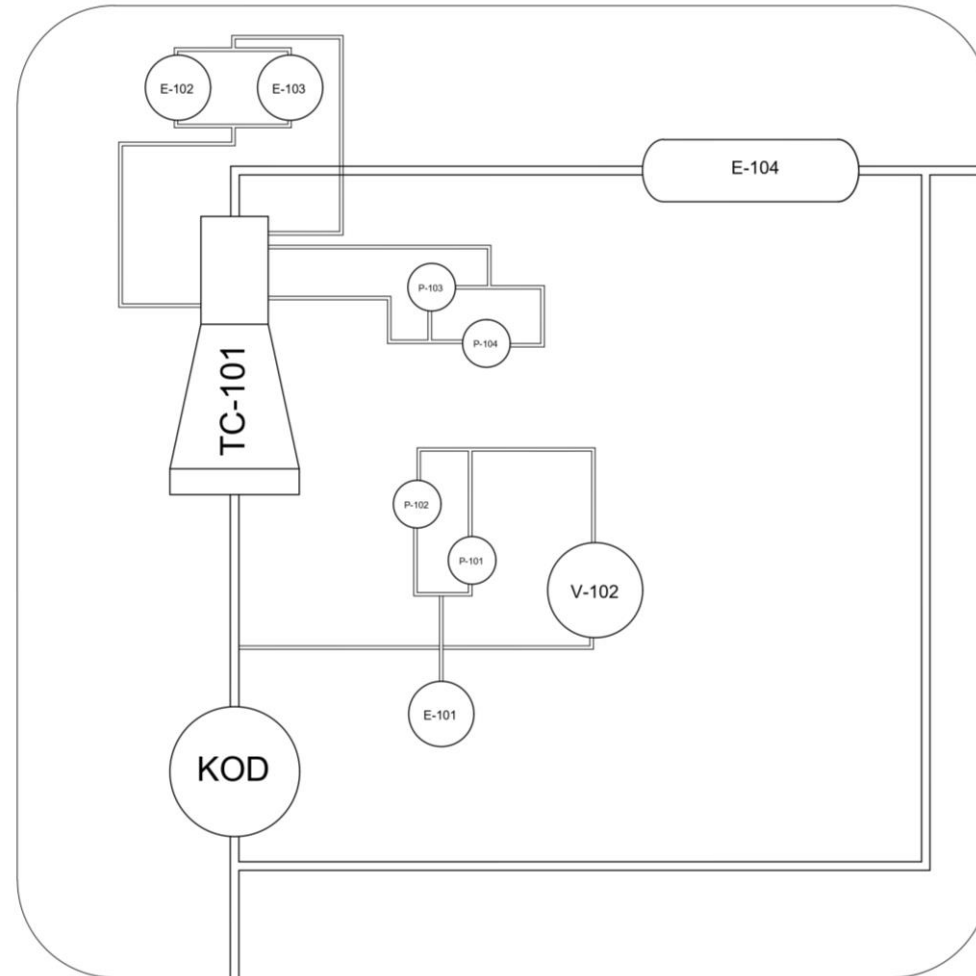




CREAT PER AGD	TIPUS DE DOCUMENT PDF	2506	
APROVAT PER SPN i ACM		ESCALA A3	Nº
TITOL P&ID 102		FORMAT A3	FULLA
		DATA DE CREACIÓ	



#### 4.7. Layout de la unitat de compressió



*Figura 4.7. Layout de la unitat de compressió*

#### 4.8. Disseny i llistat de canonades

Les canonades de la instal·lació han estat dissenyades tenint en compte les velocitats del fluid que passa per aquestes, i el principi de continuïtat.

$$Q = v \cdot A \quad (\text{E.4.7})$$

On:

Q és el cabal en m<sup>3</sup>/s

v és la velocitat del fluid en m/s

A és l'àrea de pas en m<sup>2</sup>

A l'Annex A.5 es pot veure el càlcul en detall.

En el cas del vapor, degut a què està en fase gas, s'ha estimat la velocitat de disseny en 15 m/s. Pel que fa a l'aigua de refrigeració, a l'oli de lubricació i al condensat d'alta pressió, s'ha estimat la velocitat en 1 m/s. Tot i així, el càlcul del diàmetre interior, només s'ha dut a terme per a les canonades de vapor, ja que, les de l'aigua de refrigeració, i les de condensat ja venen definides pel propi *site*. El diàmetre de les línies de l'oli de lubricació serà especificat pel fabricant un cop el projecte s'aprovi i tiri endavant.

Una vegada s'han determinat els diàmetres de les canonades, s'ha trobat el gruix d'aquestes mitjançant un *Schedule* de canonades de procés [26].

El material seleccionat per a totes les línies és acer al carboni ASTM A106, ja que els fluids no presenten un risc elevat de corrosió i el cost és inferior respecte acers o aliatges inoxidable. Aquestes canonades aniran calorifugades amb llana de roca, que tot i que pot absorbir més aigua que el vidre cel·lular és més barata i és més adequada per aquest tipus de canonades.

El gruix d'aquest calorifugat es determina mitjançant el *Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios* extret del document "Aislamiento de tuberías" [27].

Degut a què no es pot determinar el contingut de cada canonada per la seva aparença, és necessari emprar un codi de colors que permet identificar el fluid que hi circula. Aquest codi segueix la normativa ANSI A13.1 Standard Label Colors (*American National Standards Institute*), el qual pot ser consultat a la bibliografia [28].

Les canonades es regeixen per una normativa que ha de ser aplicada per complir els requeriments bàsics de disseny. És per això que s'ha escollit la normativa ASME (*American Society of Mechanical Engineers*) per determinar els codis de cada canonada segons el fluid que hi circula i la funció d'aquesta.

La taula següent mostra els codis emprats.

**Taula 4.2.** Codis ASME [29]

Codi	Funció
ASME B31.1	Canonades de plantes de generació
ASME B31.3	Canonades de procés industrial
ASME B31.5	Canonades de refrigeració i transferència de calor
ASME B31.8	Canonades per gasos i xarxa de servei

A la pàgina següent es mostra el llistat de canonades, així com les seves característiques.



Taula 4.3. Disseny i llistat de canonades

Nº de línia	Material	DN (in)	Piping Spec. Code	P&ID	From	To	Fluid	Fase	T operació (°C)	Tmin (°C)	Tmàx (°C)	P operació (barA)	P disseny (barA)	T disseny (°C)	SCH	Gruix canonada (mm)	Material aïllant	Gruix aïllant (mm)	Basic Colour	Safety Colour
S-101-20"-CS-CL	CS ASMT106	20	B31.8	101	Col·lector vapor de baixa	V-101	Vapor saturat	Gas	110	95	115	130	0.4	0.44	40	15.09	Llana de roca	120	04-D-45	04-D-45
S-102-20"-CS-CL	CS ASMT106	20	B31.8	101	V-101	TC-101	Vapor saturat	Gas	110	95	115	130	0.4	0.44	40	15.09	Llana de roca	120	04-D-45	04-D-45
S-103-10"-CS-CL	CS ASMT106	10	B31.8	101	TC-101	E-104	Vapor saturat	Gas	310	300	320	330	5	5.5	40	9.27	Llana de roca	150	04-D-45	04-D-45
S-104-10"-CS-CL	CS ASMT106	10	B31.8	102	E-104	Xarxa consumidors M.P	Vapor saturat	Gas	200	158	200	220	5	5.5	40	9.27	Llana de roca	120	04-D-45	04-D-45
S-105-10"-CS-CL	CS ASMT106	10	B31.8	102	E-104	V-101	Vapor saturat	Gas	200	158	200	220	5	5.5	40	9.27	Llana de roca	120	04-D-45	04-D-45
O-101-1 1/4"-CS-CL	CS ASMT106	1	B31.1	101	V-102	O-105-1 1/4-CS-CL	Oli lubricant	Líquid	130	110	120	150	5	5.5	10	2.77	Llana de roca	40	06-C-39	22-D-45
O-102-1 1/4"-CS-CL	CS ASMT106	1 - 1/4	B31.1	101	V-102	O-105-1 1/4-CS-CL	Oli lubricant	Líquid	130	110	120	150	5	5.5	10	2.77	Llana de roca	50	06-C-39	22-D-45
O-103-1 1/4"-CS-CL	CS ASMT106	1 - 1/4	B31.1	101	V-102	P-102	Oli lubricant	Líquid	130	110	120	150	5	5.5	10	2.77	Llana de roca	50	06-C-39	22-D-45
O-104-1 1/4"-CS-CL	CS ASMT106	1 - 1/4	B31.1	101	V-102	Reductor	Oli lubricant	Líquid	130	110	120	150	5	5.5	10	2.77	Llana de roca	50	06-C-39	22-D-45
O-105-1 1/4"-CS-CL	CS ASMT106	1 - 1/4	B31.1	101	VC-101/102	E-101	Oli lubricant	Líquid	130	110	120	150	5	5.5	10	2.77	Llana de roca	50	06-C-39	22-D-45
O-106-1 1/4"-CS-CL	CS ASMT106	1 - 1/4	B31.1	101	P-102	VC-101	Oli lubricant	Líquid	130	110	120	150	5	5.5	10	2.77	Llana de roca	50	06-C-39	22-D-45
O-107-1 1/4"-CS-CL	CS ASMT106	1 - 1/4	B31.1	101	E-101	Reductor	Oli lubricant	Líquid	130	110	120	150	5	5.5	10	2.77	Llana de roca	50	06-C-39	22-D-45
O-108-1"-CS-CL	CS ASMT106	1	B31.1	101	O-118-1"-CS-CL	Coixinets	Oli lubricant	Líquid	130	110	120	150	5	5.5	10	2.77	Llana de roca	40	06-C-39	22-D-45
O-109-1"-CS-CL	CS ASMT106	1	B31.1	101	coixinet	O-119-1"-CL-CS	Oli lubricant	Líquid	130	110	120	150	5	5.5	10	2.77	Llana de roca	40	06-C-39	22-D-45
O-110-1"-CS-CL	CS ASMT106	1	B31.1	101	TC-101	P-103	Oli lubricant	Líquid	130	110	120	150	5	5.5	10	2.77	Llana de roca	40	06-C-39	22-D-45



**Taula 4.4.** Disseny i llistat de canonades (continuació)

Nº de línia	Material	DN (in)	Piping Spec. Code	P&ID	From	To	Fluid	Fase	T operació (°C)	Tmin (°C)	Tmàx (°C)	P operació (barA)	P disseny (barA)	T disseny (°C)	SCH	Gruix canonada (mm)	Material aïllant	Gruix aïllant (mm)	Basic Colour	Safety Colour
O-111-1"-CS-CL	CS ASMT106	1	B31.1	101	TC-101	P-103	Oli lubricant	Líquid	130	110	120	150	5	5.5	10	2.77	Llana de roca	40	06-C-39	22-D-45
O112-1"-CS-CL	CS ASMT106	1	B31.1	101	VC-103	O-115-1"-CS-CL	Oli lubricant	Líquid	130	110	120	150	5	5.5	10	2.77	Llana de roca	40	06-C-39	22-D-45
O-113-1"-CS-CL	CS ASMT106	1	B31.1	101	PSV-102	TC-101	Oli lubricant	Líquid	130	110	120	150	5	5.5	10	2.77	Llana de roca	40	06-C-39	22-D-45
O-114-1"-CS-CL	CS ASMT106	1	B31.1	101	VC-103	O-112-1"-CS-CL	Oli lubricant	Líquid	130	110	120	150	5	5.5	10	2.77	Llana de roca	40	06-C-39	22-D-45
O-115-1"-CS-CL	CS ASMT106	1	B31.1	101	O-111-1"-CS-CL / O-112-1"-CS-CL	VTV-102	Oli lubricant	Líquid	130	110	120	150	5	5.5	10	2.77	Llana de roca	40	06-C-39	22-D-45
O-116-1"-CS-CL	CS ASMT106	1	B31.1	101	VTV-102	VTV-101	Oli lubricant	Líquid	130	110	120	150	5	5.5	10	2.77	Llana de roca	40	06-C-39	22-D-45
O-117-1"-CS-CL	CS ASMT106	1	B31.1	101	VTV-102	VTV-101	Oli lubricant	Líquid	130	110	120	150	5	5.5	10	2.77	Llana de roca	40	06-C-39	22-D-45
O-118-1"-CS-CL	CS ASMT106	1	B31.1	101	VTV-101	O-108-1"-CS-CL	Oli lubricant	Líquid	130	110	120	150	5	5.5	10	2.77	Llana de roca	40	06-C-39	22-D-45
O-119-1"-CS-CL	CS ASMT106	1	B31.1	101	O-109-1"-CS-CL	VTV-103	Oli lubricant	Líquid	130	110	120	150	5	5.5	10	2.77	Llana de roca	40	06-C-39	22-D-45
O-120-1"-CS-CL	CS ASMT106	1	B31.1	101	VTV-103	E-102	Oli lubricant	Líquid	130	110	120	150	5	5.5	10	2.77	Llana de roca	40	06-C-39	22-D-45
O-121-1"-CS-CL	CS ASMT106	1	B31.1	101	E-102	VTV-104	Oli lubricant	Líquid	130	110	120	150	5	5.5	10	2.77	Llana de roca	40	06-C-39	22-D-45
O-122-1"-CS-CL	CS ASMT106	1	B31.1	101	VTV-103	E-103	Oli lubricant	Líquid	130	110	120	150	5	5.5	10	2.77	Llana de roca	40	06-C-39	22-D-45
O-123-1"-CS-CL	CS ASMT106	1	B31.1	101	E-103	VTV-104	Oli lubricant	Líquid	130	110	120	150	5	5.5	10	2.77	Llana de roca	40	06-C-39	22-D-45
O-124-1"-CS-CL	CS ASMT106	1	B31.1	101	VTV-104	TC-101	Oli lubricant	Líquid	130	110	120	150	5	5.5	10	2.77	Llana de roca	40	06-C-39	22-D-45
O-125-1"-CS-CL	CS ASMT106	1	B31.1	101	coixinet	O-109-1"-CS-CL	Oli lubricant	Líquid	130	110	120	150	5	5.5	10	2.77	Llana de roca	40	06-C-39	22-D-45



Taula 4.5. Disseny i llistat de canonades (continuació)

Nº de línia	Material	DN (in)	Piping Spec. Code	P&ID	From	To	Fluid	Fase	T operació (°C)	Tmin (°C)	Tmàx (°C)	P operació (barA)	P disseny (barA)	T disseny (°C)	SCH	Gruix canonada (mm)	Material aïllant	Gruix aïllant (mm)	Basic Colour	Safety Colour
CW-101-2"-CS	CS ASMT106	2	B31.5	101	Utilities	E-101 / E-102 / E-103	Aigua desmineralitzada	Líquid	30	30	5	50	5	5.5	40	3.91	-	-	14-E-53	20-E-51
CW-102-2"-CS	CS ASMT106	2	B31.5	101	E-101	CW-105-2"-CS	Aigua desmineralitzada	Líquid	30	30	5	50	5	5.5	40	3.91	-	-	14-E-53	20-E-51
CW-103-2"-CS	CS ASMT106	2	B31.5	101	E-103	CW-105-2"-CS	Aigua desmineralitzada	Líquid	30	30	5	50	5	5.5	40	3.91	-	-	14-E-53	20-E-51
CW-104-2"-CS	CS ASMT106	2	B31.5	101	E-102	CW-105-2"-CS	Aigua desmineralitzada	Líquid	30	30	5	50	5	5.5	40	3.91	-	-	14-E-53	20-E-51
CW-105-2"-CS	CS ASMT106	2	B31.5	101	CW-103-2"-CS / CW-104-2"-CS	Utilities	Aigua desmineralitzada	Líquid	30	30	5	50	5	5.5	40	3.91	-	-	14-E-53	20-E-51
C-101-1"-CS	CS ASMT106	1	B31.3	101	V-101	Drain	Condensat	Líquid	110	100	120	130	0.4	0.44	40	3.38	Llana de roca	40	14-E-53	20-E-51
CH-101-2"-CS-CL	CS ASMT106	2	B31.3	102	Xarxa condensat 10 bar	VAG-101	Condensat 10 bar	Líquid	150	140	160	170	10	11	40	3.91	Llana de roca	50	14-E-53	20-E-51
CH-102-2"-CS-CL	CS ASMT106	2	B31.3	102	CH-101-2"-CS-CL	CH-103-2"-CS-CL	Condensat 10 bar	Líquid	150	140	160	170	10	11	40	3.91	Llana de roca	50	14-E-53	20-E-51
CH-103-2"-CS-CL	CS ASMT106	2	B31.3	102	VAG-101	E-104	Condensat 10 bar	Líquid	150	140	160	170	10	11	40	3.91	Llana de roca	50	14-E-53	20-E-51

#### 4.9. Disseny i llistat d'equips

A continuació, s'exposen els dissenys i/o les fitxes tècniques dels equips principals de la instal·lació de compressió.

##### 4.9.1. Disseny del turbocompressor i el temperador

Pel que fa al turbocompressor i al temperador, a causa de què es tracta encara d'un projecte preliminar, no es té un disseny específic. S'han determinat les dades generals i s'ha obtingut una oferta d'un proveïdor, tot i això, el model no s'ajustava a la demanda i s'ha demanat una altra oferta. Per aquest motiu, més endavant, el mateix fabricant facilitarà el model adequat juntament amb la seva *data sheet*.

##### 4.9.2. Disseny del Knock Out Drum

El vapor passa pel *Knock Out Drum* amb la finalitat de extreure tot aquell líquid que pugui haver arrossegat el vapor abans d'entrar al compressor. El cabal d'entrada és de 6.62 Tm/h i s'ha considerat que el temps de residència del vapor en aquest equip és de 5 segons. Amb aquesta informació, s'ha calculat el volum necessari.

En primer lloc, s'ha calculat la densitat del vapor d'aigua a 0.4 barg i 110 °C, que són les condicions d'entrada.

$$\rho_{\text{vap}} = \frac{P \cdot M_m}{R \cdot T} = \frac{140000 \cdot 18}{8314 \cdot (110 + 273.15)} = 0.791 \text{ kg/m}^3 \quad (\text{E.4.8})$$

On:

- P (Pa): Pressió absoluta
- Mm (kg/kmol): Massa molar
- R (J/kmol·K): Constant dels gasos ideals
- T (K): Temperatura

Amb la densitat ja s'ha pogut calcular el cabal volumètric:

$$Q_{\text{vap}} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) = \frac{Q_{\text{vap}} \left( \frac{\text{kg}}{\text{h}} \right)}{\rho_{\text{vap}} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = \frac{6.72 \cdot 1000}{0.791 \cdot 3600} = 2.325 \text{ m}^3/\text{s} \quad (\text{E.4.9})$$

Sabent que el temps de residència són 5 segons:

$$V_{\text{vap}} (\text{m}^3) = Q_{\text{vap}} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) \cdot t_r (\text{s}) = 2.325 \cdot 5 = 11.62 \text{ m}^3 \quad (\text{E.4.10})$$

Per seguretat, el tanc mai treballarà a un 100% de la seva capacitat, així que s'ha imposat un percentatge màxim d'emplenat del 80%.

$$V_{\text{tanc}} = \frac{11.62}{0.8} = 14.53 \text{ m}^3 \rightarrow \text{Es dissenya de } 15 \text{ m}^3 \quad (\text{E.4.11})$$

El tanc estarà instal·lat verticalment i format per un cilindre amb dos capçals semiesfèrics als extrems. Sabent el volum i imposant un diàmetre de 2 metres, es calculen les dimensions del tanc:

$$V_{\text{tot}} = V_{\text{cil}} + 2V_{\text{semiesfera}} = \pi \cdot r^2 \cdot L_{\text{cil}} + \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \quad (\text{E.4.12})$$

$$V_{\text{tot}} = \pi \cdot 1^2 \cdot L_{\text{cil}} + \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot 1^3 = 15 \text{ m}^3 \rightarrow L_{\text{cil}} = 3.45 \text{ m} \approx 3.5 \text{ m}$$

$$L_{\text{total}} = L_{\text{cil}} + 2 \cdot r = 3.45 + 2 \cdot 1 = 5.45 \text{ m} \approx 5.5 \text{ m}$$

Les dimensions del tanc, per tant, seran les mostrades a la taula següent.

**Taula 4.6.** Dimensions del *Knock Out Drum*

Paràmetre	Valor
Volum del tanc (m <sup>3</sup> )	15
Longitud del cilindre (m)	3.5
Longitud dels dos capçals (m)	2
Longitud total (m)	5.5
Diàmetre (m)	2

Per calcular el gruix, s'ha de determinar la pressió de disseny de l'equip. En aquest cas, s'ha decidit que sigui de 5.5 barg, que equivalen a 0.55 MPa, ja que hi ha la possibilitat que una fallada del sistema faci que arribi vapor del compressor a 5 barg.

Per altra banda, també és necessari conèixer l'estrès admissible a la temperatura d'operació (110 °C). Aquesta dada es busca a la taula d'esforços permissibles per al material ASTM A516 Gr.70 segons l'ASME BPVC Secció II-Part D [30].

**Taula 4.7.** Estrès màxim permès (MPa) segons la temperatura d'operació (°C)

250 o inferior	300	325	350	400	425	450	475	500
138	136	132	128	123	101	83.8	67.1	51.0

En el cas estudiat, la temperatura d'operació és de 110 °C, així que el valor de l'estrès màxim permès ( $S_{adm}$ ) serà de 138 MPa. A més a més, les soldadures del recipient seran sotmeses a assajos no destructius aleatoris ( $E=0.85$ ) i el gruix per corrosió escollit ha estat de 3.18 mm (1/8"). Amb aquestes dades, es calcula el gruix del cilindre, que de les dues formes de càlcul s'utilitzarà aquella que tingui com a resultat el valor més elevat, i el gruix de capçal. A ambdós valors se li ha de sumar el gruix de corrosió.

$$t_{cil} = \frac{P_d \cdot R}{SE - 0.6P_d} + t_c = \frac{0.55 \cdot 1 \cdot 10^3}{138 \cdot 0.85 - 0.6 \cdot 0.55} + 3.18 = \mathbf{8.74 \text{ mm valor més gran}} \quad (E.4.13)$$

$$t_{cil} = \frac{P_d \cdot R}{2SE + 0.4P_d} + t_c = \frac{0.55 \cdot 1 \cdot 10^3}{2 \cdot 138 \cdot 0.85 + 0.4 \cdot 0.55} + 3.18 = 5.52 \text{ mm} \quad (E.4.14)$$

$$t_{cap} = \frac{P_d \cdot R}{2SE - 0.2P_d} + t_c = \frac{0.55 \cdot 1 \cdot 10^3}{2 \cdot 138 \cdot 0.85 - 0.2 \cdot 0.55} + 3.18 = \mathbf{5.53 \text{ mm}} \quad (E.4.15)$$

Els gruixos comercials escollits són:

$$t_{cil} = 7.9 \text{ mm (3/8") i } t_{cap} = 6.3 \text{ mm (1/4")}$$

Per saber la pressió màxima admissible, s'aïllarà la pressió de la fórmula utilitzada per calcular el gruix, tenint en compte que el gruix de paret és el comercial escollit anteriorment. Es pren la MAWP més petita, per assegurar que totes les parts del tanc la podran suportar.

$$t_{\text{cil}} = \frac{\text{MAWP} \cdot R}{SE - 0.6 \text{MAWP}} + t_c = \frac{\text{MAWP} \cdot 1 \cdot 10^3}{138 \cdot 0.85 - 0.6 \cdot \text{MAWP}} + 3.18 = 9.5 \text{ mm} \rightarrow \text{MAWP} = 0.74 \text{ MPa} \quad (\text{E.4.16})$$

$$t_{\text{cap}} = \frac{\text{MAWP} \cdot R}{2SE - 0.2 \text{MAWP}} + t_c = \frac{\text{MAWP} \cdot 1 \cdot 10^3}{2 \cdot 138 \cdot 0.85 - 0.2 \cdot \text{MAWP}} + 3.18 = 6.3 \text{ mm} \rightarrow \text{MAWP} = \mathbf{0.73 \text{ MPa}} \quad (\text{E.4.17})$$

La pressió per prova hidràulica es calcula respecte la MAWP i s'utilitza l'estrès admissible a la temperatura a la que es realitza la prova (25°C).

$$P_H = 1.3 \cdot \text{MAWP} \cdot \left( \frac{S_{T\text{prova}(25^\circ\text{C})}}{S_{T\text{operació}(224^\circ\text{C})}} \right) = 1.3 \cdot 0.73 \cdot \left( \frac{138}{138} \right) = 0.95 \text{ MPa} \quad (\text{E.4.18})$$

Finalment, s'ha calculat el volum de material necessari per als capçals i el cilindre i, amb la densitat, s'ha trobat el pes del tanc.

$$V_{\text{metall capçals}} = \left( \frac{2}{3} \pi \cdot ((R + t_{\text{cap}})^3 - R^3) \right) \cdot 2 = \left( \frac{2}{3} \pi \cdot ((1 + 6.3 \cdot 10^{-3})^3 - 1^3) \right) \cdot 2 = 0.080 \text{ m}^3 \quad (\text{E.4.19})$$

$$V_{\text{metall cilindre}} = L_{\text{cil}} \cdot \pi \cdot ((R + t_{\text{cil}})^2 - R^2) = 13 \cdot \pi \cdot ((1 + 7.9 \cdot 10^{-3})^2 - 1^2) = 0.17 \text{ m}^3 \quad (\text{E.4.20})$$

$$\text{Pes}_{\text{tancbuit}} = (0.080 + 0.17) \text{ m}^3 \cdot 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 1972 \text{ kg} = 1.97 \text{ tones} \quad (\text{E.4.21})$$

$$\text{Pes}_{\text{tanc+aigua}} = (0.080 + 0.21) \text{ m}^3 \cdot 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} + 15 \text{ m}^3 \cdot 997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 16927 \text{ kg} = 16.9 \text{ tones} \quad (\text{E.4.22})$$

A la taula següent es mostren els resultats finals. Totes les pressions són absolutes.

**Taula 4.8.** Resultats del disseny del *Knock Out Drum*

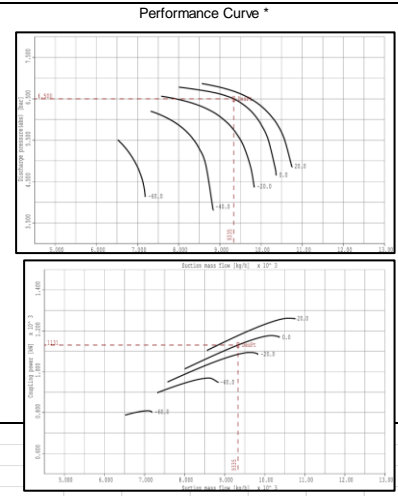
Paràmetre	Valor
Gruix del cilindre (mm)	9.5
Gruix dels capçals (mm)	6.3
Pressió d'operació (MPa)	1.4
Pressió de disseny (MPa)	0.65
MAWP (MPa)	0.73
Pressió de la prova hidràulica (MPa)	0.95
Pes del tanc (tones)	1.97
Pes del tanc ple d'aigua (tones)	16.9

4.9.3. Data sheet del Knock Out Drum

1	GENERAL					Manufacturer:							
2	GENERAL					Item: V-101							
3	GENERAL					Description: Knock Out Drum		Position:		Horiz.	X	Vertical	
4	OPERATING					Product: Vapor							
5	OPERATING					Operating Pressure (eff.)		0.4	kg/cm <sup>2</sup> g				
6	OPERATING					Operating Temperature		110	°C				
7	OPERATING					Vapor Density		0.79	kg/m <sup>3</sup>				
8	DESIGN DATA					Design Pressure (eff.)		5.5	kg/cm <sup>2</sup> g				
9	DESIGN DATA					Design Temperature		150	°C				
10	DESIGN DATA					Hydrostatic Test (eff.)		8.5	kg/cm <sup>2</sup> g				
11	DESIGN DATA					Corr. Allow.	Shell / Heads	3.18	mm				
12	DESIGN DATA					Joint Eff.	Shell / Heads	0.85					
13	DESIGN DATA					Code:		ASME VIII Div. 1					
14	DESIGN DATA					Radiograph:		Sí					
15	DESIGN DATA					Stress Relieve:		Yes	X	No			
16	DESIGN DATA					Seismic:		No					
17	DESIGN DATA					Wind Load:		N/A	N/m <sup>2</sup>				
18	DESIGN DATA					Hydrostatic Test (eff.)		8.5	kg/cm <sup>2</sup> g				
19	MATERIALS					Thickness		Mat 1 Class					
20	MATERIALS					Shell	7.9 mm	ASTM A516 Gr.70					
21	MATERIALS					Heads	6.3 mm	ASTM A516 Gr.70					
22	MATERIALS					Lining	- mm	N/A					
23	MATERIALS					Nozzle Necks	9.5 mm	ASTM A106 Gr. B					
24	MATERIALS					Flanges	- (N/A)	ASTM A105 (CS frojat)					
25	CONSTRUCTION					Dia.		L / H	Material				
26	CONSTRUCTION					Shell	2	3.5	ASTM A516 Gr.70				
27	CONSTRUCTION					Heads	2	2 · 1=2	ASTM A516 Gr.70				
28	CONSTRUCTION					Insulation:		X	Yes	No			
29	CONSTRUCTION					Fireproofing:			Yes	X	No		
30	CONSTRUCTION					Sandblast:		X	Yes	No			
31	CONSTRUCTION					Paint:		X	Yes	No			
32	CONSTRUCTION					Wt. Empty:		2246		kg			
33	CONSTRUCTION					Wt. Full Water:		17201		kg			
34	N					Service	Mark	Nº	Size	Rating			
35	O					Boca d'home	BH	1	24"				
36	Z					Entrada de vapor	E	1	20"				
37	N					Sortida de vapor	S	1	20"				
38	L					Purga de condensat	S	1	1"				
39	E					Venteig	S	1	1"				
40	S					switch de nivell	LSL-101	1	1/2"				
41	C					switch de nivell	LSH-101	1	1/2"				
42	H												
43	E												
44	D												
45	U												
46	L												
47	E												
48													
49													
					NOTES:								
					UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química Departament d'Enginyeria Química								
0	18/05/2025	Sara Panella Navarro	Aida Galindo Domènech i Àurea Caravaca Martí										
REV.	DATE	PREP.	APPR.										

4.9.4. Data sheet preliminar del turbocompressor

1	GENERAL	Item:	TC-101						
2		Service:							
3		Manufacturer:	Pending						
4		Quantity	1						
5		Type:	Turbocompressor			Model:			
6	SERVICE	Vapor or Gas Handled							Drawing*
7		Component 1	Water Steam		100	%			
8		Component 2					%		
9		Component 3					%		
10		Component 4					%		
11		Molecular wt.		18			kg/kmol		
12		Density					kg/m <sup>3</sup>		
13		Viscosity					cP		
14		Critical Press. (eff.)					kg/cm <sup>2</sup> g		
15		Critical Temp.					°C		
16		Cp/Cv							
17		Compressibility							
18		Suction Conditions							
19		Weight Flow		6,5-10 <sup>3</sup>			kg/h		
20		Volume Flow					Nm <sup>3</sup> /h		
21		Pressure		0,4			kg/cm <sup>2</sup> g		
22		Temperature		Saturated			°C		
23		Discharge Conditions							
24		Pressure		5			kg/cm <sup>2</sup> g		
25		Dif. Pressure		4,6			kg/cm <sup>2</sup>		
26		Mechanical Efficiency		*			%		
27		Power (including Gear Loss)		*			kW		
28		Rot. freq.		*			s <sup>-1</sup>		
29		Surge at capacity					%		
30		Number of Stages		*					
31	Code		ASME VIII Div.1						
32	Case Design Pressure		6			kg/cm <sup>2</sup> g			
33	Impeller Type		*						
34	Diameter		*			mm			
35	Seal Type		*						
36	Lubrication System:								
37	Hydrostatic Test Pressure (eff.)					kg/cm <sup>2</sup> g			
38	MATERIALS	Casing & Covers:	*	Thick. / Dia.		Mat'l Class			
39		Shaft:	*	mm		Carbon steel	*		
40		Shaft Sleeves:	*	mm		*			
41		Impeller Hubs & Covers:	*	mm		*			
42		Impeller Vanes	*	mm		*			
43		Intercooler:	*			*			
44		Aftercooler	No						
45	BATTERY LIMITS	Service		Mark	Nº	Size	Rating	NOTES: * dades que seràn proporcionades pel proveïdor un cop arriba l'oferta definitiva	
46		Suction		A			20		
47		Discharge		B			10		
48		Cooling Water in		C			2		
49		Cooling Water out		D			2		
50				E					
51			F						
52	UTILITIES	Electricity (Motor Driver)						Performance Curve *	
53		Mechanical Data:							
54		Estimated Power Req'd:			715		kW		
55		Proposed Motor Size			*		kW		
56		Rot. freq.			50		s-1		
57		Electrical Data:			*				
58		Voltage			6000		V		
59		Phase			3				
60		Frequency			50		Hz		
61		Full load Current			*		A		
62	Cooling Water								
63	Temp. Inlet			30		°C			
64	Temp. Outlet			35		°C			
65	Pressure, Normal			5		kg/cm <sup>2</sup> g			
66	Design			6		kg/cm <sup>2</sup> g			
67	Wt. of Compressor (Less Base)			*		kg			
68	Wt. of Driver			*		kg			
69									
70									
71									
72	MISCEL								
73									
74									
75									
		DATE		PREP.		APPR.			
0									
REV.									



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

4.9.5. Data sheet preliminar de les bombes

1	Nº OF PUMPS	RUN:	4	SPARE:	2
2	SERVICE	Bombeig d'oli de lubricació			
3					
4					
5	FLUID PUMPED	Oli de lubricació			
6	OPER.TEMP	120-140	°C		
7	DENSITY	800-819	kg/m <sup>3</sup>		
8	VISCOSITY	4.41-6.32	cP		
9	VAPOR PRESS.	0.02	bar (abs)		
10	NORM.CAPACITY	1.8	m <sup>3</sup> /h		
11	MAX.CAPACITY	5.7	m <sup>3</sup> /h		
12					
13	<b>SUCTION CONDITIONS</b>				
14	TOTAL SUCT.PR.,	10	kg/cm <sup>2</sup> g		
15	NPSH (m.w.c.)	1.3	m		
16					
17	<b>DISCHARGE CONDITIONS</b>				
18	LIQUID HEAD	10	kg/cm <sup>2</sup> g		
19	TOTAL DISCH.PR.,	10	kg/cm <sup>2</sup> g		
20	DIFF.PRESSURE	10	kg/cm <sup>2</sup>		
21	DIFF.HEAD (m.w.c.)	100	m		
22	<b>PUMP REQUIREMENTS</b>				
23	TYPE PUMP	SLR 1-25 (bomba de lòbuls)			
24	ESTIMATED EFF.	65	%		
25	ESTIMATED Rot.freq.	950	s-1		
26	ESTIMATED Power	0.55 - 7.5	kW		
27	TYPE DRIVER	electric			
28	STEAM (abs.)	N/A	kg/cm <sup>2</sup> g	N/A	°C
29	ELECTRICITY	V: 400	PH: 3	50 Hz	
30					
31					
32	<b>PUMP MATERIALS</b>				
33	CASE	AISI 316L			
34	IMPELLER	AISI 316L			
35	SHAFT	AISI 316L			
36	SHAFT SLEEVE	AISI 316L			
37	SEAL/PACKING	EPDM			
38	PISTON	AISI 316L			
39					
40	Nozzles	Mark	Nº	Dia.	Rating
41	Suction				
42	Discharge				
43					
44					
45	0	18/05/2025	Àurea Caravaca Martí	Sara Panella Navarro i Aida Galindo Domènech	
46	REV.	DATE	PREP.	APPR.	
47					

Pump Curve

Degut que una bomba lobular no té una corba, si no que aquesta es recta, es deixa a continuació la fitxa del proveïdor que permet consultar tota la informació d'aquesta:

[01.500.33.01ES.pdf](http://01.500.33.01ES.pdf)

Gen.Arr.Drawin

PUMP	DN	a			b	c
		DIN 11851	SMS	CLAMP		
SLR 1-25	25 / 1"	94.5	91.5	94	280	186

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

4.9.6. Data sheet preliminar del temperador

1	GENERAL	Manufacturer:					
2		Item:	E-104				
3		Description:	Attemperator		Position:	<input checked="" type="checkbox"/> Horiz.	<input type="checkbox"/> Vertical
4	OPERATING DATA	Product:	Vapor				
5		Operating Pressure (eff.)	10	kg/cm <sup>2</sup> g			
6		Operating Temperature	200	°C			
7		Liquid Density (refrigerant: condensat 10 bar)	887	kg/m <sup>3</sup>			
8		Design Pressure (eff.)	11	kg/cm <sup>2</sup> g			
9		Design Temperature	320	°C			
10		Hydrostatic Test (eff.)	*	kg/cm <sup>2</sup> g			
11		Corr. Allow. Shell / Heads	3.18	mm			
12		Joint Eff. Shell / Heads	0.85				
13	DESIGN DATA	Code:	ASME VIII Div. 1				
14		Radiograph:	Sí				
15		Stress Relieve:	<input checked="" type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No	*		
16		Seismic:	<input type="checkbox"/> No				
17		Wind Load:	*	N/m <sup>2</sup>			
18		Hydrostatic Test (eff.)	*	kg/cm <sup>2</sup> g			
19	MATERIALS	Thickness	Mat 1 Class				
20		Shell	* mm	Carbon Steel *			
21		Heads	* mm	Carbon Steel *			
22		Lining	* mm	Carbon Steel *			
23		Nozzle Necks	* mm	Carbon Steel *			
24		Flanges	- (N/A)	Carbon Steel *			
25	CONSTRUCTION	Dia.	L / H	Material			
26		Shell	*	*	*		
27		Heads	*	*	*		
28		Insulation:	<input checked="" type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No			
29		Fireproofing:	<input checked="" type="checkbox"/> Yes	<input checked="" type="checkbox"/> No			
30		Sandblast:	<input checked="" type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No			
31		Paint:	<input checked="" type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No			
32		Wt. Empty:	*	kg			
33		Wt. Full Water:	*	kg			
34	NOZZLES	Service	Mark	Nº	Size	Rating	
35		Entrada condensat	E	1	2"		
36		Entrada de vapor	E	2	10"		
37		Sortida de vapor	S	1	10"		
38		Purga	S	2	1"		
39		Venteig	S	3	2"		
40							
41							
42							
43							
44							
45							
46							
47							
48							
49							
NOTES: Les característiques marcades amb *, vindran donades pel proveïdor un cop s'aprovi el projecte i es demanin ofertes.							
0	18/05/2025	Aida Galindo Domènech	Sara Panella Navarro i Àurea Caravaca Martí				
REV.	DATE	PREP.	APPR.				



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



Taula 4.8. Llistat d'equips del procés

Equip	Descripció	Fluid	P&ID	Material/s	Pressió d'operació (barg)	T <sup>a</sup> d'operació (°C)
V-101	<i>Knock out drum</i> (col·lector de gotes)	Vapor d'aigua de baixa pressió i gotes de condensat	101	ASTM A516 Gr.70	0.4	110
P-101	Bomba de lòbuls del sistema de lubricació del motor i reductor del TC-101	Oli de lubricació Reflo 68™	101	<u>Carcassa:</u> ASTM A216 WCB <u>Interns:</u> AISI 316L	5.0	140
P-102	Bomba de lòbuls del sistema de lubricació del motor i reductor del TC-101	Oli de lubricació Reflo 68™	101	<u>Carcassa:</u> ASTM A216 WCB <u>Interns:</u> AISI 316L	5.0	140
E-101	Bescanviador de tubs i carcassa per refredar l'oli de lubricació del motor i reductor del TC-101	<u>Tubs:</u> Oli de lubricació Reflo 68™ <u>Carcassa:</u> Aigua desmineralitzada	101	<u>Carcassa:</u> ASTM A516 Gr. 70 <u>Tubs:</u> AISI 316L	5.0	<u>Tubs:</u> 140 <u>Carcassa:</u> 30-35
V-102	Dipòsit d'acumulació de l'oli de lubricació Reflo 68™	Oli de lubricació Reflo 68™	101	ASTM A516 Gr.70	5.0	110
TC-101	Turbocompressor de vapor mitja pressió	Vapor d'aigua de mitja pressió	101	ASME SA-387 Gr.11 Cl.1	5.0	310
P-103	Bomba de lòbuls de l'oli de lubricació del sistema de coixinets del TC-101	Oli de lubricació Castrol Perfect®	101	<u>Carcassa:</u> ASTM A216 WCB <u>Interns:</u> AISI 316L	5.0	120
P-104	Bomba de lòbuls de l'oli de lubricació del sistema de coixinets del TC-101	Oli de lubricació Castrol Perfect®	101	<u>Carcassa:</u> ASTM A216 WCB <u>Interns:</u> AISI 316L	5.0	120
E-102	Bescanviador de tubs i carcassa per refredar l'oli de lubricació dels coixinets del TC-101	<u>Tubs:</u> Oli de lubricació Castrol Perfect® <u>Carcassa:</u> Aigua desmineralitzada	101	<u>Carcassa:</u> ASTM A516 Gr. 70 <u>Tubs:</u> AISI 316L	10	<u>Tubs:</u> 120 <u>Carcassa:</u> 150
E-103	Bescanviador de tubs i carcassa per refredar l'oli de lubricació dels coixinets del TC-101	<u>Tubs:</u> Oli de lubricació Castrol Perfect® <u>Carcassa:</u> Aigua desmineralitzada	101	<u>Carcassa:</u> ASTM A516 Gr. 70 <u>Tubs:</u> AISI 316L	10	<u>Tubs:</u> 120 <u>Carcassa:</u> 150
E-104	Temperador de vapor d'aigua de mitja pressió	Vapor d'aigua de mitja pressió i condensat (a les injeccions)	102	<u>Carcassa:</u> ASTM A105 <u>Interns:</u> AISI 316L	5.0	175

**4.10. Disseny i llistat de vàlvules**

Vàlvula	Descripció	Localització	P&ID	Mida (in)	Material	Fabricant	Model	Connexió	Pressió d'operació (barg)	T <sup>a</sup> d'operació (°C)
VM-101	Vàlvula manual de papallona	S-101	101	20	AISI 316L recobrint EPDM	Emerson	KEYSTONE Figure 55 Double Flanged Butterfly Valve	Bridat	0.4	110
VM-102	Vàlvula manual de papallona	S-102	101	20	AISI 316L recobrint EPDM	Emerson	KEYSTONE Figure 55 Double Flanged Butterfly Valve	Bridat	0.4	110
VM-103	Vàlvula manual de papallona	S-102	101	20	AISI 316L recobrint EPDM	Emerson	KEYSTONE Figure 55 Double Flanged Butterfly Valve	Bridat	0.4	110
VM-104	Vàlvula manual de papallona	S-103	101	10	ASTM A216 WCB	Velan	Series 9502 – Triple Offset Butterfly Valve	Bridat	5.0	310
VM-105	Vàlvula manual de bola	C-101	101	1	ASTM A216 WCB	Kugelhahn Müeller GmbH	KM-OST (KM21)	Bridat	0.4	110
VM-106	Vàlvula manual de bola	C-101	101	1	ASTM A216 WCB	Kugelhahn Müeller GmbH	KM-OST (KM21)	Bridat	0.4	110
VM-107	Vàlvula manual de bola	S-101	101	1	ASTM A216 WCB	Kugelhahn Müeller GmbH	KM-OST (KM21)	Bridat	0.4	110
VM-108	Vàlvula manual de bola	S-102	101	1 1/4	ASTM A351 Gr. CF8M	JC Valves	DIN Ball Valves Floating 540	Bridat	0.4	110
VM-109	Vàlvula manual de bola	O-107	101	2	AISI 316L	Kugelhahn Müeller GmbH	KM-TXST-F27	Bridat	5.0	140
VM-110	Vàlvula manual de bola	CW-102	101	2	AISI 316L	Kugelhahn Müeller GmbH	KM-TXST-F27	Bridat	5.0	35
VM-111	Vàlvula manual de bola	O-107	101	1	ASTM A216 WCB	Kugelhahn Müeller GmbH	KM-OST (KM21)	Bridat	5.0	140
VM-112	Vàlvula manual de bola	O-105	101	1	ASTM A216 WCB	Kugelhahn Müeller GmbH	KM-OST (KM21)	Bridat	5.0	120
VM-113	Vàlvula manual de bola	CW-101	101	2	AISI 316L	Kugelhahn Müeller GmbH	KM-TXST-F27	Bridat	5.0	30

Vàlvula	Descripció	Localització	P&ID	Mida (inch)	Material	Fabricant	Model	Connexió	Pressió d'operació (barg)	Tª d'operació (°C)
VM-114	Vàlvula manual de bola	O-107	101	1 1/4	ASTM A351 Gr. CF8M	JC Valves	DIN Ball Valves Floating 540	Bridat	5.0	30
VM-115	Vàlvula manual de bola	O-105	101	1 1/4	ASTM A351 Gr. CF8M	JC Valves	DIN Ball Valves Floating 540	Bridat	5.0	30
VM-116	Vàlvula manual de bola	S-102	101	1	ASTM A216 WCB	Kugelhahn Müeller GmbH	KM-OST (KM21)	Bridat	0.4	110
VM-117	Vàlvula manual de bola	O-106	101	1 1/4	ASTM A351 Gr. CF8M	JC Valves	DIN Ball Valves Floating 540	Bridat	5.0	30
VM-118	Vàlvula manual de bola	V-102	101	1	ASTM A216 WCB	Kugelhahn Müeller GmbH	KM-OST (KM21)	Bridat	5.0	120
VM-119	Vàlvula manual de bola	CW-105	101	2	AISI 316L	Kugelhahn Müeller GmbH	KM-TXST-F27	Bridat	5.0	35
VM-120	Vàlvula manual de bola	O-121	101	1	ASTM A216 WCB	Kugelhahn Müeller GmbH	KM-OST (KM21)	Bridat	5.0	120
VM-121	Vàlvula manual de papallona	S-104	102	10	ASTM A216 WCB	Velan	Series 9502 – Triple Offset Butterfly Valve	Bridat	5.0	310
VM-122	Vàlvula manual de bola	O-121	101	1	ASTM A216 WCB	Kugelhahn Müeller GmbH	KM-OST (KM21)	Bridat	5.0	140
VM-123	Vàlvula manual de bola	CW-101	101	2	AISI 316L	Kugelhahn Müeller GmbH	KM-TXST-F27	Bridat	5.0	30
VM-116	Vàlvula manual de bola	S-102	101	1	ASTM A216 WCB	Kugelhahn Müeller GmbH	KM-OST (KM21)	Bridat	0.4	110
VM-117	Vàlvula manual de bola	O-106	101	1 1/4	ASTM A351 Gr. CF8M	JC Valves	DIN Ball Valves Floating 540	Bridat	5.0	30
VM-118	Vàlvula manual de bola	V-102	101	1	ASTM A216 WCB	Kugelhahn Müeller GmbH	KM-OST (KM21)	Bridat	5.0	120
VM-124	Vàlvula manual de bola	CW-104	101	2	AISI 316L	Kugelhahn Müeller GmbH	KM-TXST-F27	Bridat	5.0	35
VM-125	Vàlvula manual de bola	O-122	101	1	ASTM A216 WCB	Kugelhahn Müeller GmbH	KM-OST (KM21)	Bridat	5.0	120

Vàlvula	Descripció	Localització	P&ID	Mida (inch)	Material	Fabricant	Model	Connexió	Pressió d'operació (barg)	Tª d'operació (°C)
VM-126	Vàlvula manual de papallona	S-104	102	10	ASTM A216 WCB	Velan	Series 9502 – Triple Offset Butterfly Valve	Bridat	5.0	310
VM-127	Vàlvula manual de bola	O-125	101	1	ASTM A216 WCB	Kugelhahn Müeller GmbH	KM-OST (KM21)	Bridat	5.0	140
VM-128	Vàlvula manual de bola	CW-101	101	2	AISI 316L	Kugelhahn Müeller GmbH	KM-TXST-F27	Bridat	5.0	30
VM-129	Vàlvula manual de bola	S-103	101	10	AISI 410	Klinger	C16F2 - GSC25/410/RTFE PN 16 RF (010104304270088)	Bridat	5.0	310
VTV-101	Vàlvula de tres vies amb accionament ancorat mecànicament	O-118	101	1	ASTM A216 WCB	Klinger	RK-FHT DIN PN16/40 - ANSI 150/300LBS RF	Bridat	5.0	120
VTV-102	Vàlvula de tres vies amb accionament ancorat mecànicament	O-116 O-117 O-118	101	1	ASTM A216 WCB	Klinger	RK-FHT DIN PN16/40 - ANSI 150/300LBS RF	Bridat	5.0	120
VTV-103	Vàlvula de tres vies amb accionament ancorat mecànicament	O-119 O-121 O-122	101	1	ASTM A216 WCB	Klinger	RK-FHT DIN PN16/40 - ANSI 150/300LBS RF	Bridat	5.0	140
VTV-104	Vàlvula de tres vies amb accionament ancorat mecànicament	O-123 O-124 O-125	101	1	ASTM A216 WCB	Klinger	RK-FHT DIN PN16/40 - ANSI 150/300LBS RF	Bridat	5.0	120
VM-130	Vàlvula manual de papallona	S-103	102	10	AISI 410	Klinger	C16F2 - GSC25/410/RTFE PN 16 RF (010104304270088)	Bridat	5.0	310
VM-131	Vàlvula manual de bola	S-103	102	1	ASTM A216 WCB	Kugelhahn Müeller GmbH	KM-OST (KM21)	Bridat	5.0	310

Vàlvula	Descripció	Localització	P&ID	Mida (inch)	Material	Fabricant	Model	Connexió	Pressió d'operació (barg)	T <sup>a</sup> d'operació (°C)
VM-132	Vàlvula manual de bola	C-101	102	2	AISI 316L	Kugelhahn Müeller GmbH	KM-TXST-F27	Bridat	10	150
VM-133	Vàlvula manual de bola	C-101	102	2	AISI 316L	Kugelhahn Müeller GmbH	KM-TXST-F27	Bridat	10	150
VM-133	Vàlvula manual de bola	C-101	102	2	AISI 316L	Kugelhahn Müeller GmbH	KM-TXST-F27	Bridat	10	150
VM-134	Vàlvula manual de bola	C-101	102	1	ASTM A216 WCB	Kugelhahn Müeller GmbH	KM-OST (KM21)	Bridat	10	150
VM-135	Vàlvula manual de bola	C-101	102	1	ASTM A216 WCB	Kugelhahn Müeller GmbH	KM-OST (KM21)	Bridat	10	150
VM-136	Vàlvula manual de bola	E-104	102	1	ASTM A216 WCB	Kugelhahn Müeller GmbH	KM-OST (KM21)	Bridat	5.0	175
VM-137	Vàlvula manual de bola	E-104	102	1	ASTM A216 WCB	Kugelhahn Müeller GmbH	KM-OST (KM21)	Bridat	5.0	175
VM-138	Vàlvula manual de bola	S-104	102	1	ASTM A216 WCB	Kugelhahn Müeller GmbH	KM-OST (KM21)	Bridat	5.0	175
VM-139	Vàlvula manual de bola	S-104	102	10	AISI 410	Klinger	C16F2 - GSC25/410/RTFE PN 16 RF (010104304270088)	Bridat	5.0	175
VM-140	Vàlvula manual de bola	S-105	102	10	AISI 410	Klinger	C16F2 - GSC25/410/RTFE PN 16 RF (010104304270088)	Bridat	5.0	175
VM-141	Vàlvula manual de bola	S-105	102	10	AISI 410	Klinger	C16F2 - GSC25/410/RTFE PN 16 RF (010104304270088)	Bridat	5.0	175
VM-142	Vàlvula manual de bola	S-105	102	1	ASTM A216 WCB	Kugelhahn Müeller GmbH	KM-OST (KM21)	Bridat	5.0	175
VM-143	Vàlvula manual de bola	S-105	102	1	ASTM A216 WCB	Kugelhahn Müeller GmbH	KM-OST (KM21)	Bridat	5.0	175



Vàlvula	Descripció	Localització	P&ID	Mida (inch)	Material	Fabricant	Model	Connexió	Pressió d'operació (barg)	T <sup>a</sup> d'operació (°C)
VM-144	Vàlvula manual de bola	S-105	102	1	ASTM A216 WCB	Kugelhahn Müeller GmbH	KM-OST (KM21)	Bridat	5.0	175
VM-145	Vàlvula manual de bola	C-101	102	1	ASTM A216 WCB	Kugelhahn Müeller GmbH	KM-OST (KM21)	Bridat	10	150
VM-146	Vàlvula manual de bola	C-101	102	1	ASTM A216 WCB	Kugelhahn Müeller GmbH	KM-OST (KM21)	Bridat	10	150
VM-147	Vàlvula manual de bola	C-102	102	2	AISI 316L	Kugelhahn Müeller GmbH	KM-TXST-F27	Bridat	10	150
VM-148	Vàlvula manual de bola	C-102	102	2	AISI 316L	Kugelhahn Müeller GmbH	KM-TXST-F27	Bridat	10	150
VM-149	Vàlvula manual de bola	V-101	101	1	ASTM A216 WCB	Kugelhahn Müeller GmbH	KM-OST (KM21)	Bridat	0.4	110
VAG-101	Vàlvula automàtica de globus	CH-101	102	2	ASTM A216 WCB	Phoenix-Valve-Group	Type 365	Bridat	10	150
VAG-103	Vàlvula automàtica de globus	C-102	102	2	ASTM A351 Gr. CF8M	JC Valves	Type 365	Bridat	10	150
VAG-102	Vàlvula automàtica de globus	S-104	102	10	ASTM A216 WCB	Phoenix-Valve-Group	Type 365	Bridat	5.0	175
VAB-102	Vàlvula automàtica de bola	S-105	102	10	AISI 410	Klinger	C16F2 - GSC25/410/RTFE PN 16 RF (010104304270088)	Bridat	5.0	175
PSV-102	Vàlvula de seguretat	O-112	101	1	ASTM A216 WCB	ARI Armaturen GmbH	ARI-SAFE 943	Bridat	5.5	120
VC-101	Vàlvula antiretorn	O-116	101	1 1/4	AISI 316L	Swagelok	SS-CHVCO20-5	Bridat	5.0	140



Vàlvula	Descripció	Localització	P&ID	Mida (inch)	Material	Fabricant	Model	Connexió	Pressió d'operació (barg)	T <sup>a</sup> d'operació (°C)
VC-102	Vàlvula antiretorn	O-102	101	1 1/4	AISI 316L	Swagelok	SS-CHVCO20-5	Bridat	5.0	140
VC-103	Vàlvula antiretorn	O-110	101	1	AISI 316L	Swagelok	SS-CHVCO16-5	Bridat	5.0	120
VC-104	Vàlvula antiretorn	O-110	101	1	AISI 316L	Swagelok	SS-CHVCO16-5	Bridat	5.0	120
VC-105	Vàlvula antiretorn	S-105	102	10	ASTM A216 WCB	TECFLOW	TF-BCV-F	Bridat	5.0	175
VC-106	Vàlvula antiretorn	S-104	102	10	ASTM A216 WCB	TECFLOW	TF-BCV-F	Bridat	5.0	175



#### 4.11. Disseny i llistat d'instrumentació i control

TAG	P&ID	Dn (inch)	Descripció i tipus d'instrument	Tipus	Nº de canonada/ equip	Rang	Fabricant	Model
LI-101	101	1	Mesurador indicador de nivell	Sondat	V-101	0-100%	Emerson	Rosemount-9930
LSH-101	101	1/2	Switch d'alt nivell	Sondat (alarma)	V-101	On/Off	Emerson	Rosemount-2140
LSL-101	101	1/2	Switch de baix nivell	Sondat (alarma)	V-101	On/Off	Emerson	Rosemount-2140
PT-102	101	1/2	Transmissor de pressió	Gauge (4-20 mA)	S-102	0-10 barg	Emerson	Rosemount 3051S Coplanar Gage
LI-102	101	1	Mesurador indicador de nivell	Nivell visual per vasos comunicants	V-102	0-100%	Emerson	Rosemount-9930
PI-102	101	1/2	Mesurador indicador de pressió	Indicador digital	S-102	0-10 barg	Emerson	Panel-Mount Indicator
TT-101	101	1/2	Transmissor de temperatura	Gauge (4-20 mA)	S-102	0-350 °C	Emerson	Rosemount 644 TT
TI-101	101	1/2	Mesurador indicador de temperatura	Indicador digital	S-102	0-350 °C	Emerson	Rosemount 248 Panel- Mount Indicator
PC-101	101	1	Controlador de pressió	Regulador elèctric	P&D 101	-	Fisher	
FT-101	101	20	Transmissor de cabal	Cabalímetre de Coriolis	S-102	0-10 Tm/h	Emerson	Micro Motion Coriolis F Series
FI-101	101	1	Mesurador indicador de cabal	Indicador digital	S-102	0-10 Tm/h	Emerson	Micro Motion Coriolis F Series
TI-102	101	1/2	Mesurador indicador de temperatura	Indicador digital	O-107	0-350 °C	Emerson	Rosemount 248 Panel- Mount Indicator
PT-103	101	1/2	Transmissor de pressió	Gauge (4-20 mA)	O-107	0-10 barg	Emerson	Rosemount 3051S Coplanar Gage
PI-103	101	1/2	Mesurador indicador de pressió	Indicador digital	O-107	0-10 barg	Emerson	Panel-Mount Indicator
TI-103	101	1/2	Mesurador indicador de temperatura	Indicador digital	O-105	0-350 °C	Emerson	Rosemount 248 Panel- Mount Indicator



TAG	P&ID	Dn (inch)	Descripció i tipus d'instrument	Tipus	Nº de canonada/equip	Rang	Fabricant	Model
MOS-101	101	-	<i>Manual Overwrite Switch</i> (Anul·lació manual de l'interruptor)	Mecanisme d'anul·lació manual	P-101	-	Schneider Electric	LFF1 D712
PT-104	101	1/2	Transmissor de pressió	Gauge (4-20 mA)	O-106	0-10 barg	Emerson	Rosemount 3051S Coplanar Gage
MOS-102	101	-	<i>Manual Overwrite Switch</i> (Anul·lació manual de l'interruptor)	Mecanisme d'anul·lació manual	P-102	-	Schneider Electric	LFF1 D712
MOS-103	101	-	<i>Manual Overwrite Switch</i> (Anul·lació manual de l'interruptor)	Mecanisme d'anul·lació manual	TC-101	-	Schneider Electric	LFF1 D712
TI-113	101	1/2	Mesurador indicador de temperatura	Indicador digital	TC-101	0-350 °C	Emerson	Rosemount 248 Panel-Mount Indicator
EI-103	101	1	Mesurador indicador d'intensitat	Indicador digital	TC-101	0-1000 A	Siemens	PAC3200
PI-106	101	1/2	Mesurador indicador de pressió	Indicador digital	S-103	0-10 barg	Emerson	Panel-Mount Indicator
PI-107	101	1/2	Mesurador indicador de pressió	Indicador digital	O-116	0-10 barg	Emerson	Panel-Mount Indicator
PI-108	101	1/2	Mesurador indicador de pressió	Indicador digital	S-104	0-10 barg	Emerson	Panel-Mount Indicator
MOS-104	101	-	<i>Manual Overwrite Switch</i> (Anul·lació manual de l'interruptor)	Mecanisme d'anul·lació manual	P-104	-	Schneider Electric	LFF1 D712
MOS-105	101	-	<i>Manual Overwrite Switch</i> (Anul·lació manual de l'interruptor)	Interruptor semiautomàtic	P-103	-	Schneider Electric	LFF1 D712
TT-105	101	1/2	Transmissor de pressió	Gauge (4-20 mA)	S-103	0-350 °C	Emerson	Rosemount 644 TT
TI-105	101	1/2	Mesurador indicador de temperatura	Indicador digital	S-103	0-350 °C	Emerson	Rosemount 248 Panel-Mount Indicator
TT-106	101	1/2	Transmissor de pressió	Gauge (4-20 mA)	O-109	0-350 °C	Emerson	Rosemount 644 TT
TI-106	101	1/2	Mesurador indicador de temperatura	Indicador digital	O-109	0-350 °C	Emerson	Rosemount 248 Panel-Mount Indicator



TAG	P&ID	Dn (inch)	Descripció i tipus d'instrument	Tipus	Nº de canonada/equip	Rang	Fabricant	Model
TT-107	101	1/2	Transmissor de pressió	Gauge (4-20 mA)	CW-105	0-350 °C	Emerson	Rosemount 644 TT
TI-107	101	1/2	Mesurador indicador de temperatura	Indicador digital	CW-105	0-350 °C	Emerson	Rosemount 248 Panel-Mount Indicator
TT-108	101	1/2	Transmissor de pressió	Gauge (4-20 mA)	CW-101	0-350 °C	Emerson	Rosemount 644 TT
TI-108	101	1/2	Mesurador indicador de temperatura	Indicador digital	CW-101	0-350 °C	Emerson	Rosemount 248 Panel-Mount Indicator
TT-109	101	1/2	Transmissor de pressió	Gauge (4-20 mA)	O-124	0-350 °C	Emerson	Rosemount 644 TT
TI-109	101	1/2	Mesurador indicador de temperatura	Indicador digital	O-124	0-350 °C	Emerson	Rosemount 248 Panel-Mount Indicator
TT-110	101	1/2	Transmissor de temperatura	Gauge (4-20 mA)	S-103	0-350 °C	Emerson	Rosemount 644 TT
TI-110	101	1/2	Mesurador indicador de temperatura	Indicador digital	S-103	0-350 °C	Emerson	Rosemount 248 Panel-Mount Indicator
PT-105	101	1/2	Transmissor de pressió	Gauge (4-20 mA)	O-107	0-350 °C	Emerson	Rosemount 644 TT
PI-105	101	1/2	Mesurador indicador de pressió	Indicador digital	O-107	0-10 barg	Emerson	Panel-Mount Indicator
PC-102	101	1	Controlador de pressió	Controlador elèctric	P&D 102	-	Fisher	6672 Pressure Controller
TT-111	102	1/2	Transmissor de temperatura	Gauge (4-20 mA)	CW-101	0-350 °C	Emerson	Rosemount 644 TT
TI-111	102	1/2	Mesurador indicador de temperatura	Indicador digital	CW-101	0-350 °C	Emerson	Rosemount 248 Panel-Mount Indicator
TT-112	102	1/2	Transmissor de temperatura	Gauge (4-20 mA)	S-104	0-350 °C	Emerson	Rosemount 644 TT
TI-112	102	1/2	Mesurador indicador de temperatura	Indicador digital	S-104	0-350 °C	Emerson	Rosemount 248 Panel-Mount Indicator



<b>TAG</b>	<b>P&amp;ID</b>	<b>Dn (inch)</b>	<b>Descripció i tipus d'instrument</b>	<b>Tipus</b>	<b>Nº de canonada/ equip</b>	<b>Rang</b>	<b>Fabricant</b>	<b>Model</b>
TT-113	102	1/2	Transmissor de temperatura	Gauge (4-20 mA)	S-104	0-350 °C	Emerson	Rosemount 644 TT
TI-113	102	1/2	Mesurador indicador de temperatura	Indicador digital	S-104	0-350 °C	Emerson	Rosemount 248 Panel-Mount Indicator
TT-114	101	1/2	Transmissor de temperatura	Gauge (4-20 mA)	S-104	0-350 °C	Emerson	Rosemount 644 TT
TI-114	101	1/2	Mesurador indicador de temperatura	Indicador digital	S-104	0-350 °C	Emerson	Rosemount 248 Panel-Mount Indicator
PT-108	102	1/2	Transmissor de pressió	Gauge (4-20 mA)	S-104	0-350 °C	Emerson	Rosemount 644 TT
PI-108	102	1/2	Mesurador indicador de pressió	Indicador digital	S-104	0-10 barg	Emerson	Panel-Mount Indicator
PC-103	102	1/2	Control de pressió	Controlador elèctric	P&ID 102	-	Fisher	6672 Pressure Controller

## 5. ESTUDI DE SEGURETAT

### 5.1. Anàlisi de riscos: HAZOP

Per tal de procedir a la identificació de les situacions de risc de la nova instal·lació de compressió de vapor, s'ha realitzat un anàlisi HAZOP (HAZardous OPeration), també conegut com AFO (Anàlisi Funcional d'Operativitat).

Per a l'àrea d'anàlisi delimitada, s'inclouen els escenaris possibles que tenen lloc als següents equips:

- El dipòsit acumulador de líquid previ al turbocompressor V-101.
- El turbocompressor de vapor TC-101.
- El sistema de lubricació dels coixinets, del motor i del reductor del TC-101: el dipòsit d'emmagatzematge d'oli (V-102), les bombes (P-101, P-102 i P-103) i els bescanviadors de calor (E-101, E-102 i E-103).
- El temperador (E-104) que permet assolir les condicions de temperatura necessàries per a la connexió del vapor comprimit amb la xarxa de mitja pressió del *site*.

#### 5.1.1. Paràmetres de l'anàlisi

En primer lloc, s'escull un node que representa el centre de l'estudi HAZOP. Degut a la importància del turbocompressor, aquest equip serà l'escollit per a fer de node.

Per a la elaboració de la taula de l'anàlisi, s'inclouen els següents paràmetres:

- **Paraula guia:** Desviació possible del valor d'una variable de procés. A la taula 5.1.1. queden recollides les paraules guia emprades així com la descripció del seu significat a l'anàlisi.
- **Desviació:** Combinació de la paraula guia més la variable de procés a la que afecta. Dona lloc a un escenari d'anàlisi.
- **Causa:** Situacions o fallades que poden provocar les desviacions.
- **Conseqüència:** Resultat
- **C, F, R:** Categorització del risc (C), Freqüència actual i un cop aplicada la mesura correctora (F) i Nivell de risc actual i un cop aplicat la mesura correctora (R).
- **Salvaguardes:** Qualsevol dispositiu, sistema o acció que interromp la cadena d'esdeveniments que segueix un succés iniciador.
- **Accions:** Mesures de seguretat externes que augmenten la protecció respecte l'estat actual i les salvaguardes.

*Taula 5.1.* Llegenda de les paraules guia

Paraula guia	Utilització
Més	Incrementos quantitius del valor d'una variable del procés
Menys	Disminució quantitativa del valor d'una variable del procés
No	Absència d'una variable del procés
Altre	Desviacions alternatives a les variables del procés (ex. vibracions)



### 5.1.2. Caracterització de les conseqüències i matriu de riscos

En funció de la possible gravetat de les conseqüències del cas, s'han establert cinc nivells. Aquests s'organitzen de menys a més severitat, passant del nivell 1 al 5.

A continuació, a la taula 5.2, queden recollides aquestes conseqüències en funció del nivell i a què o qui afecten.

**Taula 5.2.** Caracterització de les conseqüències

	<b>Nivell 1</b>	<b>Nivell 2</b>	<b>Nivell 3</b>	<b>Nivell 4</b>	<b>Nivell 5</b>
<b>Persones</b>	Sense conseqüències o ferides menors sense baixa. Lleuger efecte sobre la salut.	Ferida no severa amb possible baixa. Efecte menor i reversible sobre la salut.	Una o més ferides severes amb baixa. Dany major i irreversible.	D'una a tres morts o deshabilitació permanent.	Incident major amb amplies implicacions, incloses múltiples morts.
<b>Comunitat</b>	Sense efecte o molèstia al públic.	Molèstia al públic per soroll o olor.	Ferides menors.	Ferides majors.	
<b>Medi ambient</b>	Incident que no implica notificació a les autoritats o violació de la Llicència Ambiental.	Incident que impliqui notificació a les Autoritats o violació de la Llicència Ambiental	Fuga de substàncies que poden posar en risc la salut o seguretat del públic.	Fuga que impliqui: evacuació o parada d'instal·lacions, restriccions en la circulació o afectacions al subministrament d'aigua corrent.	Fuga causant de danys permanents i severes al medi ambient extern al <i>site</i> .
<b>Reputació</b>	Limitat efecte local.	Efecte advers sobre la opinió pública regional, autoritats locals o grups d'acció.	Efecte advers sobre la opinió pública nacional o sobre la modificació de llicències ambientals.	Efecte advers sobre la opinió pública internacional o concessió de noves llicències ambientals	
<b>Equips</b>	Dany amb cost mínim estimat (€) de 35,000 a 350,000	Dany amb cost mínim estimat (€) de 350,000 a 3,500,000	Dany amb cost mínim estimat (€) de 3,500,000 a 35,000,000	Dany amb cost mínim estimat de més de 35 M€	

Pel que fa a la determinació del risc, s'ha emprat la matriu següent, on es combinen els nivells de gravetat de les conseqüències amb la seva freqüència d'ocurrència:

**Taula 5.3.** Matriu de riscos semi quantitativa

Conseqüència	Nivell 1	Nivell 2	Nivell 3	Nivell 4	Nivell 5
Freqüència (any <sup>-1</sup> )					
10 <sup>0</sup>					
10 <sup>-1</sup>					A
10 <sup>-2</sup>				B	
10 <sup>-3</sup>			C		
10 <sup>-4</sup>	D				
10 <sup>-5</sup>					
10 <sup>-6</sup>					

De la matriu anterior, s'extreuen les lletres A,B,C i D. Cadascuna té el significat següent:

- **A:** Mitigació instantània a B o parada de la planta
- **B:** Prendre urgentment les mesures necessàries per assegurar operació estable
- **C:** Prendre tan aviat com es pugui les mesures necessàries per assegurar operació estable.
- **D:** No s'han de prendre accions.



**5.2. Taula d'anàlisi HAZOP**

Paraula guia	Desviació	Causa	Conseqüència	C	F	R	Salvaguardes	C	F	R	Accions
Més	Nivell a V-101	Tancament de la vàlvula de drenatge del fons del dipòsit V-101	Possible inundació del dipòsit V-101 i entrada de líquid al compressor					2	0	D	Col·locar alarma d'alt nivell a V-101 i parada de compressor
Menys	Nivell a V-101	Error al <i>switch</i> de baixa LSL-101 (marca nivell de condensat)	No comporta cap conseqüència de seguretat								
	Nivell a V-102	Fuga al sistema de lubricació	Sobreescalfament al motor, i al reductor. Possibles danys mecànics.					4	-3	B	AL: Alarma de nivell baix a V-102 ALL: Alarma molt baix nivell i parada del compressor
	Nivell d'oli l'interior de la carcassa del TC-101	Fuga al sistema de lubricació.	Sobreescalfament a l'interior i a la carcassa del TC-101.					4	-3	B	AL: Alarma de nivell baix a la carcassa del TC-101 ALL: Alarma i parada



Paraula guia	Desviació	Causa	Conseqüència	C	F	R	Salvaguardes	C	F	R	Accions
No	Cabal a l'entrada del V-101	Tancament de vàlvula VM-101	Sense conseqüències								
	Cabal a l'entrada del TC-101	La/les vàlvules de la recirculació al KOD estan tancades.	El compressor pot entrar en estat de <i>surge</i> o bombeig	4	-1	A	Actuar el llaç de control PC-103	4	-2	B	L.O de les vàlvules manuals de la recirculació. AVHH: Alarma de vibracions i aturar TC-101
		Fallada del sistema anit-surge	El compressor pot entrar en estat de <i>surge</i> o bombeig	4	-1	A	Actuar el llaç de control PC-103	4	-2	B	AVHH: Alarma de vibracions i aturar TC-101
	Cabal d'oli al sistema de lubricació del TC-101	Ídem Menys Nivell V-02									
	Cabal d'oli al sistema de lubricació de la carcassa TC-101	Ídem Menys Nivell a la carcassa del TC-101									
	Cabal d'aigua de refrigeració a E-102 i E-103	Fallada al subministrament d'aigua de refrigeració	Sobreescalfament de l'oli de lubricació, possible dany mecànic als coixinets					4	-2	B	ATHH: Alarma de la temperatura de l'oli i parada del TC-101



No	Cabal d'aigua de refrigeració a E-101	Fallada al subministrament d'aigua de refrigeració	Sobreescalfament de l'oli de lubricació, possible dany mecànic als coixinets	4	-2	B	ATHH: Alarma de la temperatura de l'oli i parada del TC-101
Menys	Cabal d'alimentació al V-101	La <i>broad</i> no s'ha aturat i només hi ha un petit excedent de vapor procedent del <i>site</i>	Ídem No Cabal d'alimentació al TC-101				
		Error al cabalímetre FI-101 (marca més cabal del real)	Ídem No Cabal d'alimentació al TC-101				
Més	Cabal d'alimentació al V-101	Error del cabalímetre FI-101 (marca menys cabal del real)	Sense conseqüències de seguretat.				
	Cabal d'alimentació al V-101	El cabal de la <i>broad</i> i l'excedent del <i>site</i> són superiors al cabal de disseny del TC-101	Sense conseqüències de seguretat.				
	Cabal d'alimentació al V-101	Vàlvula de la recirculació a la sortida del temperador totalment oberta	Sense conseqüències de seguretat.	1	-4	D	Disseny de la vàlvula VAG-102 més petita que la PSV de la planta.



Paraula guia	Desviació	Causa	Conseqüència	C	F	R	Salvaguardes	C	F	R	Accions
	Pressió al V-101	Entrada de vapor a l'alimentació a pressió per sobre de la dissenyada.	Dany mecànic o trencament de l'equip.	4	-2	B	Vàlvula de seguretat MDI	3	-2	B	APH: Alarma de la PI- 102.
Més	Pressió a l'aspiració del TC-101	Fallada al regulador de cabal de la recirculació posterior al temperador E-104	Flux invers des de l'entrada del V-101 i aigües avall. Sobrepressió a la xarxa del vapor.	4	-2	B	Ídem pressió al V-101				
	Pressió a la descàrrega del TC-101	Error al PI-105 (marca menys pressió de la real)	Sobrepressió a la xarxa de vapor de mitja del <i>site</i> . Possibles danys a equips consumidors de la xarxa.	4	-2	B	Disseny intrínsec. Al ser un compressor centrífug, la corba de descarrega no arriba mai a superar 6 bar g que es la pressió de disseny de la red i dels seu equips				
Menys	Pressió de la descàrrega de les bombes P-101, P-102, P-103	Desgast dels lòbuls o d'engranatges del sistema	Oli de lubricació insuficient. Parada de la instal·lació de compressió de vapor.					4	-2	B	AL: Alarma de baixa ALL: Alarma i parada de compressor



Paraula guia	Desviació	Causa	Conseqüència	C	F	R	Salvaguardes	C	F	R	Accions
Més	Temperatura a l'aspiració TC-101	Error al TI-XX (marca menys temperatura de la real)	Rendiment inferior al turbocompressor. Sense conseqüències de seguretat.								
		Mal funcionament del temperador	Rendiment inferior al turbocompressor. Sense conseqüències de seguretat.								
No	No <i>utilities</i>	Fallada al subministrament elèctric	Sense conseqüències de seguretat	1	0	D					
		Falta de subministrament d'aigua de refrigeració a E-101, E-102 i E-103	Pujada temperatura oli. Veure discussió alta temperatura oli								
		Fallada de condensat	Veure discussió temperatura alta vapor sortida								
		Fallada d'aire d'instrumentació	Bloqueig de les vàlvules	4	-2	B	Vàlvules en posició segura: VAG-101 F.O, VAB-102 F.T, VAG-102 F.O.				



Altra	Vibracions al TC-101	Turbocompressor en estat de <i>surge</i> o bombeig	Danys mecànics. Incapacitat d'assolir la pressió de sortida (5 barg)	4	-2	B	Detector de vibracions i alarma (AVH)
		Danys als <i>impellers</i> per fatiga, erosió, impacte de partícules, etc	Danys mecànics. Incapacitat d'assolir la pressió de sortida (5 barg)	4	-2	B	AVHH: Detector de vibracions i alarma. Parada del TC-110
	Fallada de l'equip E-101, E-102 i/o E-103	Fractura d'un o més tubs	Pas de l'oli a al sistema d'aigua de refrigeració	3	-2	B	ATH: Alarma de temperatura alta de l'oli. Els operaris canviïn el bescanviador en funcionament
	Fallada de l'equip P-101	Ruptura de la bomba	Ídem menor pressió de l'oli.				
	Fallada de l'equip P-102	Ruptura de la bomba	Ídem menor pressió de l'oli.				
	Fallada al temperador E-104	Ruptura d'un o més difusores d'aigua.	El vapor comprimit entra a temperatura superior a la màxima permesa a la xarxa de mitja del <i>site</i> . Possibles danys mecànics als equips consumidors.	4	-2	B	Activar llaç de control PC-103 i obrir bypass del temperador a l'entrada del V-101.  ATHH: Alarma de temperatura i parada. Duplicitat de la sonda de temperatura ( <i>backup</i> )

### 5.3. Zones ATEX

Degut a la naturalesa de les substàncies utilitzades, generades o emmagatzemades al *site* de Covestro, s'aplica la normativa ATEX per a la identificació de les zones amb atmosferes potencialment explosives.

Aquestes atmosferes apareixen en presència d'una substància combustible (el propi producte químic de la planta), un comburent (que acostuma a ser oxigen atmosfèric) i, finalment, energia d'activació procedent d'una font d'ignició.

La classificació de les zones ATEX té en compte els factors següents:

- El tipus de substància present: vapors, gasos o pols explosiva.
- La durada i freqüència amb la que la substància pot estar present a l'ambient generant una atmosfera explosiva.

#### 5.3.1. Classificació de les zones ATEX

Per a cada tipus de substància (vapors i gasos explosius, o bé pols explosiva), s'estableixen tres zones diferenciades.

A les taules 5.4. i 5.5. es poden veure aquestes zones i la probabilitat de freqüència associada a cadascuna.

**Taula 5.4.** Zones ATEX amb presència de vapors i gasos

Zona ATEX	Probabilitat de presència de l'atmosfera explosiva
Zona 0	Presència permanent o durant períodes de temps prolongats
Zona 1	Susceptible de formar-se en condicions normals de treball
Zona 2	Presència poc probable i per curts períodes de temps

**Taula 5.5.** Zones ATEX amb presència de pols

Zona ATEX	Probabilitat de presència de l'atmosfera explosiva
Zona 20	Hi ha, o pot haver, pols combustible durant les operacions normals de funcionament, posada en marxa o neteja, en quantitats suficients per produir una atmosfera explosiva
Zona 21	És aquella en que la capa o núvol de pols es susceptible de formar-se en condicions normals de treball
Zona 22	Presencia poc probable i per curts períodes de temps

En el cas de la nova instal·lació del compressor, no es disposa de substàncies que puguin formar atmosfera explosiva en les condicions de treball, ja que els fluids emprats són: vapor d'aigua, l'oli de lubricació i el condensat. Com a conseqüència, no es considera que la zona sigui ATEX.

A més a més, es troba suficientment allunyada d'altres zones de planta que sí que estan classificades com a Zona 2, i per tant no es veu afectada ni directament ni indirectament.



5.3.2. Xarxa contra incendis

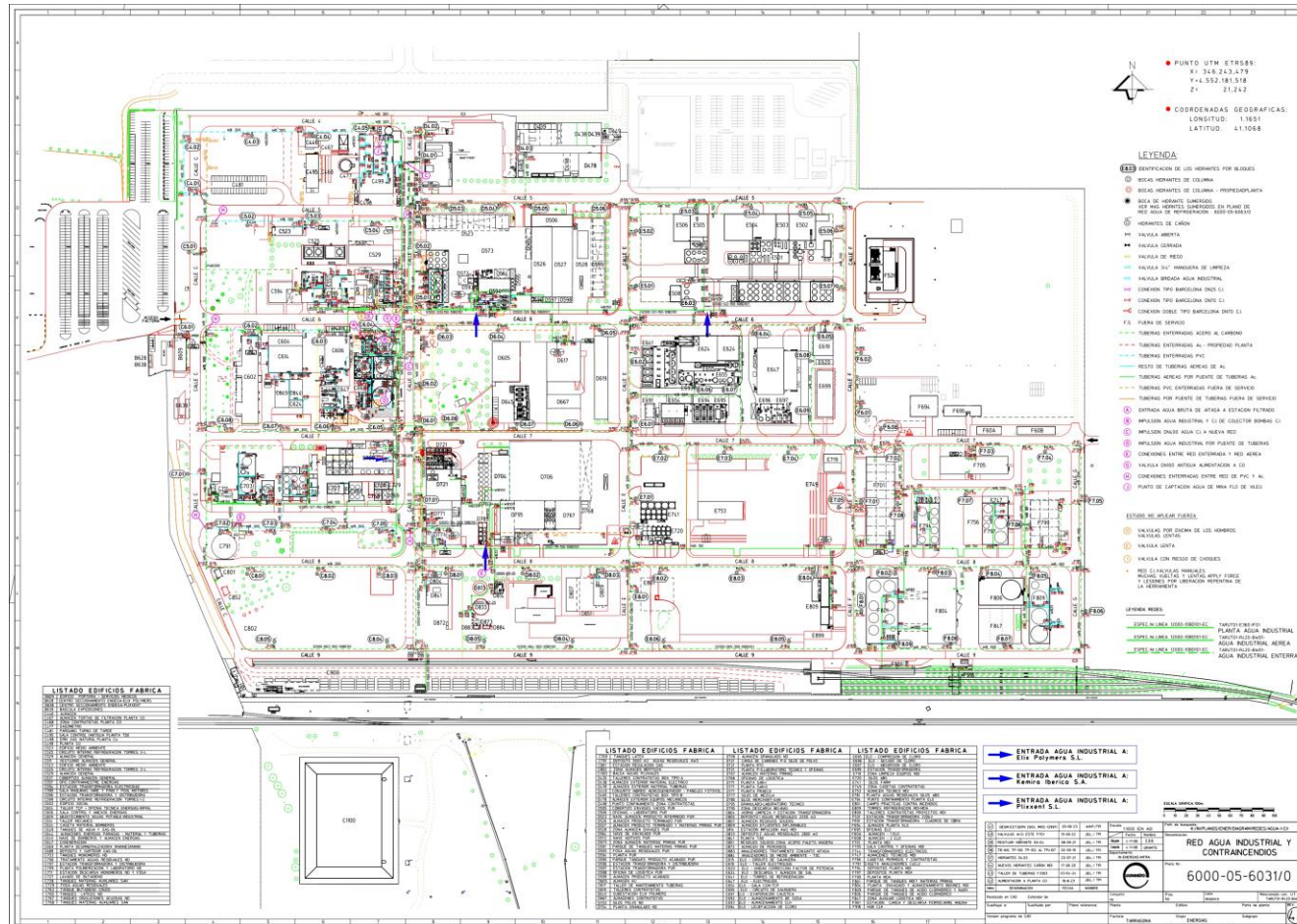


Figura 5.1. Xarxa contra incendis de la planta

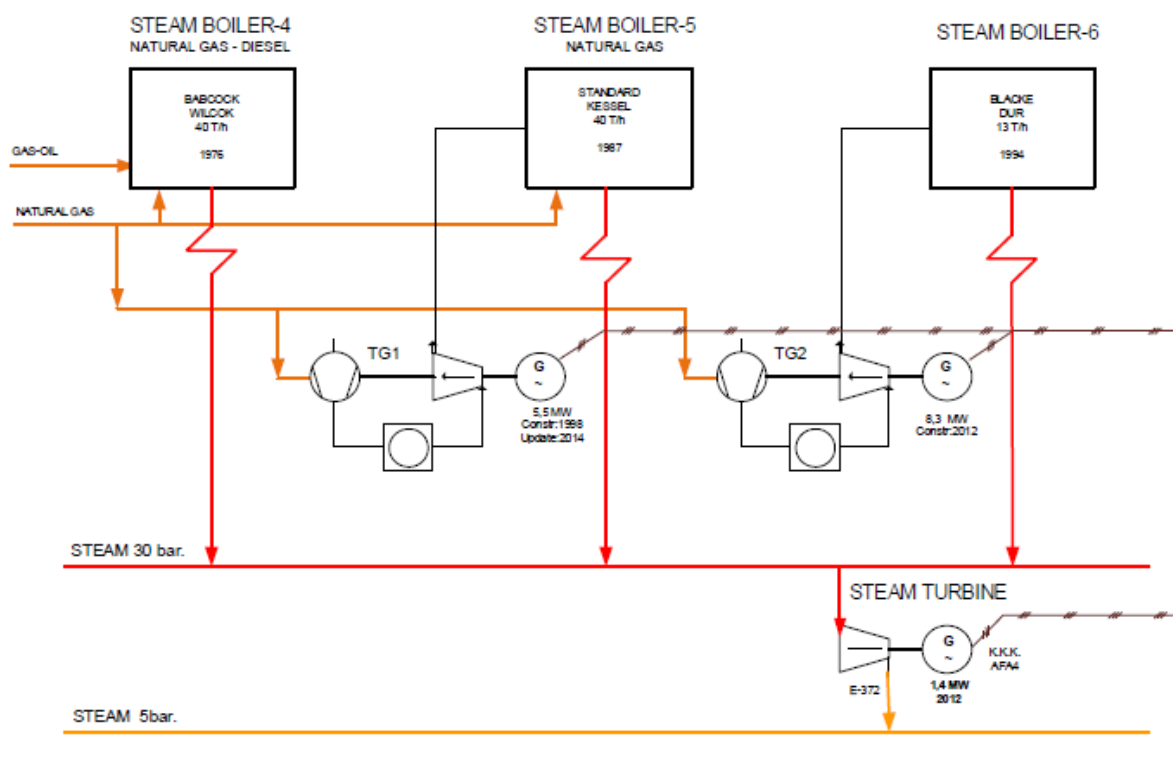
## 6. ESTUDI MEDIAMBIENTAL

### 6.1. Emissions atmosfèriques

Per tal de determinar la reducció de les emissions anuals que es poden assolir amb la implantació del nou sistema de compressió, s'ha procedit a calcular les tones de CO<sub>2</sub> equivalent.

Les calderes on es genera el vapor de 30 barg, que posteriorment s'expansiona per reduir la pressió fins 5 barg, tenen un sistema de post-combustió on s'aprofita la calor dels gasos emesos per generar més vapor. Aquest sistema funciona amb gas natural, així que la reducció de generació de vapor mitjançant la post-combustió, reduiria el consum de gas natural i, per tant, les emissions de gasos d'efecte hivernacle degudes a la seva combustió (CO<sub>2</sub> equivalent).

A la següent figura es mostra el sistema de funcionament de les calderes de la planta, junt amb la post-combustió.



*Figura 6.1.* Diagrama del sistema de generació de vapor per calderes

Es calcula la quantitat de gas natural que es necessita per produir el cabal de vapor que passaria pel compressor. L'empresa sap que el sistema de post-combustió necessita 65 Nm<sup>3</sup> de gas natural per produir una tona de vapor, ja que el gas comburent entra a una temperatura aproximada des de la turbina de gas de 550 °C. Amb aquesta dada i el cabal mitjà que passaria pel compressor, calculat a l'apartat 4.3. *Balanç de matèria*, es pot saber el gas natural estalviat.

$$GN_r = Q_{vap} \cdot GN_{eq} = 56857 \cdot 65 = 3.69 \cdot 10^6 \text{ Nm}^3_{GN}/any \quad (E.6.1)$$

On:

- $GN_r$  ( $\text{Nm}^3/\text{any}$ ): Gas natural estalviat
- $Q_{vap}$  ( $\text{t}/\text{any}$ ): Cabal de vapor que passa pel compressor
- $GN_{eq}$  ( $\text{Nm}^3/\text{t}_{vap}$ ): Gas natural necessari per tona de vapor produïda
- $\eta_{cald}$ : Rendiment de les calderes

Un cop calculada la quantitat de gas natural estalviat, es pot conèixer el  $\text{CO}_2$  equivalent a la combustió d'aquest. Per fer aquest càlcul, s'han utilitzat les dades de la taula següent, proporcionades per Covestro®.

**Taula 6.1.** Dades del gas natural

Valor calorífic net GN ( $\text{TJ}/\text{Nm}^3$ )	$3.778 \cdot 10^{-5}$
Factor d'emissió del GN ( $\text{tCO}_2/\text{TJ}$ )	56.18

Així doncs, el càlcul queda de la següent forma:

$$\text{CO}_{2r} = GN_r \cdot VC_{GN} \cdot FE_{GN} = 3.69 \cdot 10^6 \cdot 3.778 \cdot 10^{-5} \cdot 56.18 = 7839.8 \frac{\text{tCO}_{2eq}}{\text{any}} \quad (E.6.2)$$

On:

- $\text{CO}_{2r}$  ( $\text{t}_{eq}/\text{any}$ ):  $\text{CO}_2$  no emès
- $GN_r$  ( $\text{Nm}^3/\text{any}$ ): Gas natural estalviat
- $VC_{GN}$  ( $\text{TJ}/\text{Nm}^3$ ): Valor calorífic net del gas natural
- $FE_{GN}$  ( $\text{tCO}_2/\text{TJ}$ ): Factor d'emissió del gas natural

Això demostra que, en cas d'instal·lar el sistema de compressió a la planta, l'empresa s'estalviaria l'emissió d'aproximadament 7840 tones de  $\text{CO}_2$  equivalent a l'any. Això es tradueix en un gran benefici per l'empresa, no només per la reducció de l'impacte ambiental, que a part de donar bona imatge, fa que el projecte pugui optar a subvencions de l'estat, si no també per l'economia d'aquesta, ja que el pagament d'impostos per emissions es reduiria considerablement. Aquest últim factor s'estudia en més detall a l'apartat 9. *Avaluació econòmica.*

## **6.2. Tractament de residus: olis de lubricació del turbocompressor**

En aquest projecte s'utilitzen dos tipus d'oli: el Reflo 68<sup>TM</sup>, per a la lubricació de la zona del motor i reductor, i el Castrol Perfect<sup>®</sup>, per a la lubricació de les parts internes del compressor.

El Castrol Perfect<sup>®</sup> és un oli mineral amb inhibidors d'òxid i corrosió [31], mentre que el Reflo 68<sup>TM</sup> és sintètic [32]. Això fa que, al degradar-se, tot i estar els dos considerats residus perillosos per ser olis industrials usats, s'hagin de tenir en compte diferents factors per cadascun d'ells.

En el cas del Castrol Perfect<sup>®</sup>, s'ha d'emmagatzemar temporalment en contenidors homologats tancats i ben etiquetats, en una zona amb cubetes de retenció i sense mesclar amb altres residus. L'emmagatzematge del Reflo 68<sup>TM</sup> utilitzat és molt similar, però al ser sintètic exigeix major control, ja que és més sensible a la mescla amb altres olis [33].

Un cop emmagatzemat, l'oli és recollit per una empresa autoritzada per a realitzar la gestió de tractament d'olis. Allí tenen tres formes principals de tractar-lo:

- La primera és la regeneració, és a dir, depurar-lo per la seva reutilització, però en el cas del Reflo 68<sup>TM</sup>, és més complicat degut a que no es pot mesclar en altres olis. Aquesta opció és la millor, tant en aspectes ambientals com econòmics a llarg termini [34].
- Els olis també poden ser utilitzats com a combustible alternatiu en forns industrials, aprofitant el seu poder calorífic i substituint l'ús de combustibles fòssils convencionals [34].
- La última opció, en cas de no poder ser regenerat ni utilitzat com a combustible degut a la seva alta contaminació, mescla o per caducitat, és el tractament tèrmic final o eliminació. Això consisteix en incinerar-lo de forma controlada en plantes de tractament de residus perillosos amb recuperació energètica parcial, o el tractament fisicoquímic per estabilitzar els residus i eliminar-los de forma segura [34].

## **7. MANTENIMENT DE LES INSTAL·LACIONS**

Per tal de poder satisfer i mantenir les condicions òptimes d'operació del compressor s'han de complir els següents objectius:

- Assegurar un bon rendiment i fiabilitat de la instal·lació
- Garantir la seguretat
- Minimitzar els costos i/o sobre costos del manteniment
- Allargar al màxim la vida útil dels equips

### **7.1. Tipus de manteniment**

A continuació, s'explica breument els tipus de manteniment existents a la indústria.

#### **7.1.1. Manteniment correctiu**

És aquell manteniment que es realitza després d'una fallada per reparar avaries o per un deteriorament de l'equip o element. No genera costos fixes, ni una gran infraestructura tècnica degut a què només s'empren els recursos quan son necessaris. Tampoc és necessària cap programació, ja que es fa a curt termini, i s'aprofita al màxim la vida útil dels components.

Tot i així, presenta inconvenients, com ara l'aparició no prevista d'averies (provocant trastorns en la producció i un manteniment de baixa qualitat per falta de temps). També dificulta un diagnòstic fiable de les causes, cosa que pot provocar que l'avaria es repeteixi. A més a més, implica disposar d'un estoc important de recanvis. Per això, basar el manteniment en el correctiu no es rendible.

#### **7.1.2. Manteniment preventiu**

L'objectiu d'aquest tipus de manteniment és allargar al màxim la vida útil dels actius, mitjançant una sèrie d'accions programades per preveure avaries imprevistes i reduir la freqüència o probabilitat de fallada. S'aplica en equips que pateixen un desgast segur i en els que tenen una relació entre probabilitat de fallada y temps de vida coneguts.

Per tant, es redueixen les parades imprevistes, tot i que el cost augmenta, i disminueix la disponibilitat si no es programa de manera adequada.

- **Manteniment preventiu sistemàtic:** intervals regulars en el temps segons un programa establert i tenint en compte la citicitat de cada màquina i la existència o no d'inventari.

#### **7.1.3. Manteniment predictiu**

Es refereix a les tècniques de detecció precoç de símptomes per ordenar la intervenció abans de l'aparició de la fallada.

Aquest manteniment millora el coneixement i el control de l'estat dels equips i, en definitiva, optimitza el temps per a realitzar el manteniment i les despeses que aquest comporta.

- **Manteniment predictiu condicional:** subordinat a un esdeveniment predeterminat. Un exemple pot ser que l'espectre de freqüència de vibracions augmenti a la zona de freqüències associades als coixinets, aleshores es programa un canvi de coixinets.

## 7.2. Pla de manteniment

Per poder fer un pla de manteniment, primerament és necessari realitzar un anàlisi de risc on s'estudien les fallades y les conseqüències que aquestes comporten. Per fer-ho, l'estudi es basa en un RBM (*Risk Based Maintenance*).

Una vegada descrits els tres tipus de manteniment, es mostra la matriu de riscos, la qual compara les diferents estratègies de manteniment.

**Taula 7.1.** Matriu de risc dels diferents tipus de manteniment

Comparativa entre estratègies de manteniment	Correctiu	Preventiu	Predictiu
Despeses d'operació			
Parades no planificades			
Averies catastròfiques			
Despeses en revisions			
Despeses en recanvis			
Immobilitzats a magatzem			
Pèrdues de producte per falta de disponibilitat de la planta			
Penalitzacions per retards en entregues			
Qualitat del producte fabricat			
Despeses de primes en assegurances			
Fiabilitat global de la planta			

De la mateixa manera, s'ha dissenyat un arbre de selecció del tipus de manteniment en funció del tipus de fallada de l'aparell o element. En el qual l'empresa s'haurà de basar en funció del grau de criticitat dels equips.

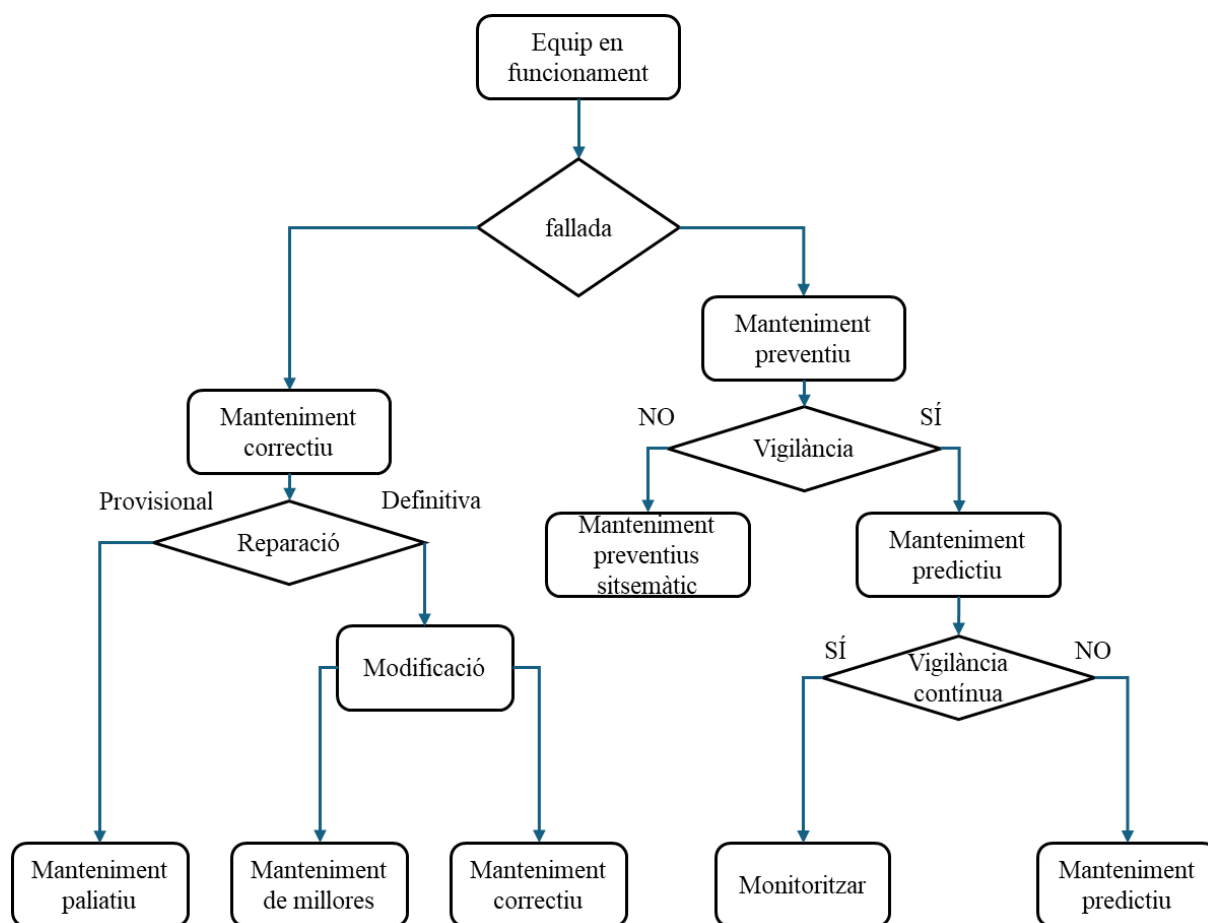
**Taula 7.2.** classificació dels equips i elements de la nova instal·lació

Equip o element	Tipus	Quantitat	Grau de criticitat
Turbocompressor	-	1	Alt
Atemperador	-	1	Alt
Knock Out Drum (KOD)	-	1	Alt
Vàlvules	Manuais	50	Baix
	Automàtiques de control	4	Alt
	De seguretat	2	Alt
Transmissors	Temperatura	14	Mitjà
	Cabal	1	Baix
	Pressió	8	Alt
Canonades		40	Mitjà

Baix: fàcil de reparar o amb poc impacte per fallada puntual

Mitjà: impacte moderat. Sol requerir manteniment planificat

Alt: en cas de fallada, pot aturar la instal·lació o provocar riscos. Necessari manteniment preventiu i predictiu



**Figura 7.1.** Arbore de selecció del tipus de manteniment

### 7.2.1. Manteniment del turbocompressor

Les avaries més freqüents en equips amb els turbocompressors acostumen a estar relacionades amb un funcionament fora de les condicions de disseny, una mala lubricació o el desgast de components crítics com els coixinets o el rotor. És per aquest motiu que el pla de manteniment adequat, és aquell que combina actuacions preventives i predictives.

En relació al manteniment preventiu, és necessari realitzar inspeccions visuals de la carcassa i els components, així com de possibles sorolls anòmals. És important que la temperatura i la pressió d'entrada i sortida de l'equip sigui comprovada (en continu, a panell). I per últim, s'ha de comprovar el consum elèctric, ja que una desviació significativa pot ser un indicatiu d'una fallada.

Pel que fa a la part de manteniment predictiva, inclou tècniques de diagnòstic que permeten avaluar l'estat intern de l'equip. S'han de netejar els filtres d'aire i revisar les línies de lubricació i refrigeració. De la mateixa manera, és necessari verificar el joc axial i radial de l'eix. Cal dur un anàlisi de vibracions i sorolls, les quals poden ser in situ o en continu en cas de tenir senyal de les vibracions a la sala de control. També s'ha d'analitzar l'oli lubricant per detectar si hi ha presència de metalls, un canvi en la viscositat o aquest està contaminat. Per últim s'han de realitzar termografies d'infrarojos i inspeccions boroscòpiques per poder detectar punts calents en l'equip i avaluar l'estat intern de l'equip sense desmuntar-lo, respectivament.

Quan alguna d'aquestes tècniques detecta una anomalia és moment d'utilitzar el manteniment correctiu. A continuació es detallant els passos a seguir:

1. Aïllar l'equip de procés per a la seva intervenció
  - a. Tancar vàlvules d'aïllament
  - b. Tallar el subministrament elèctric
  - c. Despressuritzar l'equip
  - d. Drenar el producte que hagi pogut romandre a dins
2. Assegurar condició segura de manteniment mitjançant un sistema LOTO<sup>2</sup>.

Els següents punts representen un exemple de reparació major, però moltes vegades no serà necessari dur a terme una actuació no extensa.

3. Substituir o reparar el rotor, coixinets i carcassa.
4. Balanceig dinàmic del conjunt giratori
5. Rectificar les superfícies de contacte o àleps danyats.
6. Netejar profundament tots els components
7. Reemplaçar les parts desgastades
8. Realitzar proves de rendiment després d'haver-lo reensamblat

### 7.2.2. Manteniment del temperador

Degut que la compressió del vapor comporta un augment de la temperatura d'aquest, la instal·lació precisa del temperador per tal de poder ajustar el vapor a les especificacions de xarxa de serveis<sup>3</sup> mitjançant un sistema d'injecció d'aigua. Una fallada d'aquest equip pot comprometre les vàlvules i canonades aigües avall així com els equips o instal·lacions dels consumidors de la xarxa de 5 bar (M.P).

Spirax Sarco [35] recomana que l'usuari ha de considerar els següents casos tot i aplicant el manteniment preventiu:

- Comprovació que no hi hagi acumulació d'incrustacions als forats de l'aigua de refrigeració que podria indicar una mala qualitat de l'aigua de refrigeració.
- Revisió del desgast interior del temperador, en concret el broquet de vapor, el difusor intern, difusor principal i els forats de l'aigua de refrigeració.
- observació si hi ha signes d'erosió, corrosió, acumulació de residus o obstruccions a la canonada de descàrrega i accessoris.
- Verificació del parell de acollament dels cargols dels jocs de brides siguin correctes, per tal d'evitar fuites o desajusts per vibracions o dilatacions.
- Inspecció dels equips auxiliars i vàlvules associades per comprovar el correcte funcionament del sistema de control de la injecció d'aigua i la instrumentació relacionada.

Pel que fa al manteniment predictiu, tot i aquest tipus del temperador no disposa de parts mòbils ni desmuntables, es decideix aplicar tècniques per identificar qualsevol tipus de valor anòmal. Es monitoritza la temperatura de sortida del vapor, ja que un augment significatiu pot indicar una obstrucció del orificis de refrigeració. De la mateixa manera, es monitoritza el cabal d'aigua de refrigeració per detectar possibles obstruccions a l'injector. Per últim es faran inspeccions termogràfiques per detectar punts calents dins l'equip o a la carcassa.

---

<sup>2</sup> *Lockout/Tagout*: procediments emprats per garantir que l'equip estigui desconnectat i inoperable mentre es realitzen operacions de manteniment.

<sup>3</sup> Taula 3.5 d'especificacions de xarxa de serveis

### 7.2.3. Manteniment del KOD

Les avaries més comuns en equips com el separadors de gotes tipus S2 de Spirax Sarco [36] estan relacionades amb l'acumulació de condensat per la fallada del purgador que està situat a la part de sota del mateix. Tot i aquest tipus de separador no té components interns que precisin d'un manteniment, la seva fiabilitat és essencial per garantir que el vapor entri sec al compressor i així evitar danys greus. Es per això que es fa un pla de manteniment amb actuacions preventives, predictives i correctives.

Pel que fa al manteniment preventiu es recomana realitzar inspeccions visuals de la carcassa les juntes, per possibles fuites, i l'aïllament tèrmic. També es crucial verificar que el purgador (que es troba a sota de l'equip) evacua de forma correcta el líquid recollit al fons del tanc (o separador) i que no hi ha pèrdues de vapor. En cas que s'hagi hagut d'obrir la tapa inferior per una inspecció o per una neteja s'haurà de comprovar el parell de collament dels cargols per tal de garantir la estanqueïtat (190 – 210 N·m [36]). Per últim, és apropiat controlar l'aparició de condensat aigües avall del KOD, ja que això indicaria un mal funcionament del sistema de drenatge.

Des del punt de vista del manteniment predictiu, es poden aplicar diverses tècniques per poder avaluar l'estat del separador sense la necessitat de desmuntar-lo. Un seguiment continu de la temperatura i la pressió a l'entrada i a la sortida permetran identificar una acumulació de condensat i/o una fuga. Amb l'ajut de càmeres tèrmiques s'analitzarien punts calents o humitats no desitjades a la sortida del vapor. D'altra banda, tècniques d'ultrasons o monitors acústics ajudaran a avaluar el comportament de l'equip i identificar possibles obstruccions. A nivell extern es durà a terme una inspecció visual per detectar punts de corrosió, o deteriorament.

Quan alguna de les tècniques esmentades en ambdós manteniments evidencien una anomalia, es necessari un manteniment correctiu. El procediment d'aïllament és el mateix que els de la resta d'equips. Seguidament, s'obre la tapa inferior per netejar-lo en cas que es trobin residus o incrustacions a l'interior d'aquest. Si la junta presenta signes de desgast o ha deixat de ser estanca, caldrà substituir-la per una de nova. També es durà a terme una revisió del sistema de drenatge i es substituirà si s'escau. Una vegada realitzades les tasques pertinents es tornarà a tancar el tanc i es verificarà el parell de collament dels cargols.

### 7.2.4. Manteniment de les bombes

Les bombes que es troben al tren de compressió de vapor són bombes lobulars ja que són ideal per moure fluids viscosos. S'ha decidit agafar el model SRL 1-25 de INOXPA [37], la qual pot arribar a una pressió d'operació de 10 bar o 5 bar, si els lòbuls són més amples, i seguir les recomanacions del fabricant per a dur a terme el seu manteniment. Les averies més freqüents, solen estar relacionades amb la detecció de fuites, un desgast dels components interns o una lubricació ineficient. Aquestes, son molt sensibles al desgast per fricció degut que es tracta de bombes de desplaçament positiu i els lòbuls estan molt a prop per assegurar la màxima eficiència.

Pel que fa al manteniment del tancament mecànic, s'ha de comprovar periòdicament que no hi hagi fuites a la zona de l'eix. Si se'n detecten s'ha de substituir el tancament<sup>4</sup>.

---

<sup>4</sup> Seguir les instruccions del manual del fabricant [37]

Per mantenir les juntes, de manera preventiva s'han de substituir cada 12 mesos, encara que també recomanen substituir-les quan hi hagi qualsevol modificació al tancament mecànic.

D'altra banda, el nivell de l'oli de lubricació s'ha d'examinar de manera periòdica, per exemple cada setmana, mitjançant un visor. No obstant, el primer canvi d'oli s'ha de fer després de 150 hores de funcionament. Una vegada s'ha efectuar la primera posada en marxa es pot anar canviant cada 2,500 hores o si més no una vegada a l'any. Una mala lubricació generarà vibracions excessives i un recalentament de la bomba, la qual cosa, pot provocar la ruptura dels coixinets. Per tant, és recomanable dur a terme un anàlisi de vibracions al menys una vegada al mes. A més a més es duran a terme inspeccions visuals i sonores per comprovar que el motor i la pròpia bomba girin de manera apropiada, per detectar signes de desgast o corrosió i per identificar sorolls anòmals.

### **7.2.5. Manteniment del tanc d'oli**

Una fuga al dipòsit d'emmagatzematge de l'oli pot ocasionar una pèrdua del producte i com a conseqüència una mala lubricació del rotor i dels coixinets del turbocompressor. Tot i així la possibilitat que aquest falli és bastant més reduïda, degut que no pateix cap moviment ni pateix estrès, al llarg de la seva vida útil.

Degut que el dipòsit podria patir desgast per corrosió es decideix implementar el manteniment predictiu tot realitzant mesures periòdiques del gruix del tanc mitjançant ultrasons. Externament, es duen a terme inspeccions visual per comprovar l'estat de l'aïllament tèrmic per poder substituir-lo o arreglar-lo.

Per assegurar-se que el dispositiu compleixi amb les normes de disseny es sotmetrà a una prova hidràulica per poder detectar possibles fuites de producte durant el període de parada. Una vegada realitzada la prova, si es detecta una petita fuga es repararan els porus i si es més important s'haurà de substituir la part afectada del dipòsit o substituir-lo per un de nou.

### **7.2.6. Manteniment de canonades**

La pèrdua de funcionalitat de les canonades pot comportar una aturada total del procés si no es porta a terme un bon manteniment. Cal tenir en compte el risc de corrosió que pot quedar ocult pel propi aïllament de les canonades, així com les dilatacions tèrmiques les temperatures elevades del vapor, i la possible acumulació de condensats.

Com s'ha comentat el principal desgast de les canonades són punts on l'aïllament està en mal estat i es generen punts humits. Això fa que el metall es pugui corroir provocant la disminució del gruix de la canonada, que si no es repara acabarà convertint-se en una fuga o trencant-se.

Per tal de preveure aquestes situacions s'estableix un manteniment preventiu que consisteix en inspeccions visuals de l'estat de l'aïllament, de deformacions o esquerdes o de zones de condensació externa. Com a manteniment predictiu, es poden aplicar tècniques no destructives com la mesura del gruix per ultrasons.

Si es detecta una secció afectada o la pèrdua de gruix de la canonada, es durà a terme una intervenció correctiva per part de l'equip de manteniment. Aquesta inclourà la retirada del recobriment defectuós i la reparació o substitució de l'aïllament.

### **7.2.7. Manteniment de vàlvules**

Per tal de mantenir les vàlvules s'ha d'assegurar que no tinguin cap tipus de fuga i que aquestes no tinguin cap mena d'obstrucció degut a les sals que hi puguin haver al vapor d'aigua. A més a més se sotmetran a inspeccions visuals, així com a proves hidroestàtiques per comprovar l'estanqueïtat i la pressió que aquestes poden suportar.

Pel que fa a les vàlvules de seguretat, els factors ambiental són determinants durant el pas del temps. Si la planta opera de manera correcta aquestes no treballen i, per tant, poden tenir corrosió o obstruccions tant en les parts internes com externes. És recomanable desmuntar l'equip i dur a terme una neteja general, una verificació del desgast i de l'estat de la vàlvula, un nou calibratge, entre altres coses cada cert temps per tal d'allargar la vida útil de la vàlvula.

### **7.2.8. Manteniment d'elements de control**

Encara que els elements de control no tinguin parts mòbils o no facin soroll són els responsables de donar l'ordre correcte en un moment determinat i si aquests fallen poden provocar defecte en les especificacions del producte final o fins i tot la parada de la instal·lació.

Per això, es fa un manteniment preventiu, el qual consisteix en mirar que tot estigui correctament i que les lectures no presentin valors anòmals. S'ha de realitzar una comprovació de manera periòdica. També és important revisar que les vàlvules de control no tinguin fuites, que la tija es mogui correctament i que no estiguin obstruïdes.

El manteniment predictiu engloba el calibratge dels sensors i la comparació de les lectures amb un valor de referència.

Quan alguna cosa deixa de funcionar cal implementar un manteniment correctiu. Aquest pot anar des de canviar una sonda d'un transmissor de temperatura fins substituir una reguladora que no ho regula com ho hauria de fer. També es pot donar el cas en què sigui el cable el que falla, especialment en entorns calents o en vibracions, on els connectors es poden acabar afluixant degut al moviment constant.

### 7.2.9. Organigrama de manteniment

A continuació es mostren els organigrames del diferents equips i element de la instal·lació.

#### 7.2.9.1. Organigrama del turbo compressor

*Taula 7.3.* Organigrama del turbocompressor

Tipus de manteniment	Activitat	Responsable	Freqüència
Preventiu	Inspecció visual de la carcassa i components	Operacions / Manteniment	Setmanal
	Comprovació de sorolls anòmals	Operacions	Diària
	Verificació de pressions i temperatures d'entrada i sortida (a panell)	Sala de control	En continu
Predictiu	Control del consum elèctric (monitorització)	Sala de control	En continu
	Neteja de filtres d'aire	Manteniment	Mensual
	Revisió de les línies de lubricació i refrigeració	Manteniment	Trimestral
	Verificació del joc axial i radial de l'eix	Manteniment	Trimestral o segons corba d'equip
	Anàlisi de vibracions i sorolls (in situ o en continu)	Manteniment	En continu o segons corba crítica
	Anàlisi d'oli lubricant	Manteniment	

### 7.2.9.2. Organigrama del KOD

Taula 7.4. Organigrama del KOD

Tipus de manteniment	Activitat	Responsable	Freqüència
<b>Preventiu</b>	Inspecció visual de la carcassa i components externs	Operadors de planta	1 cop per torn
	Comprovació de vibracions i sorolls anòmals	Operadors de planta	1 cop per torn
	Verificació de pressió i temperatura d'entrada i sortida	Panelista a sala de control	En continu
	Inspecció dels drenatges i comprovació de condensats	Manteniment / Operacions	Setmanal o segons pla
	Verificació del correcte funcionament	Operadors / Manteniment	Mensual
<b>Predictiu</b>	Mesura de vibracions o sorolls interns per canvis de règim	Manteniment/ Sala de control	Mensual o en continu si hi ha senyal
	Inspecció per termografia infraroja (punts calents en carcassa o canonades)	Manteniment	Segons pla establert
	Inspecció interna amb boroscopi	Manteniment	Segons condició o pla
<b>Correctiu</b>	Substitució o reparació d'elements interns (deflectors, coixinets, tubs)	Manteniment	Quan sigui necessari
	Inspecció visual i proves d'estanqueïtat després de reparació	Manteniment	Després de cada intervenció

### 7.2.9.3. Organigrama del les bombes

Taula 7.5. Organigrama de les bombes lobulars

Tipus de manteniment	Activitat	Responsable	Freqüència
<b>Preventiu</b>	Inspecció visual de fuites tancament mecànic i carcassa	Operacions/Manteniment	Diària
	Comprovació purgues i drenatges	Operacions / Manteniment	Setmanal
	Lubricació del reductor (especificacions INOXPA)	Manteniment	Cada 2.000 h o semestral
	Comprovació de cargols i brides (parell i oxidació)	Manteniment	Trimestral
<b>Predictiu</b>	Anàlisi de vibracions i soroll	Manteniment	Trimestral
	Comprovació del joc axial i radial	Manteniment	En parada programada
	Anàlisi d'oli	Laboratori / Manteniment	Semestral
	Termografia	Manteniment	Annual
<b>Correctiu</b>	Desmuntatge de la bomba en cas de fuga o rendiment deficient	Manteniment / Taller	Quan es detecti anomalia
	Substitució de lòbus, tancaments, retens o coixinets	Taller	Segons estat de desgast
	Revisió i neteja de canals interns i drenatges obstruïts	Manteniment	Durant la intervenció

#### 7.2.9.4. Organigrama del dipòsit d'oli lubricant

*Taula 7.6.* Organigrama del dipòsit d'oli lubricant

<b>Tipus de manteniment</b>	<b>Activitat</b>	<b>Responsable</b>	<b>Freqüència</b>
<b>Preventiu</b>	Inspecció visual de l'estat extern i de l'aïllament tèrmic.	Manteniment	Trimestral
<b>Predictiu</b>	Ultrasons per detectar desgast per corrosió.	Empresa externa	Anual
<b>Correctiu</b>	Prova hidràulica Reparació de porus o substitució parcial/total si es detecta fuga.	Manteniment	Durant aturada programada

#### 7.2.9.5. Organigrama de les canonades

*Taula 7.7.* Organigrama de les canonades

<b>Tipus de manteniment</b>	<b>Activitat</b>	<b>Responsable</b>	<b>Freqüència</b>
<b>Preventiu</b>	Inspecció visual de l'aïllament	Manteniment	Trimestral
<b>Predictiu</b>	Mesura del gruix amb ultrasons en punts crítics per detectar corrosió oculta.	Empresa externa	Anual
<b>Correctiu</b>	Retirada de recobriment defectuós. Reparació o substitució de trams afectats i reinstal·lació d'aïllament.	Tècnic de canonades	Quan es detecti desgast o fuga

### 7.2.9.6. Organigrama de les vàlvules (incloent vàlvules de seguretat)

*Taula 7.8.* Organigrama de les vàlvules

Tipus de manteniment	Activitat	Responsable	Freqüència
Preventiu	Inspecció visual, comprovació d'estanqueïtat, detecció de fuites i obstruccions per sals.	Manteniment	Trimestral
Predictiu	Prova hidroestàtica i comprovació de la pressió de treball (important PSV)	Tècnic d'instrumentació	Anual
Correctiu	Desmuntatge, neteja, revisió de desgast intern, calibratge i substitució si cal	Tècnic especialista (Empresa externa)	Cada 2 anys o en aturada programada

### 7.2.9.7. Organigrama dels elements de control

*Taula 7.9.* Organigrama dels elements de control

Tipus de manteniment	Activitat	Responsable	Freqüència
Preventiu	Comprovació de lectures, detecció de valors anòmals  Inspecció visual d'instal·lació i connectors.	Tècnic d'instrumentació	Trimestral
Predictiu	Calibratge dels sensors i comparació amb valors de referència.	Tècnic d'instrumentació	Anual
Correctiu	Substitució de sondes, reguladores o cables defectuosos per calor o vibracions; reparació de connexions fluïxes.	Manteniment	Quan hi hagi error de lectura

### 7.3. Estratègia i llistat de recanvis

En primer lloc es necessari identificar amb detall tots els equips i components crítics de la nova instal·lació. Això inclou el turbocompressor (juntament amb els seus interns com el reductor, el conjunt de coixinets, els segells mecànica, etc.). El KOD (V-101) amb la trampa de vapor i les vàlvules pertinents. El temperador Spray STD, requereix la substitució de la unitat sencera en cas d'una avaria i per tant no es tindran recanvis d'aquest a excepció de les vàlvules d'aïllament. Pel que fa a les bombes del sistema de lubricació del turbocompressor són molt importants els tancament mecànics, els lòbuls, els coixinets interns i les juntes. A més a més la pròpia xarxa de canonades de la instal·lació haurà de tenir previst un stock disponible per a les vàlvules d'aquesta.

Cal destacar que el llistat de recanvis del turbo compressor es donarà en detall una vegada el projecte s'aprovi i passi a la següent fase de desenvolupament, ja que serà el propi fabricant que proveirà el propi llistat.

Per poder garantir un control eficient de l'inventari de recanvis, s'implementa un sistema de gestió centralitzat, en aquest cas el *software* SAP (*Systemanalyse Programmentwicklung*) [38].

Aquesta plataforma, permet tenir un registre de cada peça, la referència del fabricant així com la seva ubicació al magatzem. A continuació es proporciona la llista, amb l'objectiu de millorar la disponibilitat i reduir el temps de parada, de recanvis per als equips i components que si que es poden analitzar degut que són equips generals.

**Taula 7.10.** Llistat de recanvis de la instal·lació

Equip	Component	Quantitat	Notes
KOD (V-101)	Trampa de vapor	1	Inclusa vàlvula d'aïllment
	Juntes (kit)	2	-
Temperador Spray STD	Equip complet	1	No es pot desmuntar; substitució total de l'equip
	Segell mecànic	2	
Bombes Lobe SLR	O-rings	3	Recomanat pel fabricant
	Seal cover O-ring	1	
	Lip Seals	2	
Valvuleria	Vàlvules de papallona 20" i 10"	1 recanvi per vàlvula instal·lada	-
	Vàlvules de 3 vies	4	Afegir l'acorament mecànic
	Vàlvules manuals 1"	30% de les instal·lades	Per cobrir falles simultànies
	Vàlvules manuals 1¼"	2	Menys freqüents però crítiques
	Vàlvules manuals 2"	Igual al n° de vàlvules instal·lades	Evita riscos
	Vàlvules check	Igual al n° de vàlvules instal·lades	-

**Taula 7.11.** Llistat de recanvis de la instal·lació (continuació)

Equip	Component	Quantitat	Notes
Valvuleria	Automàtiques de globus	2	-
	Automàtiques de bola	2	-
Canonades	Es recomanen dos <i>spools</i> de cada diàmetre per cas de fallada o manteniment	-	-
	PLC	1 de cada tipus	
Instrumentació i control	Transmissor de pressió	1	Es revisarà semestralment per ajustar les quantitats en funció del requisits de planta i els recanvis efectuats
	Transmissor de temperatura	1	
	Cabalímetre	1	
	Indicador de intensitat	1	

Es portarà a terme un anàlisi de citicitat en forma de matriu de cada element, on es tindran en compte en l'eix horitzontal la probabilitat de fallada, i en l'eix vertical, les conseqüències, en termes de seguretat, ambientals i de costos. Englobant reparacions i pèrdues de producció, quantificades com el sobrecost d'haver d'operar amb el sistema actual. Aquestes, es veuen afectades pel temps de subministrament de les peces, que es determinaran en etapes més avançades del projecte.

## **8. MANUALS D'OPERACIÓ**

Per tal de determinar el funcionament eficient de la instal·lació en els seus tres estats (posada en marxa, operació continua i parada), s'ha elaborat la configuració de totes les vàlvules. Aquestes vàlvules es troben agrupades per equips i, a la columna de posicionament, es pot observar si es troben tancades, obertes o bé tancades/obertes de forma indiferent quan la posició no comporta cap conseqüència.

### **8.1. Posada en marxa**

Abans de realitzar la posada en marxa, es fa una inspecció de tots els elements mecànics i d'instrumentació per assegurar que no hi hagi fugues i que el nivell d'oli del dipòsit V-102 sigui el mesurat. També s'obren totes les purgues per tal d'eliminar qualsevol resta de condensat.

Després d'aquestes comprovacions, s'accionen les bombes d'oli per assegurar que la pressió puja a 5 barg i es posen en marxa els bescanviadors de refrigeració d'oli. Un cop assegurada la lubricació, s'obren de forma progressiva les vàlvules VM-101 i VM-102, permetent així l'estabilització de la pressió a 1.4 barA. En aquest moment, s'activa el compressor, revisant que el motor s'engega sense vibracions ni sorolls no habituals.

Finalment, s'obren les vàlvules d'entrada i sortida de vapor i condensat al temperador (VM-132, VM-133, VM-130 i VM-139) i la recirculació des del temperador cap al *Knock Out Drum* (VM-140, VM-141 i VAG-102). Durant la posada en marxa, tot el vapor es recircula, ja que encara no es troba a les condicions per entrar a la xarxa, de forma que les vàlvules que van cap a la xarxa (VM-121, VM-126 i VAB-102) es mantindran tancades fins assolir les condicions desitjades.

**Taula 8.1.** Configuració de les vàlvules de la instal·lació durant la posada en marxa

<b>Equip</b>	<b>Vàlvula</b>	<b>Posicionament</b>	
V-101	VM-101 (Entrada de vapor al KOD)	O	
	VM-102 (Sortida de vapor del KOD)	O	
	VM-105 (Purga de condensat)	O	
	VM-106 (Sortida trampa de vapor)	O	
	VM-107 (Purga entre VM-101 i KOD)	T	
	VM-108 (Purga entre VM-102 i KOD)	T	
	VM-149 (Venteig KOD)	T	
P-101	VC-102 (Antiretorn a la sortida)	N.A	
P-102	VC-101 (Antiretorn a la sortida)	N.A	
	VM-117 (Vàlvula al PT-104)	O	
E-101	VM-110 (Sortida d'aigua de refrigeració)	O	
	VM-111 (Purga entre VM-114 i E-101)	T	
	VM-112 (Purga entre VM-115 i E-101)	T	
	VM-113 (Entrada d'aigua de refrigeració)	O	
	VM-114 (Sortida oli de lubricació)	O	
	VM-115 (Entrada oli de lubricació)	O	
V-102	VM-118 (Venteig V-102)	T	
TC-101	VM-103 (Entrada del vapor de baixa pressió)	O	
	VM-104 (Sortida del vapor de mitja pressió)	O	
	VM-116 (Purga entre VM-103 i TC-101)	T	
	VM-129 (Purga entre VM-104 i TC-101)	T	
P-103	VTV-101 (Aïllament del F-101 i F-102)	O	T
	VTV-102 (Aïllament del F-101 i F-102)	O	T
	VC-103 (Antiretorn a la sortida)	N.A	
P-104	VTV-101 (Aïllament del F-101 i F-102)	T	O
	VTV-102 (Aïllament del F-101 i F-102)	T	O
	VC-104 (Antiretorn a la sortida)	N.A	

**Taula 8.1.** Configuració de les vàlvules de la instal·lació durant la posada en marxa (part 2)

Equip	Vàlvula	Posicionament	
		O	T
E-102	VTV-103 (Aïllament E-102)	O	T
	VTV-104 (Aïllament E-102)	O	T
	VM-123 (Entrada aigua de refrigeració)	O	
	VM-109 (Sortida aigua de refrigeració)	O	
	VM-120 (Purga VTV-103 i E-102)		T
	VM.122 (Purga VTV-104 i E-102)		T
E-103	VTV-103 (Aïllament E-103)	T	O
	VTV-104 (Aïllament E-103)	T	O
	VM-128 (Entrada aigua de refrigeració)	O	
	VM-124 (Sortida aigua de refrigeració)	O	
	VM-125 (Purga VTV-103 i E-103)		T
	VM.127 (Purga VTV-104 i E-103)		T
E-104	VM-130 (Entrada vapor de baixa pressió)	O	
	VM-131 (Purga VM-130 i E-104)		T
	VM-132 (Entrada condensat a l'E-104)	O	
	VM-133 (Entrada xarxa condensat fins vàlvula reguladora VAG-101)	O	
	VM-134 (Purga entre VAB-101 i VM-147)		T
	VM-135 (Purga entre VAB-101 i VM-148)		T
	VM-136 (Venteig E-104)	O	
	VM-137 (Purga a l'E-104)		T
	VM-138 (Purga entre E-104 i VM-139)		T
	VM-139 (Sortida de vapor de mitja a l'E-104)	O	
	VM-140 (Recirculació abans VAG-102)	O	
	VM-141 (Recirculació després VAG-102)	O	
	VM-142 (Purga recirculació)		T
	VM-121 (Aïllament VAB-102)	O	
	VM-126 (Aïllament VAB-102)	O	
	VM-143 (Purga entre VM-121 i VAB-102)		T
	VM-144 (Purga entre VM-126 i VAB-102)		T
	VM-145 (Purga entre VM-132 i VAG-101)		T
	VM-146 (Purga entre VM-133 i VAG-101)		T
	VM-147 (Aïllament VAB-101)	O	
	VM-148 (Aïllament VAB-101)	O	
	VM-150 (Purga entre VM-140 i VAG-102)		T
	VAB-101 (Reguladora de cabal de condensat)		T
	VAG-101 (Reguladora de cabal de condensat)	O	
VAB-102 (Reguladora de cabal de vapor a la xarxa)		T	
VAG-102 (Reguladora de cabal de la recirculació)	O		

## **8.2. Funcionament en continu**

Un cop el sistema es troba en estat de funcionament continu, es busca mantenir estabilitzades les condicions del procés per assegurar una operativa segura i eficient.

Es comprova que les vàlvules d'aïllament dels equips principals segueixin obertes (VM-101, VM-102, VM-103, VM-104, VM-130 i VM-139). Els ventejos dels dipòsits V-101 i V-102 romanen tancats per no tenir pèrdues de vapor, així com les purgues que només s'usaran en cas d'emergència.

A la sortida del temperador, la vàlvula automàtica VAB-101 es troba oberta per enviar contínuament a la xarxa, degut a què el vapor es troba a les condicions desitjades (175 °C i 5.0 barg).

La vàlvula automàtica de la recirculació es manté tancada, a no ser que el TC-101 entri en estat de bombeig. Amb aquest corrent, s'asseguraria que el cabal a la entrada del turbocompressor sempre fos igual o superior al mínim.

Finalment, s'han de controlar les condicions de l'oli (especialment els nivells i temperatures) per garantir el funcionament del TC-101. En cas contrari, com s'ha identificat amb l'estudi HAZOP, s'activarien alarmes d'alta criticitat que, seguidament, comportarien l'aturada de l'equip.

**Taula 8.2.** Configuració de les vàlvules de la instal·lació durant el funcionament continu

<b>Equip</b>	<b>Vàlvula</b>	<b>Posicionament</b>	
V-101	VM-101 (Entrada de vapor al KOD)	O	
	VM-102 (Sortida de vapor del KOD)	O	
	VM-105 (Purga de condensat)	O	
	VM-106 (Sortida trampa de vapor)	O	
	VM-107 (Purga entre VM-101 i KOD)	T	
	VM-108 (Purga entre VM-102 i KOD)	T	
	VM-149 (Venteig KOD)	T	
P-101	VC-102 (Antiretorn a la sortida)	N.A	
P-102	VC-101 (Antiretorn a la sortida)	N.A	
	VM-117 (Vàlvula al PT-104)	O	
E-101	VM-110 (Sortida d'aigua de refrigeració)	O	
	VM-111 (Purga entre VM-114 i E-101)	T	
	VM-112 (Purga entre VM-115 i E-101)	T	
	VM-113 (Entrada d'aigua de refrigeració)	O	
	VM-114 (Sortida oli de lubricació)	O	
	VM-115 (Entrada oli de lubricació)	O	
V-102	VM-118 (Venteig V-102)	T	
TC-101	VM-103 (Entrada del vapor de baixa pressió)	O	
	VM-104 (Sortida del vapor de mitja pressió)	O	
	VM-116 (Purga entre VM-103 i TC-101)	T	
	VM-129 (Purga entre VM-104 i TC-101)	T	
P-103	VTV-101 (Aïllament del F-101 i F-102)	O	T
	VTV-102 (Aïllament del F-101 i F-102)	O	T
	VC-103 (Antiretorn a la sortida)	N.A	
P-104	VTV-101 (Aïllament del F-101 i F-102)	T	O
	VTV-102 (Aïllament del F-101 i F-102)	T	O
	VC-104 (Antiretorn a la sortida)	N.A	

**Taula 8.2.** Configuració de les vàlvules de la instal·lació durant el funcionament continu (part 2)

Equip	Vàlvula	Posicionament	
		O	T
E-102	VTV-103 (Aïllament E-102)	O	T
	VTV-104 (Aïllament E-102)	O	T
	VM-123 (Entrada aigua de refrigeració)	O	
	VM-109 (Sortida aigua de refrigeració)	O	
	VM-120 (Purga VTV-103 i E-102)		T
	VM.122 (Purga VTV-104 i E-102)		T
E-103	VTV-103 (Aïllament E-103)	T	O
	VTV-104 (Aïllament E-103)	T	O
	VM-128 (Entrada aigua de refrigeració)	O	
	VM-124 (Sortida aigua de refrigeració)	O	
	VM-125 (Purga VTV-103 i E-103)		T
	VM.127 (Purga VTV-104 i E-103)		T
E-104	VM-130 (Entrada vapor de baixa pressió)	O	
	VM-131 (Purga VM-130 i E-104)		T
	VM-132 (Entrada condensat a l'E-104)	O	
	VM-133 (Entrada xarxa condensat fins vàlvula reguladora VAG-101)	O	
	VM-134 (Purga entre VAB-101 i VM-147)		T
	VM-135 (Purga entre VAB-101 i VM-148)		T
	VM-136 (Venteig E-104)	O	
	VM-137 (Purga a l'E-104)		T
	VM-138 (Purga entre E-104 i VM-139)		T
	VM-139 (Sortida de vapor de mitja a l'E-104)	O	
	VM-140 (Recirculació abans VAG-102)	O	
	VM-141 (Recirculació després VAG-102)	O	
	VM-142 (Purga recirculació)		T
	VM-121 (Aïllament VAB-102)	O	
	VM-126 (Aïllament VAB-102)	O	
	VM-143 (Purga entre VM-121 i VAB-102)		T
	VM-144 (Purga entre VM-126 i VAB-102)		T
	VM-145 (Purga entre VM-132 i VAG-101)		T
	VM-146 (Purga entre VM-133 i VAG-101)		T
	VM-147 (Aïllament VAB-101)	O	
	VM-148 (Aïllament VAB-101)	O	
	VM-150 (Purga entre VM-140 i VAG-102)		T
	VAB-101 (Reguladora de cabal de condensat)		T
VAG-101 (Reguladora de cabal de condensat)	O		
VAB-102 (Reguladora de cabal de vapor a la xarxa)	O		
VAG-102 (Reguladora de cabal de la recirculació)	O		

### **8.3. Parada**

Per dur a terme la parada de la instal·lació es comença per fer una reducció de càrrega per a que el sistema es vagi refredant i així no hi hagi risc de patir un xoc tèrmic.

En primer lloc, s'ha de tancar la vàlvula d'entrada de vapor (VM-101) i la d'enviament a xarxa de consumidors, mentre que la vàlvula VM-102 (sortida del KOD) es manté oberta fins que la pressió de l'equip és aproximadament l'atmosfèrica. Una vegada s'assoleix la pressió es tanca la vàlvula VM-102 de manera que el KOD quedi aïllat.

Un cop aturat el flux principal de vapor, s'obren les diverses purgues distribuïdes per la línia (VM-105, VM-107, VM-108, VM-111, VM-112, VM-116 I VM-129) per tal d'evacuar el condensat residual, així com l'aire acumulat. Aquestes, es mantindran obertes fins a assegurar que la descàrrega sigui completament neta.

És important comprovar que la descàrrega estigui neta, transparent i lliure de bombolles. Això voldrà dir que ja no hi queda líquid.

Paral·lelament, s'ha de fer una parada progressiva del turbocompressor, reduint la càrrega de vapor a l'entrada fins a la seva detenció total. Durant aquest procés, el sistema de lubricació i refrigeració han de romandre operatius fins a dita parada.

Finalment, es comprovarà que totes les vàlvules d'aïllament i de seguretat quedin en posició segura, evitant així, qualsevol possible sobrepressió o entrada accidental de fluids durant el període d'aturada i fins la pròxima posada en marxa.

**Taula 8.3.** Configuració de les vàlvules de la instal·lació durant la parada

<b>Equip</b>	<b>Vàlvula</b>	<b>Posicionament</b>	
V-101	VM-101 (Entrada de vapor al KOD)	T	
	VM-102 (Sortida de vapor del KOD)	O	
	VM-105 (Purga de condensat)	O	
	VM-106 (Sortida trampa de vapor)	O	
	VM-107 (Purga entre VM-101 i KOD)	T	
	VM-108 (Purga entre VM-102 i KOD)	T	
	VM-149 (Venteig KOD)	O/T	
P-101	VC-102 (Antiretorn a la sortida)	N.A	
P-102	VC-101 (Antiretorn a la sortida)	N.A	
	VM-117 (Vàlvula al PT-104)	O	
E-101	VM-110 (Sortida d'aigua de refrigeració)	O	
	VM-111 (Purga entre VM-114 i E-101)	T	
	VM-112 (Purga entre VM-115 i E-101)	T	
	VM-113 (Entrada d'aigua de refrigeració)	O	
	VM-114 (Sortida oli de lubricació)	O	
	VM-115 (Entrada oli de lubricació)	O	
V-102	VM-118 (Venteig V-102)	O/T	
TC-101	VM-103 (Entrada del vapor de baixa pressió)	O	
	VM-104 (Sortida del vapor de mitja pressió)	O	
	VM-116 (Purga entre VM-103 i TC-101)	T	
	VM-129 (Purga entre VM-104 i TC-101)	T	
P-103	VTV-101 (Aïllament del F-101 i F-102)	O	T
	VTV-102 (Aïllament del F-101 i F-102)	O	T
	VC-103 (Antiretorn a la sortida)	N.A	
P-104	VTV-101 (Aïllament del F-101 i F-102)	T	O
	VTV-102 (Aïllament del F-101 i F-102)	T	O
	VC-104 (Antiretorn a la sortida)	N.A	
E-103	VTV-103 (Aïllament E-102)	O	T
	VTV-104 (Aïllament E-102)	O	T
	VM-123 (Entrada aigua de refrigeració)	O	
	VM-109 (Sortida aigua de refrigeració)	O	
	VM-120 (Purga VTV-103 i E-102)	T	
	VM.122 (Purga VTV-104 i E-102)	T	

**Taula 8.3.** Configuració de les vàlvules de la instal·lació durant la parada (part 2)

<b>Equip</b>	<b>Vàlvula</b>	<b>Posicionament</b>
E-104	VM-130 (Entrada vapor de baixa pressió)	O
	VM-131 (Purga VM-130 i E-104)	T
	VM-132 (Entrada condensat a l'E-104)	O
	VM-133 (Entrada xarxa condensat fins vàlvula reguladora VAG-101)	O
	VM-134 (Purga entre VAB-101 i VM-147)	T
	VM-135 (Purga entre VAB-101 i VM-148)	T
	VM-136 (Venteig E-104)	O
	VM-137 (Purga a l'E-104)	T
	VM-138 (Purga entre E-104 i VM-139)	T
	VM-139 (Sortida de vapor de mitja a l'E-104)	O
	VM-140 (Recirculació abans VAG-102)	O
	VM-141 (Recirculació després VAG-102)	O
	VM-142 (Purga recirculació)	T
	VM-121 (Aïllament VAB-102)	O
	VM-126 (Aïllament VAB-102)	O
	VM-143 (Purga entre VM-121 i VAB-102)	T
	VM-144 (Purga entre VM-126 i VAB-102)	T
	VM-145 (Purga entre VM-132 i VAG-101)	T
	VM-146 (Purga entre VM-133 i VAG-101)	T
	VM-147 (Aïllament VAB-101)	O
	VM-148 (Aïllament VAB-101)	O
	VM-150 (Purga entre VM-140 i VAG-102)	T
	VAB-101 (Reguladora de cabal de condensat)	T
	VAG-101 (Reguladora de cabal de condensat)	O
	VAB-102 (Reguladora de cabal de vapor a la xarxa)	T
	VAG-102 (Reguladora de cabal de la recirculació)	O

## 9. AVALUACIÓ ECONÒMICA

A continuació, es mostra el procediment seguit per a realitzar l'anàlisi de la rendibilitat econòmica del projecte.

### 9.1. Dades de partida

**Taula 9.1.** Dades de partida per la avaluació econòmica

Vida útil (n)	20 anys
Valor residual al final de la vida útil ( $V_r$ )	0 €
Taxa de descompte (k)	15 %
Tipus impositiu	25%
Mètode d'amortització	lineal
Ingressos anuals per la implantació del projecte ( $E_t$ )	1,869,945 €

Els ingressos anuals es calculen fent la suma dels diners per hora que l'empresa s'hagués estalviat durant l'any 2024 si el compressor hagués estat en funcionament i l'absorbidor parat. A aquest valor se li ha d'afegir l'estalvi d'impostos per emissions de CO<sub>2</sub>, ja que una part del vapor que provenia de les calderes de metà ara és proporcionat pel compressor.

La taula 9.2 mostra l'estalvi mensual que implicaria la implementació del compressor. Les taules amb l'estalvi per hora per cadascun dels mesos de l'any es troben a l'Annex A.6.

**Taula 9.2.** Estalvi que hagués suposat a l'empresa tenir el compressor en marxa durant 2024

Mes	Estalvi (€)	Mes	Estalvi (€)
Gener	57,366	Juliol	134,100
Febrer	152,609	Agost	119,796
Març	165,180	Setembre	131,250
Abril	178,816	Octubre	133,975
Maig	4,355	Novembre	62,106
Juny	128,293	Desembre	75,799
Total ( $E_{comp}$ )		1,343,646 €	

En referència a l'estalvi per l'impost d'emissions de CO<sub>2</sub>, s'ha realitzat l'estudi ambiental on s'ha demostrat que s'haguessin deixat d'emetre un total de 7840 tCO<sub>2e</sub>/any. Sabent que l'impost del CO<sub>2</sub> el darrer any era de 67.13 €/Tm, s'ha calculat l'estalvi econòmic que hagués suposat.

$$E_{CO_2} = 7,840 \frac{t_{CO_2e}}{any} \cdot 67.13 \frac{€}{t_{CO_2e}} = 526,299 € \quad (E.9.1)$$

Així doncs, els ingressos totals anuals del projecte, es calculen fent la següent suma:

$$E_t = E_{CO_2} + E_{comp} = 526,299 + 1,343,646 = 1,869,945 € \quad (E.9.2)$$

## 9.2. Inversió inicial

Per determinar la inversió inicial, s'ha realitzat una recerca de preus dels equips similars que ja estan instal·lats al *site*. A continuació, es mostren els respectius preus.

**Taula 9.3.** Preus aproximats dels equips

Tipus	Unitats	Cost (€)
Turbocompressor de vapor	1	1,200,000
<i>Knock out drum</i>	1	15,000
Temperador	1	3,500
<b>TOTAL</b>	<b>1,218,500</b>	

El projecte es troba a la fase FEL 1 (Front-End Loading, nivell 1), així que es fa una estimació molt preliminar de costos i beneficis basada en percentatges i referències del mercat. Aquesta aproximació servirà per avaluar la viabilitat del projecte i decidir si seguir endavant o no.

S'ha partit del càlcul aproximat del cost total dels equips i s'ha suposat que un 30% de la inversió inicial es destina a aquesta part del projecte. Amb aquesta informació, s'ha calculat la inversió total i distribuït el capital en els àmbits principals.

A la taula següent es mostren els percentatges i el capital aproximats dels àmbits principals, junt amb la inversió total inicial.

**Taula 9.4.** Distribució de capital per tipus de despesa

Despesa	Capital (%)	Capital (€)
Equips	30%	1,218,500
Canonades i aïllament tèrmic		
Vàlvules	15%	609,250
Sensors		
Enginyeria	10%	406,167
Obra civil		
Instal·lacions	35%	1,421,583
Assegurances i llicències		
Contingències	10%	406,167
Inversió inicial	100%	4,061,667 €

Com s'ha esmentat anteriorment, aquest projecte comportaria una reducció d'emissions de CO<sub>2</sub> a l'atmosfera significatives. El govern ha creat algunes subvencions dirigides a les empreses per tal d'incentivar els projectes que impulsen a la indústria cap a la transició energètica i la descarbonització.

Aquest projecte compleix tots els requisits per a ser beneficiari de la subvenció dels PERTE a projectes de descarbonització industrial, que estableix una ajuda econòmica màxima a empreses que no són PYME del 40% de la inversió inicial. Així doncs, tenint en compte la subvenció de l'estat, **la inversió inicial tindria el valor de 2,437,000 €.**

### 9.3. Estudi de viabilitat

Per conèixer la viabilitat econòmica del projecte estudiat, es calcula el VAN, la TIR i el *Payback*.

En primer lloc, és necessari conèixer l'amortització anual, que es calcula tenint en compte que la vida útil del projecte serà de 20 anys i el valor residual dels equips 0 €.

$$A_t = \frac{I_0 - V_r}{n} = \frac{2,437,000 - 0}{20} = 121,850 \text{ €} \quad (\text{E.9.3})$$

Amb aquesta informació ja es pot calcular el benefici abans d'impostos anual ( $BAI_t$ ):

$$BAI_t = E_t - A_t = 1,869,945 - 121,850 = 1,748,095 \text{ €} \quad (\text{E.9.4})$$

Assumint una taxa impositiva del 25%, el benefici després d'impostos anual ( $BDI_t$ ) serà:

$$BDI_t = BAI_t - \text{Imp}_t = 1,748,095 - 1,748,095 \cdot 0.25 = 1,311,071 \text{ €} \quad (\text{E.9.5})$$

Ara ja es pot calcular el flux de caixa operatiu anual ( $CF_t$ ):

$$CF = BDI_t + A_t = 1,311,071 + 121,850 = 1,432,921 \text{ €} \quad (\text{E.9.6})$$

#### 9.3.1. VAN (Valor actual net)

$$\text{VAN} = -I_0 + CF \cdot \frac{(1+k)^n - 1}{k \cdot (1+k)^n} = -2,437,000 + 1,432,921 \cdot \frac{(1+0.15)^{20} - 1}{0.15 \cdot (1+0.15)^{20}} = 6,532,130 \text{ €} \quad (\text{E.9.7})$$

#### 9.3.2. TIR (Taxa Interna de Retorn)

Per trobar la TIR, s'igualava l'equació del VAN a 0:

$$\text{TIR} (i) \rightarrow -I_0 + CF \cdot \frac{(1+i)^n - 1}{i \cdot (1+i)^n} = 0 \quad (\text{E.9.8})$$

$$\text{TIR} = 0.5879 = 58.79 \%$$

#### 9.3.3. Payback period

$$\text{PB} = \frac{I_0}{CF} = \frac{2,437,000}{1,432,921} = 1.70 \text{ anys} \approx 1 \text{ any i 8 mesos} \quad (\text{E.9.9})$$

#### 9.4. Taula de resultats

*Taula 9.6.* Resultats de l'avaluació econòmica

---

Inversió inicial	2,437,000 €
Ingressos	1,869,945 €
Amortització	121,850 €
BAI	1,748,095 €
Impostos (25%)	437,024 €
BDI	1,311,071 €
CF	1,432,921 €
VAN	6,532,130 €
TIR	58.79 %
<i>Payback</i>	1 any i 8 mesos

---

En definitiva, s'ha obtingut un VAN de 6.5 M€ en 20 anys i una TIR del 58.79 %. Tenint en compte que el VAN és positiu i que la TIR és major que la taxa d'interès, és un projecte viable.

## 10. CONCLUSIONS

A continuació, queden recollides les conclusions principals del projecte:

- S'han analitzat les dades del vapor alimentat a la màquina d'absorció de la planta de MDI i l'excedent alliberat a l'atmosfera per estimar el balanç de matèria de la nova instal·lació de compressió, obtenint un cabal de 6.6 Tm/h mitjà durant l'any 2024.
- S'ha determinat la relació entre el consum elèctric del cicle de refrigeració per compressió d'amoníac i el cabal d'amoníac a comprimir. (Tant per la climatologia d'hivern com la d'estiu, analitzant-ne les diferències i plantejant dos casos/equacions diferenciades).
- S'han determinat dues fórmules matemàtiques també en funció de les condicions climàtiques que, a partir de les dades de cabal d'aigua a refredar i les temperatures d'entrada i sortida reals, permeten obtenir l'estalvi econòmic de refredar aquesta aigua al cicle d'amoníac i posar en marxa el turbocompressor de vapor. S'han aplicat aquestes fórmules amb les dades reals del 2024, determinant que hagués estat rendible posar en marxa el compressor durant tots els mesos de l'any.
- S'han calculat les tones de CO<sub>2</sub> equivalent que s'haguessin estalviat amb la implementació del turbocompressor. Aquesta reducció d'emissions es tradueix en un consum menor de combustible, específicament gas natural consumit a les calderes. Les tones totals són 73,840 tCO<sub>2</sub>eq/any i s'han calculat emprant un factor de conversió proporcionat per l'empresa.
- En referència al disseny d'equips, s'ha dimensionat el *Knock Out Drum* i s'han dissenyat les bombes del cicle de l'oli. Tant el turbocompressor com el temperador seran proveïts per un distribuïdor extern i aquest proporcionarà les especificacions un cop el projecte es trobi a una fase més avançada.
- S'ha realitzat un estudi de seguretat tipus HAZOP per tal d'identificar les situacions de risc de la nova instal·lació, així com les salvaguardes i accions a implementar. Entre aquestes, hi ha duplicar sondes de temperatura a la sortida del temperador o programar alarmes de variables com la temperatura, la pressió o el nivell de l'oli de lubricació.
- Finalment, s'ha realitzat una avaluació econòmica aproximada, tenint en compte que el projecte es troba a la fase FEL 1, on s'han estimat els percentatges de distribució de capital de la inversió inicial per cadascun dels àmbits principals involucrats en el projecte. S'ha considerat que l'estat atorga una subvenció del 40 % de la inversió inicial, factor que redueix el *payback period* a 1 any i 8 mesos. Així doncs, s'han calculat el VAN i la TIR, que tenen un valor de 6.5 M€ i 58.79 %. El fet que el VAN sigui positiu i la TIR tingui un valor major a la taxa de descompte (k), demostra la viabilitat del projecte.

## 11. FONTS CONSULTADES

- [1] A. Aiats, «viaempresa,» 14 Mayo 2018. [En línea]. Available: [https://www.viaempresa.cat/es/empresa/covestro-la-startup-tarraconense-de-bayer\\_53200\\_102.html](https://www.viaempresa.cat/es/empresa/covestro-la-startup-tarraconense-de-bayer_53200_102.html).
- [2] COVESTRO, «Covestro pone en marcha en Tarragona una nueva planta de cloro a escala mundial,» 13 Febrero 2023. [En línea]. Available: <https://www.covestro.com/press/es/covestro-pone-en-marcha-en-tarragona-una-nueva-planta-de-cloro-a-escala-mundial-es/>. [Último acceso: 28 Febrero 2025].
- [3] Gobierno de España, «BOE. Real Decreto 709/2015, de 24 de julio, por el que se establecen los requisitos esenciales de seguridad para la comercialización de los equipos a presión.,» 02 09 2015. [En línea]. Available: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2015/07/24/709/con>. [Último acceso: 20 04 2025].
- [4] Unión Europea, «DIRECTIVA 2014/68/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 15 de mayo de 2014 relativa a la armonización de las legislaciones de los Estados miembros sobre la comercialización de equipos a presión,» 27 6 2014. [En línea]. Available: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.boe.es/doue/2014/189/L00164-00259.pdf>. [Último acceso: 20 04 2025].
- [5] J. R. F. a. M. H. Jawad, GUIDEBOOK FOR THE DESIGN OF ASME SECTION VIII PRESSURE VESSELS, New York: ASME Press, 2010.
- [6] International Society of Automation., ISA-5.1-2009 - Instrumentation Symbols and Identification., Research Triangle Park, NC: ISA, 2009.
- [7] Gobierno de España, «BOE. Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.,» 10 11 1995. [En línea]. Available: <https://www.boe.es/eli/es/l/1995/11/08/31/con>. [Último acceso: 20 04 2025].
- [8] Comisión Europea. Empresa e industria, «Guía para la aplicación de la directiva 2006/42/CE relativa a las máquinas,» 06 2010. [En línea]. Available: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://industria.gob.es/Calidad-Industrial/seguridadindustrial/productosindustriales/Seguridad-Maquinas/Directiva200642CEInfoAd/guide-appl-2006-42-ec-2nd-201006\\_es.pdf](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://industria.gob.es/Calidad-Industrial/seguridadindustrial/productosindustriales/Seguridad-Maquinas/Directiva200642CEInfoAd/guide-appl-2006-42-ec-2nd-201006_es.pdf). [Último acceso: 20 04 2025].
- [9] Diario Oficial de la Unión Europea, «DIRECTIVA 2003/10/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 6 de febrero de 2003 sobre las disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los agentes físicos (ruido),» 06 02 2003. [En línea]. Available: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.boe.es/doue/2003/042/L00038-00044.pdf>. [Último acceso: 20 04 2025].
- [10] Gobierno de España, «BOE. Real Decreto 809/2021, de 21 de septiembre, por el que se aprueba el Reglamento de quipos a presión y sus instrucciones técnicas complementarias.,» 11 Octubre 2021. [En línea]. Available: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2021/09/21/809/dof/spa/pdf>. [Último acceso: 20 04 2025].

- [11] Gobierno de España, «BOE. Real Decreto 552/2019, de 27 de septiembre, por el que se aprueban el Reglamento de seguridad para instalaciones frigoríficas y sus instrucciones técnicas complementarias.,» 24 10 2019. [En línea]. Available: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2019/09/27/552/con>. [Último acceso: 20 04 2025].
- [12] UNE. Normalización Española., «UNE-EN 13480-1:2024 (Ratificada). Tuberías metálicas industriales. Parte 1: Generalidades.,» 01 09 2024. [En línea]. Available: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0073269>. [Último acceso: 20 04 2025].
- [13] Deutsches Institut für Normung, «Normen und Standards,» 1917. [En línea]. Available: <https://www.din.de/de/ueber-normen-und-standards>. [Último acceso: 20 04 2025].
- [14] Generalitat de Catalunya, «DECRET 176/2009, de 10 de novembre, pel qual s'aprova el Reglament de la Llei 16/2002, de 28 de juny, de protecció contra la contaminació acústica, i se n'adapten els annexos.,» 18 03 2023. [En línea]. Available: <https://portaljuridic.gencat.cat/eli/es-ct/d/2009/11/10/176>. [Último acceso: 20 04 2025].
- [15] Gobierno de España, «BOE. Ley 16/2002, de 28 de junio, de Protección contra la Contaminación Acústica.,» 25 07 2022. [En línea]. Available: <https://www.boe.es/eli/es-ct/l/2002/06/28/16>. [Último acceso: 20 04 2025].
- [16] Gobierno de España, «BOE. Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular.,» 09 04 2022. [En línea]. Available: <https://www.boe.es/eli/es/l/2022/04/08/7/con>. [Último acceso: 20 04 2025].
- [17] Gobierno de España, «BOE. Ley 5/2013, de 11 de junio, por la que se modifican la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación y la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados.,» 12 06 2013. [En línea]. Available: <https://www.boe.es/eli/es/l/2013/06/11/5/con>. [Último acceso: 20 04 2025].
- [18] Gobierno de España, «BOE. Real Decreto Legislativo 1/2016, de 16 de diciembre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de prevención y control integrados de la contaminación.,» 31 12 2016. [En línea]. Available: <https://www.boe.es/eli/es/rdlg/2016/12/16/1>. [Último acceso: 20 04 2025].
- [19] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, «Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética.,» 25 10 2012. [En línea]. Available: <https://www.miteco.gob.es/ca/energia/eficiencia/directiva2012.html>. [Último acceso: 24 04 2025].
- [20] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico., «Sistema de Certificados de Ahorro Energético (CAE),» [En línea]. Available: <https://www.miteco.gob.es/ca/energia/eficiencia/cae.html>. [Último acceso: 24 04 2025].
- [21] Gobierno de España. Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico, «PERTE (Proyectos Estratégicos para la Recuperación y Transformación Económica),» 30 12 2020. [En línea]. Available: <https://www.prtr.miteco.gob.es/es/perte.html>. [Último acceso: 24 04 2025].
- [22] Gobierno de España, «Convocatoria anticipada de las ayudas de actuación integral para la descarbonización de la industria manufacturera como parte del PERTE de Descarbonización Industrial en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia.,» [En línea]. Available: <https://planderecuperacion.gob.es/como-acceder-a-los-fondos/convocatorias/BDNS/735612/convocatoria-anticipada-de-las-ayudas-de-actuacion->

integral-para-la-descarbonizacion-de-la-industria-manufacturera-como-parte-del-perte-de-descarbonizacion-industrial-en. [Último acceso: 24 04 2025].

- [23] B. group, «PERTE 2025: Convocatorias clave para el primer semestre,» Bantec, 11 03 2025. [En línea]. Available: <https://bantec.es/perte-2025-convocatorias-clave-para-el-primer-semester/>. [Último acceso: 24 04 2025].
- [24] Gobierno de España., «BOE. Orden ITU/1434/2023, de 26 de diciembre, por la que se establecen las bases reguladoras de ayudas de actuación integral para la descarbonización de la industria manufacturera como parte del PERTE de Descarbonización Industrial en el marco del Plan de,» 03 01 2024. [En línea]. Available: <https://www.boe.es/eli/es/o/2023/12/26/itu1434>. [Último acceso: 24 04 2025].
- [25] Institut d'Estadística de Catalunya, «Climatologia,» 2023. [En línea]. Available: <https://www.idescat.cat/indicadors/?id=aec&n=15193&lang=es>. [Último acceso: 24 3 2024].
- [26] TECTUL, «¿Qué es el calibre o Schedule en tuberías de proceso?,» 2 març 2023. [En línea]. Available: <https://tectul.com/es/noticias/que-es-el-calibre-o-schedule-en-tuberias-de-proceso?srsltid=AfmBOoqu8WMDTD7frXYPqLVvawX3mHrhTGrxiLN2UB0ODypFfreLeBZq>. [Último acceso: 31 maig 2025].
- [27] Isover SAINT-GOBAIN, «Aislamiento de Tuberías con Lana Mineral,» [En línea]. Available: <https://www.isover.es/documents/documentacion-isover/aislamiento-tuberias-2018.pdf>. [Último acceso: 14 maig 2025].
- [28] S. Lele, «svlele,» [En línea]. Available: [https://www.svlele.com/piping/color\\_code.htm](https://www.svlele.com/piping/color_code.htm). [Último acceso: 14 maig 2025].
- [29] «The Process Piping,» [En línea]. Available: <https://www.theprocesspiping.com/codes-standards-and-recommended-practices/>. [Último acceso: 14 maig 2025].
- [30] The American Society of Mechanical Engineers, ASME BPVC Secció II-Part D, New York, 2019, p. 88.
- [31] Castrol, «Perfecto X Range: ficha técnica,» BP Lubricants, Valley Road, Wayne, NJ, 2020.
- [32] Petro-Canada Lubricants Inc., «DATOS TÉCNICOS REFLO™ SYNTHETIC 68,» Mississauga, Ontario, 2023.
- [33] Sigaus, «Sigaus: sistema de gestión de aceites industriales usados en España,» [En línea]. Available: <https://www.sigaus.es/buenas-practicas1>. [Último acceso: 28 05 2025].
- [34] Sigaus, «Sigaus: sistema de gestión de aceites industriales usados en España. Gestión del residuo,» [En línea]. Available: <https://memoria2021.sigaus.es/gestion-del-residuo/>. [Último acceso: 28 05 2025].
- [35] Spirax Sarco, «Atemperador Tipo Spray STD,» 2012. [En línea]. Available: [https://www.spiraxsarco.com/-/media/spiraxsarco/international/documents/es/im/atemperador\\_tipo\\_spray\\_std-im-p475-04-es.ashx](https://www.spiraxsarco.com/-/media/spiraxsarco/international/documents/es/im/atemperador_tipo_spray_std-im-p475-04-es.ashx). [Último acceso: 29 maig 2025].
- [36] Spirax Sarco, «Spirax Sarco,» 2015.
- [37] INOXPA, «NSTALLATION, SERVICE AND MAINTENANCE INSTRUCTIONS LOBE PUMP SLR,» 2022. [En línea]. Available:

<https://www.inoxpa.com/uploads/document/Manuals%20de%20instruccions/Components/Bombes/SLR/01.500.30.03EN.pdf>. [Último acceso: 30 maig 2025].

- [38] SAP, «SAP ¿Qué es SAP?,» [En línea]. Available: <https://www.sap.com/latinamerica/about/what-is-sap.html>. [Último acceso: 31 maig 2025].
- [39] National Institute of Standards and Technology, «NIST Chemistry WebBook, Saturation Properties for Water,» [En línea]. Available: [https://webbook.nist.gov/cgi/fluid.cgi?PLow=1&PHigh=4&PInc=1&Digits=5&ID=C7732185&Action=Load&Type=SatT&TUnit=C&PUnit=bar&DUnit=mol%2Fm%2Fs&VisUnit=uPa\\*s&STUnit=N%2Fm&RefState=DEF](https://webbook.nist.gov/cgi/fluid.cgi?PLow=1&PHigh=4&PInc=1&Digits=5&ID=C7732185&Action=Load&Type=SatT&TUnit=C&PUnit=bar&DUnit=mol%2Fm%2Fs&VisUnit=uPa*s&STUnit=N%2Fm&RefState=DEF). [Último acceso: 10 04 2025].
- [40] NIST, Saturation Properties for Water — Pressure Increments, 2025.
- [41] Barringer & Associates, Inc., «Reliability Of Critical Turbo/Compressor Equipment,» Gulf Publishing Company, Houston, 1996.
- [42] JUMO, [En línea]. Available: <https://www.jumo.es/>.
- [43] AXIOMATIC. [En línea]. Available: <https://axiomatic.es/>.
- [44] HACH, [En línea]. Available: <https://es.hach.com/>.
- [45] WIKA, [En línea]. Available: [https://shop.wika.com/es-es/pagina\\_inicial.WIKA](https://shop.wika.com/es-es/pagina_inicial.WIKA). [Último acceso: Desembre 2024].
- [46] Maxon Group, [En línea]. Available: <https://www.maxongroup.com/es-es>. [Último acceso: Desembre 2024].
- [47] VP instruments, [En línea]. Available: <https://www.vpinstruments.com/es/latam/>. [Último acceso: Desembre 2024].

# ANNEXOS

## A.1. GANTT REAL

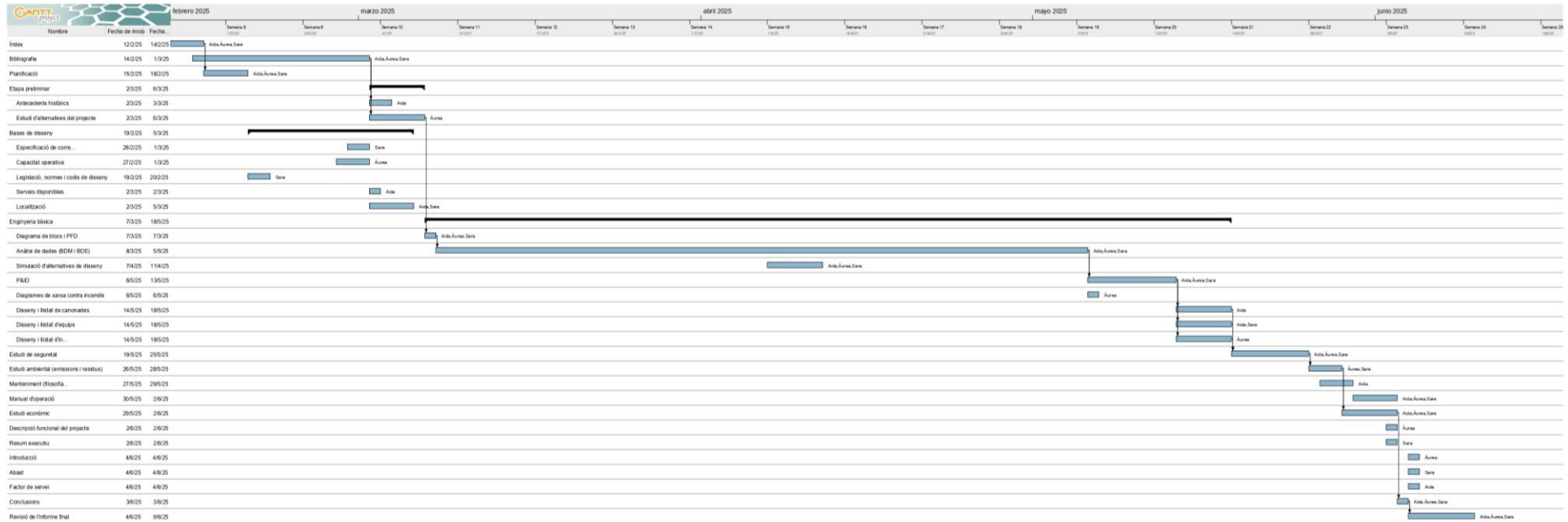


Figura A.1.1. Seguiment real del projecte

**A.2. DATES DE LES REUNIONS I EXEMPLE D'ACTA***Taula A.2.1.* Assistència i dates de les reunions

	10/02	21/02	24/02	28/02	04/03	10/03	20/03	31/03	07/04	26/04	05/05	12/05	19/05	26/05	04/06	09/06
Joan Codina Jorret	X											X			X	
Esteve Obis Torruella	X											X	X	X	X	
Felipe Pitarch Guardiola	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Àurea Caravaca Martí	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Aida Yong Galindo Domènech	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Sara Panella Navarro	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Les reunions han transcorregut tant via videoconferència (Microsoft Teams) com de forma presencial a les instal·lacions de Covestro, Tarragona.



## Acta de la reunió TFG

**Lloc:** Microsoft Teams

**Hora d'inici:** 15:30

**Dia:** 26/04/2025

**Hora de finalització:** 17:00

### Assistència:

Joan Codina Jornet	<input type="checkbox"/>
Esteve Obis Torruella	<input type="checkbox"/>
Felipe Pitarch Guardiola	<input checked="" type="checkbox"/>
Àurea Caravaca Martí	<input checked="" type="checkbox"/>
Aida Yong Galindo Domènech	<input checked="" type="checkbox"/>
Sara Panella Navarro	<input checked="" type="checkbox"/>

### Agenda

1. Aclarir dubtes del cicle de refrigeració amoníac
2. Aclarir dubtes de les subvencions del govern
3. Comentar com extreure la potència dels compressors del cicle de refrigeració d'amoníac a partir de les dades del PI.
4. Fer un llistat dels possibles proveïdors de compressors

### Decisions preses

1. Enviar la petició als diferents
2. Descarregar dades necessàries que no s'havien detectat i descartar-ne les no necessàries (cicle de refrigeració d'amoníac)
3. Fer els càlculs pertinents del cicle de refrigeració d'amoníac

### Observacions o incidències

No hi ha hagut cap incidència

*Figura A.2.1.* Acta del dia 26/04/2025

### **A.3. ALTERNATIVES DE DISSENY DEL PROCÉS ESCOLLIT**

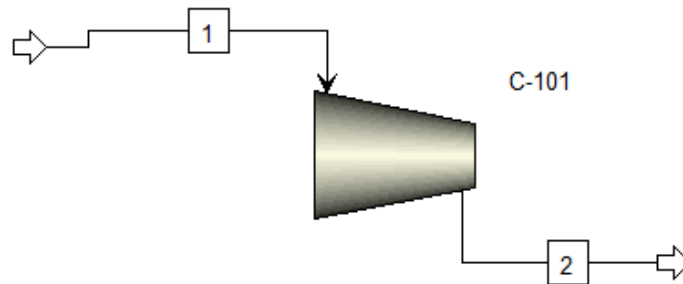
A continuació s'expliquen en detall les diferents simulacions que es van dur a terme a l'hora d'escollir la configuració òptima del sistema de compressió.

#### **A.3.1. Simulació d'un compressor**

La imatge de sota mostra la simulació realitzada amb Aspen Plus que es va realitzar d'una compressió simple mitjançant un sol compressor. El que es va fer va ser determinar les condicions del corrent d'entrada, 1.4 bar i fracció de vapor del 100%.

D'aquesta manera fixant una pressió de descàrrega del compressor de 6.4 bar el mateix *software* calcula la potència que consumeix l'equip utilitzant el mètode de càlcul del codi ASME d'un model de compressor isoentròpic.

Tot i que el consum d'aquest tipus de compressió és major que en el següent cas, es considera que és la més òptima ja que només s'hauria d'invertir en un sol equip.



*Figura A.3.1.* Simulació d'un compressor

### **A.3.2. Simulació de dos compressors en sèrie amb refrigeració intermèdia**

Un dels factors a tenir en compte a l'hora d'optimitzar el sistema de compressió és la temperatura de sortida del vapor.

En una compressió adiabàtica dintre dels rangs estudiats, tant la temperatura com el volum del vapor augmenten molt, incrementant el treball requerit. Això es pot evitar implementant una refrigeració intermèdia, ja que aquesta reduiria la necessitat energètica de la segona etapa de compressió i, per tant, el treball total del sistema de compressió. A més a més, com la compressió es divideix en dues etapes, es redueix el diferencial de pressió i això provoca una major eficiència isoentròpica.

El fet d'assolir el vapor comprimit a menys temperatura, també comporta estalvis a l'hora de dissenyar els compressors degut a la manca de necessitat de materials més resistents tèrmicament.

Tot i que és una opció a tenir en compte i té molts avantatges, també presenta alguns inconvenients com l'augment d'inversió inicial, pel fet el sistema requereix dos compressors i un bescanviador de calor, i el consum d'aigua de refrigeració, que a l'estiu incrementaria un 41.21% respecte el consum de l'hivern per la reducció del salt tèrmic.

Per a conèixer aquest consum d'aigua, s'han extret les temperatures de la sortida de les torres de refrigeració del sistema PI i s'ha realitzat el balanç d'energia següent:

En primer lloc, s'ha calculat la calor que s'ha d'extreure del vapor. La temperatura de saturació del vapor a 3 bara (que és la pressió a la que surt el vapor del primer compressor) és de 133.52°C [39], així que s'ha decidit que surti del bescanviador a 140°C, per evitar que condensi.

$$Q = \dot{m} \left( \frac{kg}{s} \right) \cdot C_p \left( \frac{kJ}{kg \cdot K} \right) \cdot (T_{out} - T_{in}) \text{ (K)} \quad (\text{E.A.3.1})$$

On:

$\dot{m}$ : Cabal de vapor a comprimir

$C_p$ : Calor específic del vapor a 204.2 °C (temperatura de sortida del primer compressor)

$T_{out}$ : Temperatura de sortida del bescanviador

$T_{in}$ : Temperatura d'entrada al bescanviador

$$Q = 1.84 \cdot 2.05 \cdot (413 - 477.2)$$

$$Q = -241.7 \text{ kJ/s}$$

Sabent la calor que s'ha d'extreure i amb les temperatures d'entrada i sortida de l'aigua de refrigeració, ja es pot calcular el cabal necessari d'aigua, tant per hivern com per estiu:

Hivern:

$$241.7 = \dot{m} \cdot 4.18 \cdot (318 - 289.1)$$

$$\dot{m} = 2.00 \text{ kg/s}$$

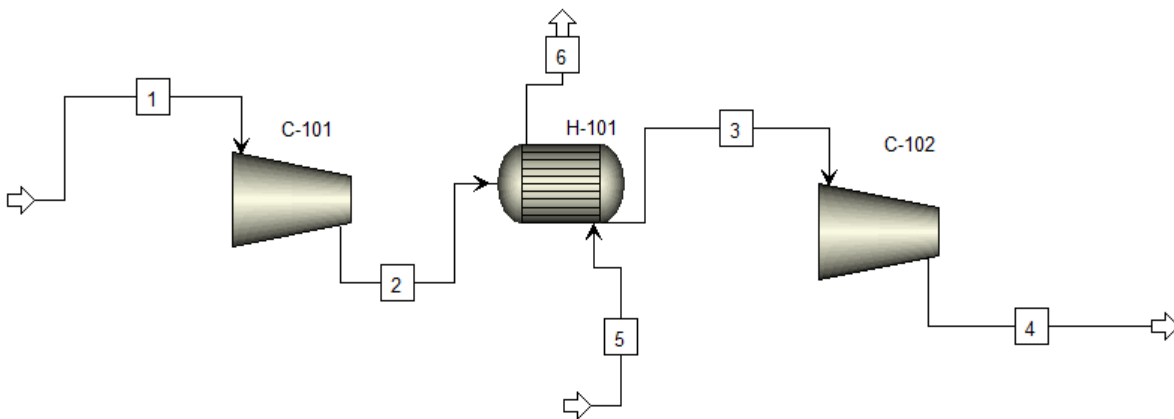
Estiu:

$$241.7 = \dot{m} \cdot 4.18 \cdot (318 - 297.5)$$

$$\dot{m} = 2.83 \text{ kg/s}$$

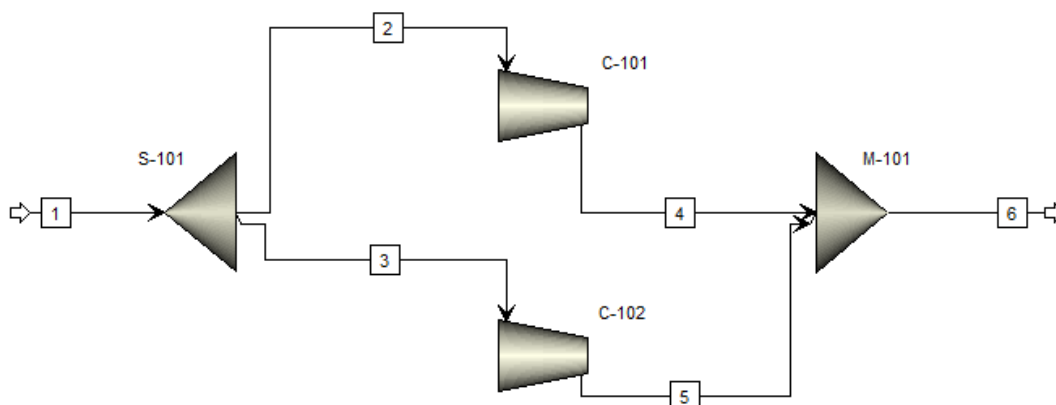
Com s'ha esmentat anteriorment, l'increment de consum d'aigua de refrigeració a l'estiu és considerable i s'ha de tenir en compte a l'hora de valorar aquesta opció de compressió.

A la següent imatge es mostra la simulació del sistema de compressió realitzada amb Aspen Plus:



**Figura A.3.2.** Simulació de dos compressors en sèrie amb refrigeració intermèdia

**A.3.3. Simulació de dos compressors en paral·lel**



*Figura A.3.3.* Simulació de dos compressors en paral·lel

**A.4. SUBVENCIONS MÀXIMES DEL PERTE**

Tipos de proyecto primario	Intensidades brutas máximas de subvención a las entidades beneficiarias		
	Empresas no PYME	Medianas empresas	Pequeñas empresas y microempresas
Proyectos de investigación industrial	Hasta el 50 % del gasto subvencionable del proyecto.	Hasta el 60 % del gasto subvencionable del proyecto.	Hasta el 70 % del gasto subvencionable del proyecto.
Proyectos de desarrollo experimental	Hasta el 25 % del gasto subvencionable del proyecto.	Hasta el 35 % del gasto subvencionable del proyecto.	Hasta el 45 % del gasto subvencionable del proyecto.
Estudios de viabilidad previos a proyectos de investigación industrial o desarrollo experimental	Hasta el 50 % del gasto subvencionable del proyecto.	Hasta el 60 % del gasto subvencionable del proyecto.	Hasta el 70 % del gasto subvencionable del proyecto.
Proyectos de innovación en materia de organización y procesos	Hasta el 15 % del gasto subvencionable del proyecto.	Hasta el 50 % del gasto subvencionable del proyecto.	Hasta el 50 % del gasto subvencionable del proyecto.
Proyectos de protección del medioambiente y descarbonización industrial	Hasta el 40 % del gasto subvencionable del proyecto.	Hasta el 50 % del gasto subvencionable del proyecto.	Hasta el 60 % del gasto subvencionable del proyecto.

Proyectos de protección del medioambiente y descarbonización industrial: proyectos de captura de carbono	Hasta el 30 % del gasto subvencionable del proyecto.	Hasta el 40 % del gasto subvencionable del proyecto.	Hasta el 50 % del gasto subvencionable del proyecto.
Proyectos de eficiencia energética	Hasta el 30 % del gasto subvencionable del proyecto.	Hasta el 40 % del gasto subvencionable del proyecto.	Hasta el 50 % del gasto subvencionable del proyecto.
Proyectos de promoción de la energía procedente de fuentes renovables para el autoconsumo de energía: producción de energía renovable, incluida la cogeneración, y de hidrógeno renovable	Hasta el 45 % del gasto subvencionable del proyecto.	Hasta el 55 % del gasto subvencionable del proyecto.	Hasta el 65 % del gasto subvencionable del proyecto.
Proyectos de promoción de la energía procedente de fuentes renovables para el autoconsumo de energía: resto de inversiones, incluido el almacenamiento de energía	Hasta el 30 % del gasto subvencionable del proyecto.	Hasta el 40 % del gasto subvencionable del proyecto.	Hasta el 50 % del gasto subvencionable del proyecto.
Proyectos de estudios medioambientales	Hasta el 60 % del gasto subvencionable del proyecto.	Hasta el 70 % del gasto subvencionable del proyecto.	Hasta el 80 % del gasto subvencionable del proyecto.
Proyectos de ayudas a la inversión en favor de las PYME	Ayuda no contemplada.	Hasta el 10 % del gasto subvencionable del proyecto.	Hasta el 20 % del gasto subvencionable del proyecto.

**A.6. TAULES D'ESTALVI ECONÒMIC AMB EL COMPRESSOR DURANT 2024**

January	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
01-ene	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
02-ene	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
03-ene	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
04-ene	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
05-ene	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
06-ene	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
07-ene	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
08-ene	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
09-ene	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10-ene	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11-ene	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12-ene	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13-ene	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14-ene	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15-ene	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16-ene	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17-ene	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18-ene	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	235.47	232.85	218.94	202.98	168.71	158.52	166.98	167.07	169.29	172.35	193.04
19-ene	194.89	199.60	200.24	207.68	211.65	217.13	207.22	192.50	184.82	180.00	184.80	183.88	184.64	192.46	200.37	200.91	200.25	193.68	180.68	175.88	180.31	174.13	177.71	195.70
20-ene	178.46	193.25	193.78	191.47	195.20	188.39	184.46	175.39	168.47	164.45	167.01	172.84	177.91	180.95	180.11	167.22	161.40	148.09	143.50	148.16	144.13	148.44	147.94	164.71
21-ene	183.39	195.71	197.55	196.90	199.02	197.46	198.56	195.28	189.86	191.96	193.24	196.60	195.64	206.87	200.56	201.18	199.44	187.19	167.26	149.88	153.62	149.39	176.49	194.55
22-ene	208.33	216.02	222.68	236.18	233.33	216.66	206.54	176.32	148.18	157.62	181.37	187.22	193.94	194.68	189.75	189.55	182.59	169.58	143.68	132.43	117.85	141.16	150.55	175.60
23-ene	190.13	196.04	194.62	192.41	195.92	196.84	188.45	158.84	146.80	156.83	174.78	192.38	198.15	200.99	200.98	200.22	196.38	176.01	161.99	140.31	122.88	142.38	161.90	165.63
24-ene	164.91	176.25	180.93	184.36	184.83	185.18	174.90	160.22	151.11	162.13	183.23	195.51	196.75	199.12	199.40	195.99	192.93	163.45	157.23	92.40	90.38	149.66	166.42	182.70
25-ene	194.71	197.30	198.51	202.53	200.56	193.69	182.81	172.28	157.80	162.74	178.22	190.11	193.38	190.69	192.77	195.02	190.50	178.45	158.83	135.51	113.88	147.93	175.94	180.59
26-ene	195.86	190.92	195.05	193.29	196.42	192.63	190.10	171.54	130.49	177.21	194.47	197.14	204.86	208.78	201.96	200.36	194.47	178.81	162.60	158.36	142.97	168.51	188.63	-
27-ene	201.19	204.47	206.63	210.68	211.25	210.74	206.57	199.62	186.56	192.50	202.85	210.86	218.41	216.94	220.67	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28-ene	-	-	204.08	214.78	221.92	223.80	220.63	215.81	211.33	210.89	225.07	230.42	225.29	227.27	227.04	228.85	223.12	207.69	198.92	199.22	199.29	205.45	207.65	213.65
29-ene	218.09	220.60	221.13	221.35	217.37	208.49	184.93	175.05	167.80	178.25	186.63	194.65	197.37	192.47	184.15	186.13	182.02	171.85	149.71	148.67	149.59	164.03	174.00	179.16
30-ene	188.51	191.29	192.22	195.65	197.44	190.66	179.31	167.62	159.75	170.86	181.03	191.12	192.16	195.32	190.08	188.27	181.47	170.57	159.87	150.22	132.09	163.59	170.94	182.07
31-ene	187.46	190.03	190.16	190.79	191.36	186.18	174.49	164.72	136.07	165.37	176.24	188.44	190.37	195.40	197.24	197.05	197.04	183.16	171.70	136.98	86.26	166.92	174.19	186.33

FEBRER	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
01-feb	192.6	203.7	209.9	208.0	212.2	202.8	190.6	170.9	164.5	168.8	197.5	204.2	206.8	209.2	209.4	205.0	195.1	177.8	144.0	150.9	156.9	168.1	175.5	184.8
02-feb	194.1	198.7	198.9	205.0	206.0	203.9	196.1	172.9	158.4	160.6	189.3	199.3	199.2	198.6	205.4	204.7	202.6	185.4	171.9	164.8	164.3	173.1	182.3	198.9
03-feb	197.3	202.1	204.2	204.6	204.4	202.8	201.6	197.7	190.9	194.7	200.8	209.9	215.4	217.5	215.2	209.1	200.9	186.9	166.1	159.4	149.7	154.4	165.1	183.5
04-feb	189.2	192.0	190.5	193.1	195.4	194.8	198.2	196.9	192.9	205.1	214.0	220.0	226.4	224.4	225.2	228.9	214.7	200.3	172.5	158.9	109.5	123.4	169.8	179.2
05-feb	183.5	182.3	187.0	187.4	188.3	186.4	181.2	170.5	153.1	162.6	174.7	182.4	194.5	206.7	205.1	193.7	183.3	177.2	162.2	112.6	45.6	132.6	171.6	176.7
06-feb	176.8	175.5	181.3	182.9	186.8	181.8	174.9	165.3	116.0	147.6	167.7	177.6	179.1	197.4	203.4	196.6	190.3	177.5	167.6	154.7	155.0	167.6	180.4	196.8
07-feb	215.3	218.7	220.9	226.6	242.2	220.6	208.9	180.3	175.3	182.8	185.7	194.2	212.5	219.1	226.8	233.9	222.9	220.4	199.1	183.0	177.1	186.9	200.2	212.4
08-feb	210.1	219.6	226.8	229.0	229.4	228.4	217.6	207.7	199.0	216.5	222.3	223.4	221.0	228.3	225.4	226.1	217.7	214.8	211.6	217.2	217.2	220.6	217.7	235.9
09-feb	240.3	254.6	262.4	264.6	264.6	255.1	232.0	209.0	198.0	187.8	187.9	197.4	205.5	210.2	206.5	208.1	210.4	214.2	210.3	189.6	180.6	195.0	211.2	221.9
10-feb	232.7	249.9	262.0	264.4	264.4	264.5	264.6	264.6	264.5	264.7	268.1	268.6	268.6	268.6	268.6	268.6	268.6	268.1	264.7	237.4	223.4	222.9	227.8	240.6
11-feb	225.3	239.5	241.9	243.1	237.4	238.3	222.1	220.4	217.0	216.0	214.6	217.0	217.3	217.4	217.6	217.6	209.5	190.4	164.1	163.0	172.1	181.8	197.1	217.1
12-feb	218.9	220.5	224.8	226.5	226.2	224.5	222.2	218.7	204.8	209.0	216.5	220.6	221.8	218.8	219.4	219.2	227.5	215.2	190.1	152.5	165.3	176.7	185.1	190.1
13-feb	199.8	215.5	216.6	216.3	215.9	212.4	200.6	182.9	154.6	182.2	186.7	192.5	196.2	198.5	198.3	196.8	188.2	181.7	161.3	155.3	167.3	181.4	185.7	193.5
14-feb	196.8	200.3	202.5	205.6	203.0	200.5	191.0	184.0	173.2	188.3	195.9	211.7	209.2	215.0	216.4	217.2	213.8	191.9	185.6	159.8	171.9	183.0	192.1	196.6
15-feb	209.0	220.2	225.4	223.9	224.0	223.5	211.8	194.0	191.4	196.5	205.9	201.8	202.8	208.2	212.4	212.3	211.4	209.2	198.5	190.4	194.4	195.2	198.4	201.4
16-feb	206.5	206.9	208.2	213.1	218.0	213.3	205.3	194.5	185.5	193.9	207.2	209.7	216.4	213.3	215.6	215.7	210.1	205.2	189.2	180.5	171.6	182.9	190.9	194.8
17-feb	211.1	213.8	213.2	214.9	217.0	216.3	217.5	213.1	212.2	214.6	218.5	223.5	224.8	224.5	225.8	228.1	224.4	208.9	181.9	159.2	170.0	176.2	180.3	180.3
18-feb	193.5	201.2	205.3	208.0	209.1	207.6	211.6	209.0	208.7	212.7	216.5	222.0	223.1	224.6	225.1	229.2	226.4	214.6	200.7	184.7	183.6	190.5	195.2	200.2
19-feb	215.8	214.3	214.4	216.0	214.9	218.7	214.8	200.6	197.4	213.4	217.8	228.2	229.1	228.8	229.6	232.3	227.7	212.0	198.3	182.2	175.1	184.9	199.8	207.8
20-feb	213.7	219.1	224.8	224.4	224.4	219.4	210.6	195.8	200.6	211.8	229.0	232.8	232.6	232.7	232.8	231.2	229.8	213.9	175.9	172.5	46.6	123.8	191.5	202.2
21-feb	204.7	208.4	211.7	214.8	213.9	207.9	207.4	186.6	179.0	211.1	227.5	229.3	229.2	232.8	234.1	234.2	230.6	224.9	211.1	192.0	201.6	210.4	215.1	223.0
22-feb	240.9	248.5	251.3	251.5	254.9	254.8	248.8	250.8	248.8	251.6	256.2	257.9	264.2	264.5	264.5	264.5	262.3	257.4	256.0	256.2	253.9	252.4	256.0	261.4
23-feb	256.5	263.4	264.6	266.3	265.4	264.6	260.1	254.9	254.7	260.1	264.6	264.6	264.8	268.1	268.6	268.6	268.1	264.4	254.1	249.3	247.1	245.8	251.3	254.0
24-feb	259.4	262.4	264.6	263.4	262.4	262.4	260.9	258.5	259.5	264.0	264.6	268.6	268.6	268.6	268.6	268.6	268.6	264.6	258.3	248.8	228.1	237.5	251.1	256.7
25-feb	263.2	264.6	264.7	264.7	264.6	264.9	264.7	264.8	264.8	264.7	264.7	264.7	268.1	268.1	268.1	268.6	268.6	265.6	264.4	262.4	259.5	259.3	262.1	264.5
26-feb	264.6	264.7	268.5	268.5	268.5	265.6	264.7	254.5	255.3	264.4	264.7	264.6	268.1	268.1	268.6	268.6	268.4	264.6	264.5	255.6	253.3	255.6	262.6	264.3
27-feb	265.3	267.3	268.6	268.6	268.6	268.6	264.5	262.9	262.4	264.5	268.0	268.6	268.6	268.6	268.6	268.6	268.0	266.2	262.7	255.6	236.0	250.7	260.3	261.3
28-feb	264.7	264.6	264.5	264.5	264.6	264.6	264.5	261.3	261.0	264.5	268.0	268.6	268.6	268.6	268.6	268.6	268.6	264.4	255.0	236.3	183.4	206.5	244.4	254.7
29-feb	250.6	256.2	260.5	261.2	261.6	261.3	261.7	255.0	255.4	261.2	264.5	268.5	268.6	268.6	268.6	268.6	268.6	268.6	264.7	262.9	259.3	261.3	262.7	264.6

MARÇ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
01-mar	265.94	268.00	268.36	268.48	-	267.96	264.75	264.41	264.40	264.44	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	267.50	264.37	261.18	255.43	260.19	262.10	264.70
02-mar	264.56	266.11	267.98	268.59	268.59	268.60	268.47	265.89	265.76	265.98	266.45	268.59	268.60	268.59	268.59	268.59	267.30	265.92	264.50	258.03	228.52	229.50	261.56	263.54
03-mar	266.56	268.49	268.60	268.60	268.60	268.60	268.59	268.37	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	265.93	258.43	231.85	229.68	250.42	262.60
04-mar	260.78	264.42	264.41	264.38	264.41	264.39	264.37	242.05	235.26	248.83	258.30	264.23	264.34	264.82	266.43	267.33	265.73	265.47	265.02	251.38	236.22	245.00	252.19	260.56
05-mar	258.85	262.50	262.49	262.07	260.76	257.87	237.46	204.07	188.50	245.53	258.12	262.52	263.31	263.84	264.10	263.99	261.67	248.14	208.26	120.15	115.30	150.68	163.82	178.77
06-mar	182.45	207.79	208.34	209.39	219.17	210.85	195.17	147.33	150.49	240.21	252.37	261.68	263.83	264.22	264.23	264.20	261.99	247.44	220.08	129.44	149.74	177.89	207.35	241.97
07-mar	252.86	263.12	264.69	265.16	265.35	265.35	263.56	253.83	250.52	262.54	264.38	265.27	266.45	268.13	268.13	268.14	267.78	265.16	262.70	242.14	231.17	236.49	251.46	263.24
08-mar	265.53	268.04	268.27	268.56	268.59	268.48	265.57	264.67	264.59	265.37	268.17	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	266.10	266.94	265.26	262.36	264.43	265.26	268.15
09-mar	268.59	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.59	268.47	268.17	268.50	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.40	265.32	265.04	265.41	265.44	268.40
10-mar	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	265.36	265.35	265.34	265.33	268.50
11-mar	268.50	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	266.96	263.69	265.41	268.59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12-mar	-	-	-	-	-	-	-	-	-	248.36	268.07	268.15	268.44	268.49	268.50	268.15	265.38	246.49	202.50	159.18	74.75	139.22	192.06	200.23
13-mar	209.57	230.60	241.04	242.54	242.39	241.70	208.13	175.77	186.83	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14-mar	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15-mar	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	252.34	252.94	254.69	255.25	255.26	249.43	237.04	217.99	157.34	112.51	129.77	174.45	206.41
16-mar	212.54	217.82	222.99	225.80	225.84	218.83	210.17	222.20	235.55	250.07	255.44	261.78	264.60	264.60	267.35	268.06	263.28	251.77	230.96	167.83	168.25	179.33	205.63	225.04
17-mar	226.00	232.62	237.72	238.35	238.45	239.33	243.54	240.51	255.40	254.99	257.04	268.08	268.09	268.09	268.09	268.08	257.06	250.91	226.74	173.80	175.79	181.96	181.63	189.68
18-mar	192.33	208.86	210.92	211.18	214.37	216.03	197.32	156.34	155.83	206.92	218.23	227.47	227.25	226.57	226.65	225.46	214.23	210.21	180.28	119.21	133.45	156.11	178.09	186.87
19-mar	188.52	193.12	201.32	203.80	207.09	200.79	182.57	155.81	162.61	204.38	226.77	228.59	229.03	229.08	229.04	228.82	228.64	208.08	181.90	123.47	145.25	165.48	176.65	183.81
20-mar	191.04	192.76	201.22	211.90	220.67	204.25	193.85	169.20	171.05	198.71	228.34	229.11	230.78	237.71	237.91	236.34	229.92	228.23	196.89	152.58	146.14	173.91	187.27	209.87
21-mar	227.42	228.67	229.55	228.97	229.63	228.03	228.27	202.63	214.10	226.02	235.69	247.00	247.84	249.74	254.13	254.98	248.05	234.78	224.84	182.58	162.10	189.26	208.93	221.50
22-mar	237.75	245.02	248.72	248.51	246.08	237.52	226.67	209.39	225.14	243.05	249.72	259.46	264.25	265.44	267.20	264.56	264.32	249.74	224.31	195.98	199.83	224.89	233.10	249.63
23-mar	264.78	264.95	267.54	265.28	266.20	266.19	266.09	265.78	268.07	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.08	264.73	264.84	257.68	260.18	264.74	264.86
24-mar	268.41	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.59	268.49	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.07	264.64	248.29	225.37	224.80	225.74	224.97
25-mar	224.50	231.45	233.82	230.82	233.90	226.42	225.72	177.47	197.60	226.25	244.61	252.63	253.90	263.85	264.66	266.01	264.80	264.80	264.78	244.62	226.61	233.92	247.91	253.29
26-mar	264.74	264.78	266.76	267.39	267.42	267.43	264.75	263.88	265.05	267.21	268.37	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	267.97	266.33	262.75	252.29	259.86	264.83	266.65
27-mar	264.84	267.94	268.59	268.60	268.60	268.60	268.50	268.05	268.16	268.47	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.14	265.22	265.20	265.19	265.35	268.48
28-mar	268.18	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.58	268.24	268.40	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.58	267.96	265.17	265.18	265.17	265.17	267.02
29-mar	266.46	267.98	268.04	268.06	267.98	267.52	266.43	265.23	267.00	267.51	267.63	267.77	268.03	268.06	268.09	268.17	268.17	268.06	265.12	261.18	249.77	245.49	251.22	252.16
30-mar	257.07	261.36	263.26	265.12	265.14	264.27	262.18	263.21	265.14	267.53	267.98	268.14	268.14	268.14	268.14	268.14	268.07	267.03	264.85	258.55	250.69	251.24	261.49	264.99
31-mar	265.18	266.86	268.07	268.07	268.07	267.96	268.07	267.96	268.07	268.07	268.17	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	266.80	265.20	265.19	266.87	266.86

ABRIL	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
01-abr	267.86	268.58	268.60	268.60	268.60	268.60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	268.60	268.60	268.12	256.19	245.17	249.60	268.60
02-abr	264.68	265.08	265.07	266.84	266.43	265.06	246.72	230.42	230.38	257.54	266.79	268.12	268.12	268.59	268.60	268.60	268.59	267.51	265.37	258.35	225.41	223.50	231.80	254.90
03-abr	264.72	266.60	266.96	267.41	268.49	267.40	264.71	234.52	224.47	261.54	266.16	268.09	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.16	261.17	230.15	230.04	233.74	262.69
04-abr	265.74	268.12	265.00	263.04	264.96	264.93	264.92	255.84	252.78	264.07	268.07	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	264.76	256.76	239.03	263.18	240.64
05-abr	268.09	268.05	268.59	268.60	268.60	268.60	268.14	264.89	265.20	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.61	268.61	268.60	268.60	268.60	268.60	268.58	266.32	267.46	264.81
06-abr	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.61	268.61	268.61	268.61	268.61	268.62	268.61	268.61	268.60	268.59	265.06	259.87	264.96	268.60
07-abr	267.60	268.45	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.61	268.61	268.61	268.61	268.60	268.60	268.17	241.46	230.24	240.80	265.23
08-abr	267.12	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	264.95	264.95	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.61	268.60	268.60	268.60	268.11	264.99	267.49	256.70
09-abr	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.61	268.63	268.63	268.63	268.63	268.63	268.63	268.63	268.60	268.59	262.53	250.28	260.99	268.60
10-abr	263.60	264.76	267.42	268.08	268.19	267.42	266.02	226.65	259.29	268.60	268.61	268.64	268.64	268.64	268.67	268.67	268.67	268.67	268.62	268.60	261.28	229.51	263.03	262.59
11-abr	264.92	267.48	268.56	268.60	268.60	266.97	264.32	242.10	248.95	268.59	268.60	268.61	268.61	268.61	268.63	268.61	268.61	268.61	268.60	262.63	196.62	182.39	184.44	264.97
12-abr	240.75	250.55	254.00	254.70	253.93	248.93	229.45	176.18	179.75	261.48	268.60	268.60	268.60	268.68	268.68	268.73	268.64	268.60	268.60	250.29	222.14	182.27	224.74	227.57
13-abr	240.60	247.95	248.48	255.48	259.55	260.58	256.46	254.56	252.70	268.59	268.63	268.73	268.73	268.73	268.86	269.09	269.09	268.70	268.60	264.64	238.05	225.96	239.75	237.86
14-abr	261.76	265.29	266.59	266.77	264.73	260.86	253.37	252.43	261.77	268.60	269.29	269.89	269.86	269.84	269.85	269.86	269.84	268.91	268.63	265.54	246.47	231.31	244.85	251.69
15-abr	259.91	264.64	266.51	268.07	268.57	268.52	267.43	255.46	246.23	266.73	268.60	268.60	268.61	268.65	268.73	269.01	269.88	268.71	268.60	268.06	256.29	244.17	261.22	248.14
16-abr	268.07	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.51	261.34	263.16	268.60	268.61	268.61	268.64	268.73	268.73	268.73	268.76	268.72	268.61	268.60	264.24	256.87	262.76	263.61
17-abr	264.79	264.74	266.56	267.16	267.43	266.90	264.72	246.07	262.60	268.09	268.60	268.61	268.63	268.64	268.67	268.67	268.64	268.61	268.60	268.10	261.41	242.96	261.53	264.81
18-abr	264.85	265.23	266.12	266.24	266.60	266.32	264.75	244.72	261.45	266.54	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.61	268.60	268.60	268.60	266.11	254.25	230.78	251.93	264.82
19-abr	253.20	253.82	254.14	252.52	257.95	248.49	237.99	227.96	226.50	258.19	264.32	264.67	267.84	268.55	268.58	268.60	268.60	265.57	259.01	241.89	226.19	221.94	226.63	264.19
20-abr	239.55	256.55	255.38	256.30	257.09	259.84	259.12	258.04	259.26	266.00	268.04	268.54	268.60	268.60	268.60	268.65	268.69	268.61	268.55	264.67	259.11	256.48	258.47	225.25
21-abr	264.88	264.82	264.92	264.82	264.81	264.73	264.36	259.39	264.71	268.06	268.60	268.61	268.69	270.04	270.45	270.36	270.20	268.90	268.61	268.08	264.65	257.91	259.84	259.61
22-abr	265.11	266.28	267.36	267.49	268.05	267.49	267.36	264.94	267.38	268.60	268.60	268.61	268.64	268.66	268.72	268.91	268.96	268.72	268.60	268.07	261.64	253.51	260.01	264.27
23-abr	261.15	264.36	264.75	264.73	264.46	262.75	261.14	245.32	260.78	268.01	268.60	268.60	268.60	268.60	268.62	268.62	268.61	268.60	268.60	267.37	253.61	226.44	238.55	262.13
24-abr	241.26	250.05	254.77	255.63	256.38	254.78	248.92	229.13	239.64	262.54	267.40	268.55	268.60	268.60	268.60	268.60	268.56	264.87	238.94	228.21	144.51	175.86	258.87	
25-abr	223.65	223.69	223.09	223.17	223.20	223.21	218.38	138.47	181.02	222.27	233.26	240.65	243.04	247.32	255.26	259.47	261.29	256.92	241.14	230.51	162.66	138.86	159.24	226.32
26-abr	176.92	183.70	195.21	186.00	182.59	185.31	165.45	148.94	155.56	172.57	226.28	226.34	227.94	230.33	242.88	243.95	247.77	243.97	237.85	225.40	196.66	149.15	168.88	176.87
27-abr	209.95	220.02	225.56	225.85	225.74	225.49	226.01	226.47	231.76	249.68	260.64	265.25	268.57	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.07	251.03	214.62	192.37	194.85	204.28
28-abr	202.92	223.99	223.34	228.09	228.33	228.74	228.17	225.84	228.13	250.78	268.08	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.61	268.60	243.67	227.08	198.75	176.74	184.15	200.38
29-abr	194.30	197.63	198.93	199.70	203.42	200.28	208.22	148.84	156.38	198.89	215.02	225.72	227.42	228.85	228.01	227.14	226.96	226.00	219.00	195.15	164.08	149.65	168.31	197.21
30-abr	180.29	199.63	197.89	187.42	190.61	176.38	165.36	146.82	166.22	197.31	218.36	225.59	233.76	250.53	247.82	245.68	247.58	244.36	230.78	211.55	197.35	168.61	186.62	183.85

MAIG	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
01-may	229.71	229.21	245.59	246.79	248.77	248.85	247.61	248.42	259.45	265.17	268.61	268.68	268.67	269.73	269.99	270.01	270.00	-	-	-	-	-	-	-	-
02-may	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
03-may	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
04-may	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
05-may	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
06-may	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
07-may	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
08-may	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
09-may	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10-may	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11-may	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12-may	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13-may	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14-may	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15-may	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16-may	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17-may	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18-may	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19-may	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20-may	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21-may	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22-may	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23-may	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24-may	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25-may	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26-may	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27-may	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28-may	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29-may	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30-may	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31-may	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

JUNY	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
01-jun	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
02-jun	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	269.85	269.85	269.27	268.61	268.31	260.98	251.80	249.21	265.57	
03-jun	262.44	259.12	259.12	260.20	258.97	261.77	245.09	243.12	240.43	245.09	257.25	264.95	265.61	263.03	266.42	267.24	264.94	255.40	228.32	211.64	182.98	154.10	174.89	259.58	
04-jun	155.90	163.29	161.94	173.38	163.47	162.05	102.28	70.00	140.23	175.60	189.25	225.46	228.68	227.93	228.26	236.85	234.92	228.31	200.79	192.98	139.08	75.78	89.75	196.03	
05-jun	136.28	140.38	144.60	146.32	151.35	149.73	143.14	128.96	132.89	142.62	176.12	206.74	212.15	215.40	228.16	228.83	228.23	205.81	178.81	144.42	127.53	73.61	127.18	103.53	
06-jun	150.45	146.93	144.72	143.61	144.42	145.50	141.89	136.56	151.57	172.98	178.53	188.95	196.19	203.66	202.82	204.33	198.62	175.92	166.05	155.73	136.61	127.94	135.25	139.79	
07-jun	155.48	156.23	159.34	153.49	154.08	161.55	156.96	151.37	147.13	154.65	181.31	208.70	209.87	215.17	223.02	223.22	222.67	223.08	201.26	167.78	160.26	153.68	155.30	142.69	
08-jun	157.62	166.16	170.45	171.87	171.92	171.19	154.40	149.48	151.34	154.46	183.55	205.19	216.13	218.25	226.43	224.11	229.86	237.05	224.52	208.04	160.63	141.18	141.58	153.91	
09-jun	224.65	240.87	252.65	258.08	257.61	240.50	256.41	262.64	264.65	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.61	268.61	268.60	264.70	226.52	219.56	199.37	187.94	155.03	
10-jun	189.28	228.39	225.41	228.05	228.51	228.38	224.55	204.81	226.62	223.65	227.01	227.07	226.48	226.18	225.99	226.17	227.15	226.70	226.93	220.33	183.50	165.56	183.19	202.53	
11-jun	150.72	154.45	167.48	178.59	179.13	171.09	187.05	164.29	155.11	188.49	217.12	220.34	221.65	221.32	228.52	227.92	227.73	227.88	218.29	191.92	184.22	169.81	176.89	184.47	
12-jun	170.59	195.53	196.71	200.15	206.45	205.43	200.14	162.50	179.86	217.53	226.76	226.74	226.72	227.34	229.62	254.11	256.24	237.62	221.19	202.61	181.46	148.26	149.93	185.87	
13-jun	154.38	158.99	164.04	157.89	154.76	150.63	133.66	121.25	165.97	184.19	227.74	226.80	227.84	256.61	268.60	268.60	268.60	261.92	250.71	226.18	169.69	135.62	134.98	166.89	
14-jun	171.86	174.69	174.53	174.81	175.34	171.29	169.20	154.99	168.62	211.10	224.92	253.21	264.48	268.04	268.58	268.60	268.60	268.60	267.40	259.77	224.50	173.41	172.61	151.49	
15-jun	223.46	227.77	226.72	227.16	226.83	227.55	226.75	226.95	247.03	268.60	268.61	269.32	268.90	269.20	269.32	269.47	269.55	269.34	268.60	257.18	227.49	219.47	213.28	215.88	
16-jun	228.24	228.00	228.33	228.21	228.41	229.10	228.76	247.25	268.60	269.32	269.75	270.90	270.90	270.89	270.91	270.89	270.91	269.58	268.61	264.80	248.73	227.45	219.99	219.69	
17-jun	220.50	228.10	227.37	228.09	231.00	227.94	227.24	213.79	213.09	226.44	241.69	264.64	266.78	268.06	268.60	268.60	268.60	268.07	264.66	242.35	212.41	181.30	158.99	219.41	
18-jun	205.54	224.57	208.93	208.08	206.54	190.65	156.72	145.96	151.79	202.95	220.66	226.75	233.82	242.21	254.89	255.21	256.10	243.44	224.49	212.26	170.24	115.76	107.34	192.79	
19-jun	138.03	145.59	152.38	157.52	157.27	152.46	146.99	126.93	142.84	162.34	174.98	210.49	213.91	222.03	222.97	224.63	-	-	-	-	-	-	-	-	
20-jun	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
21-jun	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	231.63	239.62	241.81	235.16	230.51	216.58	201.45	191.47	191.27	192.92
22-jun	212.11	217.13	217.77	217.46	217.70	217.80	217.83	226.00	243.82	245.35	260.18	266.19	268.31	268.58	268.60	268.60	268.60	268.60	268.18	236.02	222.38	197.86	176.01	197.47	
23-jun	195.45	213.85	222.73	229.32	228.99	229.15	228.23	233.05	256.98	268.60	268.61	268.73	269.23	269.84	271.08	271.11	269.65	269.42	268.61	267.37	225.46	173.48	147.02	195.37	
24-jun	201.37	211.74	216.79	223.19	223.58	206.24	202.17	184.98	219.67	225.86	224.96	262.43	264.07	262.11	264.89	268.60	268.60	262.10	223.16	222.23	159.87	115.35	120.39	165.89	
25-jun	166.74	147.35	151.57	163.74	154.78	176.31	165.08	144.92	174.21	187.89	224.73	225.65	226.37	225.34	225.63	225.99	225.07	225.55	207.99	174.34	141.22	125.53	127.08	149.87	
26-jun	137.68	149.18	155.07	155.63	160.33	153.63	135.55	107.71	126.49	145.48	157.06	162.19	171.16	172.87	179.12	199.40	197.83	175.55	162.33	143.94	122.33	90.26	113.38	140.72	
27-jun	138.06	145.94	146.14	148.85	153.65	160.59	149.25	139.84	131.23	146.10	149.04	173.51	189.46	188.22	205.81	211.74	215.18	212.90	192.90	175.99	150.97	134.07	133.08	125.89	
28-jun	155.94	154.97	158.23	164.90	165.50	163.31	154.82	152.92	-	-	-	175.56	193.29	209.11	211.32	220.69	226.29	226.26	208.43	159.34	150.72	135.31	125.56	136.16	
29-jun	154.88	177.23	207.86	207.45	207.54	207.93	207.93	210.70	238.61	228.19	230.71	228.60	223.95	222.76	255.35	266.61	251.65	226.64	222.88	208.32	171.96	132.90	128.01	136.35	
30-jun	140.09	144.68	147.04	146.96	150.61	144.38	143.88	177.58	209.16	213.44	224.11	239.20	255.90	262.97	268.58	268.60	267.41	264.08	234.42	210.91	196.71	144.09	141.37	135.79	

JULIOL	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
01-jul	179.37	186.59	196.55	189.02	208.02	206.51	199.73	167.66	188.12	212.41	218.07	229.09	229.86	229.60	243.58	251.45	256.86	244.15	227.57	210.63	184.75	171.23	148.13	144.65	
02-jul	194.96	213.05	225.55	227.27	228.09	224.56	209.16	179.63	200.05	217.74	228.58	232.98	237.42	239.05	247.29	263.83	263.70	255.22	227.25	223.23	178.25	135.93	136.59	168.95	
03-jul	166.77	178.68	184.52	192.17	192.07	196.63	174.02	156.38	161.05	181.58	205.81	221.57	227.66	243.45	251.87	258.35	264.35	254.08	228.01	227.29	163.51	145.80	141.05	163.13	
04-jul	159.01	178.42	185.22	173.96	178.17	171.92	160.95	154.67	177.86	221.78	263.01	268.60	268.60	268.60	268.60	269.60	269.58	268.60	260.38	216.37	163.13	148.99	149.29	160.35	
05-jul	173.05	173.91	176.64	170.29	170.32	166.84	156.62	141.87	155.31	194.31	224.64	231.64	259.10	264.34	264.32	267.02	264.33	246.33	219.98	187.26	162.09	146.34	132.58	160.23	
06-jul	141.02	147.52	168.08	177.46	171.60	180.58	180.04	185.30	228.97	268.60	268.60	268.62	269.26	269.58	269.82	269.89	269.90	269.89	269.64	268.60	257.09	217.33	194.44	153.25	
07-jul	198.90	211.62	218.03	218.55	219.12	204.07	203.42	203.60	239.30	268.61	269.22	269.57	269.44	268.63	269.61	269.90	269.91	268.60	264.34	222.39	191.71	138.33	133.37	210.22	
08-jul	140.94	156.59	157.40	157.45	160.96	157.98	153.54	135.59	137.69	167.06	197.55	215.52	223.25	226.51	227.17	223.42	223.39	214.53	211.14	165.28	137.34	122.01	129.67	138.88	
09-jul	146.21	176.92	170.91	175.58	183.75	185.84	167.62	139.12	156.51	180.31	211.12	215.20	225.24	239.08	257.94	248.58	230.73	205.79	190.47	160.03	133.18	116.07	87.77	143.43	
10-jul	130.61	132.10	135.74	139.20	140.81	137.54	140.54	130.52	138.08	146.49	185.14	194.61	195.36	203.21	203.55	210.81	210.74	200.93	171.94	140.37	133.28	114.09	98.74	119.83	
11-jul	133.44	137.73	137.61	139.63	140.19	139.71	140.56	131.48	139.26	152.84	165.45	181.44	192.38	199.75	202.60	203.77	197.42	195.19	190.13	161.42	139.50	129.73	127.48	124.93	
12-jul	161.29	180.07	175.95	189.88	197.78	193.89	182.17	176.20	179.14	208.98	217.05	217.06	217.18	216.56	216.47	222.69	237.39	219.73	216.22	203.54	175.41	158.33	162.01	145.55	
13-jul	157.97	162.11	177.70	185.10	180.52	174.93	171.71	170.88	211.02	216.63	256.69	264.60	268.07	268.06	268.60	268.60	268.60	267.52	231.83	209.11	177.57	150.91	139.82	170.90	
14-jul	138.19	148.48	151.74	153.29	152.71	153.70	151.60	163.51	212.49	268.06	268.61	269.38	269.62	269.39	269.39	269.81	269.81	268.60	256.20	212.06	173.52	142.12	128.66	148.12	
15-jul	154.93	173.56	192.97	194.04	194.81	194.69	186.36	156.23	165.53	190.69	218.96	248.90	261.11	263.90	263.67	259.17	261.08	251.00	218.22	193.17	167.93	131.68	131.58	143.96	
16-jul	136.42	146.81	147.41	147.53	148.01	144.25	146.25	135.25	147.57	160.01	176.24	190.86	192.06	192.01	193.10	193.70	194.12	193.71	184.36	151.73	134.08	114.69	127.37	149.91	
17-jul	144.74	152.58	158.78	156.57	155.70	157.17	143.18	133.81	140.50	149.61	153.34	175.39	179.50	180.77	180.65	180.69	182.14	182.55	160.57	139.39	127.52	117.25	114.71	147.97	
18-jul	139.19	149.02	153.70	154.40	155.84	156.17	143.61	135.25	138.63	153.95	151.83	154.95	159.99	162.07	164.04	168.32	167.55	154.71	138.66	115.81	104.63	94.09	112.94	128.62	
19-jul	133.24	135.40	138.02	137.97	138.94	136.94	132.71	123.43	131.73	141.72	148.49	163.43	167.66	169.90	170.09	173.40	181.86	169.32	160.82	144.33	126.49	114.44	124.10	127.32	
20-jul	141.03	145.65	143.55	149.38	149.76	150.39	152.60	154.28	184.60	205.66	256.06	266.64	268.05	268.60	268.61	268.60	268.60	268.60	266.22	260.85	192.67	157.44	157.49	132.21	
21-jul	183.28	206.18	215.33	214.03	224.51	231.72	230.50	229.20	239.49	268.04	268.60	268.60	268.61	268.72	268.88	268.61	268.60	268.60	268.60	268.49	240.00	201.07	161.90	162.19	167.41
22-jul	165.87	170.16	182.34	185.22	187.13	180.54	169.16	164.65	161.94	196.56	203.44	203.75	202.58	200.88	200.72	201.30	200.69	199.67	191.23	155.81	135.37	101.45	125.18	164.67	
23-jul	143.67	148.00	154.26	155.69	153.23	149.38	145.61	138.89	139.49	153.82	178.94	184.61	180.07	177.29	175.13	179.53	179.34	167.87	161.89	142.13	133.79	114.04	129.73	137.44	
24-jul	136.88	142.30	145.12	144.13	142.73	139.57	133.57	130.15	136.32	152.02	161.42	172.37	167.50	165.77	167.84	172.77	173.43	172.56	173.01	144.54	131.99	112.78	129.30	134.65	
25-jul	137.26	143.63	145.94	145.05	144.33	141.58	140.18	132.49	142.23	175.63	180.78	181.64	180.06	179.80	179.92	189.44	195.44	195.28	181.05	161.45	137.41	124.76	127.02	134.96	
26-jul	137.95	140.51	141.34	141.13	141.03	141.12	140.74	135.05	137.79	140.59	163.73	173.75	174.96	175.33	177.92	178.62	179.55	178.04	175.79	152.21	135.25	116.38	127.17	134.32	
27-jul	137.20	136.63	143.81	142.42	141.39	142.55	140.77	139.11	143.26	177.90	194.77	195.31	223.35	246.20	246.01	245.02	250.03	230.35	200.85	184.89	141.95	122.67	124.88	132.83	
28-jul	135.09	139.51	147.88	146.58	149.87	149.40	151.39	147.41	185.85	207.98	268.05	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.42	217.42	186.06	137.97	125.32	113.60	137.89	
29-jul	129.73	134.61	144.67	148.36	145.92	147.89	147.16	137.22	137.41	136.31	134.52	138.99	140.77	146.22	146.51	152.31	150.45	140.61	136.15	134.98	128.62	99.57	107.54	124.15	
30-jul	129.33	133.76	140.08	142.77	144.48	145.11	143.80	138.33	135.93	136.92	157.83	174.04	175.27	176.76	176.89	184.70	189.59	178.12	167.14	137.58	131.62	94.36	95.25	128.24	
31-jul	132.13	139.62	143.55	143.02	141.80	141.67	136.62	130.69	130.81	132.42	137.97	161.20	167.75	169.39	173.28	180.42	177.15	175.56	160.99	142.29	137.49	110.16	123.54	127.66	

AGOST	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
01-ago	149.11	155.16	157.47	157.37	157.76	159.02	154.83	142.19	140.67	147.70	149.24	161.32	167.19	163.12	168.24	174.05	173.46	176.08	160.47	144.41	135.80	117.12	127.07	143.17
02-ago	138.94	139.46	142.96	146.39	147.14	147.64	147.34	142.40	147.18	150.10	182.05	193.39	188.68	200.18	202.34	208.25	210.98	200.81	193.34	167.10	143.28	131.58	133.88	134.61
03-ago	139.98	147.06	151.11	152.50	155.32	155.17	153.76	151.12	161.74	196.62	234.03	246.72	252.51	261.41	262.94	257.15	257.10	245.56	200.37	177.76	127.99	110.87	115.31	144.84
04-ago	137.83	140.04	148.18	143.41	151.41	155.91	154.75	153.59	168.31	198.08	252.88	266.38	268.11	263.38	257.08	266.27	266.91	243.00	195.33	172.37	124.88	103.53	102.67	119.77
05-ago	129.31	136.06	136.69	136.44	138.64	133.82	132.33	123.09	125.25	133.43	134.75	165.60	173.30	175.26	177.18	177.89	177.89	175.28	172.61	136.31	126.06	98.04	109.54	114.01
06-ago	141.06	147.49	157.96	149.61	150.29	143.40	139.05	124.84	131.31	144.02	151.13	166.45	174.07	173.02	173.96	175.37	174.47	175.22	166.56	141.17	131.82	121.21	127.11	126.95
07-ago	148.74	148.15	148.59	149.59	162.02	153.45	147.98	135.60	148.85	164.94	175.72	176.51	174.79	170.45	170.21	175.45	175.32	172.03	169.89	164.89	132.25	117.06	126.54	135.43
08-ago	148.67	156.00	158.87	156.37	158.86	158.92	153.44	142.63	145.15	139.71	163.21	170.62	168.07	165.59	165.00	165.80	165.55	158.98	147.26	129.85	123.05	91.79	109.16	137.28
09-ago	118.59	120.38	128.22	122.06	127.43	134.05	127.56	124.92	124.42	130.23	162.61	166.57	165.96	165.84	165.45	166.67	166.08	165.49	165.09	145.24	125.26	107.78	117.14	127.12
10-ago	131.82	137.73	146.24	125.67	132.10	135.93	133.43	129.99	133.02	183.86	253.03	268.05	268.06	266.24	265.64	268.05	268.05	264.59	208.24	169.61	128.70	113.74	117.85	128.62
11-ago	127.46	132.02	150.50	148.14	144.64	145.65	138.81	137.04	153.04	206.87	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	263.48	223.65	169.66	126.85	112.52	103.02	132.89
12-ago	129.13	140.06	144.60	142.67	139.81	126.35	127.57	116.26	122.33	126.68	150.88	168.76	170.43	170.16	169.95	170.19	171.34	168.96	158.80	127.27	117.86	104.95	114.62	119.15
13-ago	129.49	131.54	138.02	131.46	136.74	140.73	132.70	121.89	129.85	144.74	142.23	154.76	161.54	162.87	167.37	173.37	173.72	167.51	153.93	148.74	127.97	112.86	115.31	122.39
14-ago	137.48	145.91	151.64	150.27	164.56	164.48	158.42	143.80	146.64	168.21	184.73	196.16	195.74	195.15	195.37	196.86	201.93	196.58	190.34	172.20	140.77	136.27	141.67	127.28
15-ago	181.51	199.26	200.79	202.88	203.41	203.02	203.14	201.60	213.57	264.57	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	266.78	249.69	195.02	152.03	128.79	134.86	158.37
16-ago	143.18	145.93	163.15	164.96	148.69	148.55	147.93	137.89	152.92	186.72	192.66	193.09	197.92	204.02	207.18	200.02	192.82	192.03	189.93	143.86	124.22	109.89	117.23	152.02
17-ago	128.93	131.31	131.64	135.15	141.91	147.28	148.54	148.51	162.48	187.04	190.00	206.74	216.42	222.81	226.47	224.13	211.21	200.17	184.73	162.29	143.09	123.40	131.10	125.72
18-ago	121.98	132.94	143.31	155.87	166.89	169.91	197.76	201.95	192.49	223.05	268.10	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	264.69	195.88	164.09	139.48	137.68	140.02
19-ago	172.91	188.31	192.31	190.04	190.97	185.80	181.38	148.67	147.71	150.08	180.15	187.14	193.05	198.51	199.93	202.71	196.67	186.76	160.45	147.34	133.73	102.48	135.93	156.60
20-ago	155.32	161.55	156.02	159.82	162.84	165.65	160.35	154.98	158.53	178.85	201.79	208.04	204.62	199.19	200.66	201.28	203.74	201.17	199.72	165.66	149.46	136.45	130.78	142.63
21-ago	133.78	161.54	172.03	193.91	197.09	192.21	171.62	142.86	160.94	198.78	258.79	262.21	259.37	218.21	201.83	192.43	185.58	167.10	144.19	126.75	103.72	58.03	76.15	133.42
22-ago	113.96	119.24	115.00	116.09	117.54	118.21	116.19	107.72	114.40	118.32	135.89	163.21	164.81	163.75	165.08	168.34	167.41	163.62	157.92	118.85	100.83	58.08	91.47	100.99
23-ago	118.99	122.54	127.46	117.53	118.48	122.27	120.37	110.46	115.70	120.08	134.43	162.78	162.86	163.62	163.82	169.48	168.39	163.26	134.68	119.37	108.76	87.45	106.91	111.47
24-ago	120.74	122.27	133.72	128.41	141.28	141.82	134.96	132.95	162.53	249.22	268.59	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	264.34	247.02	177.76	137.23	120.25	143.26	114.05
25-ago	178.92	196.25	204.50	214.34	258.30	259.63	250.75	250.62	264.32	268.60	269.53	269.82	269.45	268.62	268.60	268.60	268.60	268.04	250.28	176.47	147.71	127.02	136.06	152.86
26-ago	144.67	159.93	173.07	172.97	173.61	174.78	137.16	113.14	113.64	160.60	184.08	186.43	184.69	173.49	172.77	173.56	174.25	158.80	125.97	114.21	104.88	62.50	101.68	148.76
27-ago	102.14	110.51	115.31	114.84	123.16	126.30	120.18	109.47	116.07	127.09	148.99	165.58	171.00	170.87	172.32	173.28	172.45	156.24	122.74	110.55	109.02	73.06	110.53	109.08
28-ago	111.38	115.86	118.02	116.81	116.23	116.60	118.46	109.53	114.37	116.79	133.40	162.95	167.81	168.16	172.01	174.60	166.16	150.43	132.71	114.37	112.19	96.77	119.15	116.73
29-ago	113.81	120.76	123.29	121.44	121.45	120.12	114.36	109.37	108.77	119.28	127.81	125.71	135.15	129.94	122.24	125.88	125.50	132.43	121.28	109.06	104.61	96.41	108.79	129.90
30-ago	116.66	119.66	131.22	121.46	125.07	133.23	125.05	115.84	117.82	117.02	126.63	146.75	155.03	154.82	155.21	155.37	155.45	138.56	121.35	114.30	106.74	95.42	105.10	112.97
31-ago	122.52	127.13	134.90	136.76	136.97	133.14	127.78	127.03	124.36	125.55	136.87	163.77	168.88	164.10	163.98	168.17	163.82	150.28	129.40	118.22	112.20	85.68	97.34	114.64

SETEMBRE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
01-sep	106.05	111.03	115.47	118.08	119.27	122.54	121.60	120.62	135.52	150.34	174.35	205.95	216.93	216.53	212.14	232.03	233.23	168.87	146.50	116.84	103.15	95.16	99.68	110.22
02-sep	108.73	115.01	119.88	128.43	130.21	128.66	123.62	115.17	112.56	123.62	132.86	154.54	155.61	154.29	158.69	157.08	152.47	143.95	128.79	120.85	114.93	118.95	125.13	112.44
03-sep	133.71	134.37	142.87	150.03	155.01	152.41	141.74	130.84	124.05	145.86	164.13	173.05	177.91	180.19	178.06	176.02	175.65	170.46	160.40	139.59	127.23	128.26	132.62	132.85
04-sep	153.33	162.92	168.86	162.87	164.13	167.09	156.69	143.49	136.93	145.90	173.79	182.09	188.57	187.24	195.07	205.05	214.02	213.98	189.23	163.16	146.17	146.12	153.93	145.35
05-sep	168.56	166.80	172.23	172.39	176.35	172.30	154.78	147.65	146.41	156.91	177.01	184.91	184.42	184.09	184.03	187.70	183.83	180.92	162.47	150.29	138.60	134.98	143.81	162.88
06-sep	157.81	161.51	165.28	168.42	166.97	166.97	153.57	149.05	148.58	160.60	179.27	189.98	201.25	218.63	234.54	238.73	246.59	219.40	187.39	147.26	134.70	128.35	135.10	150.57
07-sep	128.81	133.12	152.80	153.53	152.39	157.06	153.80	145.35	150.35	180.32	211.83	264.87	264.86	267.47	268.10	264.87	252.71	212.24	174.54	136.99	117.13	102.39	129.05	139.09
08-sep	139.09	142.26	144.65	148.65	150.81	150.93	150.81	148.45	153.52	183.64	259.61	268.12	268.56	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	264.95	185.68	160.45	150.92	153.01	135.72
09-sep	156.61	162.04	164.41	164.71	174.09	166.73	159.79	155.38	154.40	157.83	198.14	218.24	223.37	227.92	248.69	262.56	259.20	228.10	196.68	152.72	147.94	138.36	153.18	160.30
10-sep	162.43	167.79	163.80	161.12	164.48	162.42	150.60	144.61	144.38	159.03	200.00	235.18	252.18	246.94	261.59	265.19	263.43	236.45	208.82	154.27	143.41	140.62	152.73	164.22
11-sep	179.91	184.99	192.75	183.82	178.36	173.30	165.59	159.00	157.54	166.55	191.23	210.53	212.27	214.41	217.32	241.49	251.48	212.07	181.58	154.99	139.79	145.01	152.27	161.96
12-sep	156.97	156.36	158.40	162.10	162.56	157.97	156.29	141.70	138.15	154.53	184.91	213.19	221.60	252.48	264.39	264.78	264.78	264.50	211.69	181.34	158.44	161.81	170.23	153.68
13-sep	182.84	187.71	189.11	189.08	196.03	202.28	186.96	170.94	173.50	201.46	264.81	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	266.41	202.44	172.69	179.93	185.11	174.51
14-sep	210.30	212.86	216.13	220.63	217.52	217.59	211.27	200.43	195.48	208.20	257.76	268.12	268.12	267.73	268.12	268.12	268.12	256.23	208.43	170.73	156.92	153.95	178.42	204.48
15-sep	204.73	206.30	211.82	213.10	212.88	212.35	212.85	210.27	232.53	262.14	268.60	268.61	268.88	-	-	-	-	-	268.12	211.60	193.78	197.58	203.27	186.93
16-sep	237.19	255.17	253.01	256.55	262.57	258.22	226.66	204.55	204.00	218.73	264.89	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.56	239.59	204.63	169.78	178.55	207.88	211.46
17-sep	240.21	255.44	261.08	258.67	263.04	263.22	232.33	215.16	211.24	231.46	268.11	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	264.83	225.77	202.20	145.59	156.12	188.55	224.82
18-sep	175.28	161.32	161.42	161.93	160.13	152.90	138.74	120.16	107.64	126.33	156.53	182.82	190.39	190.19	193.33	194.69	188.68	156.72	153.46	111.93	82.23	75.00	122.14	196.08
19-sep	137.08	140.51	140.87	140.72	137.83	148.13	130.49	115.57	111.17	119.85	141.69	141.23	142.05	144.39	144.52	154.17	144.59	144.43	135.75	112.79	77.43	66.60	111.23	125.20
20-sep	118.70	127.38	132.68	132.46	129.69	128.63	124.11	106.74	107.14	119.51	118.85	131.26	156.19	162.83	167.36	173.71	168.19	157.05	129.78	122.97	80.29	77.87	106.08	121.87
21-sep	138.92	138.78	141.12	135.39	138.34	139.18	147.20	148.89	145.09	143.02	149.70	175.35	187.41	205.16	230.64	264.42	243.19	206.52	175.24	133.55	123.01	103.34	126.03	169.06
22-sep	145.17	150.90	151.13	149.97	152.14	146.95	141.81	141.22	148.48	154.00	204.24	253.52	253.79	268.47	268.59	266.09	266.10	233.03	181.66	142.70	133.68	127.87	143.73	126.46
23-sep	143.82	153.38	159.93	155.21	155.05	153.22	154.70	129.75	125.24	146.55	166.28	190.37	207.32	208.22	221.04	243.97	220.71	197.05	155.12	127.64	77.83	75.12	135.93	146.81
24-sep	159.04	159.31	158.38	159.94	157.85	158.96	140.20	127.33	114.24	123.03	153.41	173.64	189.59	196.37	199.24	195.84	194.09	166.45	164.36	112.77	93.83	103.46	137.24	146.86
25-sep	160.17	179.45	182.32	183.80	197.06	198.68	197.44	169.21	163.74	181.42	191.86	203.21	218.59	225.87	223.41	249.88	251.06	225.29	215.41	190.85	173.34	175.05	195.54	147.65
26-sep	243.17	259.92	256.00	262.70	264.63	259.76	227.88	198.68	188.99	201.97	264.09	268.03	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	265.61	253.81	202.91	190.32	185.11	205.27	217.99
27-sep	260.67	264.86	264.93	265.01	265.05	265.09	263.19	220.78	214.18	258.15	268.14	268.60	268.61	268.76	268.64	268.61	268.60	268.14	233.63	198.55	168.86	156.79	181.34	212.27
28-sep	181.75	191.72	212.92	218.18	222.76	224.65	-	-	-	-	265.14	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.60	268.08	209.59	141.57	136.60	130.28	148.69	189.05
29-sep	173.02	179.06	185.03	203.77	214.63	214.81	209.54	204.14	205.70	246.05	268.60	268.74	269.05	269.17	269.12	269.50	269.52	268.61	258.80	186.43	161.51	153.81	161.92	165.20
30-sep	180.26	176.59	165.70	172.96	172.92	160.15	146.54	93.90	62.57	128.91	180.72	207.60	231.97	237.31	256.23	265.60	245.97	206.72	149.32	119.96	50.43	56.03	120.26	173.59

OCTUBRE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
01-oct	149.19	156.42	156.38	160.75	172.76	176.84	168.37	133.62	122.91	149.53	148.65	172.44	197.51	200.90	199.33	197.10	199.87	175.40	142.01	94.26	58.42	72.84	122.78	123.06
02-oct	148.80	155.47	157.02	165.69	169.62	173.00	143.74	115.29	105.44	126.11	150.96	153.77	155.08	166.36	183.89	183.94	175.47	165.17	136.16	115.66	115.20	137.60	146.43	142.64
03-oct	191.81	216.94	216.91	245.67	258.38	228.41	203.40	180.90	165.62	180.02	208.76	213.94	220.04	230.34	238.66	249.95	251.27	209.52	177.44	135.74	117.77	117.31	151.99	158.61
04-oct	155.04	156.01	158.76	162.00	154.64	158.07	153.99	126.77	106.64	134.90	153.19	179.34	198.51	198.71	208.83	210.33	200.51	176.82	152.79	109.77	99.64	100.64	135.37	164.49
05-oct	167.37	179.87	181.85	184.38	187.32	190.68	183.19	169.71	159.92	177.95	209.43	226.09	266.48	268.59	268.60	268.60	268.60	268.12	219.72	175.13	163.38	179.49	187.21	140.42
06-oct	219.06	236.24	242.37	257.60	263.34	263.77	257.99	257.94	257.49	257.07	264.83	268.59	268.60	268.61	268.61	268.61	268.60	268.08	247.32	197.34	176.18	169.73	196.65	197.28
07-oct	194.27	216.96	224.34	235.25	235.12	234.16	207.82	172.71	144.06	160.08	189.85	201.56	214.77	231.71	235.46	235.60	231.28	206.75	184.78	178.14	164.05	186.15	193.73	205.16
08-oct	231.75	241.47	246.58	260.82	263.28	245.19	225.46	211.70	184.26	216.06	236.03	265.17	264.98	267.54	268.59	268.60	268.06	263.25	217.88	184.81	174.64	182.53	221.19	201.13
09-oct	248.24	264.91	266.54	267.59	267.58	266.48	250.59	225.94	212.16	217.58	230.53	235.31	239.41	246.21	261.93	264.76	264.83	258.69	233.61	223.24	201.31	213.96	215.72	234.67
10-oct	225.30	225.80	226.37	226.50	221.98	210.14	196.13	170.56	148.26	163.80	189.48	222.76	222.97	222.68	223.14	222.33	204.84	185.55	155.40	123.85	67.52	76.27	134.70	223.32
11-oct	149.22	157.68	164.80	169.62	174.55	178.72	159.50	113.50	94.10	142.69	163.56	175.75	187.12	200.35	197.83	191.92	187.80	187.92	173.89	153.11	147.29	167.77	176.63	149.61
12-oct	194.30	202.90	214.56	225.53	224.67	220.36	201.44	199.01	194.86	189.86	186.64	182.30	184.29	184.92	190.83	207.84	205.66	189.09	170.80	161.74	129.58	136.17	150.68	178.70
13-oct	197.04	203.18	211.37	208.88	212.53	203.88	208.57	198.65	204.09	216.76	228.95	260.67	263.37	268.51	268.60	268.60	260.65	231.21	193.58	157.54	128.87	127.38	152.73	175.67
14-oct	161.87	173.59	171.73	172.88	172.09	159.07	146.64	125.95	92.30	126.18	138.94	159.80	166.21	174.77	180.01	181.16	182.94	151.23	123.31	76.37	56.70	116.17	152.68	162.92
15-oct	173.05	176.31	177.64	179.33	187.46	185.33	184.27	161.93	127.32	139.75	159.40	171.72	173.25	172.46	184.71	183.10	169.49	171.22	161.32	143.23	116.16	142.99	162.56	159.69
16-oct	203.63	212.49	215.99	220.49	220.84	221.96	206.80	209.81	198.81	204.26	232.94	251.94	263.73	264.60	263.85	251.95	231.82	206.78	179.43	170.19	136.95	146.52	172.78	175.32
17-oct	170.46	181.29	187.00	187.66	199.89	205.27	195.04	171.36	169.65	170.81	213.74	261.29	265.23	265.22	267.05	268.15	268.16	265.32	219.42	188.72	189.64	200.42	201.05	179.71
18-oct	221.17	225.40	232.62	239.55	239.97	221.76	213.96	197.46	173.59	196.50	215.69	240.00	263.76	264.87	265.04	265.28	262.61	218.90	187.44	161.63	169.37	179.27	192.34	204.11
19-oct	208.67	211.25	221.90	232.01	232.50	231.53	219.19	212.09	203.68	207.72	224.00	234.78	238.56	251.00	255.44	262.81	263.54	246.54	225.25	199.84	188.81	181.29	193.36	201.72
20-oct	216.92	231.17	239.98	239.31	235.58	227.13	215.58	215.59	214.30	223.88	262.21	268.52	268.60	268.61	268.61	268.60	268.57	260.05	204.51	169.87	148.09	147.51	174.59	200.16
21-oct	181.64	186.08	201.24	206.62	206.96	202.41	181.88	168.84	147.89	164.13	178.19	184.21	193.54	197.83	199.85	198.92	196.79	176.52	161.46	106.46	85.58	140.85	166.37	179.22
22-oct	188.19	197.76	203.87	199.43	210.24	200.65	194.23	166.04	144.75	160.07	171.49	210.75	212.61	212.14	209.18	209.33	210.45	192.27	169.24	134.97	150.30	162.23	169.66	175.91
23-oct	192.08	188.59	197.38	204.07	204.01	203.86	183.22	162.22	119.83	139.08	166.53	190.88	192.78	200.60	199.86	194.59	189.89	179.97	142.57	79.23	90.97	121.27	148.51	178.75
24-oct	178.68	196.49	200.30	199.02	199.90	193.83	187.25	167.14	130.69	152.82	185.11	196.38	208.25	216.16	232.49	238.87	210.90	195.57	173.35	137.37	148.35	159.66	179.79	171.56
25-oct	203.31	205.61	218.71	218.62	213.83	226.29	210.66	197.29	174.71	183.93	193.32	203.97	207.79	209.35	213.68	222.31	225.17	211.00	193.34	-	-	-	-	-
26-oct	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27-oct	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	205.12	188.85	175.70	144.45	158.12	165.77	199.93
28-oct	210.15	219.59	221.11	227.07	226.51	218.99	204.31	184.49	171.42	202.72	209.81	216.50	216.89	215.53	213.60	213.33	179.32	147.90	118.41	134.62	154.10	158.76	172.68	183.57
29-oct	191.15	199.04	207.95	215.95	217.64	203.83	190.27	177.31	165.69	185.09	180.23	181.51	180.89	180.48	180.21	180.55	181.50	184.49	178.02	172.50	162.58	168.54	176.54	191.31
30-oct	194.77	208.33	210.78	219.62	225.08	211.32	193.68	184.86	167.83	174.54	190.90	190.07	187.21	187.41	190.90	186.98	170.26	152.19	104.29	107.75	108.55	118.31	156.30	165.63
31-oct	151.56	161.96	163.20	163.74	180.42	184.19	174.08	133.65	124.58	150.46	155.68	176.74	198.21	202.81	200.91	198.77	203.31	182.04	152.66	105.99	73.06	85.98	130.94	146.61

NOVEMBRE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
01-nov	173.38	180.11	187.66	190.42	189.98	189.90	189.08	186.79	190.48	192.02	194.17	214.33	212.47	210.84	200.63	189.34	173.02	150.43	124.14	130.88	133.01	143.26	150.76	158.53	
02-nov	158.06	163.28	167.12	170.08	170.74	172.69	164.23	156.70	156.41	168.73	181.41	188.11	183.58	190.92	186.96	189.02	173.61	144.79	137.26	134.52	136.88	138.34	145.70	150.81	
03-nov	151.93	163.66	171.08	172.36	183.01	185.43	176.55	174.86	183.22	223.64	234.05	245.19	259.84	240.04	238.23	230.71	184.58	147.26	120.31	125.41	130.30	141.73	144.77	154.54	
04-nov	159.33	162.39	166.30	167.21	162.55	157.09	141.61	121.90	122.38	130.86	150.25	155.82	158.54	160.73	158.77	136.71	120.22	102.96	76.50	89.21	121.48	129.95	126.83	138.11	
05-nov	148.20	156.45	162.01	159.32	162.12	150.37	134.96	127.31	112.17	126.71	138.97	152.24	152.10	146.84	134.04	130.94	125.66	114.40	28.76	39.40	78.41	114.64	123.10	132.31	
06-nov	121.41	128.06	129.86	136.83	143.97	141.15	135.09	129.82	120.73	125.85	144.55	152.20	155.74	152.09	157.35	148.48	130.43	105.50	44.00	51.44	94.92	109.90	118.98	121.70	
07-nov	135.85	152.27	153.50	147.11	147.04	137.06	139.41	130.22	127.31	139.05	156.10	168.27	172.99	172.15	167.75	151.88	137.72	132.18	103.07	111.00	128.88	136.01	149.65	153.30	
08-nov	160.00	161.27	166.10	162.31	158.11	153.20	143.14	128.15	125.74	130.76	127.72	131.33	144.76	147.47	139.92	125.34	122.73	119.52	109.91	111.16	115.07	115.30	122.21	136.54	
09-nov	146.30	146.59	163.02	161.78	162.91	157.20	152.51	145.60	136.04	134.53	135.13	193.69	145.39	156.88	161.53	163.32	137.98	120.67	120.92	117.52	130.52	144.72	148.38	152.42	
10-nov	158.58	160.68	164.46	172.31	173.46	173.25	170.05	162.46	162.71	180.30	194.57	212.67	211.35	211.89	208.97	210.20	171.18	132.88	122.87	115.84	121.75	133.67	140.99	144.59	
11-nov	145.70	151.35	157.56	170.19	180.08	176.82	175.50	147.81	136.22	163.35	200.66	207.92	223.76	248.31	259.46	262.48	188.93	136.63	133.60	127.09	140.57	153.77	166.28	177.98	
12-nov	196.41	213.58	212.20	216.58	233.19	211.02	188.57	150.00	150.51	185.17	263.49	264.44	264.49	264.45	264.49	264.63	208.32	155.54	145.19	137.40	132.10	139.91	-	-	
13-nov	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
14-nov	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
15-nov	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
16-nov	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
17-nov	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
18-nov	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
19-nov	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
20-nov	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
21-nov	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
22-nov	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
23-nov	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
24-nov	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	243.82	250.01	255.22
25-nov	259.14	260.93	265.03	265.58	265.55	265.17	254.64	192.85	171.09	176.49	193.89	201.27	199.40	202.86	202.73	182.35	158.93	137.32	133.87	128.26	117.71	128.74	135.85	137.40	
26-nov	138.11	143.51	149.04	151.75	150.37	-	134.10	118.42	105.05	114.35	113.02	115.00	117.71	117.43	113.67	113.54	114.17	107.36	94.96	103.31	107.88	111.70	115.39	119.36	
27-nov	119.67	125.04	129.80	134.84	138.82	131.02	120.93	111.74	107.23	116.82	138.56	154.26	153.69	154.25	152.69	146.27	111.17	101.61	86.61	90.32	86.63	97.36	105.65	109.73	
28-nov	106.05	114.11	128.05	130.26	140.69	138.22	112.87	90.17	89.39	98.94	124.98	138.41	143.08	141.38	132.85	117.70	95.79	80.39	73.79	80.94	82.81	91.42	101.78	101.11	
29-nov	126.80	141.03	141.54	139.18	143.12	140.03	120.12	96.60	90.25	92.48	121.12	142.17	135.07	134.21	131.64	117.24	96.06	89.51	79.49	75.62	76.65	87.15	98.89	100.14	
30-nov	104.09	113.26	104.82	108.15	111.82	114.70	118.31	115.87	109.87	123.06	150.61	161.97	159.69	156.77	148.50	139.65	120.60	100.55	92.37	93.61	96.08	106.13	127.60	133.43	

DESEMBRE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
01-dic	145.93	158.65	162.30	163.53	163.83	164.13	156.63	150.88	135.17	139.74	154.41	155.37	156.39	148.62	129.02	122.59	114.45	103.34	100.98	95.97	86.25	117.28	128.83	136.81	
02-dic	133.47	137.96	136.00	142.98	140.96	135.16	130.98	118.19	124.69	130.99	127.49	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
03-dic	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
04-dic	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	104.58	131.83	131.40	131.50	136.09
05-dic	132.86	129.59	125.86	124.17	131.87	132.86	121.46	109.22	102.22	109.17	128.29	142.60	144.99	148.04	145.11	144.39	120.17	100.01	97.83	96.33	97.24	99.41	108.63	117.82	
06-dic	135.03	147.00	161.91	167.79	170.27	171.51	162.07	150.54	133.58	137.48	143.44	152.67	163.84	156.79	155.82	145.23	125.15	111.11	105.77	110.27	109.54	110.33	117.91	126.01	
07-dic	188.71	191.65	199.01	219.63	226.74	237.99	237.85	225.45	222.37	223.11	240.56	263.22	264.98	265.00	266.14	266.50	264.86	226.04	212.60	206.58	203.18	-	-	-	
08-dic	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
09-dic	220.18	236.85	241.48	256.48	264.07	249.10	226.49	191.34	175.19	191.95	228.85	254.19	263.07	264.49	264.51	258.95	190.23	139.72	133.60	136.60	136.52	132.35	138.08	156.98	
10-dic	149.07	164.58	169.92	167.83	164.27	150.99	150.11	127.38	117.25	-	-	-	-	161.85	138.69	154.15	105.73	86.93	63.04	53.02	53.51	59.65	75.33	88.60	
11-dic	104.20	125.40	125.38	127.90	133.96	131.11	114.81	76.75	78.64	94.90	105.55	127.43	124.31	128.17	115.89	100.21	93.39	83.54	66.69	61.21	55.43	68.01	79.79	92.79	
12-dic	90.65	109.72	115.52	118.00	118.64	107.20	86.91	66.78	49.69	63.94	81.75	98.51	101.21	103.25	102.10	93.41	77.25	79.00	73.83	72.00	70.88	76.31	100.97	114.02	
13-dic	122.04	127.50	137.88	138.66	140.66	129.03	114.57	96.06	81.34	84.76	91.81	98.87	102.88	105.93	113.14	103.21	99.90	93.07	77.55	79.98	68.89	105.39	107.21	123.41	
14-dic	109.05	126.01	123.03	128.23	128.38	129.17	122.32	119.66	109.72	108.51	120.12	133.71	133.64	134.87	139.77	140.43	132.10	105.82	86.32	88.87	88.14	94.28	95.72	105.74	
15-dic	111.57	131.25	136.83	140.07	146.63	152.47	151.72	150.21	139.49	162.56	175.07	177.17	170.34	173.05	178.42	180.37	161.76	123.42	102.31	101.60	95.35	100.12	104.39	110.76	
16-dic	134.67	143.26	147.01	147.25	147.79	150.52	139.78	113.74	100.63	108.11	131.87	148.31	150.29	148.51	148.11	141.76	118.70	103.71	84.04	76.27	72.02	91.09	111.85	121.70	
17-dic	123.75	131.47	146.37	145.90	152.65	155.67	146.61	127.57	107.99	106.77	123.45	137.78	140.58	135.87	131.46	127.27	114.74	99.52	90.37	90.12	91.49	101.43	119.22	120.74	
18-dic	122.78	139.91	156.63	159.77	161.17	151.23	128.41	120.48	97.09	110.62	124.74	147.40	155.50	155.57	155.84	141.78	117.28	101.82	97.98	100.04	101.11	110.64	123.34	149.55	
19-dic	177.00	232.05	256.52	261.29	262.39	251.19	196.72	162.58	131.55	132.75	161.42	173.76	177.31	181.42	193.56	192.67	165.42	144.29	129.53	122.64	127.02	126.63	122.77	142.96	
20-dic	126.29	137.85	161.52	165.70	165.48	161.84	136.36	112.73	99.76	110.50	131.15	148.84	159.60	163.10	156.70	143.49	129.40	101.38	93.57	90.32	91.97	98.78	108.50	136.41	
21-dic	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
22-dic	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	187.59	177.44	177.05	192.93	200.29
23-dic	250.75	256.73	258.30	261.05	262.59	261.37	241.84	206.64	191.45	194.06	241.88	263.18	265.04	265.00	264.68	263.16	235.14	174.91	146.80	136.95	143.80	155.32	158.58	174.77	
24-dic	179.69	182.39	190.46	200.69	208.24	207.29	199.59	179.08	160.56	177.51	214.26	224.79	228.61	228.56	229.17	227.94	194.76	141.74	143.13	151.57	155.79	164.66	158.45	168.63	
25-dic	167.59	172.68	173.77	179.09	184.61	178.98	177.57	177.77	172.20	160.96	171.98	172.76	170.56	169.20	170.75	168.41	144.45	129.77	113.64	112.35	105.55	107.33	141.13	-	
26-dic	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
27-dic	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	162.92	155.94	136.76	135.92	146.40	126.93	103.68	92.62	97.46	95.26	99.99	112.85	115.36	
28-dic	118.73	124.52	127.02	131.54	134.77	133.32	124.80	120.44	111.83	113.37	125.38	132.53	135.54	132.77	127.58	128.74	119.13	92.20	80.40	82.14	90.47	95.25	104.04	109.42	
29-dic	110.26	116.10	119.18	121.85	123.76	126.02	129.14	124.77	122.54	124.59	144.54	148.77	148.13	148.20	146.69	142.21	130.27	110.75	104.89	100.91	100.83	101.85	112.25	118.34	
30-dic	126.97	132.46	135.67	142.99	144.35	136.44	122.27	114.48	101.05	106.15	112.32	135.08	131.26	136.26	131.79	131.93	108.82	89.87	77.28	73.74	69.96	78.37	92.65	103.89	
31-dic	105.97	112.98	113.98	118.76	126.73	120.76	113.55	108.39	99.87	103.70	112.25	132.22	133.96	131.31	137.02	137.00	126.70	102.67	93.35	92.53	97.28	101.75	110.40	-	

### A.7. DISSENY I LLISTAT DE CANONADES

Les canonades de la instal·lació han estat dissenyades tenint en compte les velocitats del fluid que passa per aquestes, i el principi de continuïtat.

$$Q = v \cdot A \tag{E.A.7.1}$$

On:

Q és el cabal en m<sup>3</sup>/s

v és la velocitat del fluid en m/s

A és l'àrea de pas en m<sup>2</sup>

Com s'ha comentat anteriorment, només és necessari dur a terme el càlcul per a les canonades que transporten el vapor, ja que totes les altres són determinades o bé pel fabricant de l'equip o bé per la pròpia xarxa d'energies i de consumidors del *site*.

Sabent que el cabal total de vapor de baixa és de 6.5 Tm/h i que la densitat del vapor a 1.3 barA es de 0.752 kg/m<sup>3</sup> [40] es determina el diàmetre intern de la canonada amb l'equació E.A.5. De la mateixa manera, es fa el mateix càlcul per al vapor de 6 barA.

$$\frac{6.7 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{0.752 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 15 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot A1 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$\frac{6.7 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{3.666 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 15 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot A2 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$A1 = 0.165 \text{ m}^2 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \rightarrow D = 0.458 \text{ m} \approx 458 \text{ mm}$$

$$A2 = 0.034 \text{ m}^2 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \rightarrow D = 0.207 \text{ m} \approx 207 \text{ mm}$$

A partir d'aquí, es determina el diàmetre nominal mitjançant la bibliografia [26] així com el gruix de la canonada i el gruix de l'aïllament en funció del diàmetre de la canonada i de la temperatura del fluid que conté.

Tuberías		°C Temperatura del fluido <=										
Diámetro nominal		100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	500
Di (")	Di (mm)	Espesor de aislamiento (mm)*										
1	34	40	50	60	80	100	120	120	140	160	200	200
1 1/2	48	50	60	80	80	100	120	140	160	180	200	220
2	60	50	60	80	100	100	120	140	160	190	210	230
2 1/2	73	60	80	100	100	110	130	140	170	190	210	230
3	89	60	80	100	110	110	130	150	180	200	220	240
4	114	80	80	110	110	120	140	160	180	210	240	250
6	168	80	80	110	120	130	150	170	190	230	260	280
8	219	80	100	120	130	130	160	180	200	240	270	290
10	273	100	100	120	130	140	170	190	210	250	290	310
12	324	100	100	120	130	140	170	200	220	260	300	320
14	356	120	120	130	140	140	180	200	230	260	300	320
16	407	120	120	130	140	150	180	200	230	270	310	330
18	457	120	120	130	140	150	180	210	240	280	320	340
20	508	120	120	130	140	150	190	210	240	280	320	350
22	559	120	130	140	150	150	190	220	250	290	330	350
24	609	130	140	140	150	150	190	220	250	290	330	360

■ TECH Pipe Section MT 4.0\* ■ TECH Pipe Section MT 4.1\* ■ TECH Pipe Section MT 4.1 + TECH Wired Mat MT 3.1 (2 o 3 capas)\*  
■ TECH Pipe Section MT 4.1 + TECH Wired Mat MT 4.2 (2 o 3 capas)\* ■ TECH Wired Mat MT 4.2\* ■ TECH Wired Mat MT 5.1\*  
■ TECH Wired Mat MT 6.1\*

Figura A.5.1 gruix de l'aïllament en funció del diàmetre de la canonada i la temperatura del fluid [27]

