



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

**etsEQ**

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química  
UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI



Departament d'Enginyeria Química

## Treball de Fi de Grau

# Disseny de la xarxa d'*utilities* per una planta de reciclatge de polímers



**Identificador:** TFGEQ\_2501\_amarch

**Estudiant:** Andreu March Miravete

**Tutor acadèmic:** Carmen Maria Torres Costa

**Supervisor de l'empresa:** Albert Donado Mazarrón-Sastre

**Grau:** Enginyeria Química

**Curs acadèmic:** 2024-2025

Tarragona, 22 de gener de 2025

**Departament d'Enginyeria Química. Universitat Rovira i Virgili.**

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

TÍTOL DEL TFGEQ: **Disseny de la xarxa d'utilities per una planta de reciclatge de polímers**

SUBTÍTOL .....

.....

AUTOR: **ANDREU MARCH MIRAVETE**

CURS ACADÈMIC: **2024/2025**

**VIST I PLAU DEL TUTOR ACADÈMIC**

En/Na **CARMEN MARIA TORRES COSTA**

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

és adequat i en conseqüència recomana la seva defensa

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

Signatura:



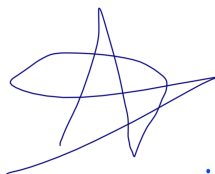
Data: **22.01.25**

**DECLARACIÓ D'ABSÈNCIA DE CONFLICTES DE CONFIDENCIALITAT**

En/Na **ALBERT DONADO**, 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 **RAVAGO MANUFACTURING EUROPE**

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

Signatura:



Data: **22.01.25**



## ÍNDIX

1.	Introducció.....	3
2.	Etapa preliminar .....	3
2.1.	Descripció del projecte .....	3
2.2.	Objectius.....	3
2.3.	Abast del projecte.....	4
2.4.	Antecedents .....	4
2.5.	Estudi d'alternatives .....	4
2.5.1.	Sistema de refrigeració .....	5
2.5.2.	Sistema de bombes .....	7
2.5.3.	Sistema de compressors.....	8
2.5.4.	Tractament d'aigües .....	10
2.6.	Planificació.....	11
3.	Bases de disseny.....	12
3.1.	Capacitat i flexibilitat operativa .....	12
3.2.	Normatives i codis de disseny .....	12
3.2.1.	Normatives aplicables .....	12
3.2.2.	Codis de disseny.....	15
3.3.	Especificacions dels serveis .....	16
3.4.	Localització de la planta.....	17
4.	Enginyeria bàsica .....	18
4.1.	Diagrama de blocs (BFD).....	18
4.2.	Diagrama de flux (PFD).....	18
4.3.	Diagrama de canonades i instrumentació (P&ID).....	18
4.4.	Diagrames d'implantació (Layout) .....	18
4.5.	Llistat d'equips .....	24
4.6.	Llistat de canonades .....	26
4.7.	Llistat de vàlvules.....	29
4.8.	Llistat d'instruments.....	31
4.9.	Llistat de senyals (I/O) .....	38
4.10.	Operativa del sistema de control (FDS) .....	39
4.11.	Disseny d'equips .....	41
4.11.1.	Disseny sistema d'aire comprimit .....	41
4.11.2.	Disseny del sistema de tractament d'aigües .....	48
4.11.3.	Disseny del sistema de refrigeració.....	52
4.11.4.	Disseny de bombes .....	58
4.11.5.	Disseny del la xarxa de canonades .....	61
4.12.	Fulls d'especificacions .....	63
4.12.1.	Compressor K1/2/3.....	64
4.12.2.	Chiller C1/2 .....	65
4.12.3.	Tanc B3 .....	66
4.12.4.	Tanc B4 .....	67
4.12.5.	Grup de pressió I .....	68
4.12.6.	Grup de pressió II.....	69
4.12.7.	Bombes P3A/B/C/D .....	70

---

4.12.8.	Bombes P4A/B/C .....	71
5.	Seguretat industrial.....	72
5.1.	Hazard and Operability Study (HazOp) .....	72
5.1.1.	Sistema d'aigua descalcificada.....	73
5.1.2.	Sistema d'aigua de refrigeració .....	76
5.1.3.	Sistema d'aire comprimit .....	82
6.	Gestió mediambiental.....	86
6.1.	Consum energètic .....	86
6.2.	Recursos .....	86
6.3.	Residus .....	86
6.4.	Control i monitorització .....	86
7.	Avaluació economica .....	88
7.1.	CAPEX.....	88
7.1.1.	Costos directes.....	88
7.1.2.	Costos indirectes.....	88
7.2.	OPEX.....	89
7.3.	Resultats .....	89
8.	CONCLUSIONS .....	89
9.	BIBLIOGRAFIA.....	90

## 1. INTRODUCCIÓ

Taula 1.1. Identificació del projecte.

<b>Títol</b>	Disseny de la xarxa d' <i>utilities</i> per una planta de reciclatge de polímers
<b>Identificador</b>	TFGEQ_2501_amarch
<b>Tutor</b>	Carmen María Torres Costa
<b>Localització i data</b>	Tarragona, 21 de gener de 2025
<b>Autor</b>	Andreu March Miravete

## 2. ETAPA PRELIMINAR

En aquest apartat s'han definit les característiques principals del projecte així com, les consideracions que s'han seguit en la presa de decisions pel que fa a l'estudi d'alternatives.

### 2.1. Descripció del projecte

El projecte s'ha centrat en el disseny de la xarxa d'*utilities* per una planta de reciclatge de polímers. Aquesta consta de dues línies d'extrusió de polipropilè (PP) amb una capacitat aproximada de 25,000 t/any.

La fase de disseny s'ha dut a terme tenint en compte un augment de la capacitat de producció amb la implementació d'una futura tercera línia.

### 2.2. Objectius

- Dissenyar la xarxa d'*utilities* per abastir els serveis bàsics d'una planta d'extrusió de polímers de manera funcional i fiable.
- Subministrar els serveis amb els valors proporcionats als fulls de requisits d'*utilities* dels diversos fabricants de maquinària oferint flexibilitat al sistema.
- Complir amb les normatives ambientals, de seguretat i qualitat vigents al país de la instal·lació amb el suport del departament de EHSQ.
- Lliurar una instal·lació equilibrada pel que fa a la innovació tecnològica, prestacions de la planta i costos (inversió i operació).
- Destinar per a les *utilities* un màxim del 5% del budget total del projecte greenfield. El projecte complet consta de la construcció d'un site de reciclatge de polímers nova.
- Realitzar les tasques dins de les diverses dates límit proposades per la direcció del projecte per tal d'assegurar que aquest es completa dins del termini esperat.
- Utilitzar un criteri comparat per a l'elecció de la tecnologia i configuració dels sistemes que compleixi amb els estàndards de *Ravago Manufacturing Europe*.

### **2.3. Abast del projecte**

L'abast del projecte recau en el disseny de la xarxa de serveis per una planta de producció de polímers. Per tant, la implementació d'aquesta haurà d'abastir els serveis bàsics d'una instal·lació:

- Aigua de xarxa.
- Aigua tractada.
- Aigua de refrigeració.
- Aire d'instruments.

Els requisits del projecte inclouen el dimensionat d'equips segons les capacitats operatives objectiu de la planta, per tal de lliurar els diferents serveis dins del rang de treball i la creació de la documentació tècnica pertinent (diagrames, fulls d'especificacions, distribució d'equips, llistats de canonades i instrumentació així com els càlculs de dimensionat i configuració d'equips). Finalment, establir l'estratègia bàsica de control de processos per tal d'assegurar una bona operativa de cadascun dels elements del sistema així com les interaccions que es donen entre ells. S'ha tingut en compte les especificacions dels serveis, els principis de disseny d'equips convencionals i els fonaments d'enginyeria combinats amb el sentit comú per tal d'assolir una planta funcional.

### **2.4. Antecedents**

*Ravago Manufacturing* és una unitat de negoci del grup *Ravago* que se centra en els processos de producció de polímers sigui per *compounding* o bé per *recycling*. La manufactura de compostos polimèrics, que representa el 9% de les activitats de *Ravago*, engloba diverses plantes de producció distribuïdes en les següents regions: *Europe, Türkiye, Middle East & Africa, Asia & Oceania i Americas*.

És ben sabut que tot i que la configuració de les plantes químiques busca assegurar una operativa segura, sempre hi poden haver imprevistos en les condicions del procés. Per tant, s'han anat implementant cada vegada mesures més rigoroses en l'àmbit del EHSQ que cobreixen no només la seguretat en plantes on es manipulen productes químics, sinó la salut i la cura del medi ambient. D'aquesta manera, es pot afirmar que la xarxa de serveis d'una planta química és un dels pilars fonamentals per dur a terme els processos de manera segura i oferint unes condicions òptimes per satisfer les especificacions del producte.

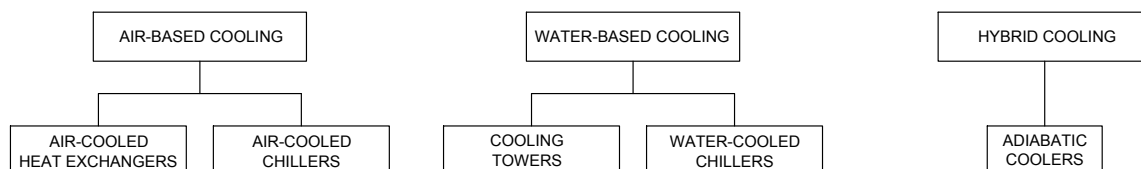
Aquest projecte neix de la necessitat d'expandir el negoci de reciclatge de plàstics a Turquia, ja que històricament aquesta regió només disposava de plantes de *Compounding, Engineering plàstics (EP)* i *Expanded Polystyrene (EPS)*. Fruit de la col·laboració entre l'equip d'enginyeria de *Ravago Manufacturing Europe (RME)* i l'equip d'enginyeria de *Ravago Petrokimya Üretim (RPU)*, s'ha combinat l'experiència en el sector del reciclatge amb la manera de fer a Turquia. Això ha permès aprofitar les sinergies i realitzar un projecte de desenvolupament de negoci innovador i creatiu.

### **2.5. Estudi d'alternatives**

Per tal d'assegurar que la inversió del projecte sigui competitiva, cal establir un equilibri entre la tecnologia, el cost d'inversió en equips i els costos d'operació/manteniment. En la fase inicial s'ha pres un seguit de decisions per tal d'establir la configuració d'equips i components que donarà pas al posterior disseny d'aquests.

### 2.5.1. Sistema de refrigeració

La funció principal del sistema de refrigeració d'una instal·lació industrial és mantenir el flux d'aigua de procés a unes condicions determinades (temperatura i pressió) segons els requisits de cada equip. Tal com es mostra en la Figura 1, per tal de facilitar l'elecció del sistema, s'ha dividit les diverses tipologies segons la tecnologia de refrigeració emprada en cada sistema (aire, aigua i híbrida).



**Figura 1.** *Tecnologies de refrigeració industrial.*

La demanda energètica (*duties*) és el factor clau en el dimensionat del sistema de refrigeració. Aquesta afecta directament els costos d'inversió inicial, instal·lació i operació i, per tant, cal que es calculi de manera precisa per tal d'evitar equips sobredimensionats.

Taula 2.4.1.1. Requeriments de refrigeració del procés

Equip	Punt	*CR (kW)	Q (m <sup>3</sup> /h)	ΔP (barg)
Extrusor	<i>Gearbox &amp; barrel cooling</i>	40	4.00	2.50-4.00
	<i>Electric cabinet on main frame</i>	0.50	0.60	2.50-4.00
	<i>External electric cabinet</i>	11.1	2.00	2.50-4.00
	<i>Vacuum pumps</i>	3.70	2.60	2.50-4.00
	<i>Pelletiser</i>	317	50.0	2.50-4.00
Transport pneumàtic	<i>Heat exchanger</i>	17.44	0.50	2.50-4.00
<b>TOTAL:</b>		<b>389.7</b>	<b>59.7</b>	

\*CR = Càrrega de refrigeració

Una línia de producció té uns requisits de refrigeració de 389.7 kW. El *site* s'ha concebut per a tres línies de producció, per tant, el sistema de refrigeració ha de produir una càrrega de refrigeració total de 1169.2 kW  $\approx$  1200 kW.

Un cop s'ha fet una estimació dels requisits de refrigeració, s'ha tingut en compte diversos paràmetres (Taula 2.4.1.2.) per tal de prendre una decisió objectiva.

Taula 2.4.1.2. Característiques principals dels sistemes de refrigeració.

	<i>Cooling Tower</i>	<i>Adiabatic cooler</i>	<i>Water-cooled chiller</i>	<i>Air-cooled chiller</i>
Aplicacions	Plantes d'energia, petroquímiques i HVAC	Processos industrials en climes càlids	Grans edificis, refrigeració industrial	Petites aplicacions industrials, HVAC comercial
Eficiència (COP/EER)	5-10	4-7	4-6	3-5
Capacitat (kW)	100-10,000	50-1500	50-3000	10-1500
Cost de compra	Alt	Moderat	Alt	Baix
Cost d'operació	Baix	Moderat	Moderat/Alt	Alt
Consum d'aigua	Alt	Moderat	Alt	-
Espai requerit	Elevat	Moderat	Elevat*	Compacte
Impacte ambiental	Consum d'aigua elevat pot ser una font de contaminació degut al tractament químic requerit per controlar la <i>Legionel·la</i> .	Recursos hídrics moderats amb major eficiència energètica.	Associat a <i>cooling tower</i> .	Consum energètic elevat pot suposar l'augment del CO <sub>2</sub> equivalent.
Regulacions/codi de disseny	ASHRAE 90.1, ASHRAE 189.1, CTI STD-201, OSHA 1910, ASHRAE 188, ISO19458	ASHRAE 90.1, AHRI 400, IEC 60335-2-40, ASHRAE 188, ISO 19458	ASHRAE 90.1, ASHRAE 15, AHSRAE189.1, AHRI 550/590	ASHRAE 90.1, AHRI 551/591, IEC 60335-2-40

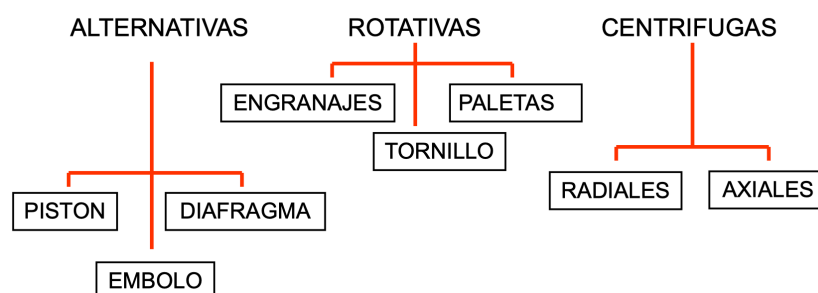
*Informació adaptada a partir de diverses fonts [1][2][3][4][5]. \*Tenint en compte que generalment s'associa el conjunt air-cooled chiller i cooling tower.*

S'ha escollit els *air-cooled chillers* com a sistema de refrigeració. Aquest tipus d'equips ofereixen una solució compacta que aprofita l'espai assignat per als elements de la xarxa de servei disponible en la nau de producció. S'ha optat per instal·lar dues unitats de capacitat mitjana per abastir les necessitats de la planta i operar en circuits independents en cas de fallada. Aquesta tecnologia, que presenta una despesa energètica elevada, permet reduir el consum d'aigua típic de les torres de refrigeració i, per tant, dels *water-cooled chillers*.

Es controlen els riscos per a la salut deguts a la *Legionel·la* en descartar el conjunt anterior i els *adiabatic coolers*. D'altra banda, també disminueixen els costos d'operació associats al control i tractament d'aigües requerit. Els resultats de l'elecció es troben en la Taula A.1.1 *Matriu de decisió per l'elecció de la tecnologia de refrigeració*.

### 2.5.2. Sistema de bombes

Les bombes són els equips involucrats en el transport de fluids en la instal·lació industrial. Aquestes juguen un paper important, ja que són els equips encarregats de distribuir els corrents d'entrada a través dels sistemes de la xarxa d'utilitats fins als punts finals del procés. La classificació d'aquestes inclou múltiples subcategories, però s'ha simplificat segons les tecnologies més comunes en la indústria en la figura 2.



**Figura 2.** Classificació de bombes.

S'han establert tres seccions de bombeig segons el circuit d'aigua que ocupen (xarxa, descalcificador i refrigeració). Per tant, caldrà proposar una solució de bombeig per cada tipus d'aplicació segons els requisits del procés.

Un dels paràmetres més rellevants a l'hora d'escollir un sistema de bombeig és la quantitat de fluid a transportar, és a dir el cabal de disseny. Es pren com a fluid principal l'aigua, ja que en el procés les bombes només intervenen en el subministrament d'aigua industrial. Finalment, s'ha fet una estimació del consum de la planta segons les especificacions dels diversos equips (Taula 2.4.1.2.) per a poder diferenciar les diverses aplicacions requerides.

Taula 2.4.2.1. Estimació del cabal d'aigua industrial necessari.

Servei	Q (m <sup>3</sup> /h)	ΔP (barg)	T (°C)
City water	0.57	2.50-4.00	max. 25
Treated water	9.50*	2.50-4.00	max. 25
Cooling water	180*	2.50-4.00	10 °C

\*Consum total de les 3 línies de producció.

Una vegada es coneix la capacitat que ha d'assolir cada sistema i les característiques del fluid a bombejar, s'ha comparat paràmetres d'interès a l'hora de seleccionar entre les tres categories de bombes principals (centrífugues, rotatives i alternatives) a la Taula 2.4.2.1.

Taula 2.4.2.2. Comparativa de sistemes de bombeig

	Bombes centrífugues	Bombes rotatives	Bombes alternatives
Aplicacions	Sistemes de subministrament d'aigua, processos industrials, tractament d'aigües, etc.	Bombes d'oli, indústria alimentària, farmacèutica, sistemes hidràulics, lubricació.	Alta pressió amb un cabal controlat, bombeig de fangs, dosificació, aplicacions mèdiques.
Fluids típics	Aigua, combustibles lleugers, solucions aquoses.	Olis, pintures, adhesius, xarops, fluids viscosos.	Fangs, resines, polímers, productes amb sòlids en suspensió.
v (cP)	1-200	1-1,000,000+	1-500,000
$\Delta P$ (bar)	10-14	3.5-20	35-700
Cabal (m <sup>3</sup> /h)	100-10,000	50-1500	50-3000
Control de cabal	Baix-Moderat (millora amb VFD)	Moderat-Alt	Alt
Eficiència	Moderada-Elevada (segons viscositat)	Elevada	Molt elevada (aplicacions alta pressió)
Cost de compra	Baix-Moderat	Moderat	Alt
Cost d'operació	Baix-Moderat	Moderat	Alt
Regulacions/codi de disseny	ISO 5199, EN 733	ISO 14847	ISO 13710

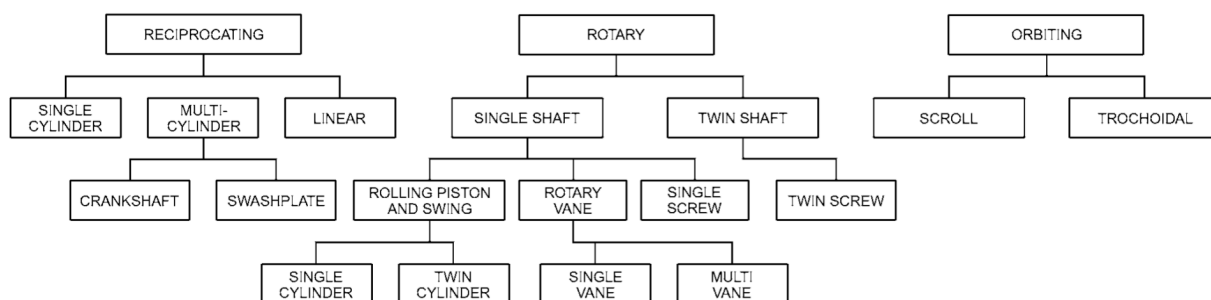
*Informació adaptada a partir de diverses fonts [6][7][8].*

S'ha triat les bombes centrífugues ja aquest és el subtipus més utilitzat en aplicacions industrials estàndards tenint en compte que l'objectiu principal del sistema se centra en el subministrament d'aigua per als equips del procés d'extrusió.

El fluid de treball es troba dins del rang de viscositat d'aquest tipus de bombes i els costos d'operació associats al consum elèctric no seran elevats, ja que cabals són relativament baixos. Dins la família de bombes centrífugues s'ha optat pel format *inline* a cabal constant en els punts que no tenen variabilitat en la demanda. Aquesta decisió permet establir una solució compacta per aprofitar l'espai disponible mentre que en les aplicacions de cabal elevat i variable s'han utilitzat les bombes centrífugues convencionals amb variador de freqüència (VFD) oferint una major flexibilitat al sistema.

### 2.5.3. Sistema de compressors

Els compressors són equips que tenen com a objectiu principal augmentar la pressió d'un gas. Tot i que aquesta premissa es compleix hi ha diversos mecanismes que ofereixen característiques singulars donant una àmplia varietat de tipus de compressor tal com es pot observar en la Figura 3.



**Figura 3.** Classificació de compressors de desplaçament positiu.

Trobem compressors en la xarxa d'aire comprimit i en el cicle de refrigeració dels *air-cooled chillers*, però en el segon cas la tipologia d'aquest vindrà fixada pel fabricant. Per generar l'aire comprimit els tipus més comuns són el de pistó (reciprocant), el de cargol (rotatiu), i el *scroll* (orbitant). El dimensionat del sistema d'aire comprimit parteix d'una pressió de línia de 7 bar i els requisits de volum d'aire comprimit segons el llistat d'instruments i les especificacions del fabricant. Seguidament, es mostra una breu comparació dels paràmetres d'interès en l'elecció del tipus de compressor per l'escenari proposat.

Taula 2.4.3.1. Comparativa dels tipus de compressor.

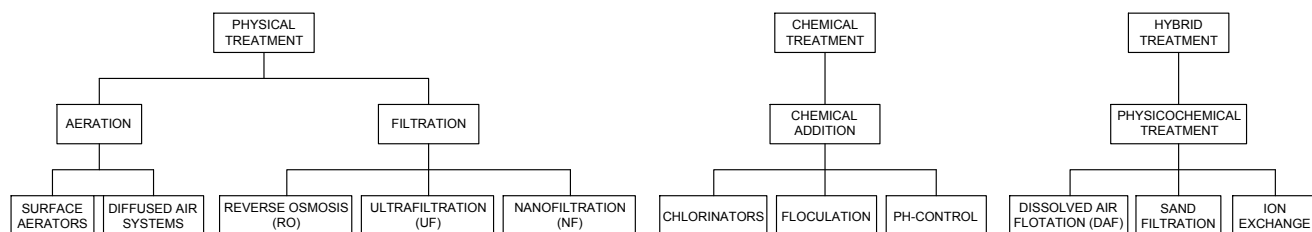
	Compressor <i>Scroll</i>	Compressor de pistó	Compressor de cargol
Aplicacions	Sistemes petits i mitjans, equips d'aire comprimit de precisió.	Aplicacions petites i mitjanes, sistema d'aire d'instruments i eines.	Aplicacions industrials, sistemes d'aire comprimit grans, ús en continu o de gran volum.
P (bar)	2-15	1-200	3-50
Cabal (m <sup>3</sup> /h)	5-2,000	10-1,000	100-50,000
Eficiència	Molt elevada (aplicacions alta pressió)	Moderada (segons viscositat)	Elevada
Cost de compra	Moderat	Baix-Moderat	Moderat
Cost d'operació	Baix	Alt	Baix-Moderat
Regulacions/codi de disseny	ISO 1217, ISO 8573-1, ISO 9001, EN 60335-2-40, ATEX (si aplica)	ISO 1217, ISO 8573-1, ISO 9001, ASME B40.1, ATEX (si aplica)	ISO 1217, ISO 8573-1, ISO 13849, ISO 12100, ATEX

*Informació adaptada a partir de diverses fonts [9][10][11][12].*

Tenint en compte la capacitat, s'ha escollit el compressor de cargol. El sistema d'aire comprimit abasteix l'aire d'instruments per als elements de control i, per tant, s'ha triat la tecnologia que permet un flux d'aire net, sec i constant per tal d'assegurar la fiabilitat del sistema. Un altre factor clau és que aquest tipus de compressors ofereixen una eficiència elevada amb un cost d'operació moderat.

### 2.5.4. Tractament d'aigües

El tractament d'aigües quasi sempre s'associa a les estacions depuradores d'aigües residuals (EDAR) però aquest té diverses funcions a banda de la gestió de residus. Alguns equips sensibles o parts del procés on l'aigua es troba en contacte amb el producte, requereixen estàndards de qualitat superiors a l'aigua de xarxa convencional i, per tant, d'un tractament.



**Figura 4.** Classificació de tractament d'aigua segons la tecnologia.

Per tal d'avaluar les necessitats del procés s'ha analitzat els paràmetres de subministrament d'aigua de xarxa (Taula A.3.1.1.) i s'ha comparat amb els requisits del fabricant. Com a resultat, l'abast del tractament s'ha centrat en el control de partícules sòlides en suspensió i la regulació de la duresa de l'aigua (Taula 2.4.4.1.).

Taula 2.4.4.1. Comparativa de tecnologies de tractament d'aigües.

	<i>Sand Filter</i>	<i>Ultrafiltration (UF)</i>	<i>Reverse Osmosis (RO)</i>	<i>Ionic Exchange</i>
Aplicacions	Plantes potabilitzadores i efluent d'aigua industrial per eliminar SS.	Eliminació de sòlids en suspensió en aigua potable o industrial.	Processos de dessalació, tractament d'aigua potable i aigua industrial.	Utilitzada en descalcificadors per controlar ions Ca i Mg.
Principi	Físic	Físic	Físic	Químic
Tecnologia	Llit de sorra	Membrana	Membrana	Tanc de resina
Cabal (m <sup>3</sup> /h)	10-500	5-200	1-50	5-100
Eficiència	Moderada (20-50 µm)*	Elevada (0.01 µm)*	Molt elevada (sals, minerals i partícules dissoltes)	Elevada (elimina els ions Ca i Mg)
Cost de compra	Baix	Moderat-Alt	Alt	Moderat
Cost d'operació	Baix-Moderat	Moderat-Alt	Alt	Moderat
Regulacions/ codi de disseny	DIN 19643	EN 13443, ISO 9001	ASME B31.3	ANSI/AWWAB 100, NSF/ANSI 44

*Informació adaptada a partir de diverses fonts [13][14][15].*

S'ha escollit el tractament fisicoquímic, ja que aquest és capaç de reduir tant la presència de partícules sòlides en suspensió com la concentració de Ca<sup>2+</sup> i Mg<sup>2+</sup> que són els ions dissolts que típicament ocasionen la duresa en l'aigua. El tractament constarà d'un filtre de sorra i dues unitats de bescanvi iònic que permeten el treball alternat de cada mòdul mentre l'altre es regenera.

### 2.6. Planificació

Per tal d'organitzar les diverses tasques que s'inclouen dins l'abast del projecte s'ha construït un diagrama de Gantt (Figura 5.) mitjançant l'eina MS-Excel. Per tal de dur a terme una estimació temporal força versemblant s'han assignat valors d'acord amb l'experiència de projectes anteriors. Es poden consultar les seccions ampliades del diagrama de Gantt a l'Annex A.9 Diagrama de Gantt.

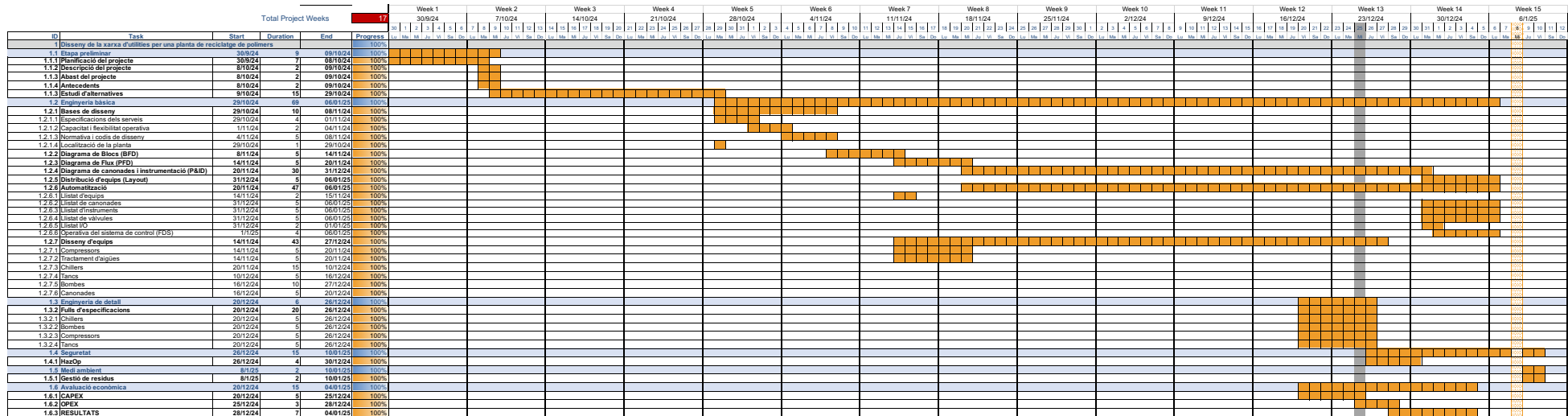


Figura 5. Diagrama de Gantt del projecte "Disseny de la xarxa d'utilitats per una planta de reciclatge de polímers".

### 3. BASES DE DISSENY

#### 3.1. Capacitat i flexibilitat operativa

La capacitat de la xarxa de serveis s'ha definit segons les necessitats d'una instal·lació de reciclatge de polímers amb una producció de 25,000 t/any. Sobre aquesta base, es planteja l'escenari menys favorable, és a dir, que tots els sistemes associats a les *utilities* abasteixin cadascun dels serveis a la seva capacitat màxima. El disseny s'ha plantejat d'aquesta manera, ja que el rang de treball es regula en els punts finals de la xarxa mitjançant elements de control local de cada equip (vàlvules i manoreductors).

Per al factor de servei es parteix de la premissa que les plantes de reciclatge de polímers en condicions normals no acostumen a parar recurrentment, per tant, s'ha estimat un temps d'activitat de 340 dies/any segons valors històrics del negoci. Els 25 dies restants s'han considerat no productius degut a imprevistos, transicions entre produccions i manteniments programats.

#### 3.2. Normatives i codis de disseny

Les normatives i codis de disseny proporcionen directrius sobre com executar tasques, controlar paràmetres de procés, dissenyar equips i garantir que les diverses operacions siguin segures tant per al treballador com per al medi ambient. Per aquests motius, entre d'altres, són fonamentals en la realització de qualsevol projecte de desenvolupament d'acord amb els estàndards de salut, seguretat i medi ambient (EHS) i la legislació vigent.

##### 3.2.1. Normatives aplicables

###### 1. **DIN EN ISO 10628** – Diagrames de flux de plantes de procés

- **Objectiu:** Proporciona directrius per la confecció de diagrames de flux per les plantes de procés. Aquests diagrames s'utilitzen especialment en la indústria química, petroquímica, petrolera, farmacèutiques, alimentàries i del medi ambient.
- **Aplicació:** Aquesta norma s'ha utilitzat en la realització de diagrames relacionats amb la xarxa d'*utilities* (BFD, PFD i P&ID) per tal que siguin entenedors segons els estàndards europeus.

###### 2. **TS EN 10255** – Tubs d'acer no aliat aptes per a ser soldats i roscats. Condicions tècniques de subministrament.

- **Objectiu:** Especifica els requisits per als tubs circulars d'acer no aliat aptes per a la soldadura i el roscat i ofereix una sèrie d'opcions per a l'acabat d'extrems de tubs i recobriments.
- **Aplicació:** La norma cobreix els tubs especificats diàmetre exterior de 10,2 mm a 165,1 mm (mida de rosca 1/8 a 6) en dues sèries, mitjanes i pesades, i tres tipus de gruixos designats.

3. **TS EN 13445-3** – Recipients a pressió no sotmesos a flama.
  - **Objectiu:** Especifica els requisits de disseny de recipients a pressió no sotmesos a flama i proporciona les regles de càlcul necessàries per assegurar la seguretat dels recipients per la seva operació sota condicions de pressió interna o externa.
  - **Aplicació:** Disseny estructural dels recipients a pressió assegurant la resistència necessària contra les càrregues de pressió per evitar fallades.
  
4. **TS EN 12897** – Acumuladors d'aigua calenta sanitària.
  - **Objectiu:** Defineix els requisits de seguretat, disseny i fabricació per als acumuladors d'aigua calenta sanitària (ACS) indirectament escalfats.
  - **Aplicació:** Assegura que els acumuladors d'aigua calenta compleixen amb els estàndards de seguretat i rendiment energètic incloent-hi criteris per a la resistència de materials, la protecció contra sobreescalfament o pressió excessiva.
  
5. **ISO 8573-1** – Qualitat de l'aire comprimit. Contaminants i nivells de puresa.
  - **Objectiu:** Defineix les classes de qualitat de l'aire comprimit en funció del contingut en partícules sòlides, aigua i oli. Categoritza l'aire comprimit segons el nivell de puresa per tal d'assegurar que compleixi amb els requisits específics d'aplicacions industrials crítiques.
  - **Aplicació:** Establir límits màxims admissibles de contaminació en l'aire comprimit. Ajuda a garantir que l'aire comprimit no afecti negativament els processos ni els productes.
  
6. **TS EN 1012-1** – Compresors i bombes de buit. Requeriments de seguretat per a compresors d'aire.
  - **Objectiu:** Especifica els requisits de seguretat per al disseny i construcció de compresors i sistemes de compressió d'aire i altres gasos. Proporcionar directrius per mitigar els riscos associats a sobrepressió, explosions, soroll i vibracions.
  - **Aplicació:** Assegura que els compresors i sistemes de compressió d'aire compleixin amb els estàndards de seguretat operativa en instal·lacions industrials. Inclou mesures per evitar els accidents relacionats amb l'alta pressió o condicions de funcionament extremes.
  
7. **ISO 1217** – Mètodes de prova per compresors de desplaçament positiu.
  - **Objectiu:** Compliment dels nivells de rendiment declarats pel fabricant, amb resultats fiables i comparats globalment.
  - **Aplicació:** Optimitza els costos energètics i assegura el bon funcionament sota condicions normals d'operació per compresors de desplaçament positiu (aire o gas). Proporciona una base per a la comparació de diferents models de compresors.

8. **IEC 60335-2-40** – Requisits particulars per a bombes de calor elèctriques, aparells d'aire condicionat i deshumidificadors.
  - **Objectiu:** Requisits de seguretat per a dispositius de refrigeració, aire condicionat i bombes de calor incloent-hi *air-cooled chillers*. Abordar els perills elèctrics, mecànics, tèrmics i d'incendi associats a aquests equips, així com la gestió de refrigerants utilitzats, que poden ser inflamables o perillosos per al medi ambient.
  - **Aplicació:** En el cas dels *air-cooled chillers*, aquesta norma s'aplica per garantir que el disseny i la fabricació de les unitats compleixin amb els estàndards de seguretat, especialment pel que fa al control de riscos relacionats amb l'ús de refrigerants, protecció contra sobreescalfament i seguretat elèctrica.
  
9. **AHRI 551/591** – Avaluació de rendiment de l'aigua refrigerada i *heat pump water-heating* utilitzant el cicle de compressió de vapor.
  - **Objectiu:** Mètodes de prova i criteris de rendiment per *air-cooled chillers*. Defineix els estàndards per mesurar la capacitat de refredament i l'eficiència energètica d'aquests equips en condicions controlades.
  - **Aplicació:** Garantir que els *chillers* comercials, industrials i d'edificis de grans dimensions on el sistema utilitza l'aire ambient per dissipar la calor del condensador compleixin amb requisits de rendiment establerts assegurant que les instal·lacions funcionin de manera eficient especialment en climes càlids on l'accés a l'aigua és limitat o costós.
  
10. **ISO 5199** – Especificacions tècniques per bombes centrífugues (classe II)
  - **Objectiu:** Definir els requisits mecànics per a bombes centrífugues utilitzades en aplicacions industrials. Estableix especificacions per garantir la fiabilitat, seguretat i durabilitat de les bombes cobrint aspectes de resistència estructural, qualitat de materials, coixinets i equilibri dinàmic per tal d'evitar fallades mecàniques.
  - **Aplicació:** Garanteix que les bombes centrífugues en entorns industrials puguin treballar amb líquids sota pressió a altes temperatures o amb condicions de funcionament exigents millorant la seguretat i eficiència operativa en entorns crítics.
  -
  
11. **ISO 9908** – Especificacions tècniques per bombes centrífugues (classe III)
  - **Objectiu:** Definir els requisits mecànics per a bombes centrífugues de construcció lleugera, adequada per aplicacions menys exigents o de pressió moderada.
  - **Aplicació:** Subministrament d'aigua potable, aigua de reg, sistemes de drenatge o distribució, processos amb líquids no corrosius, circulació d'aigua en circuits de refrigeració o calefacció, sistemes en edificis.

12. **ISO 2858** – Bombes centrífugues d'aspiració final (*rating* 16 bar) – Designació, punt de servei nominal i dimensions.
  - **Objectiu:** Defineix les dimensions i requisits tècnics per a bombes centrífugues de succió final d'una sola etapa, amb una aspiració horitzontal i descàrrega vertical.
  - **Aplicació:** Complementa la norma ISO 5199 per assegurar tant el rendiment com la fiabilitat de les bombes en condicions industrials exigents.
  
13. **EN 733** – Bombes centrífugues d'aspiració axial de mida normalitzada.
  - **Objectiu:** Definir les dimensions i requisits de rendiment per a bombes centrífugues de voluta de succió axial.
  - **Aplicació:** Normalització de les dimensions dels equips per tal de permetre la intercanviabilitat entre marques i fabricants, assegurant que les bombes i components puguin ser reemplaçats o actualitzats sense necessitat de redissenyar el sistema complet.
  
14. **NFS/ANSI 44** – Suavitadors d'aigua d'intercanvi iònic.
  - **Objectiu:** Establir els requisits mínims de materials, disseny, construcció i rendiment dels descalcificadors d'intercanvi iònic.
  - **Aplicació:** Ajustar els equips i components sota els estàndards i criteris NFS/ANSI sobre la duresa i qualitat de l'aigua.
  
15. **EN13121** – Dipòsits i tancs GRP no soterrats.
  - **Objectiu:** Establir els requisits mínims per als materials de fibra de vidre reforçada amb polímers en tancs de procés no soterrats.
  - **Aplicació:** Disseny i fabricació de tancs de FRP que compleixin els requisits de seguretat, qualitat i resistència en aplicacions industrials.

### 3.2.2. Codis de disseny

1. **ASME BPVC S. VIII** – Normes per a la construcció de recipients a pressió.
  - **Objectiu:** Proporcionar els requisits pel disseny, fabricació, inspecció i prova de recipients a pressió.
  - **Aplicació:** Assegura que els recipients a pressió que contenen fluids a pressió superior a l'atmosfèrica es dissenyin i construeixin segons els criteris de seguretat, fiabilitat i estandardització.
  
2. **ASME B31.3** – Canonades de procés. Codi per canonades a pressió.
  - **Objectius:** Estableix els requisits per garantir la seguretat, fiabilitat i eficiència dels sistemes de canonades en plantes químiques, petroquímiques, refineries i altres instal·lacions industrials.
  - **Aplicació:** Defineix els criteris de disseny, materials de construcció, condicions de servei i pautes d'inspecció i proves en sistemes de canonades industrials.

3. **ASME B73.1** – Especificació per a bombes centrífugues d'aspiració final horitzontal en processos químics.
- **Objectius:** Proporciona criteris tècnics específics sobre el disseny i construcció de bombes centrífugues.
  - **Aplicació:** Assegura que les bombes es dissenyen i fabriquen segons els estàndards de seguretat, fiabilitat i eficiència sota determinades condicions d'operació en aplicacions industrials.

### 3.3. Especificacions dels serveis

Taula 3.3.1. Especificacions de servei

Servei	Valor	Unitats
<b><u>Potència elèctrica</u></b>		
Voltatge	400 TN-S	V
Transformadors	3 x 1600	kVA
Tipus d'escomesa	<i>Bus bar</i>	
<b><u>Aigua de xarxa</u></b>		
Cabal	67.8	m <sup>3</sup> /h
Pressió	7.00	barg
Temperatura	20.0	°C
Duresa	400	mg/L CaCO <sub>3</sub>
<b><u>Aigua descalcificada</u></b>		
Cabal	2.00	m <sup>3</sup> /h
Pressió	2.50-4.00	barg
Temperatura	20.0	°C
Duresa	10.0-20.0	mg/L CaCO <sub>3</sub>
<b><u>Aigua de refrigeració</u></b>		
Cabal	180	m <sup>3</sup> /h
Pressió	2.50-4.00	barg
Temperatura	12.5-25.0	°C
<b><u>Aire comprimit</u></b>		
Cabal	1515.6	m <sup>3</sup> /h
Pressió	7.00	bar
Qualitat	1.4.2.	-

### 3.4. Localització de la planta

La zona industrial organitzada d'Aliaga (*Aliğa Organize Sanayi Bölgesi*), també coneguda com a *ALOSBI*, és una de les ciutats industrials més importants de Turquia ubicada a la província d'Izmir. Aliaga és una ciutat costanera que consta d'un port logístic fent-ne un lloc idoni per la industrialització i és per aquest motiu que s'hi han assentat una gran quantitat de negocis dels sectors petroquímics, metal·lúrgics i de productes químics o polimèrics. Aliaga, presenta un clima mediterrani amb temperatures que oscil·len entre els 5°C durant l'hivern i 35°C a l'estiu. La direcció del vent en aquesta àrea pot variar, però en general, la regió experimenta vents predominants del nord i nord-est durant gran part de l'any. Aquests vents són coneguts com els vents de *Poyraz*.

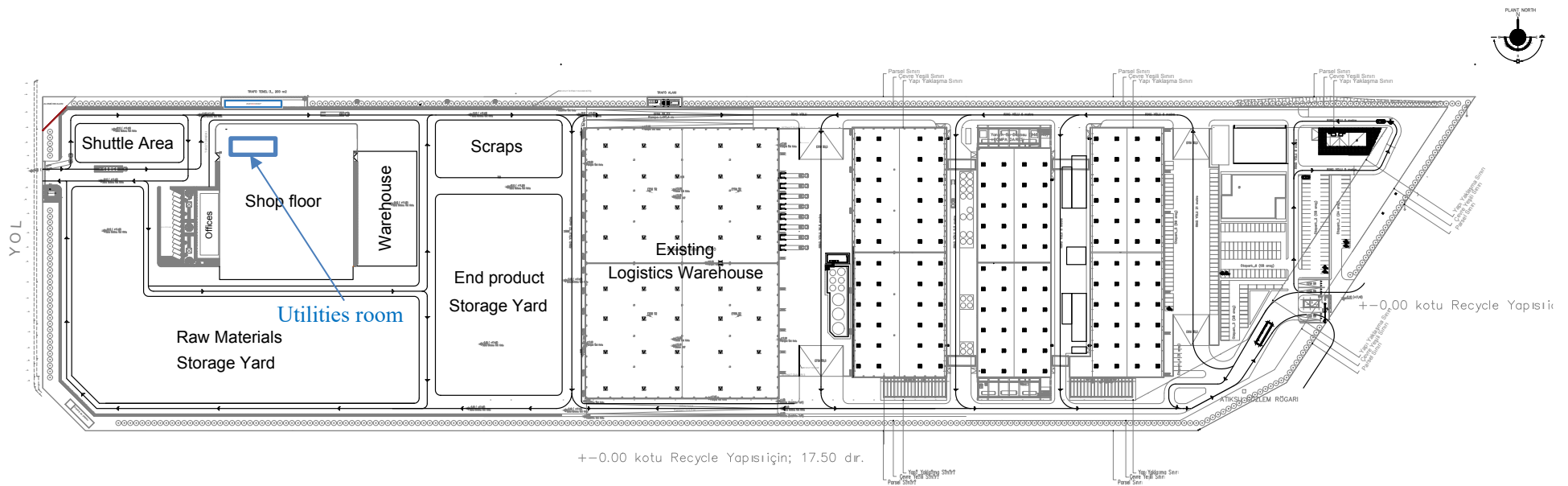


Figura 6. Plot plan del site de RPU.

## **4. ENGINYERIA BÀSICA**

### **4.1. Diagrama de blocs (BFD)**

El diagrama de blocs representa de forma simplificada els elements principals de la xarxa d'*utilities* (subministrament elèctric, subministrament d'aigua industrial i subministrament d'aire d'instruments). Veure **Figura 7. Diagrama de blocs de la xarxa d'*utilities***. a la pàgina 19.

### **4.2. Diagrama de flux (PFD)**

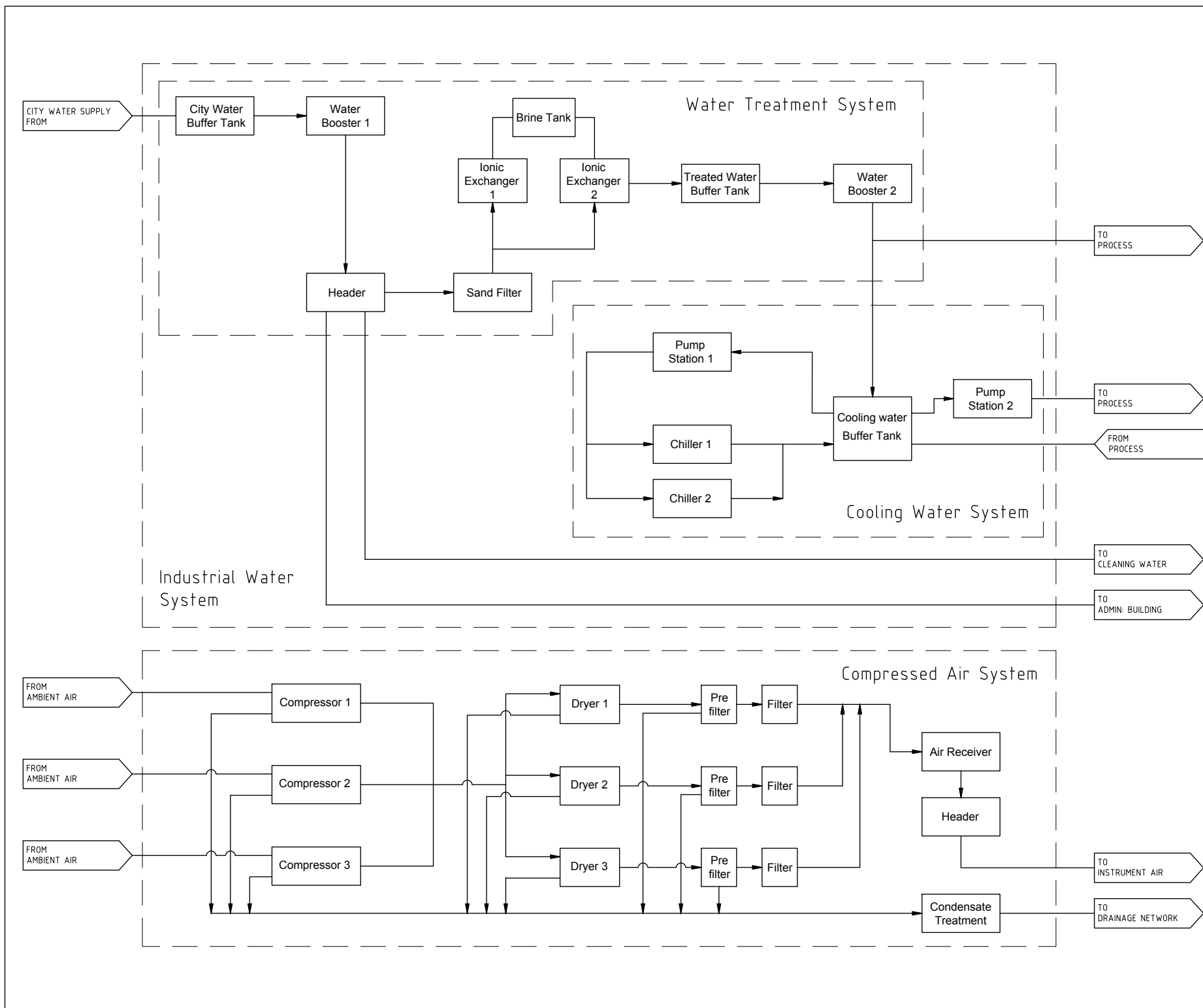
El diagrama de flux de la xarxa d'*utilities* mostra els diferents equips involucrats en la producció o processament de cadascun dels serveis. Veure **Figura 8. Diagrama de flux de la xarxa d'*utilities*** a la pàgina 20.

### **4.3. Diagrama de canonades i instrumentació (P&ID)**

El P&ID és un diagrama complet on trobem tots els equips detallats així com la instrumentació i canonades del procés. Veure **Figura 9. Llegenda del P&ID.** i **Figura 10. Diagrama de canonades i instrumentació (P&ID)** a les pàgines 21 i 22.

### **4.4. Diagrames d'implantació (*Layout*)**

El *layout* és la distribució física dels equips en l'espai disponible. En aquest cas s'ha centrat en com s'ubiquen els diversos sistemes de la xarxa de serveis i la rutina de canonades dins de la sala d'*utilities*. Veure **Figura 11. Layout de la sala d'*utilities*** a la pàgina 23.



Project Name:  
**Disseny de la xarxa d'utilities per una planta de reciclatge de polimers**

Andreu March Miravete  
**Tutora:** Carmen Torres  
**Supervisor:** Albert Donado



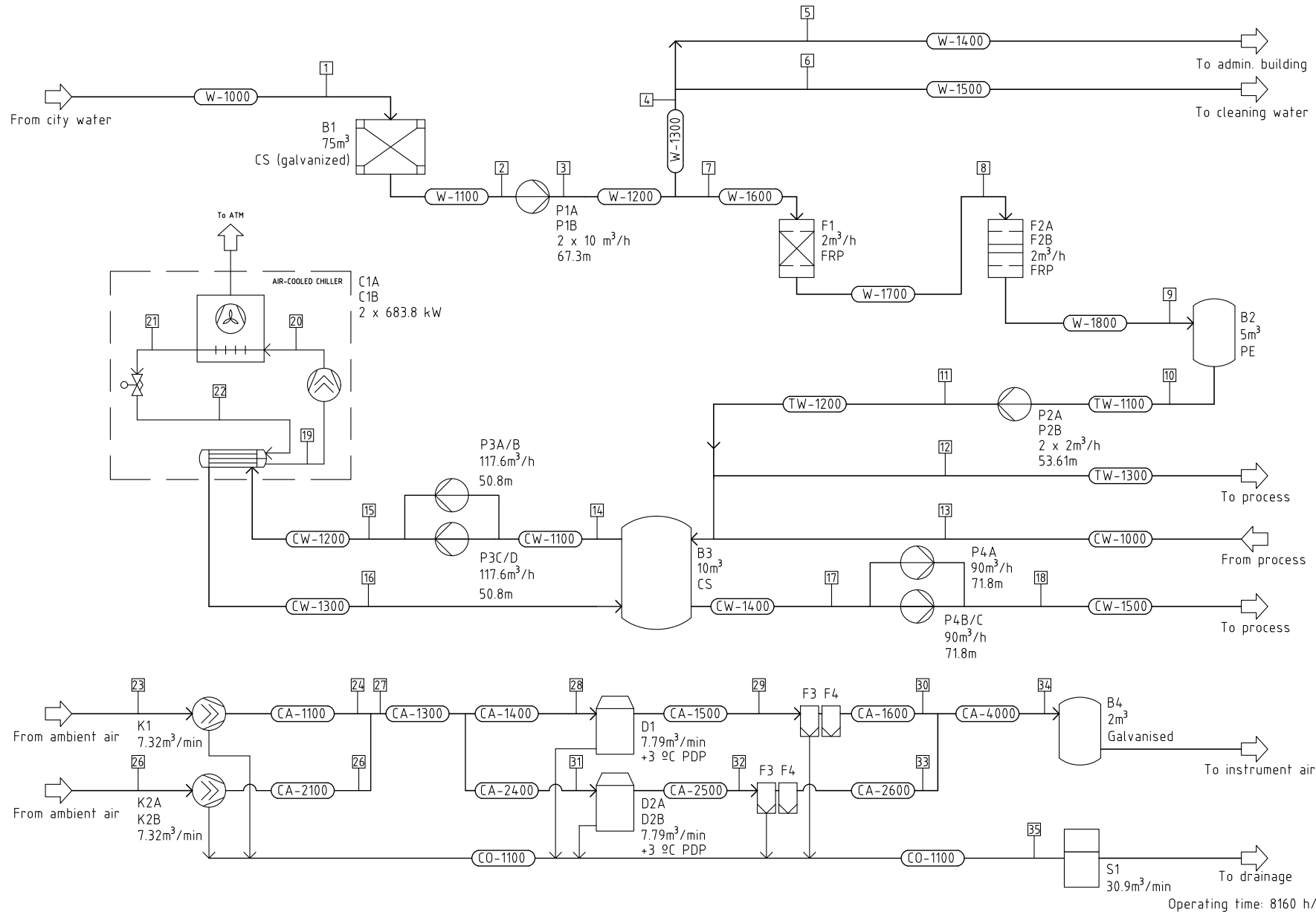
Title:  
**BFD - Utilities Network**

Drawn: **A. MARCH**    Checked: **A. DONADO**    Date: **12/12/24**

DWG No.: **001**

Scale: **N/A**    Date: **10/10/24**    Sheet:    Rev: **04**

Stream nº		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23/25	24/26	27	28/31	29/32	30/33	34	35	
Product		City water	City water	City water	City water	City water	City water	City water	City water	City water	Treated water	Treated water	Treated water	Cooling water	Cooling water	Cooling water	Cooling water	Cooling water	Cooling water	Coolant	Coolant	Coolant	Coolant	Compressed Air	Compressed Air	Compressed Air	Compressed Air	Compressed Air	Compressed Air	Compressed Air	Condensate	
Water	m <sup>3</sup> /h	53.0	10.0	10.0	8.00	4.00	4.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	0.67	180	120	120	120	180	180													
R-134a	kg/s																				8.00	8.00	8.00	8.00								
Compressed air	m <sup>3</sup> /h																							439.2	439.2	878.4	439.2	439.2	439.2	878.4		
Waste water	m <sup>3</sup> /h																															28
Flow	m <sup>3</sup> /h	53.0	10.0	10.0	8.00	4.00	4.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	0.67	180	120	120	120	180	180					439.2	439.2	878.4	439.2	439.2	439.2	878.4	28	
	kg/h	53,000	10,000	10,000	8,000	4,000	4,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	670	180,000	120,000	120,000	120,000	180,000	180,000	28,000	28,000	28,000	28,000	528.9	528.9	1057.8	528.9	528.9	528.9	1057.8	28,000	
Working Pressure	barg	7.00	0.49	6.42	6.42	6.42	6.42	6.42	6.22	6.02	0.22	4.00	4.00	3.00	3.00	4.47	4.00	3.00	7.90	3.20	10.0	10.0	3.20	atm	7.00	7.00	7.00	6.89	6.69	6.69	7.00	
Working Temperature	°C	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	15.00	15.00	10.0	12.5	12.5	2.46	39.4	35.34	2.48	40.0	50.0	50.0	50.0	10.0	10.0	10.0	5.00	



**General Notes / Legends**

Project Name:  
**Disseny de la xarxa d'utilities per una planta de reciclatge de polimers**

Andreu March Miravete  
 Tutora: Carmen Torres  
 Supervisor: Albert Donado



Title:  
**PFD - Utility Network**

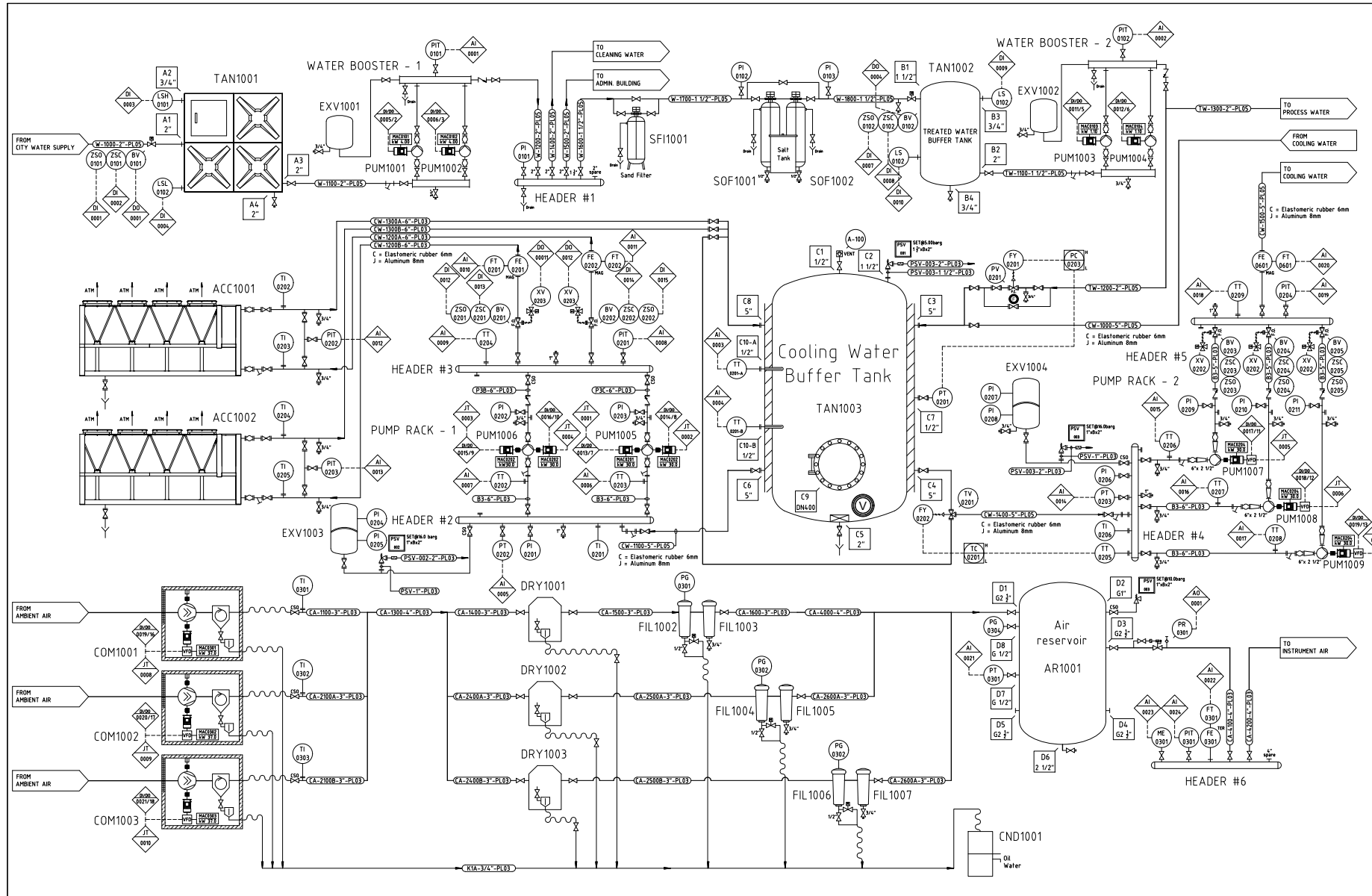
Drawn: **A. March** Checked: **A. Donado** Date: **20/12/24**

DWG No.: **002**

Scale: **N/A** Date: **17/12/24** Sheet:  Rev: **04**



General notes:



TAG	TAN1001	TAN1002	TAN1003	AR1001	ACC1001	DRY1001	DRY1002	DRY1003	SOF1001	SOF1002	FIL1001	FIL1002	FIL1003	COM1001	COM1002	COM1003	PUM1001	PUM1003	PUM1005	PUM1006	PUM1007	PUM1008	PUM1009	
Designation	Modular water tank	Treated water tank	Cooling water tank	Air receiver	Air-cooled chiller	Air drier I	Air drier II	Air drier III	Ion exchanger A	Ion exchanger B	Sand Filter	Pre filter	Fine filter	Compressor I	Compressor II	Compressor III	Water booster I	Water booster II	Centrifugal pump	Centrifugal pump	Centrifugal pump	Centrifugal pump	Centrifugal pump	
Technical specs.	75m <sup>3</sup> 3980x3980 x4970	5m <sup>3</sup> Ø1900x2830	10m <sup>3</sup> Ø1900x4694	2m <sup>3</sup> Ø1500x2375	117.6m <sup>3</sup> /h 683.8 kW 15.0/10.0°C	4.68m <sup>3</sup> /h 678x64.8x1157 +3°C PDP	4.68m <sup>3</sup> /h 678x64.8x1157 +3°C PDP	4.68m <sup>3</sup> /h 678x64.8x1157 +3°C PDP	2m <sup>3</sup> /h Ø320x1330	2m <sup>3</sup> /h Ø320x1330	2m <sup>3</sup> /h Ø365x1750	1 µm particles 160x651	0.1 µm particles 160x651	7.32 m <sup>3</sup> /min 7.5 bar	7.32 m <sup>3</sup> /min 7.5 bar	7.32 m <sup>3</sup> /min 7.5 bar	10 m <sup>3</sup> /h 67.30 m	2 m <sup>3</sup> /h 53.61 m	120 m <sup>3</sup> /h 50.8 m	120 m <sup>3</sup> /h 50.8 m	90 m <sup>3</sup> /h 71.8 m	90 m <sup>3</sup> /h 71.8 m	90 m <sup>3</sup> /h 71.8 m	
MAWP			6 barg	11 barg		16 barg	16 barg	16 barg			16 barg	16 barg	13 barg	13 barg	13 barg				50.8 m	50.8 m	71.8 m	71.8 m	71.8 m	
MAWT						60°C	60°C	60°C			80°C	80°C	80°C						-20/+140°C	-20/+140°C	-20/+140°C	-20/+140°C	-20/+140°C	
Dry weight			1.452 kg	4.70 kg	5.850 kg	165 kg	165 kg	165 kg						875 kg	875 kg	875 kg			117 kg	117 kg	276 kg	276 kg	276 kg	
Material designation	10037	PE	1.0425	1.0425					FRP	FRP	FRP								5.1301	5.1301	5.1301	5.1301	5.1301	
Additional info					Refrigerant: R-134a ΔP=0.578 bar	ΔP=0.18bar Ambient max. 50°C	ΔP=0.18bar Ambient max. 50°C	ΔP=0.18bar Ambient max. 50°C	67 L resin	67 L resin	FRB3KE ΔP=0.08bar replacement at ΔP=0.7	FRB3KA ΔP=0.08bar replacement at ΔP=0.7							frame: 14301 manifold: 14.401 seal: HQGE	frame: 14301 manifold: 14.401 seal: HQGE	impeller: EN-GJL-250 frame: 5.1301 shaft: 14.022 seal: AQIEGG	impeller: EN-GJL-250 frame: 5.1301 shaft: 14.021 seal: AQIEGG	impeller: EN-GJL-250 frame: 5.1301 shaft: 14.021 seal: AQIEGG	impeller: EN-GJL-250 frame: 5.1301 shaft: 14.021 seal: AQIEGG
Comments				ACC1002 Backup unit.															1 Duty + 1 Spare (PUM1002).	1 Duty + 1 Spare (PUM1004).	Twin-head pump. Principal pump (backup)	Twin-head pump (backup) on duty.	Principal pump on duty.	Backup unit.

Project Name:  
**Disseny de la xarxa d'utilitats per una planta de reciclatge de polímers**


Andreu March Miravete  
Tutor: Carmen Torres  
Supervisor: Albert Donado

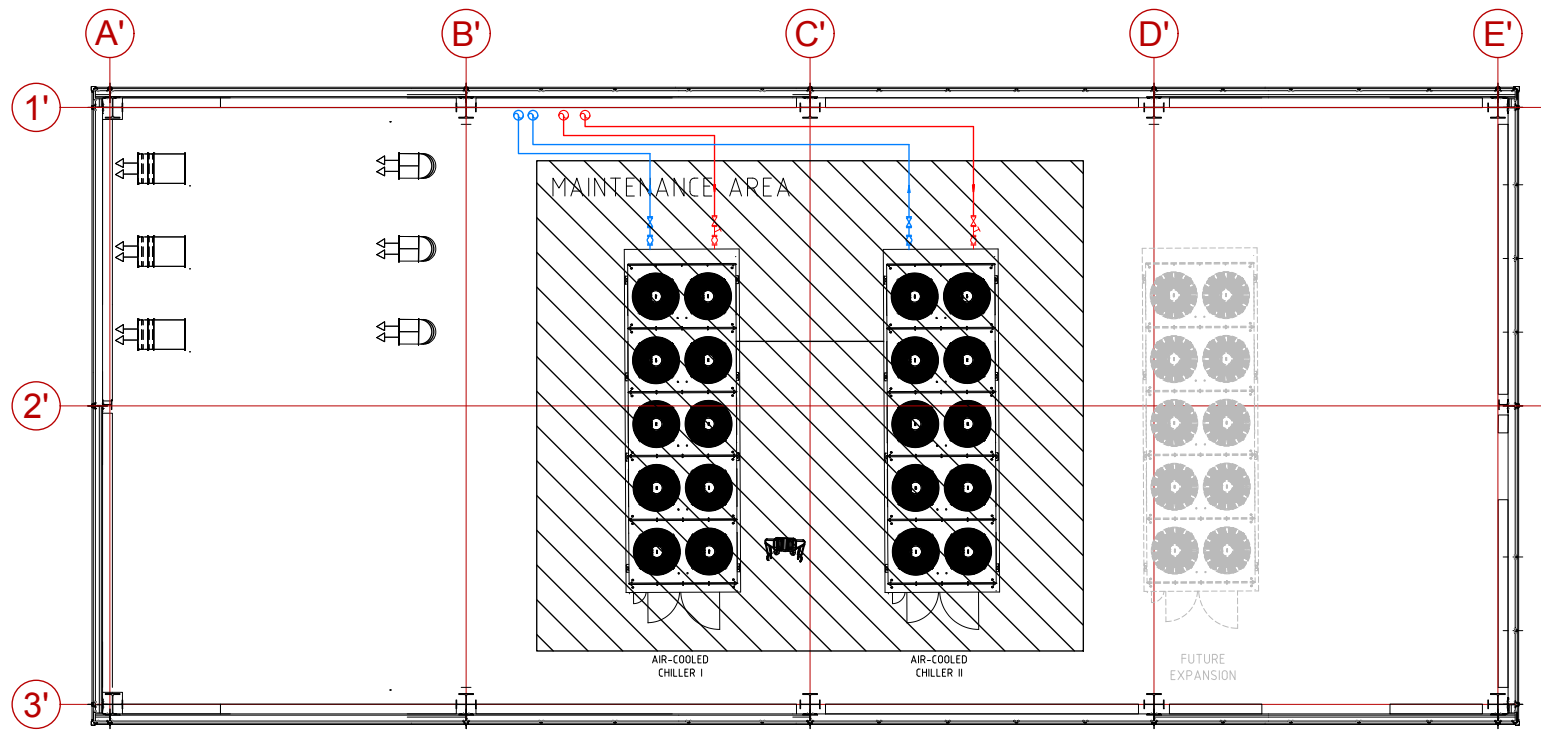
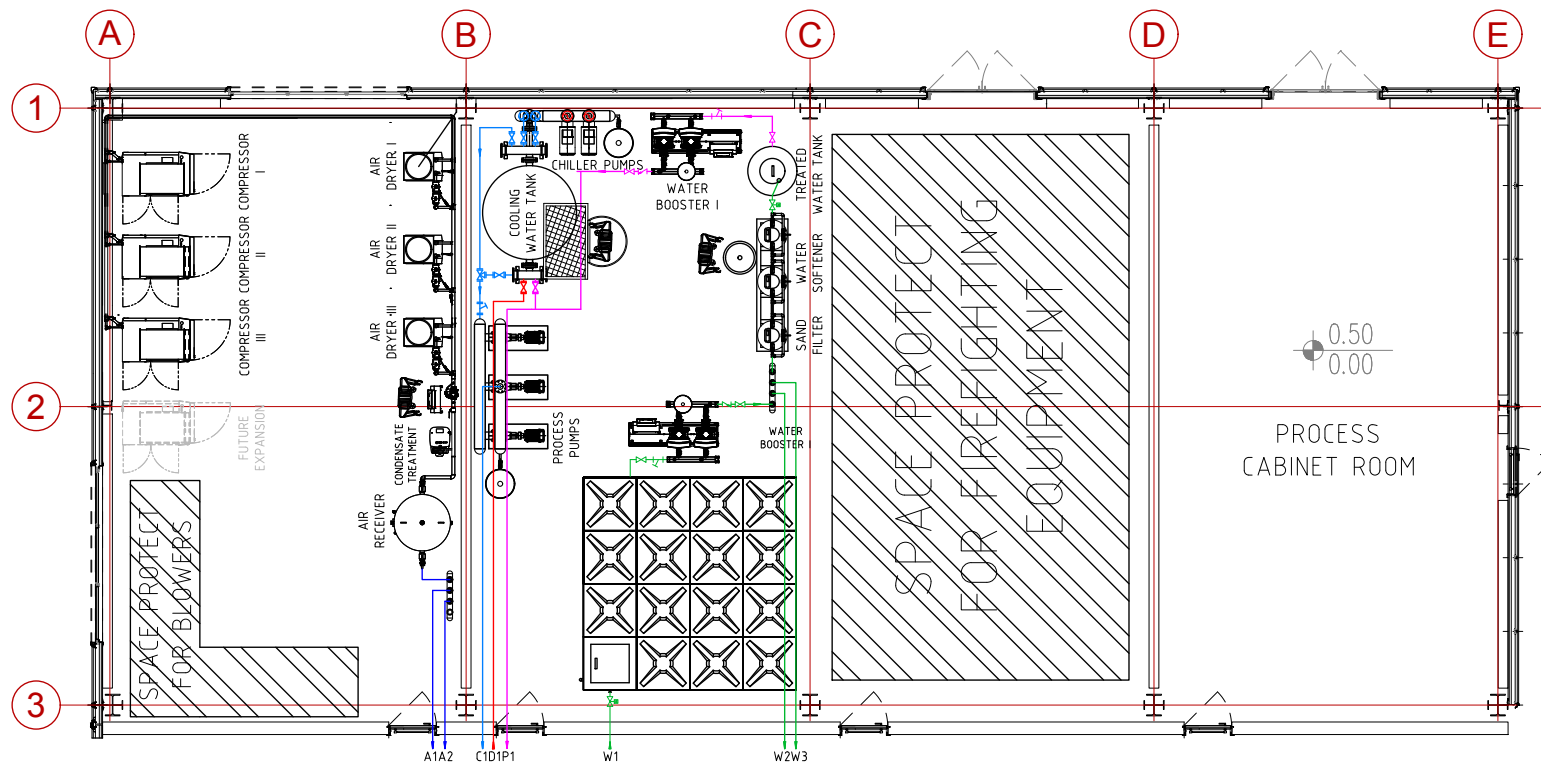
Title:  
**P&ID Utilities**

Drawn: **A. MARCH** | Checked: **A. DONADO** | Date: **07/01/25**

DWG No.: **004**

Scale: **N/A** | Date: **08/11/24** | Sheet: **14**





**General Notes / Legends**

- A1 - Compressed Air RL-1
- A2 - Compressed Air RL-2
- C1 - Cooling water supply
- C2 - Cooling water return
- P1 - Process water
- W1 - City water supply
- W2 - Cleaning water
- W3 - Offices water supply

- City water
- Treated water
- Cooling water supply
- Cooling water return
- Compressed air

Project Name:  
**Disseny de la xarxa d'utilities  
 per una planta de reciclatge  
 de polimers**

Andreu March Miravete  
**Tutora:** Carmen Torres  
**Supervisor:** Albert Donado



Title:  
**LAYOUT - Utilities Room**

Drawn: **A. March** Checked: **A. Donado** Date: **10/01/25**  
 DWG No.: **005**

Scale: **N/A** Date: **26/12/24** Sheet: **10** Rev: **10**

**4.5. Llistat d'equips**

A continuació es mostra el llistat d'equips de la xarxa d'*utilities*.

Taula 4.5.1. Llistat d'equips

TAG	Equip	Descripció	P&ID
TAN1001	Tanc atmosfèric B1	Tanc modular d'acumulació d'aigua de xarxa	Utilities_P&ID_101
TAN1002	Tanc atmosfèric B2	Tanc acumulador d'aigua descalcificada	Utilities_P&ID_101
TAN1003	Tanc pressuritzat B3	Tanc d'aigua de refrigeració	Utilities_P&ID_101
AR1001	Dipòsit pressuritzat B5	Acumulador d'aire comprimit	Utilities_P&ID_101
ACC1001	Estació de refredament C1-A	<i>Air-cooled chiller 1</i>	Utilities_P&ID_101
ACC1002	Estació de refredament C1-B	<i>Air-cooled chiller 2</i>	Utilities_P&ID_101
DRY1001	Assecador d'aire D1	<i>Refrigerant air dryer</i>	Utilities_P&ID_101
DRY1002	Assecador d'aire D2	<i>Refrigerant air dryer</i>	Utilities_P&ID_101
DRY1003	Assecador d'aire D3	<i>Refrigerant air dryer</i>	Utilities_P&ID_101
SOF1001	Descalcificador E1-A	Tanc de bescanvi iònic 1	Utilities_P&ID_101
SOF1002	Descalcificador E1-B	Tanc de bescanvi iònic 2	Utilities_P&ID_101
SFL1001	Filtre F1	Filtre de sorra	Utilities_P&ID_101

TAG	Equip	Descripció	P&ID
FIL1002	Filtre	Filtre de partícules	Utilities_P&ID_101
FIL1003	Filtre	Filtre de partícules	Utilities_P&ID_101
CND1001	Condensats	Equip de tractament de condensats	Utilities_P&ID_101
COM1001	Compressor K1	Compressor tipus cargol amb injecció d'oli	Utilities_P&ID_101
COM1002	Compressor K2	Compressor tipus cargol amb injecció d'oli	Utilities_P&ID_101
COM1003	Compressor K3	Compressor tipus cargol amb injecció d'oli	Utilities_P&ID_101
PUM1001	Bomba P1-A	Bomba centrífuga tipus <i>inline</i>	Utilities_P&ID_101
PUM1002	Bomba P1-B	Bomba centrífuga tipus <i>inline</i>	Utilities_P&ID_101
PUM1003	Bomba P2-A	Bomba centrífuga tipus <i>inline</i>	Utilities_P&ID_101
PUM1004	Bomba P2-B	Bomba centrífuga tipus <i>inline</i>	Utilities_P&ID_101
PUM1005	Bomba P3-A/B	Bomba centrífuga tipus <i>inline</i>	Utilities_P&ID_101
PUM1006	Bomba P3-C/D	Bomba centrífuga tipus <i>inline</i>	Utilities_P&ID_101
PUM1007	Bomba P4-A	Bomba centrífuga convencional sobre bancada	Utilities_P&ID_101
PUM1008	Bomba P4-B	Bomba centrífuga convencional sobre bancada	Utilities_P&ID_101
PUM1009	Bomba P4-C	Bomba centrífuga convencional sobre bancada	Utilities_P&ID_101

**4.6. Llistat de canonades**

Taula 4.6.1. Llistat de canonades del procés.

Canonada	Tram	Fluid	P <sub>operació</sub> (barg)	T <sub>operació</sub> (°C)	P <sub>disseny</sub> (barg)	T <sub>disseny</sub> (°C)	Schedule/NPS (in)	ID/OD (in)	Material	Aïllament (in)	Coating
W-1000	Subministrament d'aigua	Aigua de xarxa	7.00	20.0	7.70	40.0	SCH 40 / 4"	19.8/20.5	1.0345	-	Pintura epoxi
W-1100	Aspiració P1A/B	Aigua de xarxa	0.49	20.0	0.54	40.0	SCH 40 / 2"	2.067/2.375	1.0345	-	Pintura epoxi
W-1200	Impulsió P1A/B	Aigua de xarxa	6.42	20.0	7.06	40.0	SCH 40 / 2"	2.067/2.375	1.0345	-	Pintura epoxi
W-1400	Oficines	Aigua de xarxa	6.42	20.0	7.06	40.0	SCH 40 / 2"	2.067/2.375	1.0345	-	Pintura epoxi
W-1500	Procés	Aigua de xarxa	6.42	20.0	7.06	40.0	SCH 40 / 2"	1.610/1.900	1.0345	-	Pintura epoxi
W-1600	Entrada filtre de sorra	Aigua de xarxa	6.42	20.0	7.06	40.0	SCH40 / 1 1/2"	1.610/1.900	1.0345	-	Pintura epoxi
W-1700	Entrada descalcificadors	Aigua de xarxa	6.22	20.0	6.84	40.0	SCH 40 / 1 1/2"	1.610/1.900	1.0345	-	Pintura epoxi
W-1800	Entrada tanc aigua tractada	Aigua descalcificada	6.02	20.0	6.62	40.0	SCH 40 / 1 1/2"	1.610/1.900	1.0345	-	Pintura epoxi

Canonada	Tram	Fluid	P <sub>operació</sub> (barg)	T <sub>operació</sub> (°C)	P <sub>disseny</sub> (barg)	T <sub>disseny</sub> (°C)	Schedule/NPS (in)	ID/OD (in)	Material	Aïllament (in)	Coating
TW-1100	Aspiració P2A/B	Aigua descalcificada	0.22	20.0	0.24	40.0	SCH 40 / 2"	2.067/2.375	1.0345	-	Pintura epoxi
TW-1200	Impulsió P2A/B	Aigua descalcificada	4.00	20.0	4.40	40.0	SCH 40 / 2"	2.067/2.375	1.0345	-	Pintura epoxi
CW-1000	Entrada al tanc B3	Aigua de refrigeració	3.00	15.0	3.30	35.0	SCH 40 / 5"	5.047/5.563	1.0345	Escuma elast. (6 mm)	Alumini (8mm)
CW-1100	Aspiració P3A/B/C	Aigua de refrigeració	3.00	15.0	3.30	35.0	SCH 40 / 5"	5.047/5.563	1.0345	Escuma elast. (6 mm)	-
CW-1200	Impulsió P3A/B/C	Aigua de refrigeració	4.47	15.0	4.92	35.0	SCH 40 / 5"	5.047/5.563	1.0345	Escuma elast. (6 mm)	Alumini (8mm)
CW-1300	Sortida C1A/B	Aigua de refrigeració	4.00	15.0	4.40	35.0	SCH 40 / 5"	5.047/5.563	1.0345	Escuma elast. (6 mm)	-
CW-1400	Aspiració P4A/B/C	Aigua de refrigeració	3.00	10.0	3.30	30.0	SCH 40 / 5"	5.047/5.563	1.0345	Escuma elast. (6 mm)	-
CW-1500	Impulsió P4A/B/C	Aigua de refrigeració	7.90	10.0	8.69	30.0	SCH 80 / 5"	4.813/5.563	1.0345	Escuma elast. (6 mm)	-
CA-1100	Descàrrega K1	Aire comprimit	7.00	50.0	7.70	70.0	SCH 40 / 3"	3.068/3.500	1.0038	-	

Canonada	Tram	Fluid	P <sub>operació</sub> (barg)	T <sub>operació</sub> (°C)	P <sub>disseny</sub> (barg)	T <sub>disseny</sub> (°C)	Schedule/NPS (in)	ID/OD (in)	Material	Aïllament (in)	Coating
CA-2100	Descàrrega K2	Aire comprimit	7.00	50.0	7.70	70.0	SCH 40 / 3"	3.068/3.500	1.0038	-	-
CA-1300	Compressors a assecadors	Aire comprimit	7.00	50.0	7.70	70.0	SCH 40 / 4"	4.029/4.500	1.0038	-	-
CA-1400	Entrada D1	Aire comprimit	7.00	50.0	7.70	70.0	SCH 40 / 3"	3.068/3.500	1.0038	-	-
CA-2400	Entrada D2	Aire comprimit	7.00	50.0	7.70	70.0	SCH 40 / 3"	3.068/3.500	1.0038	-	-
CA-1500	Sortida D1	Aire comprimit	6.89	10.0	7.58	30.0	SCH 40 / 3"	3.068/3.500	1.0038	-	-
CA-2500	Sortida D2	Aire comprimit	6.89	10.0	7.58	30.0	SCH 40 / 3"	3.068/3.500	1.0038	-	-
CA-1600	Sortida F3/4	Aire comprimit	6.69	10.0	7.36	30.0	SCH 40 / 3"	3.068/3.500	1.0038	-	-
CA-2600	Sortida F5/6	Aire comprimit	6.69	10.0	7.36	30.0	SCH 40 / 3"	3.068/3.500	1.0038	-	-
CA-4000	Entrada B4	Aire comprimit	6.69	10.0	7.36	30.0	SCH 40 / 4"	4.029/4.500	1.0038	-	-

Canonada	Tram	Fluid	P <sub>operació</sub> (barg)	T <sub>operació</sub> (°C)	P <sub>disseny</sub> (barg)	T <sub>disseny</sub> (°C)	Schedule/NPS (in)	ID/OD (in)	Material	Aïllament (in)	Coating
CA-4100	Sortida B4	Aire comprimit	6.69	10.0	7.36	30.0	SCH 40/ 4"	4.029/4.500	1.0038	-	-
CA-4200	Subministrament ent procés	Aire comprimit	6.69	10.0	7.36	30.0	SCH 40/ 4"	4.029/4.500	1.0038	-	-

#### 4.7. Llistat de vàlvules

A continuació es mostra el llistat de vàlvules del P&ID de la xarxa d'utilitats en la Taula 4.7.1.

Taula 4.7.1. Llistat de vàlvules

Tag	Descripció	Tipus	Connexió	Línia/Equip	Diàmetre	T (°C)	P (barg)	T <sub>disseny</sub> (°C)	P <sub>disseny</sub> (barg)	Fabricant	Model	Mat.
BV0101	Motoritzada	Papallona	Bridat	W-1000	4 in	20	7	-46/210	20	Ebro	Z 011-A	AISI 316
BV0102	Motoritzada	Bola	Roscat	W-1800	1 1/2 in	20	7	-10/110	16	Duyar	T-0560	Cast Iron
PV0201	Controladora	Globus	Bridat	TW-1200	2 in	25	3	-29/232	27.5	Emerson	92B pilot	AISI 316
TV0201	Controladora	3 vies	Bridat	CW-1400	5 in	10	3	-29/230	40	Emerson	D10330 5X012	AISI 316

Tag	Descripció	Tipus	Connexió	Línia/Equip	Diàmetre	T (°C)	P (barg)	T <sub>disseny</sub> (°C)	P <sub>disseny</sub> (barg)	Fabricant	Model	Mat.
BV0201	Automàtica	Papallona	Bridat	PUM1006	6 in	15	5	-40/200	20	Ebro	F 012-A	AISI 316
BV0202	Automàtica	Papallona	Bridat	PUM1005	6 in	15	5	-40/200	25	Ebro	F 012-A	AISI 316
BV0203	Automàtica	Papallona	Bridat	PUM1007	5 in	10	7	-40/200	25	Ebro	F 012-A	AISI 316
BV0204	Automàtica	Papallona	Bridat	PUM1008	5 in	10	7	-40/200	25	Ebro	F 012-A	AISI 316
BV0205	Automàtica	Papallona	Bridat	PUM1009	5 in	10	7	-40/200	25	Ebro	F 012-A	AISI 316
CHV0101	Automàtica	Papallona	Bridat	W-1200	6 in	25	6.6	0/130	16	Ebro	DC 2	AISI 316
CHV0102	Automàtica	Papallona	Bridat	TW-1200	6 in	25	5.3	0/130	16	Ebro	DC 2	AISI 316
CHV0201	Automàtica	Papallona	Bridat	PUM1006	6 in	25	5	0/130	16	Ebro	DC 2	AISI 316
CHV0202	Automàtica	Papallona	Bridat	PUM1005	6 in	25	5	0/130	16	Ebro	DC 2	AISI 316

Tag	Descripció	Tipus	Connexió	Línia/Equip	Diàmetre	T (°C)	P (barg)	T <sub>disseny</sub> (°C)	P <sub>disseny</sub> (barg)	Fabricant	Model	Mat.
CHV0203	Automàtica	Papallona	Bridat	PUM1007	6 in	25	7	0/130	16	Ebro	DC 2	AISI 316
CHV0204	Automàtica	Papallona	Bridat	PUM1008	5 in	25	7	0/130	16	Ebro	DC 2	AISI 316
CHV0205	Automàtica	Papallona	Bridat	PUM1009	5 in	25	7	0/130	16	Ebro	DC 2	AISI 316
AV-100	<i>Air purge</i>	Autom.	Roscat	TAN1003	G 1/2 in	12.5	3	0/90	16	Pakkens	-	CS
PSV-001	<i>Safety valve</i>	<i>Spring-loaded</i>	Bridat	TAN1003	1 ½ in	15	3	-29/230	40	Emerson	Serie J	CS
PSV-002	<i>Safety valve</i>	<i>Spring-loaded</i>	Bridat	Header #2	1 in	15	3	-29/230	40	Emerson	Serie J	CS
PSV-003	<i>Safety valve</i>	<i>Spring-loaded</i>	Bridat	Header #4	1 in	10	3	-29/230	40	Emerson	Serie J	CS
PSV-004	<i>Safety valve</i>	<i>Spring-loaded</i>	Roscat	AR1001	G 1 in	10	7	-20/100	16	Pakkens	PSV	Llaut ó

#### 4.8. Llistat d'instruments

Els instruments del procés engloben els diferents captadors o elements de mesura que recullen informació de gran importància així com a condicions d'operació a temps real. A continuació es mostra el llistat d'instruments de la xarxa d'*utilities* en la taula 4.8.1.

Taula 4.8.1. Llistat d'instruments

TAG	Descripció	Tipus	Rang de mesura	T <sub>disseny</sub> (°C)	Línia/Equip	Fabricant	Model	Material
TT0201-A	Termòstat (RTD)	PT100	-50/150 °C	85 (Tamb)	TAN1003	Endress+Hauser	TTR 31	AISI 316L
TT0201-B	Termòstat (RTD)	PT100	-50/150 °C	85 (Tamb)	TAN1003	Endress+Hauser	TTR 31	AISI 316L
TT0202	Termòstat (RTD)	PT100	-50/150 °C	85 (Tamb)	PUM1005	Endress+Hauser	TTR 31	AISI 316L
TT0203	Termòstat (RTD)	PT100	-50/150 °C	85 (Tamb)	PUM1006	Endress+Hauser	TTR 31	AISI 316L
TT0204	Termòmetre (RTD)	PT100	-50/200 °C	85 (Tamb)	Header #3	Endress+Hauser	TMR 31	AISI 316L
TT0205	Termòstat (RTD)	PT100	-50/150 °C	85 (Tamb)	Header #4	Endress+Hauser	TTR 31	AISI 316L
TT0206	Termòstat (RTD)	PT100	-50/150 °C	85 (Tamb)	PUM1007	Endress+Hauser	TTR 31	AISI 316L
TT0207	Termòstat (RTD)	PT100	-50/150 °C	85 (Tamb)	PUM1008	Endress+Hauser	TTR 31	AISI 316L
TT0208	Termòstat (RTD)	PT100	-50/150 °C	85 (Tamb)	PUM1009	Endress+Hauser	TTR 31	AISI 316L

TAG	Descripció	Tipus	Rang de mesura	T <sub>disseny</sub> (°C)	Línia/Equip	Fabricant	Model	Material
TT0209	Termòmetre (RTD)	PT100	-50/200 °C	85 (Tamb)	Header #5	Endress+Hauser	TMR 31	AISI 316L
TI0201	Indicador de temperatura	Rellotge	0/120 ± 2.4 °C	-40/+70	Header #2	PAKKENS	TE 100	AISI 316L
TI0202	Indicador de temperatura	Rellotge	0/120 ± 2.4 °C	-40/+70	CW-1200-A	PAKKENS	TE 100	AISI 316L
TI0203	Indicador de temperatura	Rellotge	0/120 ± 2.4 °C	-40/+70	CW-1300-A	PAKKENS	TE 100	AISI 316L
TI0204	Indicador de temperatura	Rellotge	0/120 ± 2.4 °C	-40/+70	CW-1200-B	PAKKENS	TE 100	AISI 316L
TI0205	Indicador de temperatura	Rellotge	0/120 ± 2.4 °C	-40/+70	CW-1300-B	PAKKENS	TE 100	AISI 316L
TI0206	Indicador de temperatura	Rellotge	0/120 ± 2.4 °C	-40/+70	Header #4	PAKKENS	TE 100	AISI 316L
TI0301	Indicador de temperatura	Rellotge	0/120 ± 2.4 °C	-40/+70	CA-1100	PAKKENS	TE 100	AISI 316L
TI0301	Indicador de temperatura	Rellotge	0/120 ± 2.4 °C	-40/+70	CA-2100-A	PAKKENS	TE 100	AISI 316L
TI0303	Indicador de temperatura	Rellotge	0/120 ± 2.4 °C	-40/+70	CA-2100-B	PAKKENS	TE 100	AISI 316L

TAG	Descripció	Tipus	Rang de mesura	T <sub>disseny</sub> (°C)	Línia/Equip	Fabricant	Model	Material
PI0101	Indicador de pressió	Rellotge	0/10 ± 0.25 barg	max. +60	Header #1	PAKKENS	100 mm	AISI 304
PI0102	Indicador de pressió	Rellotge	0/10 ± 0.25 barg	max. +60	W-1700	PAKKENS	100 mm	AISI 304
PI0103	Indicador de pressió	Rellotge	0/10 ± 0.25 barg	max. +60	W-1800	PAKKENS	100 mm	AISI 304
PI0201	Indicador de pressió	Rellotge	0/10 ± 0.25 barg	max. +60	Header #2	PAKKENS	100 mm	AISI 304
PI0202	Indicador de pressió	Rellotge	0/10 ± 0.25 barg	max. +60	PUM1006	PAKKENS	100 mm	AISI 304
PI0203	Indicador de pressió	Rellotge	0/10 ± 0.25 barg	max. +60	PUM1005	PAKKENS	100 mm	AISI 304
PI0206	Indicador de pressió	Rellotge	0/10 ± 0.25 barg	max. +60	Header #4	PAKKENS	100 mm	AISI 304
PI0209	Indicador de pressió	Rellotge	0/10 ± 0.25 barg	max. +60	PUM1007	PAKKENS	100 mm	AISI 304
PI0210	Indicador de pressió	Rellotge	0/10 ± 0.25 barg	max. +60	PUM1008	PAKKENS	100 mm	AISI 304
PI0211	Indicador de pressió	Rellotge	0/10 ± 0.25 barg	max. +60	PUM1009	PAKKENS	100 mm	AISI 304

TAG	Descripció	Tipus	Rang de mesura	T <sub>disseny</sub> (°C)	Línia/Equip	Fabricant	Model	Material
PI0301	Indicador de pressió	Rellotge	0/10 ± 0.25 barg	max. +60	CA-1100	PAKKENS	100 mm	AISI 304
PI0302	Indicador de pressió	Rellotge	0/10 ± 0.25 barg	max. +60	CA-2100-A	PAKKENS	100 mm	AISI 304
PI0303	Indicador de pressió	Rellotge	0/10 ± 0.25 barg	max. +60	CA-2100-B	PAKKENS	100 mm	AISI 304
PG0301	Indicador de pressió diferencial	Escala	0.02/0.20 barg	max. +60	FIL1002	KAESER	F83KA	AISI304
PG0302	Indicador de pressió diferencial	Escala	0.02/0.20 barg	max. +60	FIL1003	KAESER	F83KA	AISI304
PG0302	Indicador de pressió diferencial	Escala	0.02/0.20 barg	max. +60	FIL1004	KAESER	F83KA	AISI304
PIT0101	Transmissor de pressió	Transmissor	-1/60 ± 0.2 barg	-40/100	W-1200	VEGA	VEGABAR18	AISI 316L
PIT0102	Transmissor de pressió	Transmissor	-1/60 ± 0.2 barg	-40/100	TW-1200	VEGA	VEGABAR18	AISI 316L
PIT0201	Transmissor de pressió	Commutador	-1/60 ± 0.2 barg	-40/130	Header #3	VEGA	VEGABAR38	AISI 316L

TAG	Descripció	Tipus	Rang de mesura	T <sub>disseny</sub> (°C)	Línia/Equip	Fabricant	Model	Material
PIT0202	Transmissor de pressió	Commutador	-1/60 ± 0.2 barg	-40/130	ACC1001	VEGA	VEGABAR38	AISI 316L
PIT0203	Transmissor de pressió	Commutador	-1/60 ± 0.2 barg	-40/130	ACC1002	VEGA	VEGABAR38	AISI 316L
PIT0204	Transmissor de pressió	Commutador	-1/60 ± 0.2 barg	-40/130	Header #5	VEGA	VEGABAR38	AISI 316L
PIT0301	Transmissor de pressió	Commutador	-1/60 ± 0.2 barg	-40/130	Header #6	VEGA	VEGABAR38	AISI 316L
PT0201	Transmissor de pressió	Commutador	-1/60 ± 0.2 barg	-40/130	TAN1003	VEGA	VEGABAR28	AISI 316L
PT0202	Transmissor de pressió	Commutador	-1/60 ± 0.2 barg	-40/130	Header #2	VEGA	VEGABAR28	AISI 316L
PT0203	Transmissor de pressió	Commutador	-1/60 ± 0.2 barg	-40/130	Header #4	VEGA	VEGABAR28	AISI 316L
LSH0101	Transmissor de nivell	Commutador	-	-20/100	TAN1001	VEGA	VEGAPOINT11	AISI 316L
LSH0102	Transmissor de nivell	Commutador	-	-20/100	TAN1002	VEGA	VEGAPOINT11	AISI 316L
FT0201	Mesurador de cabal	Electromagnètic	0.54/282 m <sup>3</sup> /h	-40/232	CW-1200-A	Endress +Hauser	PROMAG D10	AISI 316

TAG	Descripció	Tipus	Rang de mesura	T <sub>disseny</sub> (°C)	Línia/Equip	Fabricant	Model	Material
FT0202	Mesurador de cabal massic	Electromagnètic	0.54/282 m <sup>3</sup> /h	-40/232	CW-1200-A	Endress +Hauser	PROMAG D10	AISI 316
FT0203	Mesurador de cabal massic	Electromagnètic	0.54/282 m <sup>3</sup> /h	-40/232	CW-1200-A	Endress +Hauser	PROMAG D10	AISI 316
FT0301	Mesurador de cabal massic	Dispersió tèrmica	0.03/3,000± 3% kg/h	-40/60	Header #6	Endress+Hauser	t-mass B 150	AISI 316
MT0301	Mesurador d'humitat	Sensor de condensació	-110/+20 °C PDP	-40/60	Header #6	PST	Easidew PRO XP	AISI 316L

**4.9. Llistat de senyals (I/O)**

Taula 4.9.1. Resum de senyals d'entrada i sortida del sistema.

TAG_1	Equip	TAG_2	Sub ítem	VFD	PLC				Remote I/O			
					DI	DO	AI	AO	DI	DO	AI	AO
PUM1001	Bomba 1	MAC1001	Motor-PUM1001	Si	2	1	2	1				
BV1001	Vàlvula automàtica	XV1001	Vàlvula de solenoide							1		
		ZSO1001	Final de carrera obert						1			
		ZSC1001	Final de carrera tancat						1			
CV1001	Vàlvula controladors										1	1
LS1001	Sensor de nivell (commutador)	LSH1001	Nivell Alt						1			
		LSL1001	Nivell Baix						1			
PIT1001	Sensor de pressió	-	-								1	
TT1001	Sensor de temperatura	-	-								1	
FIT	Mesurador de cabal	-	-								1	
ME	Mesurador d'humitat	-	-								1	

S'ha definit una unitat de cada tipus d'instrument que es troba en el procés per tal de quantificar quantes entrades i sortides hi estan involucrades. Finalment, s'han escalat les dades obtingudes fent un recompte del nombre d'instruments presents en el P&ID en la Taula 4.8.2.

Taula 4.9.2. Recompte total de senyals del sistema

Digital Inputs	Digital Outputs	Analog Inputs	Analog Outputs
40	18	51	14

#### 4.10. Operativa del sistema de control (FDS)

Un cop identificades totes les senyals del procés s'han establert els principis de funcionament del sistema o FDS (*Functional Design Specification*). Per tal de compactar la informació de manera visual s'han emprat matrius causa/efecte, on es pot observar la seqüència d'operacions automatitzades.

Es presenten els protocols d'ompliment de les línies i tancs en la taula 4.10.1 i el pla d'actuació segons els diversos fenòmens que es poden donar durant l'operació del sistema en la taula 4.10.2.

El P&ID del sistema es divideix en llaços de control. Cadascun d'aquests agrupa tots els sensors i actuadors implicats en mantenir les condicions normals d'una certa operació:

- Llaç de control #1: Encarregat de gestionar el sistema de tractament d'aigües (interactua amb el #2).
- Llaç de control #2: Control del sistema de refrigeració (tanc d'inèrcia i grups de bombes).
- Llaç de control #3: Control del sistema d'aire d'instruments (compressors, assecadors i tanc acumulador).

Taula 4.10.1. Protocol d'ompliment dels diversos sistemes.

Sequence Interlocks	Discrete Event	TAG																													
		BV0101	BV0102	BV0201	BV0202	BV0203	BV0204	BV0205	PV0201	TV0201	PV0301	MAC0101	MAC0102	MAC0103	MAC0104	MAC0201	MAC0202	MAC0203	MAC0204	MAC0205	MAC0206	MAC0207	ACC1001	ACC1002	COM1001	COM1002	COM1003	DRY1001	DRY1002	DRY1003	
Industrial Water Filling	TAN1001 filling	F.O.	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	TAN 1002 filling	N/A	F.O.	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	M	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
	TAN 1003 filling	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	F.O.	N/A	N/A	N/A	N/A	M	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
	ACC1001 filling	N/A	N/A	F.O.	F.C.	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	M	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
	ACC1002 filling	N/A	N/A	F.C.	F.O.	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	M	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
	Process line filling	N/A	N/A	N/A	N/A	F.O.	F.O.	F.C.	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	M	M	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
Compressed Air Filling	AR1001 filling	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	M	M	N/A	M	M	
		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	

Llegenda Ordres: F.O. = Obertura; F.C. = Tancament; I = Increment de consigna; D = Disminució de consigna; M = Marxa; P = Paro; N/A = No Aplica.

Taula 4.10.2. Matriu d'enclavaments segons situacions operacionals.

Alarm	LC0101			LC0102			PIC0201 (barg)					TC0201 (°C)					TC0202 (°C)			PIC0301(barg)					PIC0302 (barg)			MC0301 (°C PDP)				
	LSH	LSL	LSLL	LSH	LSL	LSLL	HH	H	SP	L	LL	HH	H	SP	L	LL	H	SP	L	HH	H	SP	L	LL	H	SP	L	HH	H	SP		
Control Element	90%	50%	5 min	90%	69%	1.5 min	5.40	4.00	3.00	1.00	0.35	25.0	15.0	12.5	10.0	6.00	12.5	10.0	8.00	9.50	8.00	7.00	5.00	4.00	8.00	7.00	5.00	+4	+3.5	+3		
BV0101	F.C.	F.O.	F.O.	F.C.	F.O.	F.O.	N/A	F.C.	N/A	F.O.	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
BV0102	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
BV0103	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
BV0104	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
PV0201	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
TV0201	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	F.O.	N/A	F.C.	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
PV0301	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	F.C.	N/A	F.O.	N/A	N/A	
MAC0101	N/A	N/A	P	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
MAC0102	N/A	N/A	P	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
MAC0103	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	P	P	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
MAC0104	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	P	P	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
MAC0201	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	M	N/A	M	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
MAC0202	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
MAC0203	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	M	N/A	M	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
MAC0204	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
MAC0205	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
MAC0206	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
MAC0207	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
ACC1001	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	M	N/A	P	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
ACC1002	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
COM1001	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	P	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
COM1002	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	P	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
COM1003	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	P	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
DRY1001	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
DRY1002	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
DRY1003	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	

#### 4.11. Disseny d'equips

En aquest apartat s'ha establert els paràmetres de disseny dels diversos equips mitjançant els càlculs d'enginyeria bàsica per tal de generar els fulls d'especificacions.

##### 4.11.1. Disseny sistema d'aire comprimit

a) Fonament teòric:

Els sistemes d'aire comprimit són els encarregats de generar aire a certa pressió per tal de ser utilitzat en diverses tasques. Algunes de les aplicacions on es fa servir aire comprimit són:

- Indústria alimentaria
- Transport de productes
- Indústria química
- Indústria farmacèutica
- Ruixat de pintura o recobriments
- Aire de procés per maquinària
- Aire d'instruments i control pneumàtic
- Indústries de manufactura

El cas d'estudi se centra en aire d'instruments en la indústria de manufactura, ja que és la força motriu que accionarà tots els elements de control de la planta de producció així com el subministrament d'aire per equips concrets.

Per tal d'obtenir aire comprimit l'equip per excel·lència és el compressor. Tot i que n'hi ha de diversos tipus i característiques la funció principal d'aquests és la de comprimir l'aire augmentant-ne la pressió en una operació de compressió ideal o isentròpica. Aquesta representa l'increment de pressió d'un sistema i el canvi de volum associat a l'operació de compressió. Depenent del salt requerit per arribar al valor de pressió desitjant aquesta operació es pot dividir en diverses etapes depenent de la tecnologia de l'equip i el factor de compressió.

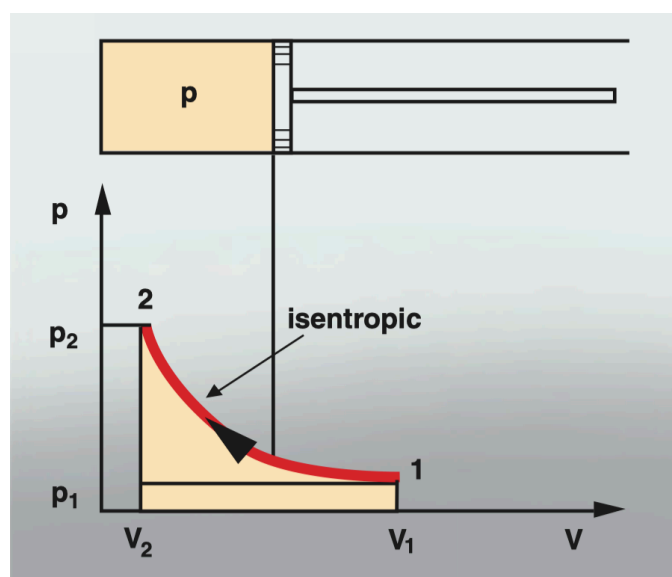


Figura 12. Diagrama P-V per compressió isentròpica.<sup>[16]</sup>

## b) Condicions de disseny:

El pas previ al disseny i dimensionat del sistema, se centra en presentar els requisits d'aire comprimit quantitativament i qualitativament. D'aquesta manera es podrà valorar posteriorment quin tipus de compressor és el més idoni i com serà refrigerat per tal de treballar de manera eficient.

La qualitat de l'aire comprimit consta d'una designació de tres xifres "X.Y.Z." segons els paràmetres següents:

- **X Neteja (Contingut en partícules):** Contaminants com partícules sòlides, pols, brutícia i òxid poden ser perjudicials per al procés, ja que impliquen un desgast mecànic en els diversos equips. El grau de neteja es defineix segons la mida de partícula i el nombre de partícules per metre cúbic permeses  $X \mu\text{m} \leq X \text{ partícules}/\text{m}^3$ .
- **Y Sequedat (Contingut d'humitat):** L'excés d'humitat en sistemes d'aire comprimit pot suposar corrosió en els diversos equips/instruments, contaminació de productes i fins i tot glaçades en climes freds. Aquest paràmetre es controla segons el punt de rosada de l'aire comprimit (*Pressure Dew Point*, PDP) indicant a quina temperatura es produeix la condensació en sistemes pressuritzats.
- **Z Contingut d'oli:** El contingut d'oli vaporitzat que normalment s'origina arrel de la lubricació de compressors pot contaminar processos i productes sensibles. El contingut d'oli és mesurat en mil·ligrams per metre cúbic  $\text{mg}/\text{m}^3$ .

La classe d'aire comprimit s'avalua segons els estàndards de qualitat de la Taula 4.12.1.1.

Taula 4.12.1.1. Estàndards de qualitat per aire comprimit segons ISO 8573-1.

Classe	Partícules (part./m <sup>3</sup> )	Aigua (°C PDP)	Oli (mg/m <sup>3</sup> )
1	0.1-0.5 $\mu\text{m} \leq 20,000$ 0.5-1.0 $\mu\text{m} \leq 400$ 1.0-5.0 $\mu\text{m} \leq 10$	-70	< 0.01
2	0.1-0.5 $\mu\text{m} \leq 400,000$ 0.5-1.0 $\mu\text{m} \leq 6,000$ 1.0-5.0 $\mu\text{m} \leq 100$	-40	< 0.1
3	0.5-1.0 $\mu\text{m} \leq 90,000$ 1.0-5.0 $\mu\text{m} \leq 1,000$	-20	< 1
4	1.0-5.0 $\mu\text{m} \leq 10,000$	+3	< 5
5	1.0-5.0 $\mu\text{m} \leq 100,000$	+7	-

S'ha establert aire comprimit de **classe 1.4.2.**, ja que aquest s'utilitza en general per aplicacions d'aire d'instruments o pneumàtica de control.

## c) Requeriments del procés:

Per tal de definir els requisits d'aire comprimit, s'ha revisat els llistats d'*utilities* dels diversos fabricants dels instruments i equips de les línies de producció.

Taula 4.12.1.2. Requeriments d'aire comprimit per línia de producció.

Consumidor	Cabal	Pressió	PDP
Línia 1	6.3 m <sup>3</sup> /min	7 bar	+3 °C
Línia 2	6.3 m <sup>3</sup> /min	7 bar	+3 °C
Línia 3	6.3 m <sup>3</sup> /min	7 bar	+3 °C

El *site* s'ubica a la ciutat industrial d'*ALOSBI (Aliaga)* a la província d'Izmir, Turquia. D'aquesta manera s'han consultat les dades meteorològiques que proporciona el complex industrial, tal com s'especifiquen a continuació:

- Temperatura ambient (normal): 15-20 °C
- Temperatura ambient (màxima): 40°C
- Temperatura ambient (mínima): 5°C
- Pressió atmosfèrica: 1 bar
- Humitat relativa: 70%

Altres especificacions addicionals degudes a estàndards de tecnologia del grup són:

- Equip refrigerat per aire.
- Qualitat d'aire comprimit per compressors lubricats amb oli.

## d) Condicions de disseny:

Per tal d'assegurar que els càlculs es realitzen de manera acurada s'ha revisat les conversions d'unitats per al flux d'aire i la pressió del sistema segons els càlculs de l'annex A.2. Disseny del sistema d'aire comprimit.

Taula 4.12.1.3. Requeriments d'aire comprimit per línia de producció (normalitzats)

Consumidor	Cabal	Pressió	Punt de rosada
Línia de producció 1	122 L/s	6 barg	+3 °C
Línia de producció 2	122 L/s	6 barg	+3 °C
Línia de producció 3	122 L/s	6 barg	+3 °C

## e) Dimensionat i selecció del compressor:

El cabal total del consum d'aire comprimit resulta de la suma dels requisits de les 3 línies de producció és a dir, **366 L/s**.

Segons el fabricant s'assumeix una pèrdua de càrrega màxima  $< 1.5$  barg associada a l'assecador, els filtres i les pèrdues majors (canonades). D'aquesta manera definit que una capacitat màxima de treball de  $6 + 1.5 = 7.5$  barg serà suficient per a l'aplicació.

Com a producte de l'estudi del dimensionat del compressor s'ha preparat una taula d'especificacions que s'utilitza per valorar les diverses opcions del catàleg del fabricant i per demanar una oferta o *Request For Quotation* (RFQ) segons les necessitats establertes.

Taula 4.12.1.4. Especificacions del compressor per RFQ.

Paràmetre	Especificació
Tipus de compressor	<i>Oil-injected screw compressor</i>
Pressió màxima de sortida	7.5 barg
FAD @ 7.5 barg	366 L/s (3 compressors de 7.32 m <sup>3</sup> /min)
Treball per compressió*	32.81 kW
Fluctuació de pressió	1.5 barg max.

\*Veure A.2.3. Treball per compressió.

Una vegada definides les característiques que ha d'incloure l'equip, s'ha consultat els catàlegs del fabricant per tal de triar el model més adient tal com es pot observar en la Figura 13.

Modelo	Sobrepresión de servicio bar	Flujo volumétrico instalación completa a sobrepresión m <sup>3</sup> /min	Sobrepr. máx. bar	Potencia nominal del motor kW	Dimensiones An x Pr x Al mm	Conexión de aire comprimido	Nivel de presión sonora dB(A)	Peso kg
BSD 75 SFC	7,5	1,54 - 7,44	10	37	1.665 x 1.030 x 1.700	G 1½	72	1.020
	10	1,51 - 6,51						990
	13	1,16 - 5,54	15					

Figura 13. Selecció del model de compressor segons especificacions.<sup>[17]</sup>

S'ha decidit utilitzar un compressor per cada línia de producció en paral·lel per a minimitzar el risc de fallada en la xarxa d'aire comprimit en cas que una de les unitats entri en avaria sempre n'hi ha una de reserva.

S'ha escollit el compressor *BSD 75 SFC* amb una pressió d'operació de 7.5 bar i amb un rang de cabal de 1.54-7.44 m<sup>3</sup>/min establint el cabal de disseny a 7.32 m<sup>3</sup>/min. La funció amb variador de freqüència (VFD) que incorpora l'equip permet reduir els costos d'operació actuant sobre la demanda del sistema en comptes de treballar sempre a la capacitat màxima. D'altra banda, també s'ha comprovat que el valor de la potència nominal del motor sigui semblant a l'estimació inicial obtenint un valor de 37 kW vers els 32.81 kW previstos.

f) Dimensionat del tanc acumulador:

S'ha dissenyat el tanc acumulador d'aire comprimit com a recipient a pressió en l'annex *A.2.1.4. Disseny del tanc B4*. A partir del volum mínim recomanat per al tanc acumulador d'aire, es selecciona el model comercial estàndard amb la següent capacitat superior al valor mínim segons la Figura 14 i tenint en compte la pressió màxima de treball calculada (10.8 barg) s'ha triat el model de 2000L amb una pressió de treball màxima (MAWP) d'11 barg.

Taula 4.12.1.5. Especificacions del tanc acumulador per RFQ.

Paràmetre	Especificació
Material	A516 Gr. 70 (1.0473)
Volum útil	2 .00 m <sup>3</sup>
FAD @ 7 barg	1.54 m <sup>3</sup> /min

Receiver volume	Max. permissible pressure	Version		Vertical				Horizontal					
		Vert.	Horiz.	Height mm	Ø mm	Inlet/Outlet Connections	Weight kg	Length mm	Ø mm	Inlet/Outlet Connections	Weight kg		
90	11	yes	—	1160	350	2 x G ½ rear	37	—	—	—	—		
150	11 16	yes	yes	1190	450	2 x G ¾ rear	55 85	1050	450	2 x G 2	55 75		
250	11 16	yes	yes	1540 1545	500	2 x G ¾ rear	75 100	1465 1410	500	2 x G 2	75 100		
350	11 16	yes	yes	1810	550	2 x G 1 rear	80 150	1630 1640	550	2 x G 2	80 150		
500	11 16 45	yes	yes	1925 1920	600	2 x G 1 rear	110 220	1780	600	2 x G 2	110 220		
			—	1925			300				—	—	—
900	11	yes	—	2210	795	2 x G 2; 2 x G 1½	240	—	—	—	—		
1000	11 16 45	yes	yes	2265	800	2 x G 1½; 2 x G 2	245	2150 2140	800	G 2; 1x G ½	245		
				2255			370				370		
				2245			590				—	—	—
2000	11 16 50	yes	yes	2375 2490	1150 1100	4 x G 2½	470 770	2180	1150	2 x G 2	470 770		
			—	2430	1100	4 x DN 80	1300				—	—	—
			—	2430	1100	4 x DN 80	1300				—	—	—
3000	11 16	yes	yes	2710 2845	1250	4 x G 2½	605 1050	2610 3040	1250 1150	2 x G 2 ½ 2 x G 2	605 1050		

Figura 14. Selecció del model de tanc acumulador segons especificacions. <sup>[18]</sup>

g) Dimensionat de l'assecador:

Per tal de seleccionar el model correcte, s'han aplicat els factors de correcció proporcionats pel fabricant:

- **Temperatura ambient:** La temperatura ambient 46chedu s'ha fixat a 40°C amb un factor de correcció de 1.00.
- **Temperatura d'entrada a l'assecador:** S'ha suposat que la temperatura de l'aire de sortida del compressor és 10°C més alta que la temperatura ambient, obtenint un factor de correcció de 0.67 per 50°C.
- **Pressió de treball:** La pressió de treball actual és d'aproximadament 7 bar, s'obté un factor de correcció 1.0.

Finalment, es multiplica el flux total d'aire pels factors de correcció per determinar el cabal a tractar en l'assecador per refrigeració.

$$366 \cdot 1.0 \cdot 0.67 \cdot 1.0 = 282 \text{ L/s}$$

Taula 4.12.1.6. Especificacions de l'assecador per RFQ.

Paràmetre	Especificació
Tipus d'assecador	<i>Refrigerant air dryer</i>
Temperatura ambient	40 °C
Temperatura assecador	50 °C
Pressió assecador	7 barg
Cabal d'aire sec	282 L/s (3 assecadors de 5.6 m <sup>3</sup> /min)

Una vegada definides les característiques que ha d'incloure l'equip, s'ha consultat els catàlegs del fabricant per tal de triar el model més adient en la figura 15.

Modelo		Serie TD				Serie TE			Serie TF				Serie TG				
		TD 52	TD 67	TD 73	TD 94	TE 102	TE 122	TE 142	TF 174	TF 230	TF 280	TF 340	TG 450	TG 520	TG 650	TG 780	TG 980
Flujo volumétrico	m <sup>3</sup> /min	5,1	6,7	7,3	9,4	11,5	12,5	15,5	17,0	23,0	28,0	34,0	45	52	65	78	98
Pérdida de presión secador frigorífico	bar	0,12	0,11	0,13	0,11	0,11	0,13	0,14	0,13	0,15	0,19	0,17	0,14	0,19	0,12	0,17	0,25
Pot. eléct. absorbida al 50 % del volumen	kW	0,31	0,37	0,49	0,5	0,50	0,52	0,77	0,79	0,97	1,11	1,29	1,55	1,85	2,02	2,48	3,61
Pot. eléct. absorbida al 100 % del volumen	kW	0,61	0,78	0,95	0,92	1,08	1,12	1,51	1,61	2,20	2,45	2,87	3,28	3,89	4,83	5,88	9,82
Sobrepresión	bar	3 hasta 16				3 hasta 16			3 hasta 16				3 hasta 16		3 hasta 13		
Temperatura ambiente	°C	+3 hasta +50				+3 hasta +45			+3 hasta +45				+3 hasta +50				
Temp. de entrada máx. aire comprimido	°C	+60				+60			+60				+60				

Figura 15. Selecció del model d'assecador segons especificacions. [19]

S'ha escollit l'assegador amb el model *TD67*, ja que aquest està dimensionat per un cabal d'aire de 6.7 m<sup>3</sup>/min sent capaç de tractar el cabal de disseny (5.6 m<sup>3</sup>/min) a les condicions de temperatura ambient i temperatura d'entrada a l'assegador definides en la Taula 4.12.1.6.

h) Selecció dels filtres:

Tenint en compte que es defineix la qualitat de l'aire esperada segons la classe 1.4.2. típica per aire d'instruments, s'ha especificat les necessitats de filtració per al sistema.

Taula 4.12.1.7. Especificacions de filtració per RFQ.

Paràmetre	Especificació
Puresa per partícules	0.1 µm < 20,000 partícules/m <sup>3</sup>
Contingut d'aigua (PDP)	+ 3 °C
Puresa per oli	< 0.1 mg/m <sup>3</sup>

S'ha triat el model F83KE amb una capacitat de 8.3 m<sup>3</sup>/min.

i) Línia de condensats:

L'aparició d'aigua en el sistema d'aire comprimit és un problema molt comú a causa de la humitat de l'aire ambient. Un altre factor a considerar es la necessitat de tractar l'arrossegament d'oli de refrigeració/lubricació del compressor abans de poder evacuar l'aigua condensada cap als drenatges.

D'aquesta manera s'ha fet una estimació del cabal de condensats en l'annex A.2.5. *Línia de condensats* obtenint un valor de 7.76 g/s. Finalment, s'ha consultat el catàleg de separadors d'aigua/oli per al tractament de condensats i tenint en compte que el cabal d'aire total és 21.96 m<sup>3</sup>/min s'ha escollit el model *AQUAMAT i.CF30* de la figura 16.

Model		AQUAMAT i.CF 10	AQUAMAT i.CF 15	AQUAMAT i.CF 30	AQUAMAT i.CF 60	AQUAMAT i.CF 90
Climate zone 1 (Ta = 30°C, r.h. 60%)	m <sup>3</sup> /min	12.1	18.1	36.3	72.4	108.7
Climate zone 2 (Ta = 30°C, r.h. 70%)	m <sup>3</sup> /min	10.3	15.4	30.9	61.7	92.6
Climate zone 3 (Ta = 30°C, r.h. 80%)	m <sup>3</sup> /min	9.0	13.4	26.9	53.8	80.7
Max. hydrocarbon concentration in discharge water <sup>1)</sup>	mg/l	≤ 20				
Max. gauge pressure at condensate inlet	bar	16				
Control air gauge pressure	bar	-	3 - 15			
Min. / max. temperature - Condensate inflow	°C	+5 - +50				

Figura 16. Selecció del model de distribució de condensats. [20]

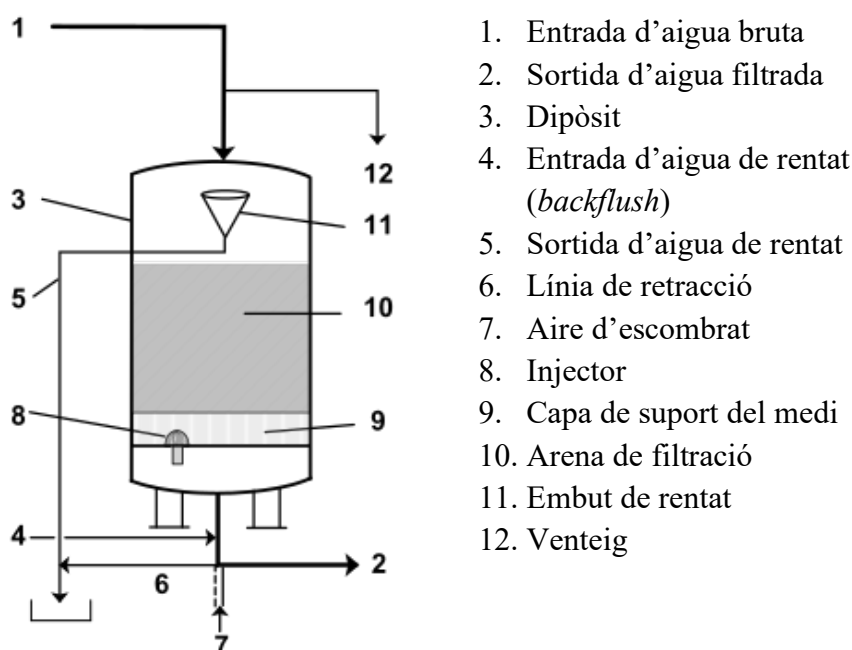
#### 4.11.2. Disseny del sistema de tractament d'aigües

##### a) Fonament teòric:

El tractament d'aigua de procés s'ha definit en l'eliminació de partícules sòlides i el control de la duresa de l'aigua tal com s'especifica en l'estudi d'alternatives. D'altra banda també cal tenir en compte que aquesta requereix d'un tractament antimicrobià per evitar la proliferació de matèria biològica. Tanmateix es programen anàlisis periòdiques per controlar el pH de les diverses qualitats d'aigua i la duresa d'aquestes.

S'ha definit l'abast d'aquest apartat en els principals riscos de desgast que suposa bombejar fluids amb partícules sòlides que erosionen tant els equips com les canonades i, d'altra banda, la corrosió o incrustacions associades a la precipitació de les sals contingudes en l'aigua.

El primer equip del sistema és el filtre d'arena, aquest consta d'un tanc amb un medi filtrant per on circula el fluid a pressió que cal ser purificat. Aquest reté els sòlids en suspensió i les possibles partícules de l'aigua de xarxa deixant passar només el flux d'aigua que surt de l'equip amb una reducció considerable d'aquestes partícules. El medi filtrant s'acaba saturant per l'acumulació de sòlids i, per tant, va perdent efectivitat. Per tal de recuperar la funcionalitat de l'equip, es disposa d'un flux d'aigua a contracorrent que arrossega els sòlids atrapats en el medi filtrant i els rebutja fora de l'equip.



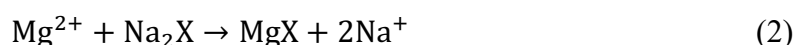
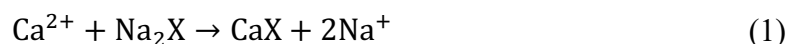
**Figura 17.** Esquema d'un filtre de pressió ràpida amb llit d'arena.<sup>[21]</sup>

Una vegada eliminades les partícules sòlides cal controlar els ions dissoltes en l'aigua i això s'aconsegueix mitjançant el bescanvi iònic. Aquesta operació típica en descalcificadors d'aigua se centra en la interacció entre el fluid de treball i el llit de bescanvi que conté cations intercanviables com es mostra en la Taula 4.12.2.1.

Taula 4.11.2.1. Sèrie de desplaçament d'ions seleccionats<sup>[13]</sup>

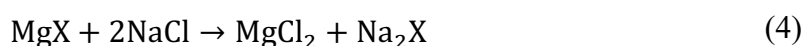
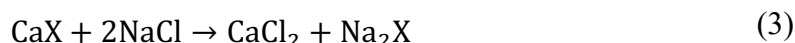
Posició	Catió	Anió	Posició	Catió	Anió
5	Ca <sup>2+</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	8	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>
6	Mg <sup>2+</sup>	MOO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	9	Na <sup>+</sup>	F <sup>-</sup>

A continuació es mostren les equacions 1 i 2 que exemplifiquen l'eliminació dels ions Ca<sup>+2</sup> i Mg<sup>2+</sup> causants de la duresa en l'aigua:

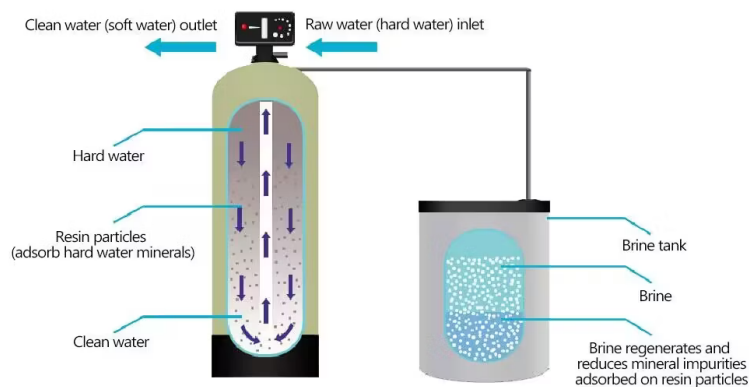


Aquestes equacions mostren X que representa la resina catiónica basada en sodi del material Na<sub>2</sub>X que tot i no ser un compost químic, es comporta de manera semblant. Els cations de sodi Na<sup>+</sup> són alliberats a l'aigua en forma de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. En el cas de la resina, es combinen les molècules de Ca i Mg formant CaX i MgX respectivament una vegada s'ha produït el bescanvi iònic de manera que s'eliminen aquestes molècules quedant adherides a la resina.

De la mateixa manera que en el cas dels filtres de sorra, el medi s'acaba saturant i cal fer ús d'un procés de regeneració de la capacitat de descalcificació. L'operació implica revertir el procés de bescanvi iònic retornant els ions de sodi a la resina mitjançant una solució de salmorra com es mostra en les equacions 3 i 4.



Mentre que el sodi retorna a la resina recuperant l'efectivitat, els ions Na i Ca alliberats durant la regeneració són expulsats amb la salmorra mitjançant un rentat a contracorrent. A continuació es mostra un esquema bàsic del sistema en la Figura 18.



**Figura 18.** Esquema del muntatge d'una unitat de bescanvi iònic i el tanc de salmorra.<sup>[22]</sup>

## b) Condicions de disseny:

S'ha establert les condicions de disseny per als descalcificadors en la taula 4.12.2.2.

Taula 4.11.2.2. Condicions de disseny

Paràmetre	Valor	Unitats
Capacitat	2.00	m <sup>3</sup> /h
Temperatura	20.0	°C
pH	7-8	-
Ions	Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup>	-
Duresa inicial	40.0	°fH
Duresa objectiu	< 2.00	°fH

## c) Selecció de la resina:

Tenint en compte que l'objectiu principal del tractament és eliminar la duresa de l'aigua produïda per ions de Ca<sup>2+</sup> i Mg<sup>2+</sup>, s'ha escollit una resina catiònica forta en forma àcida.

Taula 4.11.2.3. Característiques físiques i químiques de la resina *Purolite*<sup>®</sup> *C100E*. [23]

Paràmetre	
Estructura del polímer	Gel reticulat poliestirè amb di-vinilbenzè (esferes)
Forma iònica	Na <sup>+</sup>
Grup funcional	Àcid sulfònic
Capacitat total	1.9 EQ/L (41.5 kg/ft <sup>3</sup> )
Retenció d'humitat	46 – 50 %
<i>Reversible swelling</i>	10% max
Densitat específica	1.27
Rang de mida	300 – 1200 µm
Coefficient d'uniformitat (max.)	1.7
Pes	800 – 840 g/L
Límit de temperatura	120 °C

S'ha calculat els paràmetres de disseny necessaris per establir les especificacions de les unitats de bescanvi iònic en l'annex A.3. *Disseny del sistema de tractament d'aigües*. S'ha fet un llistat resum de les especificacions més rellevants en la Taula 4.12.2.4. per seleccionar el model comercial de control de flux de l'equip en la Figura 19.

Taula 4.11.2.4. Especificacions dels descalcificadors per RFQ.

Paràmetre	Especificació
Cabal (operació)	2 m <sup>3</sup> /h
Cabal (contra flux)	0.75 m <sup>3</sup> /h
Duresa objectiu	1-2 °fH
Temps d'operació	6 h/unitat (4 cicles)
Volum de resina	67 L
Capacitat de bescanvi	1.9 EQ/L

Després d'avaluar les especificacions del tractament mitjançant les unitats de bescanvi iònic, s'ha triat el model *AU 255 1260 T*.

				
	368	255	255 Logix	Performa (263, 268, 269)
Valve material	Glass Filled Noryl	Glass Filled Noryl	Glass Filled Noryl	Glass Filled Noryl
Inlet/Outlet	3/4, 1"	1/2, 3/4, 1", 22 mm, 32 mm	1/2, 3/4, 1", 22 mm, 32 mm	3/4, 1", 22 mm, 32 mm
Service flow rate (m <sup>3</sup> /h / gpm)	3.8/16.6	3.5/15.5	3.5/15.5	5.7/25
Backwash flow rate (m <sup>3</sup> /h / gpm)	0.6/2.73	1.4/6	1.4/6	4.5/20
Maximal softener tank size	10"	14"	14"	14"
Filter tank size	6 - 24"	N/A	N/A	6 - 24"
Regeneration type	Downflow	Downflow	Downflow	Downflow/Upflow (269)
Adjustable cycles	● <sup>1</sup>	● <sup>2</sup>	● <sup>3</sup>	● <sup>3</sup>
Duplex			●	
Multiplex			●	●
Drain connection	1/2"	1/2, 3/8"	1/2, 3/8"	3/4"
Brine line	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"
Riser tube height (from the top of tank)	13 +/- 13 mm	29 +/- 3 mm	29 +/- 3 mm	13 +/- 13 mm
Riser tube size	1.05"	1.05"	1.05"	1.05"

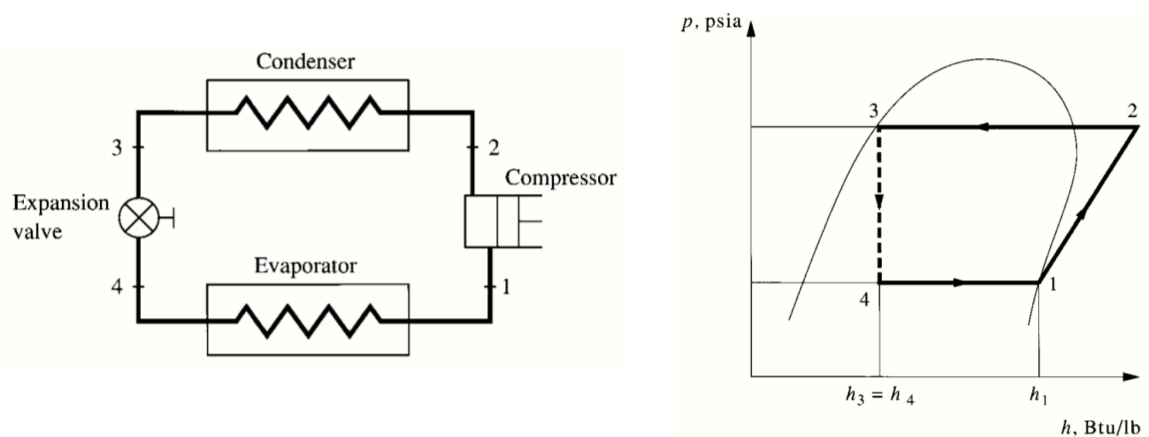
**Figura 19.** Selecció del model de vàlvula de control de flux per als descalcificadors. [24]

### 4.11.3. Disseny del sistema de refrigeració

#### a) Fonament teòric:

Les estacions de refrigeració o *chillers* són sistemes de refredament industrial que operen amb l'objectiu d'absorbir la calor d'un fluid (generalment aigua) i la transfereixen a un medi extern mitjançant un cicle de refrigeració.

Els cicles de refrigeració per compressió de gas són processos termodinàmics que permeten transferir calor d'un espai a un altre i generalment consten de 4 etapes principals tal com es mostra en la Figura 20.



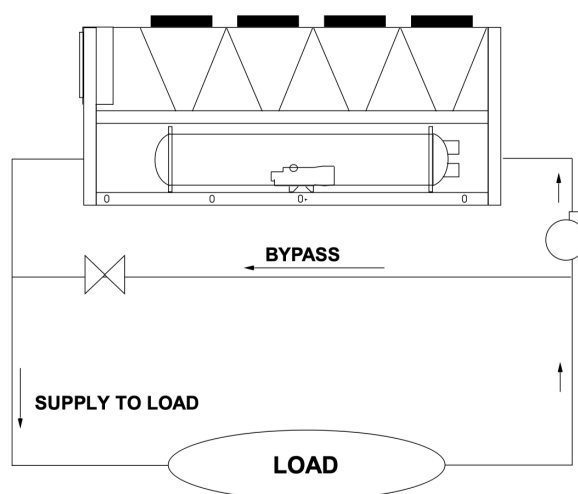
**Figura 20.** Esquema del sistema dels equips del sistema de refrigeració (a l'esquerra), diagrama P-h per al cicle de refrigeració. <sup>[25]</sup>

- **Compressió (1):** El refrigerant entra en estat gasós en forma de vapor sobreescalfat al compressor on la seva pressió i temperatura augmenten. Aquest procés es considera adiabàtic és a dir sense transferència de calor convertint el treball mecànic del compressor en energia tèrmica del gas comprimit.
- **Condensació (2):** El gas calent a una pressió superior entra en un bescanviador de calor que actua com a condensador. Aquest transfereix la calor del refrigerant a l'ambient o a un medi depenent de si el condensador es refrigera amb aire o aigua. Durant aquest procés el refrigerant comença a condensar passant d'estat gasos a líquid.
- **Expansió (3):** El refrigerant es condueix a través d'una vàlvula d'expansió o dispositiu d'estrangulament on es produeix l'expansió isentàlpica (sense variació d'entalpia). L'expansió del fluid suposa una baixada de pressió i temperatura significativa on el refrigerant comença a evaporar-se. Aquesta etapa és el factor clau per al refredament del procés.
- **Evaporació (4):** El vapor de baixa qualitat entra a l'evaporador, el segon bescanviador del sistema que en aquest cas busca absorbir escalfor refrigerant el fluid de procés canviant de fase el refrigerant que s'evapora completament fins a les condicions inicials de l'etapa 1.

## b) Condicions de disseny:

El procés consta de dues línies de producció i una possible tercera línia comptabilitzant una càrrega tèrmica total de 1200 kW, per tant, s'ha dimensionat la capacitat del sistema de refrigeració a 1300 kW amb cert marge d'operació. El cabal d'aigua de refrigeració s'ha definit a 180 m<sup>3</sup>/h, 12.5°C i una pressió d'entre 2.5 i 4 barg. Aquests valors s'han fixat segons les especificacions dels diversos fabricants dels equips de les línies de producció.

Per tal d'assegurar una operació òptima, és indispensable treballar amb vapor sobreescalfat a la sortida de l'evaporador, i per tant, s'ha definit un sobreescalfament de 10°C. Aquesta configuració assegura que el refrigerant es trobi en estat gasós i no provoqui danys en el compressor. D'altra banda cal que la vàlvula d'expansió treballi amb el fluid en estat líquid i això s'ha aconseguit amb un subrefredament de 4°C a la sortida del condensador.



**Figura 21.** Esquema simplificat del circuit de refrigeració.<sup>[26]</sup>

## c) Requeriments del procés:

Taula 4.11.3.1. Requeriments del sistema de refrigeració.

Consumidor	Cabal	Pressió	T <sub>in</sub> *	T <sub>out</sub> *
Línia de producció 1	66.67 m <sup>3</sup> /h	2.5 – 4 barg	15 °C	10 °C
Línia de producció 2	66.67 m <sup>3</sup> /h	2.5 – 4 barg	15 °C	10 °C
Línia de producció 3	66.67 m <sup>3</sup> /h	2.5 – 4 barg	15 °C	10 °C

\*T<sub>in</sub> = Temperatura d'entrada al chiller; T<sub>out</sub> = Temperatura de sortida del chiller.

## d) Elecció del tipus de refrigerant

Els refrigerants són substàncies o mescles de substàncies que s'utilitzen generalment en sistemes de refrigeració per absorbir i transportar calor mitjançant els canvis d'estat en un cicle termodinàmic. D'aquesta manera la seva funció principal esdevé la d'extreure calor d'un espai o medi que requereixi un control de temperatura.

Els refrigerants primaris es poden classificar segons 5 tipologies:

- Halocarburs
- Hidrocarburs (HC)
- Compostos inorgànics
- Mescles azeotròpiques
- Mescles no-azeotròpiques

S'ha estudiat les característiques que diferencien els fluids refrigerants de cada grup per tal d'avaluar quin tipus ofereix unes propietats compatibles amb la idoneïtat del sistema en l'annex A.3.3. *Selecció del refrigerant.*

Finalment, s'ha escollit el refrigerant R-134a ja que aquest presenta unes característiques equilibrades en aspectes com la disponibilitat, el rendiment energètic i un baix impacte ambiental relatiu. Dins del grup dels hidrofluorocarburs (HFC) té un impacte moderat pel que fa al potencial d'escalfament global (GWP) i no afecta a la capa d'ozó, ja que el seu ODP = 0. Tot i que existeixen altres alternatives de menor impacte, l'R-134a és una opció viable considerant la seva àmplia oferta en el mercat, el gran nombre d'estacions de refrigeració que l'utilitzen com a fluid de treball i un preu competitiu que troba combina les prestacions tecnològiques i pressupostàries. Aquest refrigerant és compatible amb la majoria dels compressors i material utilitzats en el sistema de refrigeració. D'altra banda, es considera adient per aplicacions industrials amb càrregues tèrmiques que van de moderades a altes amb una capacitat específica de refredament de 220-240 kJ/kg i un rendiment (COP) que oscil·la entre 3.5 i 4.

## e) Anàlisi termodinàmic:

Una vegada conegudes les condicions de disseny del procés de refrigeració, s'ha resumit els paràmetres dels bescanviadors del sistema en la Taula 4.11.3.2.

Taula 4.11.3.2. Paràmetres de disseny dels bescanviadors del sistema.

Equip	Evaporador	Condensador
Pressió de treball (barg)	3.20	10.0
Temperatura (°C)	12.46	35.37

A partir de les condicions d'entrada s'ha utilitzat el diagrama pressió-entalpia per al refrigerant R-134a per tal de representar el cicle de compressió de gas amb cadascuna de les seves etapes en la figura 22. Finalment, s'ha pogut extreure els valors de les entalpies a cada punt del procés per a calcular els paràmetres d'interès del cicle.

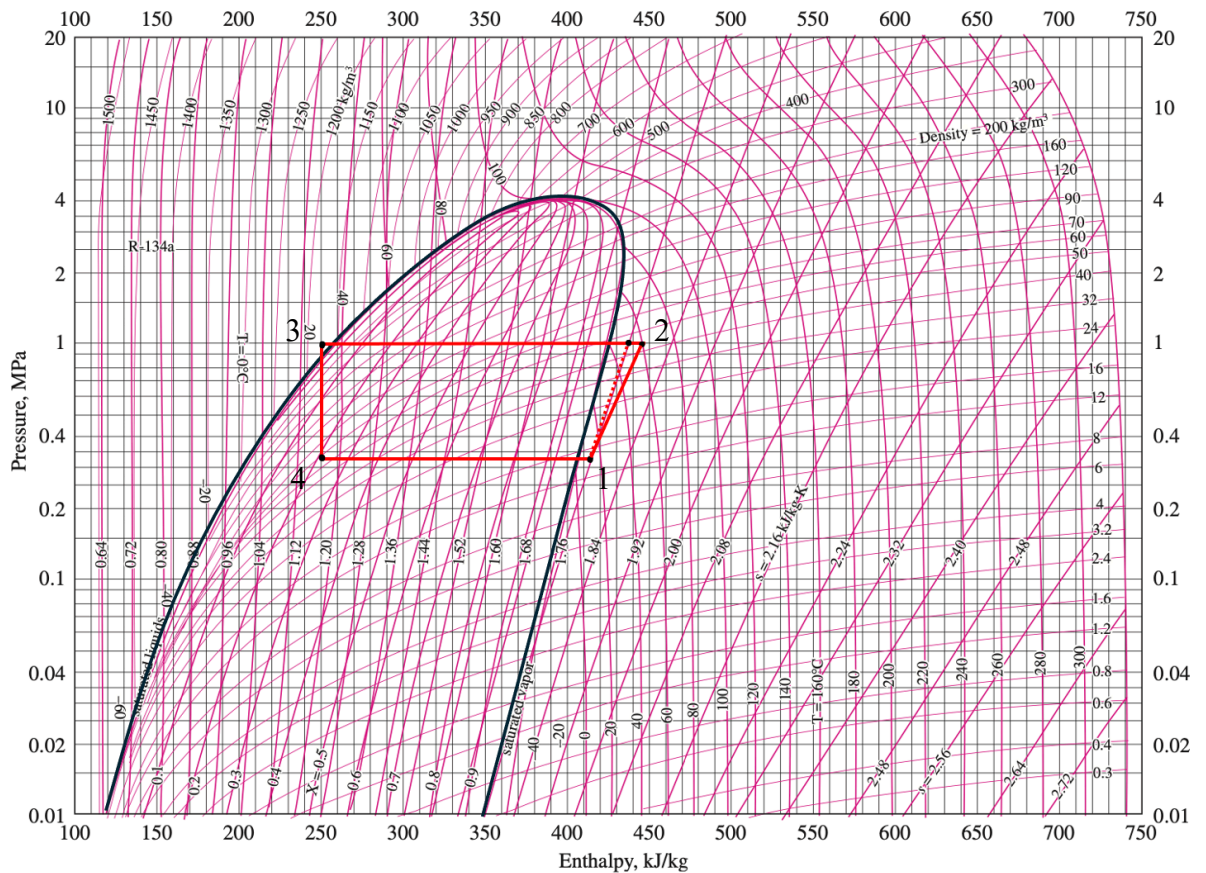


Figura 22. Representació del cicle de refrigeració en el diagrama P-h per R-134a. [27]

- **Entrada al compressor (1):** Es determina l'entalpia i l'entropia a l'entrada del compressor en el diagrama P-h del refrigerant R-134a. S'ha tingut en compte la pressió d'operació de l'evaporador i la temperatura del vapor.

$$H_1(P_1, T_{\text{sat}} + \text{sobreescalfament}) = h_1(3.2 \text{ bar}, 12.46^\circ\text{C})$$

$$h_1(3.2 \text{ bar}, 12.46^\circ\text{C}) = 410 \text{ kJ/kg}$$

$$s_1(3.2 \text{ bar}, 12.46^\circ\text{C}) = 1.76 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

- **Compressió isoentròpica (2):** Per tal d'acostar els càlculs a la realitat s'ha tingut en compte el rendiment isentròpic del compressor (Equació 5) per determinar l'entalpia a la sortida d'aquest ( $h_2$ ). En el cas ideal s'assumeix que  $s_{2s} = s_1$  i es busca  $h_{2s}$  a les taules de propietats del refrigerant a la pressió d'operació del condensador.

$$H_{\text{isen}} = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1} \tag{5}$$

$$h_{2s}(P_2, s_{2s}) = h_{2s}(10\text{bar}, 1.76 \text{ kJ/kgK})$$

$$h_{2s}(P_2, s_{2s}) = 439 \text{ kJ/kg}$$

$$0.75 = \frac{439 - 410}{h_2 - 410} \rightarrow h_2 = 448.67 \text{ kJ/kg}$$

- **Sortida evaporador (3):** S'ha determinat l'entalpia a la sortida del condensador ( $h_3$ ) a la pressió de treball i temperatura de subrefredament.

$$H_3(10 \text{ bar}, 35.37^\circ\text{C}) = 247 \text{ kJ/kg}$$

$$s_3(10 \text{ bar}, 35.37^\circ\text{C}) = 1.02 \text{ kJ/kgK}$$

- **Expansió adiabàtica (4):** En el punt 4 es dona l'expansió isentàlpica de 10 a 3.2 bar refredant el fluid de refrigeració. En els processos adiabàtics no hi ha variació d'entalpia i, per tant, s'ha suposat  $h_3 = h_4$ . Per tal d'avaluar la qualitat del vapor humit, s'ha observat les isolínies dins de la campana d'equilibri de fases i s'ha determinat que aquest és  $x = 0.210$ . Finalment, s'ha aproximada l'entropia de 4 en el diagrama P-h.

$$H_4 = 247 \text{ kJ/kg}$$

$$s_4 = 1.16 \text{ kJ/kgK}$$

Taula 4.11.3.3. Resum de càlcul de paràmetres del cicle de refrigeració

	1	2	3	4
T (°C)	2.46	39.37	35.37	2.46
P (bar)	3.20	10.0	10.0	3.20
h (kJ/kg)	420	448.7	247	247
s (kJ/kgK)	1.76	1.79	1.16	1.16

A partir de les entalpies en cada etapa, s'han determinat els paràmetres d'interès d'operació del sistema en la taula 4.11.3.4. segons els càlculs de l'Annex A.4.4. *Paràmetres de disseny del sistema de refrigeració.*

Taula 4.11.3.4. Resum de càlcul de paràmetres del cicle de refrigeració

Variable	Paràmetre	Valor	Unitats
$\dot{m}_R$	Cabal de refrigerant	8.00	kg/s
$\dot{m}_A$	Cabal d'aire per al condensador	160	kg/s
$W_{\text{comp}}$	Treball del compressor	309.4	kW
COP	Rendiment del cicle	4.20	-

## f) Selecció d'equips:

Es mostren les especificacions requerides per als *chillers* en la Taula 4.11.3.5. per seleccionar la configuració més adient d'entre els diversos models que ofereix el fabricant.

Taula 4.11.3.5. Especificacions del *chiller* per RFQ.

Paràmetre	Especificació
Tipus de <i>chiller</i>	Refrigerat per aire ( <i>Air-cooled</i> )
Refrigerant	R-134a
Cabal de disseny	200 m <sup>3</sup> /h
Càrrega tèrmica	1300 kW
EWT*	15 °C
LWT**	10 °C

\**Entering Water Temperature*

\*\**Leaving Water Temperature*

S'ha configurat el sistema amb 2 estacions de refrigeració refredades amb aire (*air-cooled chillers*) model *YVAA0183AOV* amb una capacitat de 683 kW. S'ha decidit treballar amb dos unitats independents, ja que en la primera fase del projecte només hi haurà 2 línies de producció en funcionament i el sistema serà capaç d'abastir el conjunt mentre l'altra unitat s'utilitza com a redundat en cas de fallada.

150 - 500 TR  
525 - 1,750 kW

**Model YVAA – VSD screw compressor**

Refrigerant: HFC-134a

**Standard Features:** variable-speed drive, hybrid falling-film evaporator, microchannel condenser, operation from 0 °F (-18 °C) to 125 °F (52 °C) ambient, capacity turndown to 10% load

**Available Options:** Industry-leading IPLVs, sound-reduction packages, BAS communications, convenient tube-and-fin coils



**Figura 23.** Selecció del model de *chiller* segons especificacions. <sup>[26]</sup>

o Disseny del tanc B3:

Els tancs acumuladors d'aigua de refrigeració o tancs d'inèrcia són dipòsits utilitzats en sistemes de refrigeració per processos industrials per tal d'emmagatzemar energia tèrmica. El paper principal d'aquests equips se centra a millorar l'estabilitat i eficiència assegurant el subministrament d'aigua de refrigeració durant els pics de consum del sistema en circuits tancats.

S'ha dissenyat el tanc acumulador d'aigua de refrigeració com a recipient a pressió en l'annex A.4.5. *Disseny del tanc B3*. S'ha seleccionat el model comercial estàndard amb la següent capacitat superior al valor mínim segons la Figura 24 tenint en compte el volum útil necessari calculat en l'annex.

Taula 4.11.3.6.. Especificacions del tanc acumulador per RFQ.

Paràmetre	Especificació
Material	A516 Gr. 70 (1.0473)
Volum útil	10 m <sup>3</sup>

Finalment, s'ha seleccionat el model superior segons el catàleg del fabricant tenint en compte les especificacions esmentades.

Modelo/ Model	Capacidad/ Capacity (Litros/ Litres)	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)	F (mm)	G (mm)	H (mm)	I (mm)	J (mm)	K (mm)	Conexiones/ Connections						Peso/ Weight (kg)
													1-7	2	3-4-6-8	5	9	10	
DPAC/DI 100	100	520	953	600	---	511	291	731	80	---	---	---	1/2"	1/2"	1-1/2"	3/4"	---	---	45
DPAC/DI 150	150	520	1.203	850	---	636	291	981	80	---	---	---	1/2"	1/2"	1-1/2"	3/4"	---	---	53
DPAC/DI 200	200	520	1.503	1.150	---	786	291	1.281	80	---	---	---	1/2"	1/2"	2"	3/4"	---	---	69
DPAC/DI 250	250	560	1.613	1.250	---	846	301	1.391	80	---	---	---	1/2"	1/2"	2"	3/4"	---	---	82
DPAC/DI 300	300	560	1.863	1.500	---	971	301	1.641	80	---	---	---	1/2"	1/2"	2"	3/4"	---	---	106
DPAC/DI 500	500	670	1.921	1.500	---	1.001	330	1.671	80	---	---	---	1/2"	1/2"	2"	1"	---	---	128
DPAC/DI 750	750	930	1.828	1.250	1.130	967	462	1.472	115	---	---	---	1/2"	1/2"	3"	1"	---	---	171
DPAC/DI 1.000	1.000	930	2.078	1.500	1.130	1.092	462	1.692	115	---	---	---	1/2"	1/2"	3"	1"	---	---	212
DPAC/DI 1.500	1.500	1.280	1.861	1.000	1.450	978	628	1.328	115	---	---	---	1/2"	1/2"	4"	1"	---	---	324
DPAC/DI 2.000	2.000	1.280	2.361	1.500	1.450	1.228	628	1.828	115	---	---	---	1/2"	1/2"	4"	1-1/2"	---	---	364
DPAC/DI 2.500	2.500	1.510	1.971	1.000	1.720	1.033	683	1.383	115	---	---	---	1/2"	1/2"	4"	1-1/2"	---	---	518
DPAC/DI 3.000	3.000	1.510	2.471	1.500	1.720	1.293	693	1.893	115	---	---	---	1/2"	1/2"	4"	1-1/2"	---	---	555
DPAC/DI 4.000	4.000	1.910	2.190	1.000	2.050	1.138	788	1.488	115	---	---	---	1/2"	1/2"	4"	1-1/2"	---	---	898
DPAC/DI 5.000	5.000	1.910	2.690	1.500	2.050	1.388	788	1.988	115	---	---	---	1/2"	1/2"	4"	1-1/2"	---	---	975
DPAC/DI 6.000	6.000	1.910	3.190	2.000	2.050	1.631	781	2.481	115	946	1.476	2.470	1/2"	1-1/2"	4"	2"	DN-400	1/2"	1.030
DPAC/DI 7.000	7.000	1.910	3.694	2.500	2.050	1.881	781	2.981	115	946	1.476	2.970	1/2"	1-1/2"	4"	2"	DN-400	1/2"	1.069
DPAC/DI 8.000	8.000	1.910	3.944	2.750	2.050	2.006	781	3.231	115	946	1.476	3.220	1/2"	1-1/2"	5"	2"	DN-400	1/2"	1.205
DPAC/DI 9.000	9.000	1.910	4.444	3.250	2.050	2.256	781	3.731	115	946	1.476	3.720	1/2"	1-1/2"	5"	2"	DN-400	1/2"	1.308
DPAC/DI 10.000	10.000	1.910	4.694	3.500	2.050	2.381	781	3.981	115	946	1.476	3.970	1/2"	1-1/2"	5"	2"	DN-400	1/2"	1.452

Figura 24. Selecció del model de tanc segons especificacions. [28]

#### 4.11.4. Disseny de bombes

##### a) Condicions de disseny:

S'ha realitzat una estimació del cabal a bombejar per cada cas en l'annex A.5.4. *Paràmetres de disseny del sistema de bombes*. Conegut el cabal, s'ha definit la pressió de treball de les diverses bombes tenint compte la pèrdua de càrrega del sistema (A.5.3. *Pèrdues de càrrega*) en les diverses zones. La part del circuit de procés s'ha estimat mitjançant un valor proporcionat per l'empresa instal·ladora, ja que no es disposa de la distribució final dels punts de consum a planta.

A continuació es mostra una taula resum de les condicions de disseny per a cada tipus de bomba.

Taula 4.11.4.1. Paràmetres de disseny per a bombes

Equip	Cabal (m <sup>3</sup> /h)	Alçada (m)	P <sub>IN/OUT</sub> (bar)	P <sub>h</sub> (kW)	Fluid
P1A/B*	10	67.31	1.46/6.59	2.67	Aigua de xarxa
P2A/B*	2	53.62	1.22/5.25	0.337	Aigua descalcificada
P3A/B/C**	58.82	52.39	3.00/4.97	23.2	Aigua de refrigeració
P4A/B/C**	180	71.8	3.00/7.03	25.1	Aigua de refrigeració

\*valors per una bomba, el sistema es defineix com 1 en operació + 1 en repòs.

\*\*valors per una bomba, el sistema es defineix com 2 en operació + 1 en repòs.

D'aquesta manera s'ha pogut determinar si el model que ofereix el sistema de selecció de bombes del fabricant s'escau per complir amb les necessitats del procés.

#### b) Selecció de bombes:

En el cas de les bombes de poc cabal de 10 i 2 m<sup>3</sup>/h respectivament, s'ha seleccionat dos grups de pressió modulars. Aquests incorporen dues bombes que alternen l'operació, els col·lectors, instrumentació i vàlvules així com un mòdul de control de freqüència independent per cada estació. Pel que fa a les bombes del circuit dels *chillers*, s'ha optat per dos bombes *inline* amb la tecnologia *twin-head* proporcionant en el mateix muntatge 2 motors, un de principal i l'altre com a reserva. En el cas del circuit de procés s'ha escollit 3 bombes centrífugues amb descàrrega vertical (2 en operació i una en reserva).

S'ha triat el model *Hydro MPC-E 2 CRE10-6* amb el punt d'operació que es mostra a la corba característica de la bomba en la figura 25.

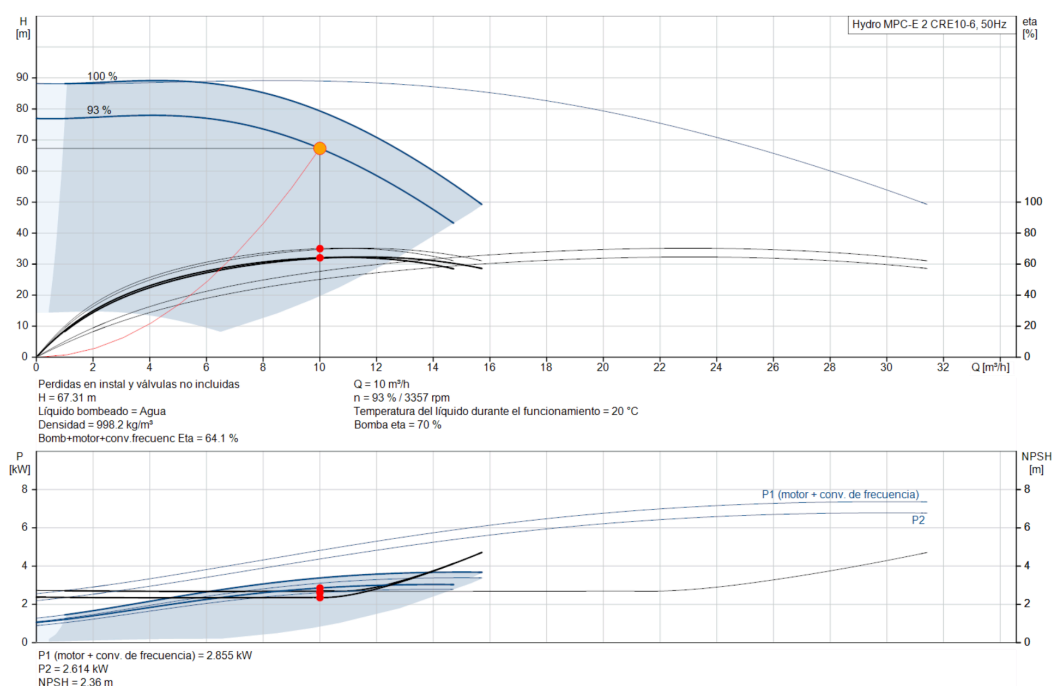


Figura 25. Corba característica del grup de pressió P1A/B. [29]

S'ha seguit el mateix procediment però per als paràmetres de disseny de la bomba P1A/B escollint el model *Hydro MPC-E 2 CRE3-8* amb el punt d'operació que es mostra en la corba característica de la bomba en la figura 26.

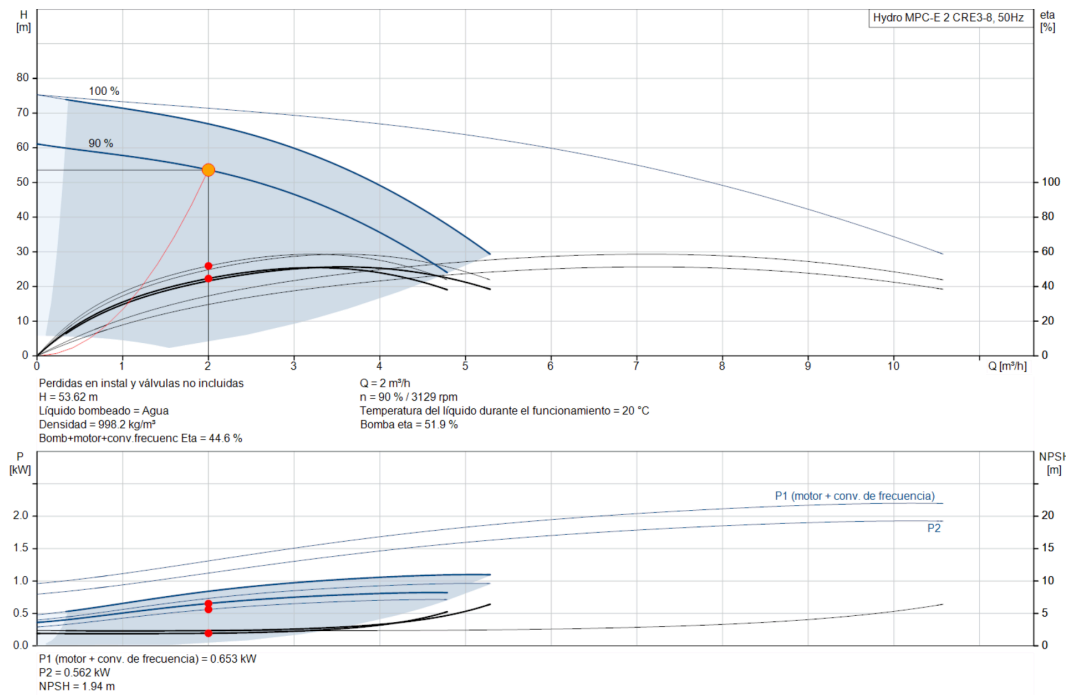


Figura 26. Corba característica del grup de pressió P2A/B. [29]

- Bombes P3A/B/C/D

S'ha seleccionat el model *Atmos GIGA-D 100/170-30/2* segons el punt de treball en la corba característica de la bomba tal com es mostra en la figura 27.

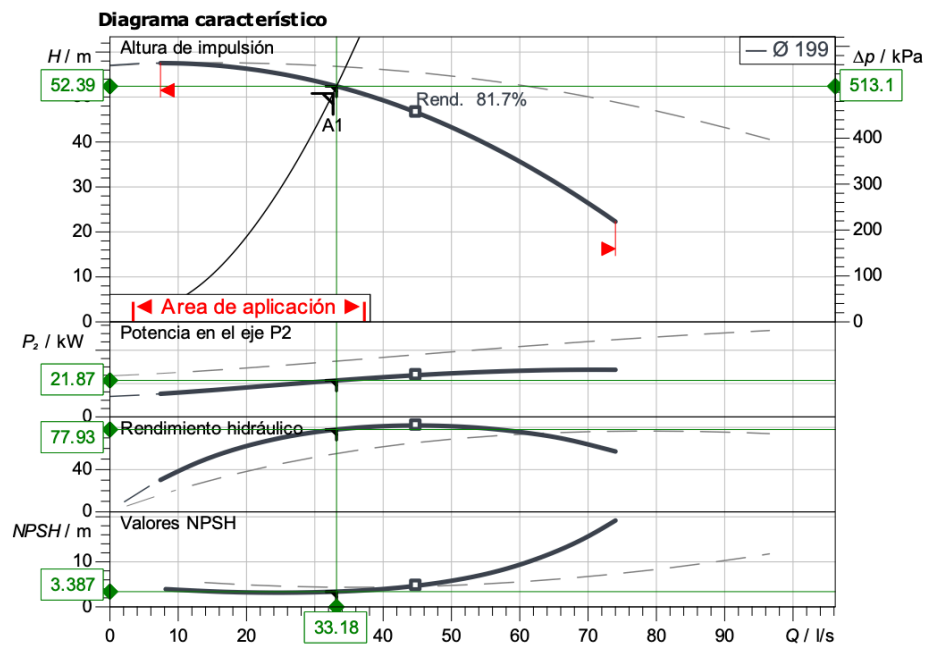


Figura 27. Corba característica de les bombes P3A/B/C/D. [30]

- Bombes P4A/B/C

S'ha seleccionat el model *Atmos GIGA-N 65/250-30/2* segons el punt de treball requerit en la corba característica de la bomba com es mostra en la figura 28.

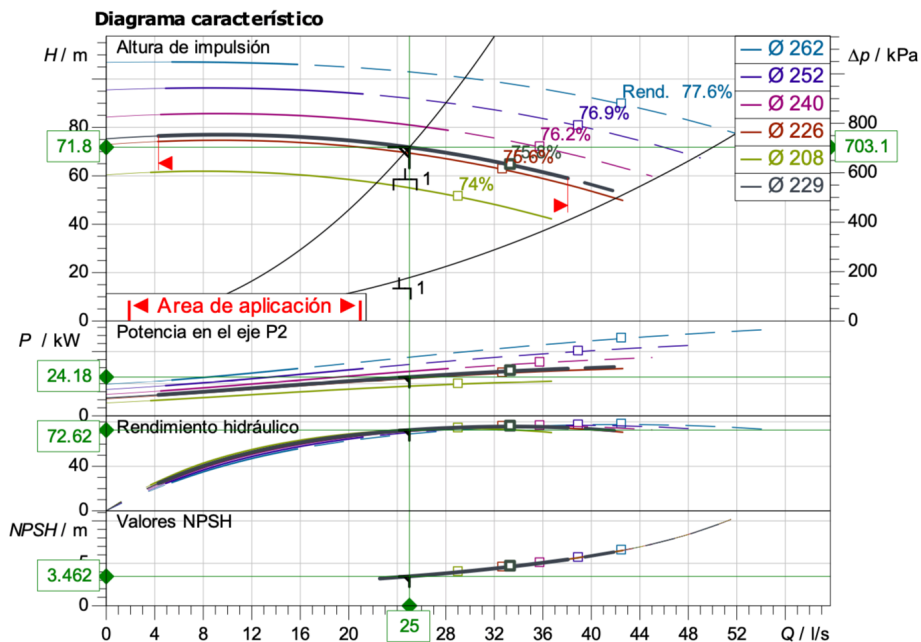


Figura 28. Corba característica de les bombes P4A/B/C. [31]

4.11.5. Disseny del la xarxa de canonades

a) Condicions de disseny:

Primerament s'ha establert les condicions d'entrada del fluid en la taula 4.11.5.1.

Taula 4.11.5.1. Condicions de disseny per la xarxa de canonades.

Paràmetre	Valor
Tipus de fluid	Aigua de xarxa/refrigeració
Pressió d'operació	2-7 barg
Temperatura d'operació	10-20 °C
Material	P235GH

Taula 4.11.5.2.. Especificacions per P235GH

Grau	P235GH (A285)
Nº	1.0345
Classificació	Acer de qualitat no aliat
Densitat	7,850 kg/m <sup>3</sup>
Estàndard	<p><b>EN 10028-2:</b> 2009 Productes plans d'acers per a pressió. Acers no aliats i aliats amb propietats de temperatura elevada especificades</p> <p><b>EN 10216-2:</b> 2014 Tubs d'acer sense soldadura per a pressió. Condicions tècniques de lliurament. Tubs d'acer no aliat i aliat amb propietats de temperatura elevada especificades</p> <p><b>EN 10217-5:</b> 2002 Tubs d'acer soldats per a pressió. Tubs d'acer aliat i no aliat soldats per arc submergit amb propietats de temperatura elevada especificades</p> <p><b>EN 10217-2:</b> 2002 Tubs d'acer soldats per a pressió. Tubs d'acer aliat i no aliat soldats elèctricament amb propietats de temperatura elevada especificades</p> <p><b>EN 10253-2:</b> 2007 Accessoris de canonada amb soldadura. Acers no aliats i fèrrics amb requisits d'inspecció específics</p> <p><b>EN 10273:</b> 2007 Barres d'acer soldables laminades en calent amb finalitats de pressió amb propietats de temperatura elevada especificades</p>

Taula 4.11.5.3. Referència de graus equivalents a l'acer 1.0345 (Regió/Estàndard).

EU/EN	USA/ASTM	GER/DIN	JAP/JIS	FRA/AFNOR	ENG/BS	ITA/UNI	SPA/UNE
P235GH	A285	Ast35	SB410	A37AP	161Gr.360	Fe360-1KG	A37RCI

## b) Dimensionat de canonades:

Per tal de dimensionar les canonades de la xarxa d'*utilities* s'han utilitzat velocitats de treball típiques segons el tipus de fluid de la Taula 4.11.5.4.

Taula 4.11.5.4. Velocitats de disseny raonables per a flux de fluids en canonades.<sup>[32]</sup>

Fluid	Pressió (kPa gauge)	Aplicació	Velocitat (m/s)
Aigua	172-276	<i>City water</i>	0.610-1.52
Aigua	345-1034	<i>General use</i>	1.52-3.05
Aigua	>1034	<i>Boiler feed</i>	3.05-6.10

S'ha utilitzat un full de càlcul MS-Excel per tal de definir les pressions de cada canonada i s'ha interpolat la velocitat de treball per tal d'obtenir un valor més exacte dins dels rangs de la taula anterior.

c) Especificacions de canonades:

Una vegada definits el material de construcció i la pressió d'operació s'ha calculat el gruix de canonada i el *63chedule* comercial corresponent en l'annex A.6. Disseny de canonades, es pot consultar el llistat de canonades final a la Taula 4.7.1.



d) Pèrdues de càrrega:

Després de l'estimació inicial s'ha realitzat el càlcul rigorós per a les pèrdues de càrrega associades als diversos circuits i accessoris del sistema en l'annex A.5.3. Pèrdues de càrrega. Es va subministrar el *layout* complet de la planta de producció amb els punts finals de consum d'*utilities* per tal d'establir la rutina de canonades i els diversos accessoris del P&ID.



#### **4.12. Fulls d'especificacions**

A continuació es mostren els diversos fulls d'especificacions dels equips principals de la xarxa d'*utilities*. Aquests documents presenten la informació més rellevant pel que fa a paràmetres de disseny, operació, materials de construcció i dimensions dels equips.


4.12.1. Compressor K1/2/3

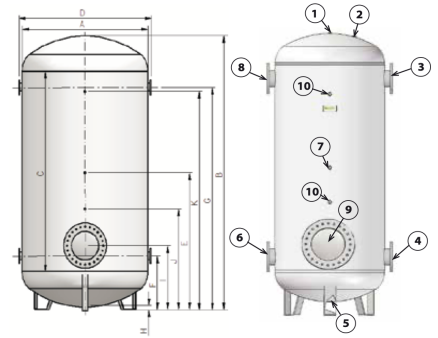
PROJECT		Green Olive Project	 <b>SPECS. SHEET</b> <b>Pressure Vessel</b>		REV	<b>01</b>
COMPANY		RPU			SHEET N°	1 of 1
BUSINESS UNIT		Recycling	<b>RAVAGO PETROKIMYA ÜRETİM</b>		DATE	25/11/24
PLANT		Aliaga, Izmir			PREPARED	A. MARCH
ITEM		Compressor K1A/B/C			REVISED	A. DONADO
SERVICE		Instrument Air				
GENERAL	DESCRIPTION		Oil flooded rotary screw compressor BSD 75 SFC @ 7.5bar			
	QTY. OPERATION/SPARE		2 Operation + 1 Spare			
	TYPE		Screw			
	DRIVE TYPE		Direct drive with VFD			
FLUID PROPERTIES	COMPOSITION	Component 1	N2	78%	SAMPLE PHOTO 	
		Component 2	O2	21%		
		Component 3	Others	1%		
	MOLECULAR WEIGHT		28.97	g/mol		
	DENSITY		1.13	kg/m3		
	VISCOSITY		0.02	cP		
	CP/CV RELATION		1.40	-		
	COMPRESSIBILITY FACTOR		1.00	-		
OPERATION	<b>Aspiration conditions</b>					
	Flow	Minimum	92.4	Nm <sup>3</sup> /h		
		Maximum	441	Nm <sup>3</sup> /h		
	INLET PRESSURE		1.00	barg		
	INLET TEMPERATURE		40.0	°C		
	<b>Discharge Conditions</b>					
	DISCHARGE PRESSURE		6.00	barg		
	MAWP		10.0	barg		
	YIELD		70.0	%		
	POWER		37.0	kW		
DESIGN & TESTING	CODES	ISO 8573-1				
		TS EN 1012-1				
	DESIGN SPECS.	TEMPERATURE	40 °C			
		PRESSURE	7.50 bar			
		DENSITY	1.13 kg/m3			
	SEALING		Shaft mechanical seal			
LUBRICATION SYSTEM		Oil injected				
ACOUSTIC PRESSURE		95 dB(A)				
MATERIALS			DESCRIPTION	COMMENTS		
	BODY		Orthogonal	1665 x 1030 x 1700		
	DRYWEIGHT		1070 kg			
	FLANGES		Outlet G 1 1/2"			
NOZZLES	BRAND	QTY.	SERVICE	D.N.	RATING	
NOTES						

4.12.2. Chiller C1/2



<b>PROJECT</b>	Green Olive Project	 <b>SPECS. SHEET</b> <b>Air-Cooled Chiller</b>	<b>REV</b>	<b>01</b>
<b>COMPANY</b>	RPU		<b>SHEET Nº</b>	1 of 1
<b>BUSINESS UNIT</b>	Recycling		<b>DATE</b>	20/11/24
<b>PLANT</b>	Aliaga, Izmir		<b>PREPARED</b>	A. MARCH
<b>ITEM</b>	<b>CIA/B</b>	<b>RAVAGO PETROKIMYA ÜRETİM</b>	<b>REVISED</b>	A. DONADO
<b>SERVICE</b>	Cooling water		<b>APPROVED</b>	13/12/24
			<b>QTY.</b>	2
<b>GENERAL DATA</b>			<b>SAMPLE PHOTO</b> 	
MODEL	YVAA - VSD Screw			
NET COOLING CAPACITY	683.8	kW		
NOMINAL POWER	400-3-50	V-ph-Hz		
COP (calc)	4.20	-		
DRY WEIGHT	5850	kg		
<b>EVAPORATOR DATA</b>				
REFRIGERANT TYPE	R-134a			
REFRIGERANT CHARGE	150	kg		
DESIGN FLOW RATE	32.67	L/s		
TOTAL PRESSURE DROP	58.7	kPa		
FLUID	Water			
FLUID VOLUME	182	L		
MIN. DESIGN FLOW RATE	12.62	L/s		
MAX. DESIGN FLOW RATE	49.84	L/s		
FOULING FACTOR	0.0176	m2K/kW		
Nº OF PASSES	2	-		
<b>CONDENSER DATA</b>				
TYPE	Air-cooled			
AMBIENT TEMPERATURE DESIGN	40.0	°C		
ALTITUDE	0.00	m		
<b>ELECTRICAL DATA</b>				
CIRCUIT	1	2		
FAN QTY/FLA	6/2.5	4/2.5		
COMPRESSOR WORK (kW)	129.4	100.4		
COMPRESSOR RLA	213	165		
COMPRESSOR kW	229.8			
TOTAL kW	246.5			
<b>PART LOAD RATING DATA</b>				
<b>Load %</b>	<b>Ambient (°C)</b>	<b>Capacity (kW)</b>	<b>Total kW</b>	<b>COP (kW/kW)</b>
100	40.0	683.8	246.5	2.774
75	29.8	512.8	125.3	4.092
50	19.7	341.9	56.74	6.026
25	12.8	170.9	21.32	8.018
<b>COUPLINGS/NOZZLES</b>				
<b>BRAND</b>	<b>Qty</b>	<b>SERVICE</b>	<b>NPS</b>	<b>RATING</b>
	1	Cooling water inlet	6 in	PN16
	1	Cooling water outlet	6 in	PN16
	1	Evaporator drain	3/4 in	
<b>NOTES/COMMENTS</b>				

4.12.3. Tanc B3

PROJECT		Green Olive Project	SPECS. SHEET		REV	01		
COMPANY		RPU		Cooling Water Tank		SHEET Nº	1 of 1	
BUSINESS UNIT		Recycling		RAVAGO PETROKIMYA ÜRETİM		DATE	10/11/12	
PLANT		Aliaga, Izmir			PREPARED	A. MARCH		
ITEM		Tank B3			REVISED	A. DONADO		
SERVICE		Cooling water			APPROVED	16/12/24		
					QTY.	1		
OPERATION	DESCRIPTION		10,000L Carbon Steel cylindrical tank with ellipsoidal heads (2:1)					
	PRODUCT		Cooling water					
	TEMPERATURE		10-20 °C					
	PRESSURE		3.00 barg					
	DENSITY		998.2 kg/m3					
CONSTRUCTION	DIMENSIONS	DIAMETER	1.91	m	DISEÑO Y PRUEBA	CODE/STANDARD	ASME BVCP Section VIII.1	
		LONG. / ALT.	4.70	m		DESIGN SPECS.	MAWT	40.0 °C
		WIDTH	6.30	mm		MAWP	6.00 barg	
	TANK HEADS	TOP	Welded			DENSITY	7,850	kg/m3
		BOTTOM	Welded			PRESSURE TEST	HYDRAULIC	7.40 barg
	VOL. / WEIGHT	VOL. (USABLE)	10.0	m3		PNEUMATIC	-	
		VOL. (TOTAL)	13.63	m3		CORROSION ALLOWANCE (CA)	2.00	mm
		WEIGHT	1,452	kg		WELD EFFICIENCY	0.70	-
	ORIENTATION	Vertical						
	MATERIAL	A516 Gr. 70 (1.0473)						
	INSULATION	-						
	COATING	Epoxy						
MATERIALS	DESCRIPTION		Sample Photo					
	BODY		CYLINDRICAL SHELL					
	TANK HEADS		ELLIPSOIDAL (2:1)					
	BODY FLANGES							
	STUB ENDS FOR LAP JOINT FLANGE							
	NOZZLE FLANGE							
	NOZZLES							
	BAFFLES							
	DEFLECTOR PLATES							
	INTERNAL SUPPORTS							
	BOLTS/NUTS INT.							
	BOLTS/NUTS EXTER.							
	INTERIOR GASKETS							
	EXTERIOR GASKETS							
EXTERNAL SUPPORTS								
NOZZLES	ID	QTY.	SERVICE		PORTS	RATING		
	1	1	Purge		1/2"			
	2	1	Pressure safety valve		1 1/2"			
	3	1	Outlet to hot circuit		5"	PN10		
	4	1	Outlet to cold circuit		5"	PN10		
	5	1	Drain		2"			
	6	1	Inlet from cooling unit		5"	PN10		
	7	1	Temperature transmitter nozzle		1/2"			
	8	1	Return to cooling unit		5"	PN10		
	9	1	Manhole		DN 400			
	10	2	Probe ports		1/2"			
NOTES								



4.12.4. Tanc B4

PROJECT		Green Olive Project		SPECS. SHEET		REV	01			
COMPANY		RPU		Buffer Tank		SHEET N°	1 of 2			
BUSINESS UNIT		Recycling	<b>RAVAGO PETROKIMYA ÜRETİM</b>			DATE	3/11/24			
PLANT		Aliaga, Izmir				PREPARED	A. MARCH			
ITEM		Tank B5	RAVAGO PETROKIMYA ÜRETİM		REVISED	A. DONADO				
SERVICE		Compressed air			APPROVED	06/12/24				
					QTY.	1				
OPERATION	DESCRIPTION		2000L Galvanised Air receiver with ellipsoidal heads (2:1)							
	PRODUCT		Compressed air							
	TEMPERATURE		50,00 °C							
	PRESSURE		6.00 barg							
	DENSITY		7.55 kg/m3							
CONSTRUCTION	DIMENSIONS	DIAMETER	1.150 m		DISEÑO Y PRUEBA	CODE/STANDARD	ASME BVCP Section VIII.1			
		LONG. / ALT.	2.375 m			DESIGN SPECS.	TS EN 13445-3			
		WIDTH body/head	7.90/6.30 mm			MAWT	70.0 °C			
	TANK HEADS	TOP	Welded			MAWP	11.0 barg			
		BOTTOM	Welded			DENSITY	7,850 kg/m3			
	VOL. / WEIGHT	VOL. (USABLE)	2.00 m3			PRESSURE TEST	HYDRAULIC	14.30 barg		
		VOL. (TOTAL)	2.267 m3				PNEUMATIC	-		
		WEIGHT	470,00 kg				CORROSION ALLOWANCE (CA)	2.00 mm		
	ORIENTATION	Vertical					WELD EFFICIENCY	0.70 -		
	MATERIAL	A516 Gr. 70 (1.0473)					STRESS YIELD	129 Mpa		
INSULATION	-					RADIOGRAPHIC TESTING (RT)	-			
COATING	Galvanised									
MATERIALS			DESCRIPTION		Sample Photo					
	BODY		CYLINDRICAL SHELL							
	TANK HEADS		ELLIPSOIDAL (2:1)							
	BODY FLANGES									
	STUB ENDS FOR LAP JOINT FLANGE									
	NOZZLE FLANGE									
	NOZZLES									
	BAFFLES									
	DEFLECTOR PLATES									
	INTERNAL SUPPORTS									
	BOLTS/NUTS INT.									
	BOLTS/NUTS EXTER.									
	INTERIOR GASKETS									
	EXTERIOR GASKETS									
EXTERNAL SUPPORTS										
NOZZLES	DESIGNATION	QTY.	SERVICE		PORTS	RATING				
		1	Compressed air inlet		G 2 1/2"					
		1	Pressure gauge		G 2 1/2"					
		1	Pressure safety valve		G 2 1/2"					
		1	Automatic drain valve		G 2 1/2"					
		2	Spare		G 3/4"					
NOTES										









## 5. SEGURETAT INDUSTRIAL

### 5.1. Hazard and Operability Study (HazOp)

El *HazOp* permet aplicar una metodologia sistemàtica en la tasca d'examinar els riscos potencials associats a l'operació d'una nova instal·lació. Aquest estudi permet identificar i analitzar les possibles fallades o desviacions en processos industrials, per tant, es pot afirmar que un *HazOp* detallat i ben fonamentat és clau per tal de garantir que els sistemes i procediments puguin treballar de manera segura.

Una vegada s'han definit els diversos esdeveniments, s'hi implementen una sèrie de salvaguardes o equips de protecció amb l'objectiu de reforçar la seguretat i disminuir les conseqüències causades per fallades en el procés mitjançant l'anàlisi de capes de protecció que es troba en l'annex A.7. *Layer Analysis Of Protection (LOPA)*.

S'han especificat diverses "paraules guia" que ajuden a descriure els diversos esdeveniments concrets que poden ocórrer en la instal·lació.

Taula 5.1.1. Paraules guia emprades en el *HazOp*.

Paraula guia	Descripció
No	Algun fet que hauria d'ocórrer no es dona.
Més	Offset per excés sobre la consigna o l'operació normal
Menys	Offset per insuficiència sobre la consigna o l'operació normal
Invers	L'esdeveniment es dona en sentit contrari
Altres	Operacions o variables no previstes

En l'estudi *HazOp*, l'avaluació de riscos en l'operació del sistema no engloba el P&ID del procés complet de manera simultània. Es defineixen diversos nodes com a punts específics del procés, per tal de dur a terme una anàlisi segmentada. Els nodes inclouen equips principals, vàlvules, línies de flux o canvis en condicions d'operació. Aquest procediment permet que l'estudi estigui ben estructurat i organitzat assegurant una bona traçabilitat dels esdeveniments i accions simplificant la perspectiva del conjunt. A continuació es mostren els tres sistemes diferenciats en la xarxa d'*utilities*:

- Sistema de tractament d'aigües (filtració i descalcificadors).
- Sistema d'aigua de refrigeració (*chillers* i bombes).
- Sistema d'aire d'instruments (compressors, assecadors i condensats).

5.1.1. Sistema d'aigua descalcificada

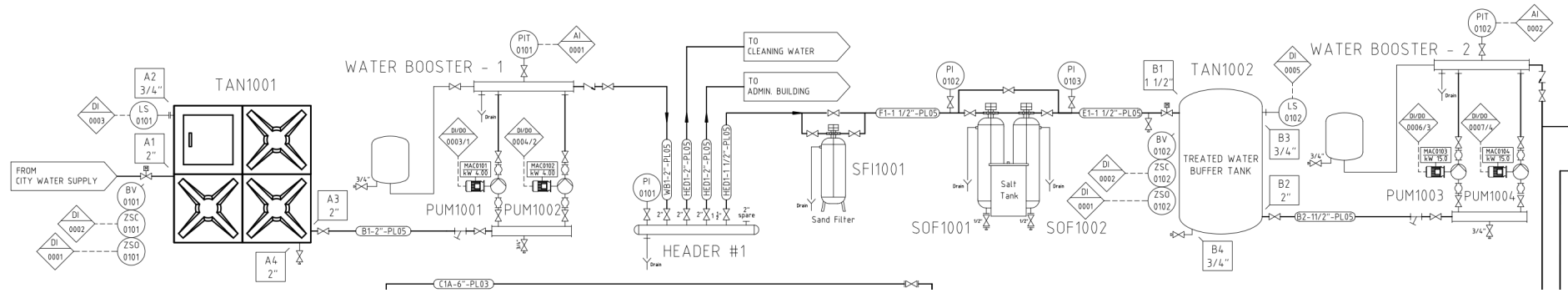


Figura 29. Secció del P&ID corresponent al node del sistema d'aigua tractada.

Taula 5.1.1.1. HazOp del node del sistema d'aigua tractada.

P. guia	Desviació	Causes	Conseqüències	C	F	R	Salvaguarda	C	F	R	Accions
Més	Més nivell en TAN1001	Fallada controlador. LS0101 no detecta nivell alt. Fallada vàlvula. BV0101 no tanca.	Sobre ompliment del tanc d'aigua de xarxa, vessament a través del venteig, si l'aigua no pot ser evacuada ruptura del tanc.	1	-1	D					
	Més nivell en TAN1002	Fallada controlador. LS0102 no detecta nivell alt. Fallada vàlvula. BV0102 no tanca.	Sobre ompliment del tanc d'aigua de xarxa, vessament a través del venteig, si l'aigua no pot ser evacuada ruptura del tanc.	1	-1	D					

	Més cabal en SFI1001 i SOF1001/2	Fallada bombes. VFD no actua segons les necessitats del sistema i subministra massa cabal.	Embrutiment prematur dels equips, augment dels cicles de rentat a contra flux i regeneració. Pujada de pressió en els equips.	1	-1	D
	Més pressió en SFI1001 i SOF1001/2	Embrutiment de l'equip. Filtres saturats, manteniment insuficient.	Pèrdua de càrrega, ineficiència del sistema. Tema operacional.	1	-2	D
Menys	Menys nivell en TAN1001	Fallada controlador. LS0101 no detecta nivell baix Fallada vàlvula. BV0101 no obre	Subministrament d'aigua de xarxa insuficient. Problemes per cavitació a les bombes PUM1001/2. Desgast dels components i fallada de l'equip.	1	-1	D
	Menys nivell en TAN1002	Fallada controlador. LS0101 no detecta nivell baix Fallada vàlvula. BV0102 no obre	Subministrament d'aigua de xarxa insuficient. Problemes per cavitació a les bombes PUM1003/4. Desgast dels components i fallada de l'equip.	1	-1	D

	Menys cabal en SFI1001 i SOF1001/2	a	Fallada bombes PUM1001/2 no subministren el cabal de disseny.	Ineficiència en el sistema. Tema operacional	1	-1	D
No	No flux TAN1001	a	Fallada subministrament d'aigua de xarxa	Parada del sistema. Tema operacional.	1	-1	D
	No flux TAN1001	a	Fallada de la vàlvula. BV0101 no obre.	Parada del sistema. Tema operacional.	1	-1	D
	No flux TAN1002	a	Fallada de la vàlvula. BV0102 no obre.	Parada del sistema. Tema operacional.	1	-1	D
	No flux TAN1002	a	Obstrucció de la línia FIL1001, SOF1001/2 saturats.	Parada del sistema. Tema operacional.	1	-2	D
	No flux en SFI1001 i SOF1001/2	en i	Fallada bombes PUM1001/2 no subministren cabal.	Parada del sistema. Tema operacional.	1	-1	D

5.1.2. Sistema d'aigua de refrigeració

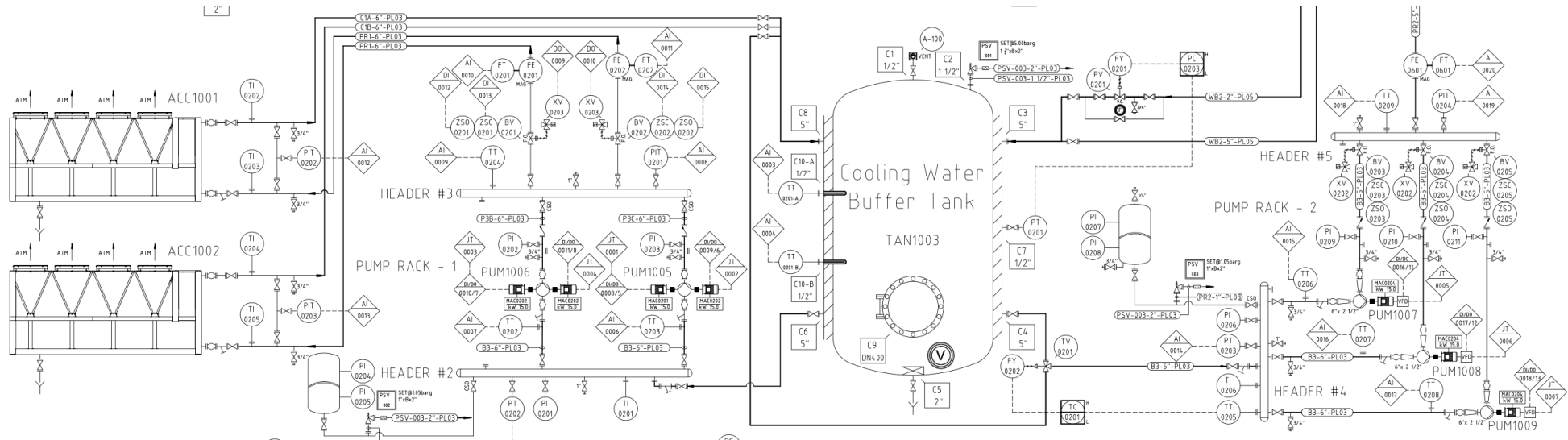


Figura 30. Secció del P&ID corresponent al node del sistema d'aigua de refrigeració.

Taula 5.1.2.1. HazOp del node del sistema d'aigua de refrigeració.

P. guia	Desviació	Causes	Conseqüències	C	F	R	Salvaguarda	C	F	R	Accions
Més	Més temperatura en TAN10003.	Mal funcionament en ACC1001/2. Les refredadors no retornen l'aigua al set point de temperatura.	Subministrament a procés fora d'especificacions de temperatura. Tema operacional, possibilitat de malmetre equips refrigerats.	1	-1	D					

Més pressió en TAN10003.	Fallada de vàlvula.  La vàlvula PV0201 no regula bé l'entrada fresca i alimenta més cabal del necessari.  Fallada controlador.  El transmissor de pressió PT0201 no detecta correctament la pressió en TAN1003.	Augment de la pressió en el tanc, si supera MAWP ruptura catastròfica, fuga d'aigua de refrigeració.	3	-1	A	La vàlvula de seguretat PSV001 obrirà a 5barg (4 IPL).	3	-5	D	Configurar una alarma de pressió elevada.
Més pressió en aspiració PUM1005/6	Bomba parada  PUM1005/6 no evacuen el fluid.	Augment de la pressió en la línia ja que l'aigua no és evacuada. Possible ruptura de línia.	3	-1	B	La vàlvula de seguretat PSV002 obrirà a 16 barg (4 IPL).	3	-5	D	
Més pressió en aspiració PUM1005/6	Bomba parada  PUM1007/8/9 no evacuen el fluid.	Augment de la pressió en la línia ja que l'aigua no és evacuada. Possible ruptura de línia.	3	-1	B	La vàlvula de seguretat PSV003 obrirà a 16 barg (4 IPL).	3	-5	D	

Més pressió en descàrrega PUM1005/6	Obstrucció a la descàrrega ( <i>deadheading</i> ).  Fallada de vàlvula.  BV0201/2 tancades.  Vàlvules manuals tancades.	Augment de la pressió en la línia, la bomba segueix treballant i no s'evacua el fluid.  Augment de la temperatura i desgast dels components.  Possible ruptura.	3	-1	A	S'instal·la un CSO ( <i>car seal open</i> ) en les vàlvules manuals.  Les vàlvules es configuren en <i>fail open</i> (F.O.), per tant obriran.	3	-3	B	Implementar una recirculació cap a l'aspiració.
Més pressió en PUM1007/8/9	Obstrucció a la descàrrega ( <i>deadheading</i> ).  Fallada de vàlvula.  BV0203/4/5 tancades.	Augment de la pressió en la línia, la bomba segueix treballant i no s'evacua el fluid.  Augment de la temperatura i desgast dels components.  Possible ruptura.	3	-1	A	Les vàlvules es configuren en <i>fail open</i> (F.O.), per tant, obriran.	3	-2	B	Implementar una recirculació cap a l'aspiració.
Més cabal en ACC1001/2.	Fallada controlador.  Mesurador màssic 0201/2 no llegeix correctament el valor present de cabal.	Augment del cabal i la pressió dins del sistema de tubs de les refrigeradores. Mal funcionament per treballar fora de les condicions de disseny, desgast de l'equip, si	3	-1	A	Realitzar inspeccions periòdiques durant les parades per MTO.	3	-2	B	Implementar alarma de cabal elevat en FC0201/2.

		Fallada bombes. Calibratge incorrecte de rpm.	supera MAWP ruptura catastròfica.								
Més cabal en PUM1007/8/9.		Fallada controlador. Mesurador màssic 0203 no llegeix correctament el valor present de cabal.	Augment del cabal i la pressió en equips de procés refrigerats. Mal funcionament per treballar fora de les condicions de disseny, desgast de l'equip, si supera MAWP ruptura catastròfica.	3	-1	A	Realitzar inspeccions periòdiques durant les parades per MTO.	3	-2	B	Implementar alarma de cabal elevat en FC0203-
		Fallada bombes. Calibratge incorrecte de rpm.	supera MAWP ruptura catastròfica.								
		Fallada variador. VFD no actua en segons necessitats del sistema.									
Menys	Menys temperatura en TAN10003.	Fallada refrigeradores. ACC1001/2 tracten una càrrega tèrmica superior al set point de temperatura EWT	Disminució de la temperatura en TAN1003. Mal funcionament de refrigeradores. Equips de procés reben aigua fora d'especificacions,	1	-1	D					

---

	i subministren aigua massa freda.	possible mal funcionament en motors refrigerats i pel·letitzador. Parada de línia per seguretat.			
Menys pressió en TAN10003.	Fallada controlador. La vàlvula PV0201 no regula bé l'entrada fresca i alimenta menys cabal del necessari.  Fallada controlador.  El transmissor de pressió PT0201 no detecta correctament la pressió en TAN1003.	Disminució de la pressió en TAN1003, possible augment de l'evaporació en el sistema, problemes de cavitació en bombes, desgast i fallada d'equips.	1	-1	D
Menys cabal en ACC1001/2.	Fallada controlador. Mesurador màssic 0201/2 no llegeix correctament el valor present de cabal.	Disminució del cabal i la pressió en refrigeradores. Mal funcionament per treballar fora de les condicions de disseny. Tema operacional.	1	-1	D

---

---

		Fallada bombes.			
		Calibratge incorrecte de rpm.			
	Menys cabal en PUM1007/8/9.	Fallada controlador. Mesurador màssic 0203 no llegeix correctament el valor present de cabal.	Disminució del cabal i la pressió en equips de procés refrigerats. Mal funcionament per treballar fora de les condicions de disseny. Tema operacional.	1	-1 D
		Fallada bombes.			
		VFD no actua en segons necessitats del sistema.			
		Calibratge rpm			
No	Flux a TAN1003	Fallada sistema aigua tractada. Parada del subministrament. Fallada controlador.PT0201 detecta pressió per sobre del set point i tanca l'alimentació completament.	Esgotament del subministrament d'aigua de refrigeració en exhaurir el pulmó de TAN1003. Parada de línies de producció.	1	-1 D

---

5.1.3. Sistema d'aire comprimit

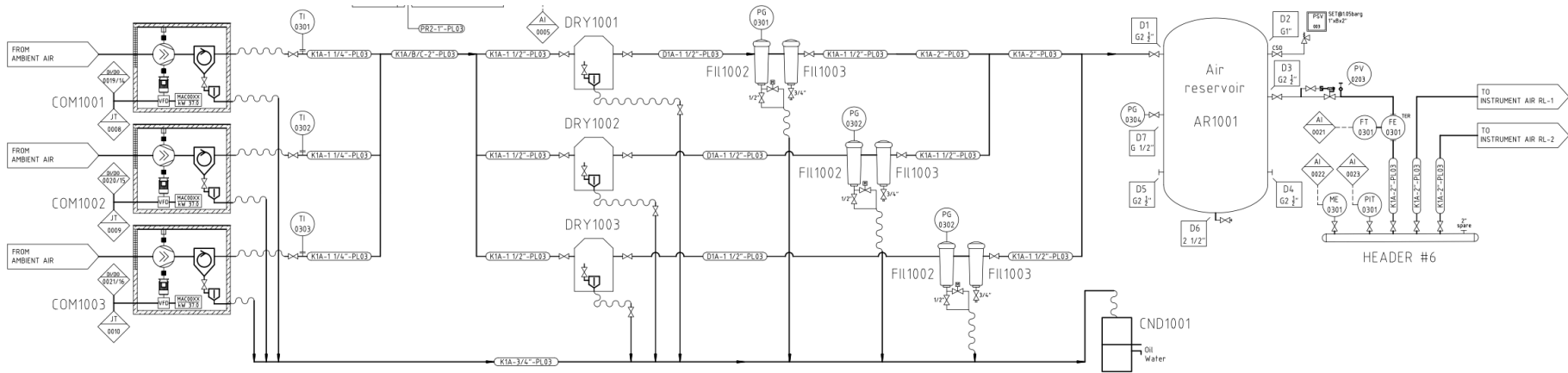


Figura 31. Secció del P&ID corresponent al node del sistema d'aire d'instruments.

Taula 5.1.3.1. HazOp del node del sistema d'aire d'instruments.

P. guia	Desviació	Causes	Conseqüències	C	F	R	Salvaguarda	C	F	R	Accions
Més	Més pressió en AR1001	Fallada vàlvula. PV0301 no ajusta bé la pressió de la línia.	Acumulació d'aire comprimit en el tanc, ruptura catastròfica, explosió.	4	-1	A	La vàlvula de seguretat PSV003 saltarà a 10 barg alliberant la pressió del tanc.	4	-5	C	Implementar un sensor de pressió i un controlador amb alarma de pressió elevada
	Més pressió en la línia d'aire	Fallada controlador.	Pressió superior a l'operació convencional. Desgast i ruptura	4	-1	A	Els reguladors de pressió dels punts finals de consum ajusten la pressió al	1	-1	D	

	PIT0301 no detecta la lectura de pressió correctament.	d'equips sensibles o canonades.				set point del fabricant. S'implementa una vàlvula controladora de pressió PV0301 per modular fluctuacions sobtades en la línia.	
Més pressió en FIL1002/3	Embrutiment dels filtres.	Augment de la pèrdua de càrrega. Qualitat de l'aire fora d'especificacions. Possible desgast en equips sensibles.	1			Els filtres disposen d'indicadors de pressió diferencial que mostren la pèrdua de càrrega.	Programació de manteniment preventiu segons els valors de pèrdua de càrrega i recomanacions del fabricant.
Més humitat en el sistema.	Mal funcionament de DRY1001/2/3.	Augment dels valor d'humitat en la xarxa d'aire d'instruments, condensació en línies i equips. Desgast de components i possible corrosió. Augment del flux en el separador aigua/oli. Sobrecàrrega del sistema de	2	-1	C	Llaç de control ME0301 monitoritza els nivells d'humitat en la línia.	Implementar una alarma d'humitat elevada.

---

			condensats. Ruptura de l'equip.	
	Més temperatura en la descàrrega de COM1001/2/3	Fallada compressor. Calibratge incorrecte de rpm. Fallada variador.  VFD no regula segons necessitats del sistema.	Augment de la temperatura a les línies, sobre esforç per part dels assecadors. Tema operacional.	Els indicadors de temperatura de relloige permeten una lectura individual a camp per cada compressor.
Menys	Menys pressió en AR1001	Fallada compressor. COM1001/2/3 detecta un una lectura de pressió superior al set point i baixa la pressió.  Calibratge incorrecte de rpm.	Disminució de la pressió i cabal d'aire. Pressió insuficient en les línies d'aire comprimit, instrumentació no actua. Parada de línia per seguretat.	Llaç de control PIT0301 permet monitoritzar la pressió de la línia. S'implementa una vàlvula controladora de pressió PV0301 per modular fluctuacions sobtades en la línia.

---

---

		Fallada variador.		
		VFD no regula segons necessitats del sistema.		
No	No pressió en la línia d'aire comprimit.	Fallada compressors. Equips parats per averia. Fuita en el sistema.	Escapament d'aire comprimit. Caiguda de la instrumentació amb actuació pneumàtica. Parada de la línia per seguretat.	Llaç de control PIT0301 permet monitoritzar la pressió de la línia.
	No cabal en la línia d'aire comprimit	Fallada compressors. Equips parats per averia.	Caiguda de la instrumentació amb actuació pneumàtica. Parada de la línia per seguretat.	El sistema es configura amb. Un compressor extra que actua com a <i>backup</i> .

---

## 6. GESTIÓ MEDIAMBIENTAL

### 6.1. Consum energètic

En la fase de disseny i selecció d'equips, s'ha tingut en compte l'eficiència energètica de cada unitat de procés com a criteri de selecció així com l'optimització dels consums energètics mitjançant la implementació de motors amb variador de freqüència (VFD). Aquesta configuració dels diversos sistemes, permet ajustar el rendiment dels equips principals segons la demanda del procés. D'aquesta manera s'aconsegueix reduir els costos d'operació i a la vegada mitigar l'impacte ambiental associat al consum d'electricitat.

### 6.2. Recursos

Pel que fa al consum d'aigua de xarxa, s'ha intentat evitar sistemes de refrigeració de gran consum com poden ser les torres de refrigeració. D'altra banda, s'ha dissenyat el sistema de refrigeració per a treballar com un circuit tancat. Aquesta distribució se centra a maximitzar la recirculació d'aigua de manera que el consum es redueix en contrarestar les pèrdues per evaporació del sistema.

### 6.3. Residus

La gestió de residus en la xarxa d'*utilities* d'una instal·lació industrial, requereix un control rigorós de la qualitat de l'aigua abans de ser abocada al drenatge de sortida del *site*. La implementació d'estacions depuradores d'aigües residuals (EDAR) juga un paper important per tal d'operar segons els límits establerts per les normatives específiques, per tant, s'ha identificat els principals residus generats en la Taula 6.3.1.

Taula 6.3.1. Residus principals del sistema d'*utilities*.

Servei	Residus	Gestió
Aigua de xarxa	Aigües residuals	EDAR
Aigua descalcificada	Resines de bescanvi iònic	Reutilització i abocament
	Aigües residuals	EDAR
Aigua de refrigeració	Aigües residuals	EDAR

### 6.4. Control i monitorització

Per assegurar una operativa correcte en el funcionament d'una EDAR cal monitoritzar i ajustar diversos paràmetres de procés per l'afluent i l'efluent d'aquesta. El seguiment de les qualitats dels fluxos d'aigua generalment s'aconsegueix mitjançant mesures en línia o anàlisis periòdiques de mostres en diversos punts del procés. Els paràmetres a controlar i la freqüència del seguiment són variables que depenen de les característiques de les aigües a tractar, la tecnologia emprada en el tractament i el medi d'abocament final.

El tractament d'aigües residuals es troba fora de l'abast del projecte, i per tant, s'ha tingut en compte un llistat dels paràmetres més comuns que es tenen en compte en la monitorització del tractament d'aigües residuals en la Taula 6.4.1.

Taula 6.4.1. Règims de seguiment per EDAR. [15]

	Parameter	Frequency
Influent to the WWTP	<b>Routinely monitored</b>	
	Waste water flow	Continuous
	pH	Continuous
	Temperature	Continuous
	COD	Continuous Daily/weekly/monthly
	<b>Non-routinely monitored</b>	
	TOC	Continuous Daily/weekly/monthly
	BOD <sub>5</sub>	Daily/weekly/monthly
	Total suspended solids (TSS)	Daily or other
	Total nitrogen (TN) <sup>(1)</sup>	Continuous Daily/weekly/monthly
	Total inorganic nitrogen (N <sub>inorg</sub> ) <sup>(1)</sup>	Daily/weekly or other
	Ammonia (NH <sub>4</sub> -N)	Daily/weekly or other
	Nitrite (NO <sub>2</sub> -N)	Daily/weekly or other
	Nitrate (NO <sub>3</sub> -N)	Daily/weekly or other
	Total phosphorus (TP)	Continuous Daily/weekly/monthly or other
	Orthophosphate (PO <sub>4</sub> -P) <sup>(2)</sup>	Daily/weekly
	AOX	Daily/weekly/monthly
	Heavy metals <sup>(3)</sup>	Daily/weekly/monthly or other
	Bacteria toxicity <sup>(2)</sup>	Daily/monthly
	Phenols <sup>(2)</sup>	Daily/weekly or other
	Chloride <sup>(2)</sup>	Daily/weekly or other
	Sulphate <sup>(2)</sup>	Daily/weekly/monthly
Cyanide (free) <sup>(2)</sup>	No information provided	
Other <sup>(4)</sup>	Site-specific	
Effluent from the WWTP	<b>Routinely monitored</b>	
	Waste water flow	Continuous
	pH	Continuous Daily or other
	Temperature	Continuous
	COD	Daily/weekly/monthly or other
	BOD <sub>5</sub>	Daily/weekly/monthly or other
	Total suspended solids (TSS)	Continuous Daily/weekly/monthly or other
	Total nitrogen (TN) <sup>(1)</sup>	Daily/weekly or other
	Total inorganic nitrogen (N <sub>inorg</sub> ) <sup>(1)</sup>	Daily/weekly or other
	Ammonia (NH <sub>4</sub> -N)	Daily/weekly or other
	Nitrite (NO <sub>2</sub> -N)	Daily/weekly or other
	Nitrate (NO <sub>3</sub> -N)	Daily/weekly or other
	Total phosphorus (TP)	Daily/weekly/monthly or other
	Orthophosphate (PO <sub>4</sub> -P) <sup>(2)</sup>	Daily/weekly
	Heavy metals <sup>(3)</sup>	Daily/weekly/monthly or other
	Chloride <sup>(2)</sup>	Daily/weekly/monthly or other
	<b>Non-routinely monitored</b>	
	TOC	Daily or other
	AOX <sup>(2)</sup>	Daily/weekly/monthly or other
	Toxicity (e.g. fish or fish egg, daphnia, algae, luminescence) <sup>(2)</sup>	Monthly or other
	Sulphate <sup>(2)</sup>	Daily/weekly/monthly or other
	Phenols <sup>(2)</sup>	Daily/weekly/monthly or other
Cyanide (free) <sup>(2)</sup>	Monthly or other	
Other (hydrocarbons, fluoride, etc.) <sup>(4)</sup>	Site-specific	
<sup>(1)</sup> Refers only to biological WWTPs. <sup>(2)</sup> Corresponding data were only collected during the first survey. <sup>(3)</sup> The following heavy metals were asked for in both surveys: Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn. The heavy metals monitored are site-specific based on the characteristics of the waste water to be treated and the final effluent discharge medium. <sup>(4)</sup> Other parameters (e.g. hydrocarbons, fluoride) can be included in the monitoring regime depending on the characteristics of the waste water to be treated, the type of treatment techniques used and the final effluent discharge medium.		
Source: [ 222, CWW TWG 2013 ].		

## 7. AVALUACIÓ ECONOMICA

### 7.1. CAPEX

#### 7.1.1. Costos directes

Pel que fa als costos directes, s'ha comptabilitzat el cost de compra d'equips, materials i la instal·lació d'aquests.

Taula 7.1.1.1. Costos directes associats al projecte

Concepte	Centre de cost	Import
Compra d'equips	Sistema d'aigua tractada	55,388.00€
Compra d'equips	Sistema de refrigeració	173,073.28€
Compra d'equips	Sistema d'aire comprimit	113,639.90€
Canonades i accessoris	Sistema de refrigeració	64,665.08€
Canonades i accessoris	Sistema d'aire comprimit	20,555.06€
Instal·lació	Global	64,098.00€
<b>TOTAL</b>		<b>491,419.52€</b>

#### 7.1.2. Costos indirectes

En els costos indirectes s'ha tingut en compte l'enginyeria i disseny dels sistemes, els permisos i llicències, la supervisió/gestió del projecte i les contingències. El disseny d'aquesta part del projecte s'ha realitzat amb recursos interns i la selecció i configuració final dels equips amb les diverses empreses dels fabricants. Per tant, s'ha fet una estimació de costos (6) en funció de les hores dedicades a l'enginyeria i generació de documentació d'oficina tècnica.

$$\text{Cost horari} = \frac{\text{Cost laboral anual}}{\text{Hores laborals efectives}} \quad (6)$$

Taula 7.1.2.1. Costos directes associats al projecte

Concepte	Centre de cost	Cost associat
Enginyeria i documentació	Oficina tècnica	13,800.00€
Direcció de la instal·lació	Gestió de projectes	23,000.00€
Permisos i llicències	Departament legal	15,000.00€
Contingències	5% del <i>budget</i>	30,000.00€
<b>TOTAL</b>		<b>81,800.00€</b>

## 7.2. OPEX

S'ha establert una aproximació dels costos d'operació pel que fa a la xarxa de serveis segons els càlculs de l'annex A.8.2. *OPEX*.

Taula 7.2.1. Estimació dels costos d'operació

Servei	Quantitat	Preu base	Cost anual
Aigua de xarxa	78,799 m <sup>3</sup> /any	0.17 €/m <sup>3</sup> [40]	13,395.83€
Consum <i>chillers</i>	1,865,000 kWh/any	0.1417 €/kWh <sup>[41]</sup>	264,270.50 €
Consum compressors	603,840 kWh/any	0.1417 €/kWh <sup>[41]</sup>	85,564.13€
Consum bombes	776,016 kWh/any	0.1417 €/kWh <sup>[41]</sup>	109,961.47€
Manteniment instal·lació	3 % del cost total <sup>[42]</sup>	-	14,643.75€
<b>Cost Total</b>			<b>487,835.67 €</b>

## 7.3. Resultats

El cost inicial del projecte (CAPEX) per la implementació dels diversos sistemes té un valor de 573,219.52€. El cost operatiu anual (OPEX) s'ha estimat en funció de la previsió dels consums energètics i els recursos associats a la xarxa de serveis amb un valor de 487,835.67€. El cost operatiu unitari s'ha estimat segons la capacitat productiva màxima del *site* (25,000t/any) amb un valor de 19.51€/t.

## 8. CONCLUSIONS

En aquest projecte s'ha dissenyat la xarxa de serveis per a una planta de reciclatge de polímers, la qual inclou tres sistemes principals amb les següents característiques:

- **Sistema d'aigua tractada:** entrega l'aigua amb una duresa d'entre 1 i 2 °fH i disposa d'una reserva de 5 m<sup>3</sup> d'aigua descalcificada.
- **Sistema d'aigua de refrigeració:** incorpora *chillers* refrigerats per aire amb una capacitat de refrigeració de 1366 kW i una reserva d'aigua de 10 m<sup>3</sup>.
- **Sistema d'aire comprimit:** inclou compressors de cargol i presenta una qualitat d'aire comprimit classe 1.4.2., a 7 bar, i amb una reserva d'aire comprimit de 2 m<sup>3</sup>.

Pel que fa a la inversió de capital, el cost total del projecte de la xarxa de serveis és de 573.219,52 €, situant-se dins dels objectius econòmics. Aquesta despesa representa un 5% del pressupost total del projecte *greenfield* de construcció de la planta, valorat en 16 milions d'euros.

A més, s'ha realitzat una estimació dels costos operatius unitaris a partir de les característiques dels equips instal·lats treballant a capacitat màxima. D'aquesta manera, es pot concloure que els costos associats a l'operació dels serveis són de 19,51 €/t de producte. Cal remarcar que la demanda del procés és variable, i per tant, la previsió de consums energètics s'hauria d'ajustar mitjançant un factor de coincidència. Tenint en compte que molts equips disposen de variadors de freqüència el cost real es reduiria considerablement.

## 9. BIBLIOGRAFIA

- [1] Koelet, P.C. (1992). *Industrial Refrigeration: Principles, design and Applications*. (1a Ed.) Macmillan.
- [2] Wang, S.K. (2001). *Handbook of Air Conditioning and Refrigeration* (2a Ed.). McGraw-Hill.
- [3] Kröger, D.G. (2004). *Air-cooled Heat Exchangers and Cooling Towers* (Vol. 1). Macmillan.
- [4] Dinçer, I. i Kanoglu, M. (2004). *Refrigeration Systems and Applications* (2a Ed.). Wiley.
- [5] ASHRAE (2020). *ASHRAE HANDBOOK: Heating, Ventilating and Air-Conditioning SYSTEMS AND EQUIPMENT*. ASHRAE.
- [6] Karassic, I.J. i Messina, J.P. (2006). *PUMP HANDBOOK* (4a Ed.). McGraw-Hill.
- [7] Sanks, R.L. (1998). *Pumping Station Design* (2a Ed.). Butterworth-Heinemann.
- [8] Sterling SIHI (2003). *Basic Principles for the Design of Centrifugal Pump Installations* (7a Ed.). Sterling Fluid Systems.
- [9] Barber, A. (2019). *Pneumatic Handbook*. (8a Ed.) Elsevier Science & Technology Books.
- [10] Hanlon, P.C. (2001). *COMPRESSOR HANDBOOK*. McGraw-Hill.
- [11] Brown, R.N. (2005). *COMPRESSORS: Selection and Sizing* (3a Ed.). Elsevier Inc.
- [12] Heinz, P.B. (2006). *Compressors and Modern Process Applications*. Wiley-Interscience.
- [13] Pal, P. (2017). *INDUSTRIAL WATER TREATMENT PROCESS TECHNOLOGY*. Butterworth-Heinemann.
- [14] McCabe, W.L. i Smith, J.C. (2005). Ion Exchange. *UNIT OPERATIONS OF CHEMICAL ENGINEERING*. (7a Ed., pp.864-870). McGraw-Hill.
- [15] Brinkmann, T. i Santonja, G. (2017). *Best Available Techniques (BAT): Reference Document for Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector*. European Commission.
- [16] Atlas Copco Airpower NV (2015). *COMPRESSED AIR MANUAL* (8a Ed.) Atlas Copco.
- [17] KAESER COMPRESORES. (2024). *Compresores de tornillo con refrigeración por fluido*. Kaeser Compresores. <https://es.kaeser.com/productos/compresores-de-tornillo/compresores-de-tornillo-refrigerados-por-aceite/compresores-de-tornillo-medianos-desde-18-hasta-110-kw/>
- [18] KAESER COMPRESORES. (2024). *Depósitos de aire comprimido*. Kaeser Compresores. <https://es.kaeser.com/productos/almacenamiento-del-aire-comprimido-y-mantenimiento-de-la-presion/depositos-de-aire-comprimido/>

- [19] KAESER COMPRESORES. (2024). *Secadores*. Kaeser Compresores. <https://es.kaeser.com/productos/tratamiento-de-aire-comprimido-y-tecnica-de-condensados/secadores/>
- [20] KAESER COMPRESORES. (2024). *Tratamiento de condensado*. Kaeser Compresores. <https://es.kaeser.com/productos/tratamiento-de-aire-comprimido-y-tecnica-de-condensados/tratamiento-de-condensado/>
- [21] WIKIPEDIA: La Enciclopedia Libre. (2024). *Filtro de arena*. WIKIPEDIA. [https://es.wikipedia.org/wiki/Filtro\\_de\\_arena](https://es.wikipedia.org/wiki/Filtro_de_arena)
- [22] JUFU. (2024). *Water Softener*. JUFU. <https://jufuwater.com/product/water-softener/>
- [23] ECOLAB. (2024). *Purolite™ C100E*. Purolite. <https://www.purolite.com/product/es/c100e>
- [24] PENTAIRWATER SOLUTIONS. (2024). *Válvulas de control*. Pentair. <https://www.pentair.eu/es/components/productos/valvulas/valvulas-de-control>
- [25] Perry, R.H. i Green, D.W. (1999). *PERRY'S CHEMICAL ENGINEER'S HANDBOOK* (7a Ed.). McGraw-Hill.
- [26] YORK. (2024). *Air cooled chillers*. YORK. [https://www.york.com/commercial-equipment/chilled-water-systems/air-cooled-chillers/yvaa\\_ch/yvaa-variable-speed-drive-screw-chiller](https://www.york.com/commercial-equipment/chilled-water-systems/air-cooled-chillers/yvaa_ch/yvaa-variable-speed-drive-screw-chiller)
- [27] Çengel, Y.A. i Boles, M.A. (2011). *Termodinámica* (7a Ed.). McGraw-Hill.
- [28] Mecalia. (2024). *DEPÓSITO DE INERCIA ACERO AL CABRONO*. Mecalia Energy Systems. [https://www.mecalia.com/wp-content/uploads/pdfs-ficha-producto/DPAC\\_DI.pdf](https://www.mecalia.com/wp-content/uploads/pdfs-ficha-producto/DPAC_DI.pdf)
- [29] GRUNDFOS. (2024). *Grupos de presión Hydro MPC*. GRUNDFOS. <https://product-selection.grundfos.com/es/products/hydro-mpc?tab=products>
- [30] WILO. (2024). *In-line pumps*. WILO. [https://wilo.com/il/en/Products/en/products-expertise?psx=sg\\_pr\\_8ae2819c89cdcef00189e3827dff2b17%7Csv\\_in\\_line\\_pump\\_8ae2819c89cdcef00189e3827dff2b17](https://wilo.com/il/en/Products/en/products-expertise?psx=sg_pr_8ae2819c89cdcef00189e3827dff2b17%7Csv_in_line_pump_8ae2819c89cdcef00189e3827dff2b17)
- [31] WILO. (2024). *Norm pump*. WILO. [https://wilo.com/il/en/Products/en/products-expertise?psx=sg\\_pr\\_8ae2819c89cdcef00189e3827dff2b17%7Csv\\_norm\\_pump\\_8ae2819c89cdcef00189e3827dff2b17](https://wilo.com/il/en/Products/en/products-expertise?psx=sg_pr_8ae2819c89cdcef00189e3827dff2b17%7Csv_norm_pump_8ae2819c89cdcef00189e3827dff2b17)
- [32] Nayyar, M.L. (2010). *PIPING HANDBOOK* (7a Ed.). McGraw-Hill.
- [33] Khan, M.A. i Young, C. (2021). *The Techno-Economics of Hydrogen Compression: Technical Brief*. Transition Accelerator Technical Briefs.

- [34] Farr, J.R. i Jawad, M.H. (2010). *GUIDEBOOK FOR THE DESIGN OF ASME SECTION VIII PRESSURE VESSELS. (4a Ed.)*. ASME Press.
- [35] ASME. (2019). *ASME Boiler and Pressure Vessel Code. Section II (Part A, 12a Ed.)*. The American Society of Mechanical Engineers (ASME).
- [36] ASME. (2019). *ASME Boiler and Pressure Vessel Code. Section II (Part D, 12a Ed.)*. The American Society of Mechanical Engineers (ASME).
- [37] ASME. (2019). *ASME Boiler and Pressure Vessel Code. Section VIII (Div. 1, 13a Ed.)*. The American Society of Mechanical Engineers (ASME).
- [38] White, F.M. (2016). *FLUID MECHANICS (7a Ed.)*. McGraw-Hill.
- [39] Peters, M.S i Timmerhauss, K.D. (1991). Cost Estimation. *PLANT DESIGN AND ECONOMICS FOR CHEMICAL ENGINEERS. (4a Ed., pp.150-215)*. McGraw-Hill International Editions.
- [40] Aliğa Organize Sanayi Bölgesi. (Desembre 2024). *Dökümanlar*. ALOSBI
- [41] T.C. Enerji Piyasasi Duzenleme Kurumu (EPDK), Türkiye Elektrik Dağıtım A. Ş. (TEDAŞ). (desembre 2024). *Turquia Precios de Electricidad. Global Petrol Prices*. [https://es.globalpetrolprices.com/Turkey/electricity\\_prices](https://es.globalpetrolprices.com/Turkey/electricity_prices)
- [42] CIBSE (2014). *Maintenance engineering and management: CIBSE Guide M*. The Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE).
- [43] ODE Insulates The Future. (2024). *HVAC Insulation Products*. ODE. <https://ode.com.tr/en/ode-r-flex-st-pipe>

# ANNEXOS

## A.1. MATRIUS DE DECISIÓ

### A.1.1. Sistema de refrigeració

Taula A.1.1 Matriu de decisió per la elecció de la tecnologia de refrigeració.

Factors	Pes	<i>Cooling tower</i>	<i>Water-cooled chiller</i>	<i>Adiabatic cooler</i>	<i>Air-cooled chiller</i>
Capacitat	5	1	3	3	4
Eficiència	5	2	5	3	4
Cost de compra	2	3	5	5	4
Cost d'operació	5	3	5	5	4
Consum d'aigua	3	3	1	1	5
Espai requerit	2	1	5	5	3
Impacte ambiental	2	5	1	1	3
Regulacions	3	3	5	5	4

Taula A.1.2. Resultats de la matriu de decisió per al sistema de refrigeració

Opció	Puntuació
<i>Cooling tower</i>	137
<i>Water-cooled chiller</i>	89.0
<i>Adiabatic cooler</i>	153
<i>Air-cooled chiller</i>	185

### A.1.2. Bombes del sistema de refrigeració

Taula A.1.2.1. Matriu de decisió per la elecció del tipus de bombes per al sistema de refrigeració.

Factors	Pes	Centrífugues	Rotatives	Alternatives
Capacitat	5	1	3	3
Eficiència	5	2	5	3
Cost de compra	2	3	5	5
Cost d'operació	5	3	5	5
Tipus de fluid	3	3	1	1
Aplicació	2	1	5	5

Taula A.1.2.2. Resultats de la matriu de decisió per a les bombes d'aigua de refrigeració.

Opció	Puntuació
Bombes centrífugues	301
Bombes rotatives	165
Bombes alternatives	127

### A.1.3. Compresors d'aire d'instruments

Taula A.1.3.1. Matriu de decisió per la elecció del tipus de compresors

Factors	Pes	<i>Scroll</i>	<i>Reciprocating</i>	<i>Screw</i>
Aplicació	5	1	3	3
Capacitat	5	2	5	3
Pressió de treball	2	3	5	5
Eficiència	5	3	5	5
Cost de compra	3	3	1	1
Cost d'operació	2	1	5	5

Taula A.1.3.2. Resultats de la matriu de decisió per als compressors.

Opció	Puntuació
Compressors <i>scroll</i>	187
Compressors recíprocs	153
Compressors de cargol	211

#### A.1.4. Sistema de tractament d'aigües

Taula A.1.4.1. Matriu de decisió per la elecció de la tecnologia de tractament d'aigües

Factors	Pes	Filtre de sorra	Ultrafiltració	Osmosi inversa	Bescanvi iònic
Aplicació	5	1	3	3	
Capacitat	5	2	5	3	
Pressió de treball	2	3	5	5	
Eficiència	5	3	5	5	
Cost de compra	3	3	1	1	
Cost d'operació	2	1	5	5	

Taula A.1.4.2. Resultats de la matriu de decisió per al tractament d'aigües

Opció	Puntuació
Filtre de sorra	369
Ultrafiltració	131
Osmosi inversa	111
Bescanvi iònic	185

## A.2. DISSENY DEL SISTEMA D'AIRE COMPRIMIT

### A.2.1. Hipòtesis i assumpcions

El disseny de compressors s'ha basat en la metodologia que es descriu en *ATLAS COPCO: COMPRESSED AIR MANUAL*<sup>[33]</sup>.

El model de la potència termodinàmica per compressors d'una única etapa s'estableix utilitzant un procés isentròpic, adiabàtic i reversible. D'aquesta manera s'assumeix que el compressor es troba completament aïllat i no té pèrdues per fricció ni fuites.

Per tal d'acostar els càlculs a la realitat s'ha definit el rendiment isentròpic segons valors conservadors associats a compressors tipus *screw*. Aquest paràmetre té en compte la desviació respecte al cas isentròpic mencionat anteriorment on tot el treball d'eix s'utilitza per a la compressió i el cas real on aquest influeix en un increment de l'energia interna o la temperatura del sistema.

### A.2.2. Condicions de disseny

Tenint en compte el rang de pressió d'operació dels diversos instruments de la planta de producció, s'ha establert una pressió de treball de 7 bar que serà regulada mitjançant els manoredactors de cada punt final d'aplicació. El cabal total d'aire s'ha definit segons el llistat de consumidors d'aire d'instruments proporcionats pels diversos fabricants d'equips.

El cabal d'aire comprimit s'ha de normalitzar segons el *Free Air Delivery* (FAD) en l'equació (7). Aquesta mesura s'utilitza en sistemes d'aire comprimit per descriure la quantitat d'aire que un compressor entrega en condicions estàndard.

$$q_{\text{FAD}} = \frac{q_{\text{N}}(273 + T_{\text{FAD}}) \cdot P_{\text{N}}}{273 \cdot P_{\text{FAD}}} \quad (7)$$

$$q_{\text{FAD}} = \frac{105 \cdot (273 + 40) \cdot 1.013}{273 \cdot 1.00} = 121.95 \approx 122 \text{ L/s}$$

On  $q_{\text{FAD}}$  = Free Air Delivery (L/s)

$q_{\text{N}}$  = Normal volume rate of flow (L/s)

$T_{\text{FAD}}$  = maximum inlet temperature (°C)

$T_{\text{N}}$  = Normal reference temperature (0°C)

$P_{\text{FAD}}$  = Standard inlet pressure (1.00 bar(a))

$P_{\text{N}}$  = Normal reference pressure (1.013 bar(a))

La pressió de treball s'ha definit a 7 bar, a l'hora de realitzar els càlculs es té en compte la pressió manomètrica i, per tant, se li ha de restar la pressió ambient ( $\approx 1$  bar).

Taula A.2.2.1. Condicions de disseny del sistema d'aire comprimit.

Variable	Paràmetre	Valor	Unitats
Aplicació		Aire d'instruments	-
$Q_{\text{Aire}}$	Cabal volumètric	1515.6	$\text{Nm}^3/\text{h}$
$\rho_{\text{Aire}}(40^\circ\text{C})$	Densitat	1.127	$\text{kg}/\text{m}^3$
$M_{\text{Aire}}$	Massa molar	28.97	$\text{g}/\text{mol}$
$T_{\text{suc}}$	Temperatura a la succió	40	$^\circ\text{C}$
$P_{\text{suc}}$	Pressió a la succió	1	bar
$P_{\text{des}}$	Pressió a la descàrrega	7.5	bar
R	Constant de gasos ideals	8.314	$\text{J}/\text{molK}$
$\eta_{\text{isen}}$	Rendiment isoentròpic	70	%
$Z_{\text{Aire}}$	Factor de compressibilitat	1	-
$\gamma_{\text{Aire}}$	Coefficient adiabàtic	1.4	-

### A.2.3. Treball per compressió

Per tal de fixar un punt de referència a l'hora de dimensionar un compressor, s'ha calculat la potència (Eq. 8) d'aquest tenint en compte que el fluid a comprimir és aire i que els rendiments isentròpics típics per als compressors tipus *screw* oscil·la entre un 70 i 85%.

$$P_{\text{Single stage(ideal)}} = \int_{P_{\text{suc}}}^{P_{\text{des}}} V dP$$

$$P_{\text{Single stage(ideal)}} = \int_{P_{\text{suc}}}^{P_{\text{des}}} C^{\frac{1}{\gamma}} P^{-\frac{1}{\gamma}} dP$$

$$P_{\text{Single stage(ideal)}} = C^{\frac{1}{\gamma}} \frac{P_{\text{des}}^{-\frac{1}{\gamma}+1} - P_{\text{suc}}^{-\frac{1}{\gamma}+1}}{-\frac{1}{\gamma} + 1}$$

$$P_{\text{Single stage(ideal)}} = P_{\text{suc}}^{\frac{1}{\gamma}} V_{\text{suc}} \frac{\gamma}{\gamma - 1} \left( P_{\text{des}}^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - P_{\text{suc}}^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right)$$

$$P_{\text{Single stage(ideal)}} = P_{\text{suc}}^{\frac{1}{\gamma}} Z \frac{m_{\text{Aire}}}{M_{\text{Aire}}(T_{\text{suc}})} RT_{\text{suc}} \frac{1}{P_{\text{suc}}} \frac{\gamma}{\gamma - 1} \left( P_{\text{des}}^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - P_{\text{suc}}^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right)$$

$$P_{\text{Single stage(ideal)}} = P_{\text{suc}}^{\frac{1}{\gamma}-1} Z \frac{m_{\text{Aire}}}{M_{\text{Aire}}(T_{\text{suc}})} RT_{\text{suc}} \frac{\gamma}{\gamma - 1} \left( P_{\text{des}}^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - P_{\text{suc}}^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right)$$

$$P_{\text{Single stage(ideal)}} = \frac{1}{P_{\text{suc}}^{1-\frac{1}{\gamma}}} Z \frac{m_{\text{Aire}}}{M_{\text{Aire}}(T_{\text{suc}})} RT_{\text{suc}} \frac{\gamma}{\gamma-1} \left( P_{\text{des}}^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - P_{\text{suc}}^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right)$$

$$P_{\text{Single stage(ideal)}} = Z \frac{m_{\text{Aire}}}{M_{\text{Aire}}(T_{\text{suc}})} RT_{\text{suc}} \frac{\gamma}{\gamma-1} \left( \left( \frac{P_{\text{des}}}{P_{\text{suc}}} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right)$$

$$P_{\text{Single stage(ideal)}} = \left( \frac{\gamma}{\gamma-1} \right) \frac{Z}{\eta_{\text{isen}}} T_{\text{suc}} \dot{n} R \left( \left( \frac{P_{\text{des}}}{P_{\text{suc}}} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right) \quad (8)$$

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} = 1.4 \text{ (Aire)}$$

$$\dot{n} = \frac{\left( \frac{Q}{3600} \cdot \rho_{\text{Aire}} \right) \cdot 1000}{M_{\text{Aire}}} = \frac{\left( \frac{439.2}{3600} \cdot 1.127 \right) \cdot 1000}{28.97} = 4.75 \text{ mol/s} \quad (9)$$

$$P_{\text{Single stage(ideal)}} = \left( \frac{1.4}{1.4-1} \right) \frac{1}{0.70} \cdot 313.15 \cdot 4.75 \cdot 8.314 \left( \left( \frac{7.5}{1} \right)^{\frac{1.4-1}{1.4}} - 1 \right) = 32809 \text{ W}$$

$$P_{\text{Single stage(ideal)}} = \mathbf{32.81 \text{ kW}}$$

#### A.2.4. Disseny del tanc acumulador

a) Volum del tanc:

Per tal de dimensionar el tanc acumulador d'aire comprimit s'ha tingut en compte que el sistema de compressors treballarà amb variadors de freqüència (VSD) per tal de reduir el consum energètic durant l'operació i treballar a demanda del sistema.

$$V_{\text{útil}} = \frac{0.25 \cdot q_c \cdot p_1 \cdot T_0}{f_{\text{max}} \cdot (P_U - P_L) \cdot T_1} \quad (10)$$

$$V_{\text{útil}} = \frac{0.25 \cdot 77 \cdot 1 \cdot (273 + 50)}{1/30 \cdot (7.50 - 7.00) \cdot (273 + 40)} = \mathbf{1192 \text{ L}}$$

On  $q_c$  = FAD a velocitat mínima VSD (L/s)

$p_1$  = compressor inlet pressure (bar(a))

$T_0$  = temperatura de sortida del compressor (K)

$T_1$  = temperatura d'entradamàxima (K)

$f_{\text{max}}$  = freqüència de cicle màxima ( $s^{-1}$ )

$(P_U - P_L)$  =  $\Delta P$  càrrega/descàrrega (bar)

Una vegada calculat el volum mínim del tanc, es selecciona un volum comercial disponible superior, en aquest cas 2000 L.

## b) Condicions de disseny del tanc B4:

S'ha seguit la metodologia segons *GUIDEBOOK FOR THE DESIGN OF ASME SECTION VIII PRESSURE VESSELS*<sup>[34]</sup>. La temperatura d'operació del tanc s'ha fixat segons la temperatura ambient màxima i l'escalfament produït durant l'operació del compressor. D'altra banda, la pressió d'operació serà la pressió màxima de treball que en aquest cas és de 7.5 bar, però es té en compte una caiguda de pressió màxima de 1.5 barg fins a arribar al tanc acumulador.

Una vegada definits els paràmetres de procés, la temperatura i pressió de disseny s'han calculat segons les equacions (11 i 12) respectivament.

$$T_D = T_{OP} + 20 \quad (11)$$

$$T_D = 50 + 20 = 70^\circ\text{C}$$

$$P_D = P_{OP} + (0.1 \cdot P_{OP}) \quad (12)$$

$$P_D = 7 + (0.1 \cdot 7) = 7.70 \text{ barg}$$

On  $T_{OP}$  = Temperatura d'operació (Pa)

$P_{OP}$  = Pressió d'operació (Pa)

Els paràmetres de disseny del tanc es mostren en la Taula A.2.4.1. definint un gruix per corrosió de 2.00 mm com a valor conservador per graus d'acer al carboni.

Taula A.2.4.1. Paràmetres de disseny per al tanc B4.

Paràmetre	Valor	Unitats
CA	2.00	mm
$V_{\text{útil}}$	2.00	m <sup>3</sup>
$T_{OP}$	50.0	°C
$T_D$	70.0	°C
$P_{OP}$	7.00	barg
$P_D$	7.70	barg

## c) Selecció del material de construcció:

Tenint en compte que l'aplicació es centra en l'acumulació d'aire comprimit es pot donar condensació si el sistema no treballa correctament, i per tant s'ha escollit planxes d'acer al carboni-manganès A516 Grau 70 amb tractament galvanitzat<sup>[35]</sup>. Segons valors conservadors per ambients moderadament corrosius s'ha emprat un gruix per corrosió de 2 mm.

Taula A.2.4.2. Especificacions per ASTM A516 Gr. 70<sup>[36]</sup>.

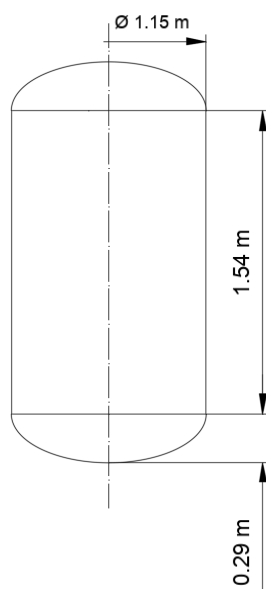
Grau	A516 Gr. 70 - P355GH (EN10028-2)
Nº	1.0473
Classificació	Acer de qualitat no aliat
Densitat	7,850 kg/m <sup>3</sup>
Estàndard	<b>EN 10028-2: 2009</b> Productes plans d'acers per a pressió. Acers no aliats i aliats amb propietats de temperatura elevada especificades <b>EN 10273: 2007</b> Barres d'acer soldables laminades en calent amb finalitats de pressió amb propietats de temperatura elevada especificades

Taula A.2.4.3. Referència de graus equivalents a l'acer 1.0473 (Regió/Estàndard)<sup>[35]</sup>.

EU/EN	USA/ASTM	GER/DIN	JAP/JIS	FRA/AFNOR	ENG/BS	ITA/UNI	SPA/UNE
P3555GH	A516Gr.70	19Mn6	SPV36	A52CP	225Gr.490	Fe510-1KW	A52RCI

d) Dimensionat del tanc:

S'ha calculat les dimensions del tanc segons les equacions (13, 14 i 15) amb el requisit d'un volum útil de 5.00 m<sup>3</sup> i definint un diàmetre D = 1.150 m.



$$V_{\text{CILINDRE}} = \pi \cdot r^2 \cdot L \quad (13)$$

$$V_{\text{CAP ELIPSOIDAL}}(2:1) = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot h}{6} = \frac{\pi \cdot D^3}{24} \quad (14)$$

$$V_{\text{ÚTIL}} = V_{\text{CILINDRE}} + 2V_{\text{CAP ELIPSOIDAL}} \quad (15)$$

$$2.00 = \pi \cdot \left(\frac{1.15}{2}\right)^2 \cdot L + 2 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 1.15^3}{24}\right)$$

$$L_{\text{CILINDRE}} = 1.54 \text{ m}$$

On L = Longitud del cilindre

D = Diàmetre del cilindre

h = Alçada del cap  $\left(h \sim \frac{D}{4}\right)$

**Figura 32.** Croquis del tanc B3

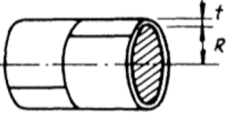
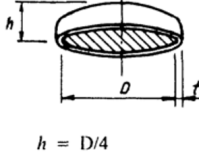
## e) Gruix de paret:

El càlcul de gruix de paret s'ha dividit en dues parts, el cos cilíndric i els casquets el·lipsoidals segons les equacions (16 i 17). Les variables utilitzades es mostren en la Taula A.2.4.4. i els càlculs en la Taula A.2.4.5.

Taula A.2.4.4. Condicions de disseny per al tanc B3.

Variable	Paràmetre	Valor	Unitats
$P_D$	Pressió de disseny	0.77	MPa
R	Radi	575	mm
S	Tensió del material	129	MPa
E	Eficiència de soldadura	0.70	-
CA	Gruix per corrosió	2.00	mm

Taula A.2.4.5. Càlculs del gruix de paret segons ASME BVPC Secció VIII Div. 1<sup>[37]</sup>.

Component	Càlculs	Resultat
<i>Cylindrical Shell</i>		
	$t = \frac{P_D \cdot R}{S \cdot E - 0.6 \cdot P_D} + CA \quad (16)$	
	$t = \frac{0.77 \cdot 575}{129 \cdot 0.7 - 0.6 \cdot 0.77} + 2$	$t = 6.93 \text{ mm}$
<i>Ellipsoidal Head</i>		
	$t = \frac{P_D \cdot R}{2 \cdot S \cdot E - 0.2 \cdot P_D} + CA \quad (17)$	
	$t = \frac{0.77 \cdot 575}{2 \cdot 129 \cdot 0.7 - 0.2 \cdot 0.77} + 2$	$t = 4.45 \text{ mm}$

Una vegada coneguts els valors del gruix de paret tant per al cos cilíndric com per als caps el·lipsoidals, cal escollir els gruixos de planxes que s'utilitzaran en la construcció del tanc segons els valors comercials proporcionats a la Taula A.2.4.6.

Taula A.2.4.6. Gruixos de planxes comercials (Fila superior en polzades, fila inferior en mm)

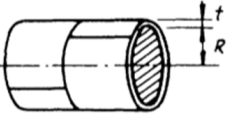
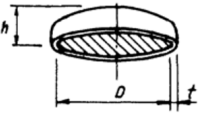
3/16"	1/4"	5/16"	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"	7/8"	1"	1/8"	1 1/4"	1 3/8"
4.8	6.3	7.9	9.5	12.7	15.9	19	22.2	25.4	28.6	31.8	34.9
1 1/2"	1 5/8"	1 3/4"	2"	2 1/4"	2 1/2"	2 3/4"	3"	3 1/4"	3 1/2"	3 3/4"	4"
38.1	41.3	44.5	50.8	52.7	63.5	69.9	76.2	82.6	88.9	95.3	101.6

Finalment, s'ha escollit planxes de **5/16"** per al cos cilíndric i planxes de **1/4"** per als caps el·lipsoidals del tanc per tal de cobrir amb el gruix calculat per disseny amb materials estandarditzats.

f) Pressió de treball màxima:

Es defineix la pressió de treball màxima (MAWP) com la mínima de les pressions de disseny de les parts que conformen el tanc. Aquestes s'han dividit segons el cos cilíndric i els casquets el·lipsoidals en les equacions 18 i 19.

Taula A.2.4.7. Càlculs de la pressió de disseny segons ASME BVPC Secció VIII Div. 1<sup>[37]</sup>.

Component	Càlculs	Resultat
<p><i>Cylindrical Shell</i></p> 	$P_D = \frac{S \cdot E \cdot t}{R + 0.6 \cdot t} \quad (18)$ $P_D = \frac{129 \cdot 0.7 \cdot 6.93}{575 + 0.6 \cdot 6.93}$	$P_D = 1.08 \text{MPa}$
<p><i>Ellipsoidal Head</i></p>  <p><math>h = D/4</math></p>	$P_D = \frac{2 \cdot S \cdot E \cdot t}{R + 0.2 \cdot t} \quad (19)$ $P_D = \frac{2 \cdot 129 \cdot 0.7 \cdot 4.45}{575 + 0.2 \cdot 4.45}$	$P_D = 1.40 \text{MPa}$

Tenint en compte que la pressió de disseny del cilindre és la més baixa amb un valor de 1.08 MPa, la pressió de treball màxima per al tanc B4 és de **10.8 bar**.

g) Pressió de la prova hidràulica:

Per tal de certificar que el recipient sigui completament funcional i pugui treballar en condicions segures cal sotmetre'l a una prova hidràulica.

$$P_{\text{prova}} = 1.3 \cdot \text{MAWP} \quad (20)$$

$$P_{\text{prova}} = 1.3 \cdot 10.8 = 14.04 \approx \mathbf{14 \text{ barg}}$$

h) Pes de l'equip:

S'ha determinat el pes total de l'equip buit (*dryweight*). L'equació (21) calcula el volum del cap el·lipsoidal multiplicat per la densitat del material donant com a resultat el pes del cap. En l'equació (22) es fa el mateix procediment però per al cos cilíndric.

$$\text{pes}_{\text{CAP}} = \frac{1}{2} \pi \cdot R^2 \cdot t_{\text{cap}} \cdot \rho_{\text{acer}} \quad (21)$$

$$\text{pes}_{\text{CAP}} = \frac{1}{2} \pi \cdot 0.575^2 \cdot 4.45 \cdot 10^{-3} \cdot 7850 = 18.14 \text{ kg}$$

$$\text{pes}_{\text{CIL}} = \pi \cdot R \cdot L \cdot t_{\text{cil}} \cdot \rho_{\text{acer}} \quad (22)$$

$$\text{pes}_{\text{CIL}} = \pi \cdot 0.575 \cdot 1.54 \cdot 6.93 \cdot 10^{-3} \cdot 7850 = 151.34 \text{ kg}$$

Finalment s'ha sumat el pes de cada part per obtenir el pes total de l'equip en l'equació (23).

$$\text{pes}_{\text{TANC}} = 2 \cdot \text{pes}_{\text{CAP}} + \text{pes}_{\text{CIL}} \quad (23)$$

$$\text{pes}_{\text{TANC}} = 2 \cdot 18.14 + 151.34 = \mathbf{187.6 \text{ kg}}$$

### A.2.5. Línia de condensats

S'ha definit una temperatura ambient de 30°C i una humitat relativa del 70% segons les divisions per zones geogràfiques que indica el fabricant.

Primerament, cal determinar la quantitat d'aigua que pot contenir l'aire en les condicions esmentades i, per tant, es calcula la pressió de vapor en l'equació (24).

$$p^{\text{sat}} = 10^{A - \frac{B}{C+T}} \quad (24)$$

$$p^{\text{sat}}(T_{\text{amb}}) = 10^{8.07131 - \frac{1730.63}{233.426 + 30}} = 31.74 \text{ mmHg}$$

$$31.74 \text{ mmHg} \cdot \frac{1 \text{ atm}}{760 \text{ mmHg}} \cdot \frac{101325 \text{ Pa}}{1 \text{ atm}} = 4231.7 \text{ Pa}$$

On  $p^{\text{sat}}$  = pressió de vapor de l'aigua (mmHg)

A, B i C = Paràmetres d'Antoine

$T_{\text{amb}}$  = Temperatura ambient (°C)

Seguidament, s'ha calculat la densitat del vapor en l'equació (25).

$$\rho_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{vap}} = \frac{p^{\text{sat}}(T_{\text{amb}})}{R_{\text{H}_2\text{O}} \cdot T_{\text{amb}}} \quad (25)$$

$$\rho_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{vap}} = \frac{4231.7}{461.5 \cdot (30 + 273.15)} = 0.0303 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{vap}} = 0.051 \text{ g/L}$$

On  $\rho_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{vap}}$  = densitat de l'aigua vaporitzada ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$p^{\text{sat}}$  = pressió de vapor de l'aigua (Pa)

$R_{\text{H}_2\text{O}}$  = Constant de gasos específica per vapor d'aigua ( $\text{J}/\text{kgK}$ )

$T_{\text{amb}}$  = Temperatura ambient ( $^{\circ}\text{C}$ )

Finalment, la quantitat total d'aigua condensada s'ha obtingut mitjançant l'equació (26).

$$q_{\text{cond}} = H_r(T_{\text{amb}}) \cdot q_{\text{FAD}} \cdot \rho_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{vap}} \quad (26)$$

$$q_{\text{cond}} = 0.70 \cdot 0.0303 \cdot 366 = 7.76 \text{ g/s}$$

On  $q_{\text{cond}}$  = Cabal de condensat ( $\text{g}/\text{s}$ ).

$H_r(T_{\text{amb}})$  = Humitat relativa a temperatura ambient.

$\rho_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{vap}}$  = Densitat de l'aiguavaporitzada ( $\text{g}/\text{L}$ )

$q_{\text{FAD}}$  = Free Air Delivery ( $\text{L}/\text{s}$ )

#### A.2.6. Ventilació de la sala de compressors

La ventilació de l'espai on es presenten els compressors és un factor a tenir en compte, ja que la sala de compressors ha de ser capaç d'evacuar l'aire calent generat durant l'operació dels equips.

Per a l'estimació de la potència (Eq. 27) s'ha tingut en compte segons les directrius del fabricant un 94% del treball d'eix al compressor més la diferència entre la potència subministrada i el treball real més el valor de calor alliberat per l'assegador.

$$P = 0.94 \cdot W_s + (P_{\text{sub}} - W_s) + Q_{\text{dryer}} \quad (27)$$

$$P = 0.94 \cdot 3 \cdot 32.81 + 3 \cdot (37 - 32.81) + 14 = 119.09 \text{ kW}$$

S'ha fet una estimació de l'extracció total d'aire mitjançant l'equació (28).

$$\dot{m}_{\text{aire}} = \frac{P}{C_p \cdot \Delta T} = \frac{119.09}{1.005 \cdot 10} = 11.84 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \approx \mathbf{9.87 \text{ m}^3/\text{s}} \quad (28)$$

On  $\dot{m}_{\text{aire}}$  = cabal d'aire ( $\text{kg}/\text{s}$ )

$P$  = Flux de calor ( $\text{kW}$ )\*

$C_p$  = Capacitat calorífica ( $\text{J}/\text{kgK}$ )

$\Delta T$  = Diferencial de temperatures ( $\text{K}$ )

### A.3. DISSENY DEL SISTEMA DE TRACTAMENT D'AIGÜES

#### A.3.1. Condicions de disseny

Primerament, s'han establert els paràmetres d'entrada segons la informació subministrada per l'autoritat del complex industrial que subministra l'aigua de xarxa a les instal·lacions.

Taula A.3.1.1. Condicions d'entrada d'aigua de xarxa

Paràmetre	Valor	Unitats
Terbolesa	<5	NTU
Residus	No conegut	-
Duresa	40	°fH
Sulfat	<250	mg/L
Clorur	<250	mg/L
Amoníac	0	mg/L
Nitrit	0	mg/L
Nitrat	<45	mg/L
Ferro	<0.05	mg/L
Contaminació bacteriològica	-	-
Conductivitat	<1000	µS/cm
pH	7	-

S'ha calculat la concentració de CaCO<sub>3</sub> present en l'aigua de xarxa fixant un cabal d'aigua de 2 m<sup>3</sup>/h amb una duresa de 40 °fH segons l'equació 29.

$$40 \text{ °fH} \cdot \frac{10 \text{ mg/L CaCO}_3}{1 \text{ °fH}} = 400 \text{ mg/L CaCO}_3 \quad (29)$$

$$400 \text{ mg/L CaCO}_3 \cdot \frac{1 \text{ mEq/L}}{50 \text{ mg/mEq}} = 8 \text{ mEq/L}$$

Seguidament s'ha calculat la duresa en miliequivalents per litre per tal d'estimar la càrrega total a tractar (eq. 30).

$$\text{Càrrega total} \left( \frac{\text{mEq}}{\text{h}} \right) = \text{Duresa} \left( \frac{\text{mEq}}{\text{L}} \right) \cdot \text{Cabal (L/h)} \quad (30)$$

$$\text{Càrrega total} \left( \frac{\text{mEq}}{\text{h}} \right) = 8 \cdot 2000 = 16,000 \text{ mEq/h}$$

### A.3.2. Volum de resina

S'ha fixat la velocitat d'operació a  $30 \text{ m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{h}$  de resina segons valors típics per aquest tipus d'aplicacions ( $20\text{-}40 \text{ m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{h}$ ) per tal de calcular el volum de resina de bescanvi iònic necessari (Eq. 31).

$$V_{\text{resina}} = \frac{Q}{v_{\text{secció}}} \quad (31)$$

$$V_{\text{resina}} = \frac{2}{30} = 0.067 \text{ m}^3 = 67\text{L}$$

### A.3.3. Selecció de la resina

Una vegada conegut el volum de resina requerit, s'ha calculat la capacitat de bescanvi necessària per a abastir els requisits del procés en l'equació (32).

$$C_{\text{resina}} = \left( \frac{Q_{\text{duresa}} \cdot t_{\text{operació}}}{V_{\text{resina}}} \right) \cdot CS \quad (32)$$

S'ha definit un període de regeneració de 4 cops al dia donant com a resultat un temps d'operació de 6 h i un coeficient de seguretat del 30%.

$$C_{\text{resina}} = \left( \frac{16 \cdot 6}{67} \right) \cdot 1.3 = 1.86 \text{ Eq/L}$$

Finalment, s'ha seleccionat la resina catiónica *Purolite® C100E* amb una capacitat total de 1.9 Eq/L

### A.3.4. Disseny del tanc

a) Volum útil:

El tanc s'ha dimensionat considerant l'expansió de la resina durant la regeneració i l'espai addicional requerit per l'aigua de servei tenint en compte una expansió reversible del 10% i un marge per a la circulació del 40%.

$$V_{\text{tanc}} = V_{\text{resina}} + V_{\text{resina}} \cdot (\text{expansió} + \text{circulació}) \quad (33)$$

$$V_{\text{tanc}} = 67 + 67 \cdot (0.1 + 0.4) = 100.5\text{L} \approx \mathbf{100\text{L}}$$

Tenint en compte una relació 3:1 referent a l'alçada i el diàmetre i caps el·lipsoidals (2:1) s'ha definit les dimensions del tanc segons l'equació 34.

$$V_{\text{tanc}} = \pi \cdot (D/2)^2 \cdot \left( L + \frac{4}{3} \cdot 3 \cdot h \right) \quad (34)$$

$$V_{\text{tanc}} = \pi \cdot (D/2)^2 \cdot \left( 3 \cdot D + \frac{4}{3} \cdot 3 \cdot \frac{D}{4} \right)$$

$$0.100 = \pi \cdot (D/2)^2 \cdot \left( 3 \cdot D + \frac{4}{3} \cdot 3 \cdot \frac{D}{4} \right) \rightarrow D = 0.317 \approx 32 \text{ cm}; L = 96 \text{ cm}$$

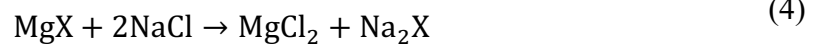
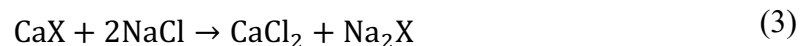
b) Material:

S'ha escollit un tanc de fibra de vidre reforçada amb plàstic (FRP) degut a la resistència química que proporciona el material protegint l'equip de la degradació per corrosió. D'altra banda, el FRP també ofereix una resistència mecànica elevada podent treballar a pressions internes d'entre 6 i 10 barg.

Definint la pressió de treball dins el rang de 2.5-4 barg s'ha optat per les fibres de vidre tipus E i resina epoxi com a components principals del FRP.

### A.3.5. Regeneració del sistema

Per tal de calcular la massa de sal necessària s'ha partit l'equació de regeneració (3 i 4).



$$m_{\text{sal}} = \text{Duresa (mEq)} \cdot \frac{2 \text{ mEq NaCl}}{1 \text{ mEq Ca}^{2+}}$$

$$\dot{m}_{\text{NaCl}} = 16 \cdot \frac{2 \text{ Eq NaCl}}{1 \text{ Eq Ca}^{2+}} \cdot \frac{1 \text{ mol NaCl}}{1 \text{ Eq NaCl}} \cdot \frac{58.44 \text{ g NaCl}}{1 \text{ mol NaCl}} = 1.870 \text{ kg/h}$$

Una vegada conegut el cabal de salmorra necessari s'ha extret la quantitat de sal consumida diàriament a raó de 44.88 kg/dia.

### A.3.6. Tanc de salmorra

a) Volum útil:

S'ha calculat el volum del tanc per tal d'abastir una setmana amb la solució de salmorra acumulant reserva en cas de no reomplir el contingut del tanc diàriament.

$$V_{\text{tanc}} = 7 \cdot \dot{m}_{\text{NaCl}} \cdot \rho_{\text{NaCl}} \quad (35)$$

$$V_{\text{tanc}} = 7 \cdot 44.88/1200 = 0.262 \text{ m}^3$$

Suposant una alçada  $H = 0.75$  m per tal d'abocar els sacs de sal a l'alçada de la cintura:

$$V_{\text{tanc}} = \pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 \cdot H \quad (36)$$

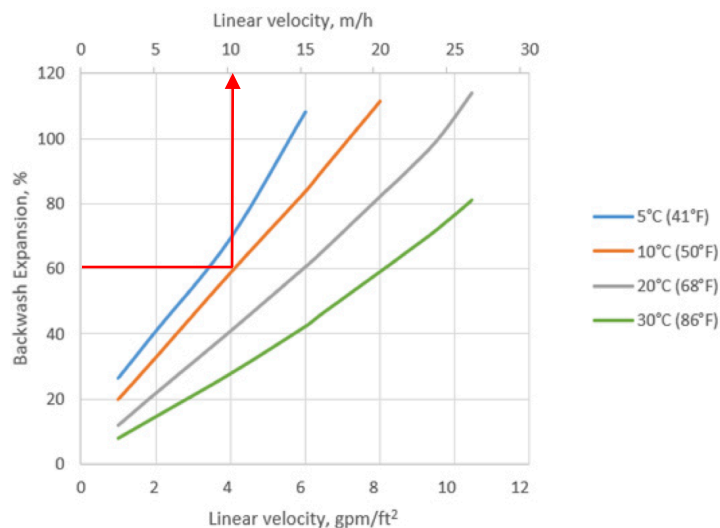
$$0.262 = \pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 \cdot 0.75 \rightarrow D = 0.667 \text{ m} = 67 \text{ cm}$$

b) Material:

S'ha escollit HDPE perquè és un material econòmic, lleuger i ofereix una resistència a la corrosió excel·lent.

### A.3.7. Control de flux i distribució

L'operació de rentat es duu a terme després de la regeneració de la resina de bescanvi iònic. Segons el fabricant, el llit de resina necessita una expansió d'entre un 50 i 70% durant 15 min per tal d'alliberar tota la matèria acumulada. D'aquesta manera es neteja del rebliment per tal d'assegurar una resistència mínima al flux durant l'operació normal.



**Figura 33.** Expansió del llit de resina durant el rentat a contracorrent<sup>[23]</sup>.

S'ha fixat una expansió del 60% a 20°C obtenint una velocitat de secció de  $\approx 10$  m/h.

Per al control i distribució dels fluxos d'operació, regeneració i rentat a contracorrent ( $Q_{bw}$ ) s'ha tingut en compte l'àrea transversal del tanc i la velocitat de secció en l'equació 37.

$$Q_{bw}(\text{m}^3/\text{h}) = A_t(\text{m}^2) \cdot v_{bw}(\text{m}/\text{h}) \quad (37)$$

$$Q_{bw} = \pi \cdot \left(\frac{0.310}{2}\right)^2 \cdot 10 = 0.75 \text{ m}^3/\text{h}$$

## A.4. DISSENY DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓ

### A.4.1. Estimació de la temperatura de retorn de procés

El cabal d'aigua de refrigeració total és de 180 m<sup>3</sup>/h i els requisits de refrigeració al procés de 1200 kW segons el fabricant. S'ha calculat la temperatura del retorn d'aigua de refrigeració en el balanç d'energia de l'equació 38.

$$Q_{\text{Procés}} = m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot C_{p\text{H}_2\text{O}} \cdot \Delta T \quad (38)$$

$$-1200 \text{ (kW)} = \frac{180 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right) \cdot 998.2 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)}{3600 \text{ (s)}} \cdot 4.186 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}}\right) (10 - T_{\text{retorn}})$$

$$T_{\text{retorn}} = 15.75 \text{ }^\circ\text{C}$$

On  $Q_{\text{Procés}}$  = Calor dissipada a l'evaporador (kW)

$m_{\text{H}_2\text{O}}$  = Cabal d'aiguade refrigeració  $\left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)$

$C_{p\text{H}_2\text{O}}$  = Capacitat calorífica de l'aigua  $\left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}\right)$

$\Delta T$  = Diferencial de temperatura ( $^\circ\text{C}$ )

Per tal de facilitar els càlculs s'ha establert la temperatura d'entrada al sistema de refrigeració a 15  $^\circ\text{C}$ .

### A.4.2. Condicions d'entrada

Taula A.4.2.1. Condicions de disseny per als *chillers*.

Variable	Paràmetre	Valor	Unitats
$Q_{\text{PROCÉS}}$	Càrrega tèrmica	1200	kW
$\dot{m}_{\text{AIGUA}}$	Cabal d'aigua de refrigeració	200	m <sup>3</sup> /h
LWT	Temperatura de sortida de l'aigua de procés	10	$^\circ\text{C}$
EWT	Temperatura d'entrada de l'aigua de procés	15	$^\circ\text{C}$
$\rho_{\text{H}_2\text{O}}(20^\circ\text{C})$	Densitat de l'aigua	998	kg/m <sup>3</sup>
$C_{p\text{H}_2\text{O}}$	Capacitat calorífica de l'aigua	4.186	kJ/kgK
$\eta_{\text{isen}}$	Rendiment isentròpic del compressor	75	%

### A.4.3. Selecció del refrigerant

S'ha tingut en compte la informació bibliogràfica esmentada al cos de l'informe i alhora s'ha realitzat una comparació de diversos refrigerants comercials a la taula A.4.3.1.

Taula A.4.3.1. Comparació dels principals tipus de refrigerants.<sup>[5]</sup>

Tipus	Exemples	Eficiència	Impacte ambiental	Seguretat	Compatibilitat materials
Halocarburs	R-134a R-410A R-1234yf	Moderada-Alta	ODP baix GWP alt en alguns casos	Flamabilitat baixa Toxicitat baixa	Compatibles amb coure, acer inoxidable, alumini
Hydrocarburs	R-290 (Propà) R-600a	Alta	ODP = 0 GWP baix	Flamabilitat elevada Toxicitat baixa	Compatibles amb coure i acer inoxidable, precaució amb elastòmers
Compostos inorgànics	R-717 (Amoníac) R-744 (CO <sub>2</sub> )	Alta Moderada	ODP = 0 GWP baix	Toxicitat: R-717 Elevada R-744 Segur	R-717 només compatible amb acer i certs inoxidables, no compatible amb coure. R-744 compatible amb coure i acer inoxidable.
Mescles Azeotròpiques	R-507A R-508B	Alta		Flamabilitat baixa Toxicitat baixa	Compatibles amb coure, acer inoxidable i alumini.
Mescles no-azeotròpiques	R-407C R-404A	Baixa-Moderada		Flamabilitat baixa Toxicitat baixa	Compatible amb coure, alumini, acer inoxidable, atenció amb elastòmers de baixa resistència (HNBR)

#### A.4.4. Paràmetres de disseny del sistema de refrigeració

L'escenari parteix d'un refrigerador comercial que utilitza R-134a com a refrigerant, i una capacitat de refredament de 1300 kW.

a) Cabal de refrigerant:

S'ha fixat el valor de la capacitat de refredament sobredimensionant el valor de la càrrega tèrmica del procés (1200 kW) un 8%, és a dir, 1300 kW. Seguidament s'ha substituït aquest valor en el balanç d'energia de l'evaporador (Eq. 39).

$$Q_{\text{evap}} = \dot{m} \cdot (h_1 - h_4) \quad (39)$$

$$1300 = \dot{m} \cdot (410 - 247) \rightarrow \dot{m}_{\text{cool}} = 7.97 \approx 8 \text{ kg/s}$$

b) Treball per compressió:

S'ha realitzat el balanç d'energia al compressor per trobar el treball d'aquest en l'equació 40.

$$W_{\text{comp}} = \dot{m} \cdot (h_2 - h_1) \quad (40)$$

$$W_{\text{comp}} = 8 \cdot (448.67 - 410) = 309.4 \text{ kW}$$

c) Calor dissipat:

S'ha realitzat un balanç d'energia al condensador per calcular la calor dissipada a l'ambient segons l'equació 41.

$$Q_{\text{cond}} = \dot{m} \cdot (h_2 - h_3) \quad (41)$$

$$Q_{\text{cond}} = 8 \cdot (448.67 - 247) = 1613.4 \text{ kW}$$

d) Cabal d'aire necessari:

S'ha calculat el cabal d'aire necessari (Eq. 42) en el condensador per absorbir la calor del refrigerant i determinar el nombre de ventiladors.

$$\dot{m}_{\text{aire}} = \frac{Q_{\text{cond}}(\text{kW})}{C_{p_{\text{aire}}}(\text{kJ/kg} \cdot \text{K}) \cdot \Delta T(^{\circ}\text{C})} \quad (42)$$

$$\dot{m}_{\text{aire}} = \frac{1613.4}{1005 \cdot (50 - 40)} = 160 \text{ kg/s}$$

e) Eficiència del cicle:

Finalment s'ha calculat el rendiment del cicle segons l'equació 43.

$$\text{COP} = \frac{Q_{\text{evap}}}{W_{\text{comp}}} \quad (43)$$

$$\text{COP} = \frac{1300}{309.4} = 4.20$$

### A.4.5. Disseny del tanc B3

La metodologia emprada és la mateixa que la mencionada en el tanc B4<sup>[34, 35, 36, 37]</sup>.

#### a) Volum útil

El tanc s'ha dimensionat tenint en compte que els fabricants de les estacions de refrigeració recomanen que els compressors tipus *screw* (en aquest cas 2 per *chiller*) entrin en operació un màxim de 6 cops cada hora per tal d'evitar el desgast dels equips i disminuir el consum energètic que suposa la posada en marxa d'aquests.

Tenint en compte que cada estació de refrigeració té un cabal de disseny de 36.76 L/s s'ha simplificat el cabal total a 120 m<sup>3</sup>. Seguidament, s'ha determinat el volum útil mitjançant l'equació 44.

$$V = \frac{Q_{\text{ref}}}{\text{Arrancades}} \quad (44)$$

$$V = \frac{120}{12} = 10 \text{ m}^3$$

#### b) Condicions de disseny

La temperatura d'operació del tanc s'ha fixat a 20 °C segons el subministrament d'aigua descalcificada. D'altra banda, la pressió d'operació es determina segons el grup de pressió 2 treballant a 4 barg, però la pressió del tanc es regula a 3 barg mitjançant un llaç de control de pressió.

Una vegada definits els paràmetres de procés, la temperatura i pressió de disseny s'han calculat segons les equacions (45 i 46) respectivament.

$$T_D = T_{OP} + 20 \quad (45)$$

$$T_D = 20 + 20 = 40^\circ\text{C}$$

$$P_D = P_{OP} + (0.1 \cdot P_{OP}) + \rho \cdot g \cdot h \quad (46)$$

$$P_D = 4 + (0.1 \cdot 4) + \frac{998.2 \cdot 9.81 \cdot 4.694}{10^5} = 4.86 \text{ barg}$$

On  $T_{OP}$  = Temperatura d'operació (Pa)

$P_{OP}$  = Pressió d'operació (Pa)

Els paràmetres de disseny del tanc es mostren en la Taula A.4.5.1. definint un gruix per corrosió de 2.00 mm com a valor conservador per graus d'acer al carboni.

Taula A.4.5.1. Paràmetres de disseny per al tanc B3.

Paràmetre	Valor	Unitats
CA	2.00	mm
V <sub>útil</sub>	10.00	m <sup>3</sup>
T <sub>OP</sub>	20.0	°C
T <sub>D</sub>	40.0	°C
P <sub>OP</sub>	4.00	barg
P <sub>D</sub>	4.86	barg

## c) Material de construcció

Tenint en compte que l'aplicació se centra en l'acumulació d'aigua de refrigeració, s'ha escollit planxes d'acer al carboni-manganès SA516 Grau 70 amb recobriments epoxi. Segons valors conservadors per ambients moderadament corrosius s'ha emprat un gruix per corrosió de 2 mm.

Taula A.4.5.2. Especificacions per ASTM A516 Gr. 70

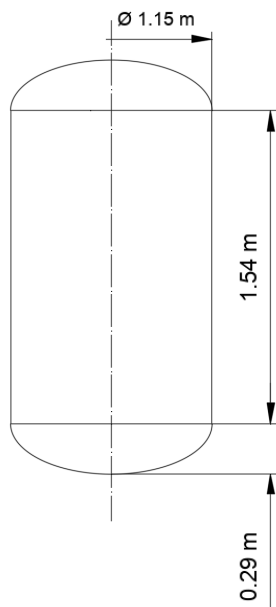
Grau	A516 Gr. 70 - P355GH (EN10028-2)
Nº	1.0473
Classificació	Acer de qualitat no aliat
Densitat	7,850 kg/m <sup>3</sup>
estàndard	<b>EN 10028-2: 2009</b> Productes plans d'acers per a pressió. Acers no aliats i aliats amb propietats de temperatura elevada especificades <b>EN 10273: 2007</b> Barres d'acer soldables laminades en calent amb finalitats de pressió amb propietats de temperatura elevada especificades

Taula A.4.5.3. Referència de graus equivalents a l'acer 1.0473 (Regió/Estàndard).

EU/EN	USA/ASTM	GER/DIN	JAP/JIS	FRA/AFNOR	ENG/BS	ITA/UNI	SPA/UNE
P3555GH	A516Gr.70	19Mn6	SPV36	A52CP	225Gr.490	Fe510-1KW	A52RCI

d) Dimensionat del tanc:

S'ha calculat les dimensions del tanc segons les equacions (13, 14 i 15) amb el requisit d'un volum útil de  $10.00 \text{ m}^3$  i definint un diàmetre  $D = 2.00 \text{ m}$ .



$$10.00 = \pi \cdot \left(\frac{2.00}{2}\right)^2 \cdot L + 2 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 2.00^3}{24}\right)$$

$$L_{\text{cilindre}} = 2.52 \text{ m}$$

On  $L$  = Longitud del cilindre (m)

$D$  = Diàmetre del cilindre (m)

$h$  = Alçada del cap ( $h \sim \frac{D}{4}$ )

**Figura 34.** Croquis del tanc B3.

e) Gruix de paret:

El càlcul de gruix de paret s'ha dividit en dues parts, el cos cilíndric i els casquets el·lipsoidals segons les equacions 16 i 17. Les variables utilitzades es mostren en la Taula A.4.5.4. i els càlculs en la Taula A.2.4.5.

Taula A.4.5.4. Càlculs del gruix de paret segons ASME BVPC Secció VIII Div. 1

Variable	Paràmetre	Valor	Unitats
$P_D$	Pressió de disseny	0.486	MPa
$R$	Radi	1000	mm
$S$	Tensió del material	129	MPa
$E$	Eficiència de soldadura	0.70	-
$CA$	Gruix per corrosió	2.00	mm

Una vegada coneguts els valors del gruix de paret tant per al cos cilíndric com per als caps el·lipsoidals, cal escollir els gruixos de planxes que s'utilitzaran en la construcció del tanc segons els valors comercials proporcionats a la Taula A.2.4.6. Finalment, s'ha definit planxes de  $\frac{1}{4}$ " per al cos cilíndric i per als caps el·lipsoidals del tanc per tal de cobrir amb el gruix calculat per disseny amb materials estandarditzats.

## f) Pressió de treball màxima:

Es defineix la pressió de treball màxima (MAWP) com la mínima de les pressions de disseny de les parts que conformen el tanc. Aquestes s'han dividit segons el cos cilíndric i els casquets el·lipsoidals en les equacions 18 i 19. de la Taula A.2.4.7.

Tenint en compte que la pressió de disseny del cilindre és la més baixa amb un valor de 0.567 MPa, la pressió de treball màxima per al tanc B4 és de **5.67 barg**.

## g) Pressió de la prova hidràulica:

Per tal de certificar que el recipient sigui completament funcional i pugui treballar en condicions segures cal sotmetre'l a una prova hidràulica. La pressió d'aquesta s'ha definit segons l'equació 20.

$$P_{\text{prova}} = 1.3 \cdot 5.67 = 7.371 \approx \mathbf{7.4 \text{ barg}}$$

## h) Pes de l'equip:

S'ha determinat el pes total de l'equip buit (*dryweight*). L'equació 21 calcula el volum del cap el·lipsoidal multiplicat per la densitat del material donant com a resultat el pes del cap. En l'equació 22 es fa el mateix procediment però per al cos cilíndric.

$$\begin{aligned} \text{pes}_{\text{CAP}} &= \frac{1}{2} \pi \cdot 1^2 \cdot 6.3 \cdot 10^{-3} \cdot 7850 = 77.68 \text{ kg} \\ \text{pes}_{\text{CIL}} &= \pi \cdot 1^2 \cdot 4.694 \cdot 6.3 \cdot 10^{-3} \cdot 7850 = 729.3 \text{ kg} \end{aligned}$$

Finalment, s'ha sumat el pes de cada part per obtenir el pes total de l'equip mitjançant l'equació 23.

$$\text{pes}_{\text{TANC}} = 2 \cdot 77.68 + 729.3 = \mathbf{807 \text{ kg}}$$

**A.5. DISSENY DE BOMBES****A.5.1. Requeriments del procés**

Taula A.5.1.1. Requeriments del subministrament d'aigua industrial

Servei	Punt	Q (m <sup>3</sup> /h)	ΔP (barg)	T (°C)
Aigua de xarxa	Cleaning water 1	1.00	2.50-4.00	max. 25.0
	Cleaning water 2	1.00	2.50-4.00	max. 25.0
	Warehouse port 1	0.50	2.50-4.00	max. 25.0
	Warehouse port 2	0.50	2.50-4.00	max. 25.0
	Warehouse port 3	0.50	2.50-4.00	max. 25.0
	Warehouse port 4	0.50	2.50-4.00	max. 25.0
	Aigua de xarxa	Future expansion 1	4.00	2.50-4.00
Future expansion 2		0.60	2.50-4.00	max. 25.0
Future expansion 3		2.00	2.50-4.00	max. 25.0
<b>TOTAL</b>		<b>10.6 m<sup>3</sup>/h</b>		
Aigua tractada	Water injection to PCU	2.60	2.50-4.00	max. 25.0
	Vacuum pumps	50.0	2.50-4.00	max. 25.0
	Evaporation	0.50	2.50-4.00	max. 25.0
	Pelletising	1.00	2.50-4.00	max. 25.0
	<b>TOTAL</b>		<b>54.1 m<sup>3</sup>/h*</b>	
Aigua de refrigeració	Gearbox & barrel cooling	4.00	2.50-4.00	10.0-12.5 °C
	Electric cabinet on main frame	0.60	2.50-4.00	10.0-12.5 °C
	External electric cabinet	2.30	2.50-4.00	10.0-12.5 °C
	Vacuum pumps	2.60	2.50-4.00	10.0-12.5 °C
	Pelletiser	50.0	2.50-4.00	10.0-12.5 °C
	Pneumatic conveying	0.50	2.50-4.00	25.0 °C
	<b>TOTAL</b>		<b>60 m<sup>3</sup>/h *</b>	

\*Cabal per línia de producció.

### A.5.2. Condicions d'entrada

S'ha establert els cabals de disseny de les bombes del circuit dels *chillers* segons l'equació 47.

$$Q_{\text{bomb}} = \frac{\dot{Q}_{\text{chillers}}}{\Delta T \cdot C_p \cdot \rho_{\text{H}_2\text{O}}} \cdot 3600 \quad (47)$$

On  $Q_{\text{bomb}} = \text{Cabal (m}^3/\text{h)}$

$\dot{Q}_{\text{chillers}} = \text{Potència frigorífica dels chillers (kW)}$

$\Delta T = \text{Increment de temperatura (}^\circ\text{C)}$

$C_p = \text{Capacitat calorífica de l'aigua (kJ/kgK)}$

$\rho_{\text{H}_2\text{O}} = \text{Densitat de l'aigua (kg/m}^3\text{)}$

$$Q_{\text{bomb}} = \frac{683.8 \cdot 3600}{5 \cdot 4.18 \cdot 998.2} = 118 \text{ m}^3/\text{h}$$

Donat que en el cas del circuit de procés la demanda de calor de procés és variable, s'ha considerat la càrrega tèrmica màxima i el cabal total dels fulls d'*utilities* dels diversos equips a 180 m<sup>3</sup>/h. Finalment, s'ha escollit bombes amb VFD que permetin ajustar el cabal segons les necessitats del procés.

La pressió de succió (Eq. 48) dels grups de pressió s'ha calculat mitjançant la pressió atmosfèrica i l'alçada de líquid dels tancs de procés en el cas dels B1 i B2 corresponents a P1A/B i P2A/B respectivament.

$$P_{\text{suc}} = P_{\text{atm}} + \rho \cdot g \cdot h_{\text{suc}} \quad (48)$$

$$P_{\text{suc}}(\text{P1A/B}) = 1 \cdot 10^5 + \frac{998.2 \cdot 9.81 \cdot 4.97}{10^5} = 1.49 \text{ bar}$$

$$P_{\text{suc}}(\text{P2A/B}) = 1 \cdot 10^5 + \frac{998.2 \cdot 9.81 \cdot 2.20}{10^5} = 1.22 \text{ bar}$$

Pel que fa als tancs pressuritzats, s'ha definit una consigna de pressió a 3 bars manomètrics per tal de garantir que la línia estigui sempre plena hidràulicament i evitar problemes de cavitació en les bombes centrífugues.

### A.5.3. Pèrdues de càrrega

Per al càlcul de pèrdues de càrrega s'ha seguit la metodologia mostrada en FLUID MECHANICS [38]. S'ha distingit entre les pèrdues majors (associades a la longitud de canonada) i les menors (accessoris del sistema).

Primerament, s'ha determinat el nombre de Reynolds per establir en quin règim de flux (Laminar, transició o turbulent) es troba el fluid d'estudi mitjançant l'equació 49.

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} \quad (49)$$

On Re = Nombre de Reynolds

$\rho$  = Densitat (kg/m<sup>3</sup>)

$v$  = Velocitat del fluid (m/s)

$D$  = Diàmetre hidràulic (m)

$\mu$  = Viscositat dinàmica (Pa · s)

Seguidament, es calcula el factor de fricció segons l'equació 50 per a règim laminar i l'equació 51 per a flux turbulent.

$$f = \frac{64}{Re} \quad (50)$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log \left( \frac{\varepsilon}{3.7 \cdot D_h} + \frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{f}} \right) \quad (51)$$

On  $f$  = Factor de fricció

$\varepsilon$  = Rugositat de la canonada (mm)

$D_h$  = Diàmetre hidràulic (mm)

Re = Nombre de Reynolds

Una vegada obtingut el factor de fricció, s'ha procedit al càlcul de les pèrdues majors segons l'equació 52.

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (52)$$

On  $h_f$  = Pèrdues de càrrega majors (m)

$f$  = Factor de fricció

$L$  = Longitud de la canonada (mm)

$D$  = Diàmetre hidràulic (mm)

$v$  = Velocitat mitja del fluid (m/s)

$g$  = Acceleració de la gravetat (m/s<sup>2</sup>)

Les pèrdues menors es calculen mitjançant l'equació 53 on es té en compte la constant característica de cada tipus d'accessori (colzes, vàlvules, etc.) de la Taula A.5.3.1.

$$h_m = K \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (53)$$

On  $h_m$  = Pèrdues de càrrega menors (m)

$K$  = Coeficient de pèrdua

$v$  = Velocitat mitja del fluid (m/s)

$g$  = Acceleració de la gravetat ( $m/s^2$ )

Taula A.5.3.1. Coeficients de pèrdues per accessoris<sup>[38]</sup> (p.321)

NPS (in)	<i>Screwed</i>				<i>Flanged</i>			
	½	1	2	4	1	2	4	8
<b>Valves (fully open):</b>								
<i>Globe</i>	14	8.20	6.90	5.70	13.0	8.50	6.00	5.80
<i>Gate</i>	0.30	0.24	0.16	0.11	0.800	0.35	0.16	0.07
<i>Swing check</i>	5.10	2.90	2.10	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
<i>Angle</i>	9.00	4.70	2.00	1.00	4.50	2.40	2.00	2.00
<b>Elbows:</b>								
<i>45° regular</i>	0.39	0.32	0.30	0.29				
<i>45° long radius</i>					0.21	0.20	0.19	0.16
<i>90° regular</i>	2.00	1.50	0.95	0.64	0.50	0.39	0.30	0.26
<i>90° long radius</i>	1.00	0.72	0.41	0.23	0.40	0.30	0.19	0.15
<i>180° regular</i>	2.00	1.50	0.95	0.64	0.41	0.35	0.30	0.25
<i>180° long radius</i>					0.40	0.30	0.21	0.15
<b>Tees:</b>								
<i>Line flow</i>	0.90	0.90	0.90	0.90	0.24	0.19	0.14	0.10
<i>Branch</i>	2.40	1.80	1.40	1.10	1.00	0.80	0.64	0.58

Per a determinar les pèrdues totals s'ha combinat les dues expressions anteriors en l'equació 54.

$$h_{total} = h_f + \sum h_m \tag{54}$$

A continuació es mostra el full de càlcul *MS-Excel* que s'ha emprat per a les pèrdues de càrrega. Taula A.5.3.2. Càlcul de pèrdues de càrrega per al dimensionat de les bombes.

PIPE SYSTEMS PRESSURE DROP CALCULATIONS																			
Item	Item	Nominal Diameter	Internal Diameter	Flow	Velocity	Roughness	Viscosity	Reynolds Number	Friction Coeff.	Unit Pipe Drop	Length	Total Pipe Press.Drop	Fittings Loss Coeff.		Total Fitting Coeff.	Velocity Pressure	Total Pump P.D.	Total System Drop	
													Qty.	K					ΣK
		DN	ID	Q	v	ε	10 <sup>6</sup> ·ν	Re	f	R	l	h <sub>f</sub>				P <sub>v</sub>	hm	ht	
		mm	mm	L/s	m/s	mm	m <sup>2</sup> /s			Pa/m	m	kPa				kPa	kPa	kPa	
<b>B1-B2 (City water tank to Treated water tank)</b>																			
W-1100	Pipe	50.800	52.502	2,78	1,28	0,15	1,50	4,5E+04	0,03	460	2,0	0,9							0,920
W-1200	Pipe	50.800	52.502	2,78	1,28	0,15	1,50	4,5E+04	0,03	460	2,5	1,2							1,151
W-1400	Pipe	50.800	52.502	1,12	0,52	0,15	1,50	1,8E+04	0,03	83	73,5	6,1							6,997
W-1500	Pipe	50.800	52.502	1,12	0,52	0,15	1,50	1,8E+04	0,03	83	10,0	0,8							0,929
DN40	Pipe	40.000	52.502	0,56	0,26	0,15	1,50	9,0E+03	0,04	23	42,0	1,0							0,963
DN32	Pipe	32.000	52.502	0,56	0,26	0,15	1,50	9,0E+03	0,04	23	31,0	0,7							0,725
DN25	Pipe	25.000	26.640	0,56	1,00	0,15	1,50	1,8E+04	0,04	698	96,0	67,0							66,978
W-1600/1900	Pipe	38.100	40.894	0,56	0,43	0,15	1,50	1,2E+04	0,04	80	6,0	0,4							0,402
*	90° Elbow	50.800	52.502	0,56	0,26								10	0,95	9,50	0,033	0,316	0,316	
*	90° Elbow	25.000	26.640	0,56	1,00								10	1,50	15,00	0,502	7,532	7,532	
*	Reducer	50.800	52.502	0,56	0,26								0	0,07	0,00	0,033	0,000	0,000	
*	Compensator	50.800	52.502	0,56	0,26								0	2,00	0,00	0,033	0,000	0,000	
*	Globe valve	50.800	52.502	0,56	0,26								12	6,90	82,80	0,033	2,756	2,756	
*	Check valve	50.800	52.502	0,56	0,26								1	2,00	2,00	0,033	0,067	0,067	
*	Strainer	50.800	52.502	0,56	0,26								4	4,00	16,00	0,033	0,533	0,533	
	TOTAL PRESSURE DROP (kPa)																		89,287
	SAFETY FACTOR 30%																		26,786
F1	SAND FILTER																		20,000
F2A/B	WATER SOFTENER																		20,000
	TOTAL CRITICAL CIRCUIT PRESSURE DROP (kPa)																		156,073
																			m.c.l
																			15,910
																			bar
																			1,591
<b>B2-B3 (Treated water tank to Cooling water tank)</b>																			
TW-1100	Pipe	50.800	52.502	0,56	0,26	0,15	1,50	9,0E+03	0,04	23	3,5	0,1							0,082
TW-1200	Pipe	50.800	52.502	0,56	0,26	0,15	1,50	9,0E+03	0,04	23	8,7	0,2							0,203
TW-1300	Pipe	25.000	26.640	0,56	1,00	0,15	1,50	1,8E+04	0,04	698	126,0	87,9							87,908
*	Elbow 90o	50.800	52.502	0,56	0,26								6	0,95	5,70	0,033	0,190	0,190	
*	Elbow 90o	25.000	26.640	0,56	1,00								4	1,50	6,00	0,502	3,013	3,013	
*	Tee linear	25.000	26.640	0,56	1,00								4	0,13	0,52	0,502	0,261	0,261	
*	Tee branch	25.000	26.640	0,56	1,00								4	0,63	2,50	0,502	1,255	1,255	
*	Reducer	50.800	52.502	0,56	0,26								0	0,07	0,00	0,033	0,000	0,000	
*	Compensator	50.800	52.502	0,56	0,26								0	2,00	0,00	0,033	0,000	0,000	
*	Globe valve	50.800	52.502	0,56	0,26								5	6,90	34,50	0,033	1,148	1,148	
*	Check valve	50.800	52.502	0,56	0,26								1	2,00	2,00	0,033	0,067	0,067	
*	Strainer	50.800	52.502	0,56	0,26								1	4,00	4,00	0,033	0,133	0,133	
	TOTAL PRESSURE DROP (kPa)																		94,261
	SAFETY FACTOR 30%																		28,278
	TOTAL CRITICAL CIRCUIT PRESSURE DROP (kPa)																		122,539
																			m.c.l
																			12,491
																			bar
																			1,249
<b>B3 - C1/2 (Chillers loop)</b>																			
CW-1100	Pipe	152.000	154.080	32,67	1,75	0,15	1,50	1,8E+05	0,02	214	3,2	0,7							0,686
CW-1200	Pipe	152.000	154.080	32,67	1,75	0,15	1,50	1,8E+05	0,02	214	27,0	5,8							5,790
CW-1300	Pipe	152.000	154.080	32,67	1,75	0,15	1,50	1,8E+05	0,02	214	29,0	6,2							6,219
*	Elbow 90o	152.000	154.080	32,67	1,75								12	0,35	4,20	1,527	6,414	6,414	
*	Reducer	152.000	154.080	32,67	1,75								0	0,07	0,00	1,527	0,000	0,000	
*	Compensator	152.000	154.080	32,67	1,75								8	2,00	16,00	1,527	24,435	24,435	
*	Butterfly valve	152.000	154.080	32,67	1,75								13	2,00	26,00	1,527	39,707	39,707	
*	Check valve	152.000	154.080	32,67	1,75								3	2,00	6,00	1,527	9,163	9,163	
*	Strainer	152.000	154.080	32,67	1,75								5	4,00	8,00	1,527	12,217	12,217	
	TOTAL PRESSURE DROP (kPa)																		104,631
	SAFETY FACTOR 30%																		31,389
	CHILLER																		57,000
	TOTAL CRITICAL CIRCUIT PRESSURE DROP (kPa)																		193,021
																			m.c.l
																			19,676
																			bar
																			1,968
<b>B3 - C1/2 (Process loop)</b>																			
CW-1400	Pipe	150.000	154.080	50,00	2,67	0,15	1,50	2,7E+05	0,02	490	5,0	2,5							2,451
CW-1500	Pipe	127.000	128.194	50,00	3,86	0,15	1,50	3,3E+05	0,02	1267	10,0	12,7							12,667
DN125	Pipe	125.000	128.194	38,88	3,00	0,15	1,50	2,6E+05	0,02	774	45,0	34,8							34,825
DN100	Pipe	100.000	102.300	19,89	1,69	0,15	1,50	1,1E+05	0,02	334	8,0	2,7							2,672
DN80	Pipe	50.800	52.502	1,78	0,82	0,15	1,50	2,9E+04	0,03	197	15,0	3,0							2,959
DN25	Pipe	25.000	26.640	1,12	2,00	0,15	1,50	3,6E+04	0,03	2629	15,0	39,4							39,434
*	Elbow 90o	150.000	154.080	50,00	2,67								11	0,35	3,85	3,577	13,772	13,772	
*	Reducer	150.000	154.080	50,00	2,67								4	0,07	0,28	3,577	1,002	1,002	
*	Tee linear	127.000	128.194	50,00	3,86								9	0,13	1,17	7,465	8,734	8,734	
*	Tee branch	150.000	154.080	50,00	2,67								9	0,63	5,63	3,577	20,121	20,121	
*	Compensator	150.000	154.080	50,00	2,67								4	2,00	8,00	3,577	28,617	28,617	
*	Butterfly valve	150.000	154.080	50,00	2,67								7	2,00	14,00	3,577	50,080	50,080	
*	Check valve	150.000	154.080	50,00	2,67								2	2,00	4,00	3,577	14,308	14,3	

#### A.5.4. Paràmetres de disseny

La pressió de treball s'ha calculat tenint en compte les condicions de procés requerides i les pèrdues de càrrega associades als diversos circuits de bombeig mitjançant l'equació 55.

$$P_{\text{dis}} = P_r + \Delta P \quad (55)$$

On  $P_{\text{dis}}$  = Pressió a la descàrrega (barg)

$P_r$  = Pressió requerida (barg)

$\Delta P$  = Pèrdues de càrrega (barg)

$$P_{\text{dis}}(\text{P1A/B}) = 5.00 + 1.59 = 6.59 \text{ barg}$$

$$P_{\text{dis}}(\text{P2A/B}) = 4.00 + 1.25 = 5.25 \text{ barg}$$

$$P_{\text{dis}}(\text{P3A/B/C}) = 3.00 + 1.97 = 4.97 \text{ barg}$$

$$P_{\text{dis}}(\text{P4A/B/C}) = 3.00 + 4.03 = 7.03 \text{ barg}$$

S'ha calculat l'alçada (Eq. 56) que ha de subministrar la bomba tenint en compte els valors de pressió calculats anteriorment.

$$h = \frac{P}{\rho \cdot g} \quad (56)$$

On  $h$  = Alçada de la bomba (m)

$P$  = Pressió (Pa)

$\rho$  = Densitat del fluid ( $\text{kg/m}^3$ )

$g$  = Acceleració de la gravetat ( $\text{m/s}^2$ )

$$h(\text{P1A/B}) = \frac{6.59 \cdot 10^5}{998.2 \cdot 9.81} = 67.3 \text{ m}$$

$$h(\text{P2A/B}) = \frac{5.25 \cdot 10^5}{998.2 \cdot 9.81} = 53.61 \text{ m}$$

$$h(\text{P3A/B/C}) = \frac{4.97 \cdot 10^5}{998.2 \cdot 9.81} = 50.8 \text{ m}$$

$$h(\text{P4A/B/C}) = \frac{7.03 \cdot 10^5}{998.2 \cdot 9.81} = 71.8 \text{ m}$$

S'ha estimat la potència hidràulica de cada bomba del sistema segons l'equació 57 suposant un rendiment del 70%.

$$\text{Pot}_h = \frac{\rho_{\text{fluid}} \cdot g \cdot Q \cdot H}{\eta} \quad (57)$$

On  $\text{Pot}_h$  = Potència hidràulica (kW)

$g$  = Acceleració de la gravetat ( $\text{m/s}^2$ )

$Q$  = Cabal ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$H$  = Alçada manomètrica (m)

$\eta$  = Eficiència de la bomba

$$\text{Pot}_h(\text{P1A/B}) = \frac{998.2 \cdot 9.81 \cdot \left(\frac{10}{3600}\right) \cdot 67.3}{0.70} = 2615.2 \text{ W} \approx 2.67 \text{ kW}$$

$$\text{Pot}_h(\text{P2A/B}) = \frac{998.2 \cdot 9.81 \cdot \left(\frac{2}{3600}\right) \cdot 43.4}{0.70} = 337.3 \text{ W} \approx 0.337 \text{ kW}$$

$$\text{Pot}_h(\text{P3A/B/C}) = \frac{998.2 \cdot 9.81 \cdot \left(\frac{117.61}{3600}\right) \cdot 50.8}{0.70} = 23216 \text{ W} \approx 23.2 \text{ kW}$$

$$\text{Pot}_h(\text{P4A/B/C}) = \frac{998 \cdot 9.81 \cdot \left(\frac{90}{3600}\right) \cdot 71.8}{0.70} = 25110.4 \text{ W} \approx 25.1 \text{ kW}$$

La velocitat en l'aspiració de sistemes de bombeig d'aigua de refrigeració generalment s'estableix en un rang d'entre 1 i 2 m/s. Per tal d'evitar problemes per cavitació o un desgast excessiu en els equips, aquesta s'ha fixat a 1.5 m/s. Finalment, s'ha calculat el NPSH disponible mitjançant l'equació 58.

$$\text{NPSH}_d = \frac{P_{\text{suc}}}{\rho \cdot g} + \frac{v_{\text{suc}}^2}{2 \cdot g} - \frac{p^{\text{sat}}}{\rho \cdot g} \quad (58)$$

On  $\text{NPSH}_d$  = NPSH disponible (m)

$P_{\text{suc}}$  = Pressió a l'aspiració (Pa)

$v_{\text{suc}}$  = Velocitat a l'aspiració (m/s)

$p^{\text{sat}}$  = Pressió de vapor (Pa)

$g$  = cceleració de la gravetat ( $\text{m/s}^2$ )

$\rho$  = Densitat del fluid ( $\text{kg/m}^3$ )

$$\begin{aligned} \text{NPSH}_d(\text{P1A/B}) &= \frac{1.49 \cdot 10^5}{998.2 \cdot 9.81} + \frac{1.50^2}{2 \cdot 9.81} - \frac{2340}{998.2 \cdot 9.81} = 15.09 \text{ m} \\ \text{NPSH}_d(\text{P2A/B}) &= \frac{1.21 \cdot 10^5}{998.2 \cdot 9.81} + \frac{1.50^2}{2 \cdot 9.81} - \frac{2340}{998.2 \cdot 9.81} = 12.23 \text{ m} \\ \text{NPSH}_d(\text{P3A/B/C}) &= \frac{3.00 \cdot 10^5}{998.2 \cdot 9.81} + \frac{1.50^2}{2 \cdot 9.81} - \frac{2340}{998.2 \cdot 9.81} = 30.51 \text{ m} \\ \text{NPSH}_d(\text{P4A/B/C}) &= \frac{3.00 \cdot 10^5}{998.2 \cdot 9.81} + \frac{1.50^2}{2 \cdot 9.81} - \frac{2340}{998.2 \cdot 9.81} = 30.51 \text{ m} \end{aligned}$$

Taula A.5.4.1. Paràmetres de disseny per a les diverses bombes del sistema.

Equip	$P_D$ (barg)	$P_{suc}$ (bar)	$P_{dis}$ (barg)	$\Delta P$ (barg)	$\text{NPSH}_d$ (m)
P1A/B	4-6	1.49	6.59	1.59	15.09
P2A/B	3-4	1.22	4.25	1.25	12.23
P3A/B/C	3-4	3	4.97*	1.97	30.51
P4A/B/C	4	3	7.03*	4.03	30.51

\*En els grups P3 i P4 hi trobem 2 bombes en operació i 1 en repòs.

## A.6. DISSENY DE CANONADES

### A.6.1. Condicions de disseny

Per tal d'establir els paràmetres de disseny de les canonades s'ha partit de les condicions de pressió i temperatura de treball. Seguidament, s'ha fet una primera estimació de la pressió de disseny tenint en compte un marge de seguretat del 10% en l'equació 59.

$$P_D = P_{OP} + 0.1 \cdot P_{OP} \quad (59)$$

On  $P_D$  = Pressió de disseny

$P_{OP}$  = Pressió d'operació

Una vegada escollida la velocitat de disseny segons la pressió de la línia, es defineix el cabal del procés tenint en compte les necessitats del sistema i es calcula el diàmetre aproximat (Eq. 60).

$$Q = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 \cdot v \quad (60)$$

On  $Q$  = Cabal ( $m^3/h$ )

$D$  = Diàmetre (m)

$v$  = Velocitat (m/s)

### A.6.2. Gruix de canonada

El gruix s'ha determinat segons el càlcul de gruix mínim per una paret cilíndrica (Eq. 61) tenint en compte un gruix per corrosió de 2 mm típic per materials d'acer al carboni.

$$t = \frac{P_D \cdot R}{S \cdot E - 0.6 \cdot P_D} \quad (61)$$

On  $t$  = Gruix de paret (mm)

$E$  = Eficiència de la soldadura

$S$  = Tensió admissible (MPa);

### A.6.3. Selecció de canonades comercials

Per tal de normalitzar el diàmetre i el *schedule* s'ha escollit elements de mides comercials que es mostren en les taules A.6.3.1. i A.6.3.2.

Taula A.6.3.1. Pipe Size Designators: NPS and DN

NPS	DN	NPS	DN	NPS	DN	NPS	DN
1/8	6	1	25	2 1/2	65	4 1/2	115
1/4	8	1 1/4	32	3	80	5	125
1/2	15	1 1/2	40	3 1/2	90	6	150
3/4	20	2	50	4	100	8	200

Taula A.6.3.2. ASME/ANSI B 36.10 Welded and Seamless Wrought Steel Pipe,

Size (in)	OD (in)	Schedule No.	t (mm)	ID (in)	Size (in)	OD (in)	Schedule No.	t (mm)	ID (in)
1/8	0.405	-	0.049	0.307	1/2	0.840	-	0.065	0.710
		40	0.068	0.269			-	0.083	0.674
		80	0.095	0.215			40	0.109	0.622
							80	0.147	0.546
							160	0.187	0.466
						-	0.294	0.252	
1/4	0.540	-	0.065	0.410	3/4	1.050	-	0.065	0.920
		40	0.088	0.364			-	0.083	0.884
		80	0.119	.302			40	0.113	0.824
							80	0.154	0.742
							160	0.219	0.612
						-	0.308	0.434	
3/8	0.675	-	0.065	0.545	1	1.315	-	0.065	1.185
		40	0.091	0.493			-	0.109	1.097
		80	0.126	0.423			40	0.133	1.049
							80	0.179	0.957
							160	0.250	0.81

## Continuació Taula A.6.3.2.

Size (in)	OD (in)	Schedule No.	t (mm)	ID (in)	Size (in)	OD (in)	Schedule No.	t (mm)	ID (in)
1 ½	1.900	-	0.065	1.770	3	3.500	-	0.083	3.334
		-	0.109	1.682			-	0.120	3.260
		40	0.145	1.610			40	0.216	3.068
		80	0.200	1.500			80	0.300	2.900
		160	0.281	1.338			160	0.438	2.624
		-	0.400	1.100			-	0.600	2.300
2	2.375	-	0.065	2.245	4	4.500	-	0.083	4.334
		-	0.109	2.157			-	0.120	4.260
		40	0.154	2.067			40	0.237	4.026
		80	0.218	1.939			80	0.337	3.826
		160	0.344	1.687			20	0.438	3.624
		-	0.436	1.503			160	0.531	3.438
2 ½	2.875	-	0.083	2.709	5	5.563	-	0.109	5.345
		-	0.120	2.635			-	0.134	5.295
		40	0.203	2.469			40	0.258	5.047
		80	0.276	2.323			80	0.375	4.813
		160	0.375	2.125			20	0.500	4.563
		-	0.552	1.771			160	0.625	4.313
3 ½	4.000	-	0.083	3.834	6	6.625	-	0.109	6.407
		-	0.120	3.760			-	0.134	6.357
		40	0.226	3.548			40	0.280	6.065
		80	0.318	3.364			80	0.432	5.761
							20	0.562	5.501
							160	0.718	5.189
			-	0.864	4.897				

#### A.6.4. Aïllament tèrmic

a) Elecció del material:

S'ha escollit l'escuma elastomèrica com a aïllant a causa de la seva baixa conductivitat tèrmica, resistència a la humitat, flexibilitat i facilitat d'instal·lació. L'aïllant comercial *R-FLEX ST pipe* de la marca ODE es troba disponible en seccions de 2 m i gruixos de 6, 9, 10, 13, 19, 25, 32 i 40 mm. A continuació es mostren els paràmetres clau del material en la Taula A.6.4.1.

Taula A.6.4.1. Propietats de l'aïllant *R-FLEX ST pipe*<sup>[43]</sup>.

Paràmetre	Valor
Conductivitat tèrmica (k)	0.036 (0°C) W/mK
	0.039 (25°C) W/mK
	0.041 (75°C) W/mK
Resistència a la difusió de vapor d'aigua ( $\mu$ )	11000
<i>Fire class</i> (EN13501-1)	BL-s2,d0

S'ha optat per un recobriments d'alumini (8 mm) en la capa externa de l'aïllant per tal d'implementar una protecció addicional contra la humitat i el deteriorament del material en els trams que es troben en exteriors. En la Figura 35 es pot observar la configuració de materials.

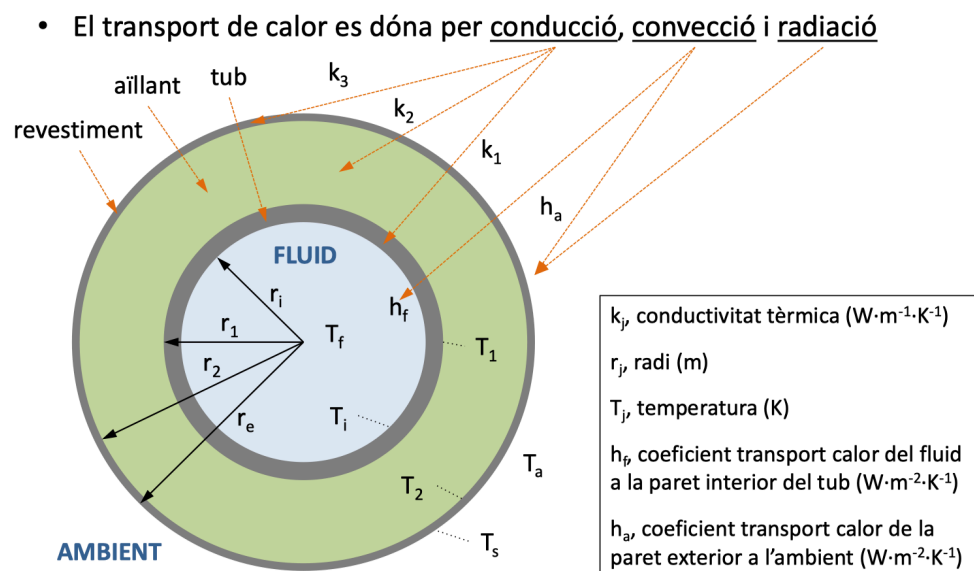


Figura 35. Esquema del transport de calor en canonades cilíndriques.

b) Càlcul del gruix d'aïllant:

S'ha calculat el gruix d'aïllament segons l'equació 62, considerant unes pèrdues de calor admissibles d'un 5% respecte a la càrrega tèrmica total del sistema.

$$q = k_r(T_a - T_f) \quad (62)$$

On  $q$  = Pèrdues de calor (W/m)

$k$  = Conductivitat tèrmica de l'aïllant (W/m · K)

$T_f$  = Temperatura del fluid (°C)

$T_a$  = Temperatura ambient (°C)

$$k_r = \frac{2\pi}{\frac{1}{r_i \cdot h_f} + \frac{\ln\left(\frac{r_1}{r_i}\right)}{k_1} + \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{k_2} + \frac{\ln\left(\frac{r_e}{r_2}\right)}{k_3} + \frac{1}{r_e \cdot h_a}} \quad (63)$$

On  $k_r$  = Conductivitat tèrmica equivalent (W/m · K)

$k_1$  = Conductivitat tèrmica tub (W/m · K)

$k_2$  = Conductivitat tèrmica aïllant (W/m · K)

$k_3$  = Conductivitat tèrmica revestiment (W/m · K)

$h_f$  = Conductivitat tèrmica fluid (W/m<sup>2</sup> · K)

$h_a$  = Conductivitat tèrmica ambient (W/m<sup>2</sup> · K)

$r_i$  = ID de la canonada (m)

$r_1$  = OD de la canonada (m)

$r_2$  = Radi aïllant (m)

$r_e$  = Radi revestiment (m)

Per comprovar que no hi hagi condensació, s'ha calculat la temperatura a la superfície externa. Aquesta s'ha de trobar per sota de la temperatura de rosada i s'ha fixat Hr = 70% i Tb = 25°C en el diagrama psicomètric de la figura 64.

$$T_s = \frac{k_r}{2\pi \cdot r_e \cdot h_a} (T_f - T_a) + T_a \quad (64)$$

On  $k_r$  = Conductivitat tèrmica equivalent (W/m · K)

$r_e$  = Radi revestiment (m)

$h_a$  = Conductivitat tèrmica ambient (W/m<sup>2</sup> · K)

$T_f$  = Temperatura del fluid (K)

$T_a$  = Temperatura ambient (K)

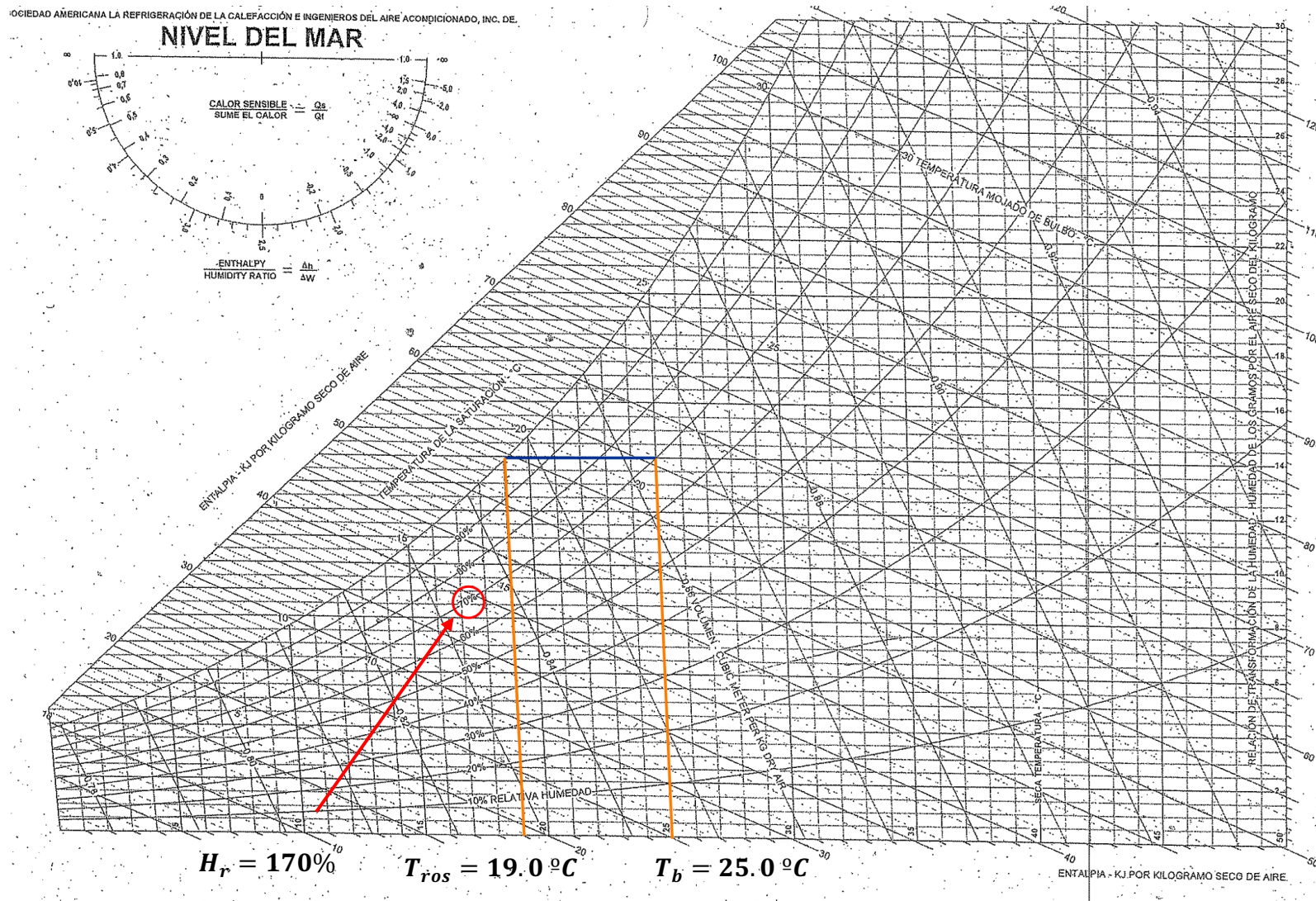


Figura 36. Diagrama psicomètric.

### A.7. LAYER OF PROTECTION ANALISYS (LOPA)

En l'anàlisi de les capes de protecció primerament cal determinar el nivell de conseqüència segons la categorització de la taula A.7.1. que diferencia entre efectes a persones, comunitats, medi ambient, reputació i equips.

Taula A.7.1. Categorització qualitativa del nivell de conseqüència

Nivell 1	Nivell 2	Nivell 3	Nivell 4	Nivell 5
<p><u>Persones</u> Sense conseqüències o ferides menors sense baixes. (desconfort, irritació menor).</p> <p><u>Comunitat</u> Sense efectes o molèsties al públic.</p> <p><u>Medi Ambient</u> Incident que no impliqui la notificació a les autoritats o la violació de la llicència ambiental.</p> <p><u>Reputació</u> Limitat a l'efecte local.</p> <p><u>Equips</u> Danys (incl. foc) mínims amb cost aproximat entre €35,000-€350,000.</p>	<p><u>Persones</u> Ferida no severa amb possibilitat de baixa. Efecte menor i reversible sobre la salut (Restricció reversible de l'exercici).</p> <p><u>Comunitat</u> Molèstia al públic per soroll o olor.</p> <p><u>Medi ambient</u> Incident que impliqui la notificació a les autoritats o violació de la llicència ambiental.</p> <p><u>Reputació</u> Efecte advers sobre la opinió pública regional, autoritats locals o grups d'acció</p> <p><u>Equips</u> Danys (incl. Foc) moderats amb cost aproximat entre €350,000-€3,500,000.</p>	<p><u>Persones</u> Una o més ferides greus amb baixes. Danys majors i irreversibles per la salut (restricció irreversible de l'exercici).</p> <p><u>Comunitat</u> Ferides majors.</p> <p><u>Medi ambient</u> Fuita de substàncies que poden posar en risc la salut/seguretat del públic.</p> <p><u>Reputació</u> Efecte advers sobre la opinió pública nacional, o sobre la modificació de llicències ambientals.</p> <p><u>Equips</u> Danys (incl. Foc) importants amb un cost estimat de €3.5MM-€€35MM.</p>	<p><u>Persones</u> De 1 a 3 morts o inhabilitació permanent.</p> <p><u>Comunitat</u> Ferides majors.</p> <p><u>Medi Ambient</u> Fuita que impliqui: Evacuació o parada d'instal·lacions, restriccions en la circulació o afectació al subministrament d'aigua potable.</p> <p><u>Reputació</u> Efectes adversos sobre la opinió pública internacional o sobre la concessió de noves llicències ambientals.</p> <p><u>Equips</u> Gran/total (incl. Foc) destrucció d'una àrea de producció amb un cost estimat superior a €35MM</p>	<p><u>Persones</u> Incident major amb diverses implicacions, incloent múltiples morts.</p> <p><u>Medi ambient</u> Fuita causant de danys permanents i severs al medi ambient extern al site.</p>

Seguidament, es quantifica la freqüència dels successos segons els valors de la Taula A.7.2. diferenciats segons el causant (Intervenció humana, causes instrumentals o mecàniques i causes externes).

Taula A.7.2. Freqüència de successos segons diverses causes.

Causa	Frecuencia (por año o por oportunidad)
<b>INTERVENCIÓN HUMANA</b>	
Error humano (al realizar una actividad rutinaria, bien entrenado, sin estrés, sin fatiga). La actividad se realiza con una frecuencia alta (diariamente, semanalmente), por lo general más de 10 veces por año.	1x10 <sup>-2</sup> por oportunidad o 1x por año
Error humano (al realizar una actividad rutinaria, bien entrenado, sin estrés, sin fatiga). La actividad se realiza con baja frecuencia, normalmente menos de 10 veces por año.	1x10 <sup>-1</sup> por oportunidad
Manipulación de válvula errónea (donde las válvulas se manipulan regularmente)	1x por 10 años
Tarea rutinaria, una vez por día	1x por año
Tarea rutinaria, una vez por mes	1x por 10 años
Tareas no rutinarias, bajo estrés	1x por 10 años
<b>CAUSAS INSTRUMENTALES / MECÁNICAS</b>	
Fallo general crítico del Sistema de Control (DCS)	1x por 10 <sup>2</sup> años
Fallo primario de Elemento de Control (un sensor, un controlador, un elemento final)	1x por 10 años
Fallo de equipo eléctrico rotativo, paro imprevisto (incluido fallo de energía)	1x por 10 años
Fuga en tubería – 1% de la sección (por 30 m de tubería)	
Hasta 200 mm de diámetro	1x por 10 <sup>3</sup> años
200-610 mm diámetro	1x por 10 <sup>4</sup> años
> 610 mm diámetro	1x por 10 <sup>5</sup> años
Fuga en tubería – 10% de la sección (por 30 m de tubería)	
Hasta 200 mm de diámetro	1x por 10 <sup>4</sup> años
200-610 mm diámetro	1x por 10 <sup>5</sup> años
> 610 mm diámetro	1x por 10 <sup>7</sup> años
Fuga en tubería – 100% de la sección (por 30 m de tubería)	
Hasta 200 mm de diámetro	1x por 10 <sup>4</sup> años
200-610 mm diámetro	1x por 10 <sup>6</sup> años
> 610 mm diámetro	1x por 10 <sup>7</sup> años
Fallo de junta/empaquetadura	1x por 10 <sup>2</sup> años
Fallo de junta/empaquetadura	1x 10 <sup>-4</sup> años por junta
Fallo residual de un equipo a presión	1x por 10 <sup>5</sup> años
Fallo aire de instrumentos	1x por 10 <sup>2</sup> años
Rutura completa de manguera	1x por 10 <sup>2</sup> años
Fallo sello mecánico simple de bomba	1x por 10 años
Fallo sello mecánico doble de bomba	1x por 10 <sup>2</sup> años
Fallo de refrigeración (Sistema de bombeo simple)	1x por año
Fallo de refrigeración (Sistema de bombeo redundante)	1x por 10 años
Fallo de energía (Sistema simple)	1x por año
Fallo de energía (Sistema redundante)	1x por 10 años
Ruptura de tubo en intercambiador (sólo un tubo) Área intercambiador > 93 m <sup>2</sup> .	1x por 10 <sup>3</sup> años
Ruptura de tubo en intercambiador (sólo un tubo) Área intercambiador ≤ 93 m <sup>2</sup> .	1x por 10 <sup>4</sup> años
<b>CAUSAS EXTERNAS</b>	
Entrega del producto erróneo (por ejemplo cisterna errónea, documentos erróneos, error humano)	1x por 10 <sup>2</sup> años
Intervención de terceros (impacto externo, vehículo, etc.)	1x por 10 <sup>2</sup> años
Nube de gas grande (causas agregadas)	1x por 10 <sup>2</sup> años
Pequeño fuego (causas agregadas)	1x por 10 años
Gran fuego (causas agregadas)	1x por 10 <sup>2</sup> años

**NOTA:** Algunos valores se expresan como probabilidad de falla en demanda (PFD), por ejemplo: fallo de operador. En este caso, la frecuencia de evento de iniciación se obtiene multiplicando el número de veces que una acción se lleva a cabo con el PFD para obtener la frecuencia por año.

Una vegada identificats el nivell de conseqüències i la freqüència dels causants, cal determinar el nivell de criticitat mitjançant una matriu de riscos (Figura 37).

Consecuencia Frecuencia (Año <sup>-1</sup> )	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5
10 <sup>0</sup>	Verde	Amarillo	Rojo	Rojo	Rojo
10 <sup>-1</sup>	Verde	Cian	Amarillo	Rojo	A
10 <sup>-2</sup>	Verde	Cian	Amarillo	B	Rojo
10 <sup>-3</sup>	Verde	Verde	C	Amarillo	Amarillo
10 <sup>-4</sup>	Verde	D	Cian	Cian	Amarillo
10 <sup>-5</sup>	Verde	Verde	Verde	Cian	Cian
10 <sup>-6</sup>	Verde	Verde	Verde	Verde	Cian

**Figura 37.** Matriu de riscos.

La classificació segons cada categoria permet prendre part en la gestió de riscos implementant un seguit d'accions en concordança.

- **A (risc crític):** Mitigació instantània o parada de la planta.
- **B (alt):** Prendre urgentment mesures necessàries per assegurar l'operació estable.
- **C (moderat):** Prendre tant aviat com es pugui les mesures necessàries per assegurar l'operació estable.
- **D (baix):** No cal prendre accions.

Havent identificat el tipus de riscs presents en el procés, es poden implementar diverses salvaguardes o equips de protecció amb l'objectiu de reduir el nivell de risc segons els crèdits IPL (Capes de protecció independents).

Taula A.7.3. Crèdits de les capes de protecció independents.

Descripción de la Protección	Crédito IPL	Comentarios
<b>Equipos Mecánicos</b>		
Dispositivo de alivio de presión – sin válvulas de aislamiento	4	Servicio limpio. Bien diseñado, fabricado, instalado y probado. Pruebas documentadas.
Dispositivo de alivio de presión – sin válvulas de aislamiento	2	Servicio sucio (suciedad, corrosión, polímero, etc..) Bien diseñado, fabricado, instalado y probado. Pruebas documentadas.
Dispositivos de alivio de presión doble en paralelo, con válvula de 3 vías o válvula de aislamiento enclavadas	4	Servicio limpio. Bien diseñado, fabricado, instalado y probado. Pruebas documentadas.
Dispositivos de alivio de presión doble en paralelo, con válvula de 3 vías o válvula de aislamiento enclavadas	2	Servicio sucio (suciedad, corrosión, polímero, etc..) Bien diseñado, fabricado, instalado y probado. Pruebas documentadas.
Dispositivo de alivio de presión con válvula de aislamiento en la entrada controlada por procedimiento administrativo	3	Servicio limpio. Bien diseñado, fabricado, instalado y probado. Pruebas documentadas.

Dispositivo de alivio de presión con válvula de aislamiento en la entrada controlada por procedimiento administrativo	2	Servicio sucio (suciedad, corrosión, polímero, etc..) Bien diseñado, fabricado, instalado y probado. Pruebas documentadas.
Dispositivo de alivio de presión con válvula de aislamiento en la entrada y salida, y controladas por procedimiento administrativo	2	Servicio sucio (suciedad, corrosión, polímero, etc..) Bien diseñado, fabricado, instalado y probado. Pruebas documentadas.
Dispositivo de alivio de presión con válvula de aislamiento en la entrada, controlada por procedimiento administrativo y con disco en "8" en la salida	3	Servicio limpio. Bien diseñado, fabricado, instalado y probado. Pruebas documentadas.
Dispositivo de alivio de presión con válvula de aislamiento en la entrada, controlada por procedimiento administrativo y con disco en "8" en la salida	2	Servicio sucio (suciedad, corrosión, polímero, etc..) Bien diseñado, fabricado, instalado y probado. Pruebas documentadas.
<b>Nota:</b> Para instalaciones con dispositivos de alivio redundantes, simultáneos y con capacidad plena, el crédito IPL combinado será +1 sobre el IPL de un dispositivo simple. Se tiene así en cuenta la posibilidad de que ambos dispositivos queden fuera de servicio simultáneamente al estar expuestos al mismo proceso y mantenimiento.		
Disco de ruptura	3	Servicio limpio. Bien diseñado, fabricado, instalado y probado. Pruebas documentadas.
Disco de ruptura	2	Servicio sucio (suciedad, corrosión, polímero, etc..) Bien diseñado, fabricado, instalado y probado. Pruebas documentadas.
Protección mecánica de exceso de velocidad	1	Testeada regularmente de acuerdo con el proveedor y la frecuencia ajustada dependiendo de resultados de las pruebas. Pruebas documentadas.
Válvula manual bloqueada por candado o cadena	1	Los bloqueos sólo se utilizan en escenarios donde la manipulación de la válvula es el suceso iniciador.
Válvula anti-retorno	1	Servicio limpio. Adecuada para su aplicación. Bien diseñada, fabricada, instalada y con pruebas documentadas al menos anualmente. El intervalo de pruebas puede modificarse dependiendo del éxito de las pruebas realizadas.
Válvula anti-retorno	1	Escenario relacionado con gran retroceso, no fugas.
Doble válvula anti-retorno	2	Escenario relacionado con gran retroceso, no fugas.
Orificio de restricción	2	Servicio de limpio, no corrosivo, sin erosión y que de forma efectiva restringirá el caudal a no más del caudal especificado, bajo todas las condiciones y presiones aguas arriba.
Válvulas limitadoras de caudal	1	Servicio de limpio, escenario de exceso de caudal.
<b>Equipos Instrumentales</b>		
Lazo de control (DCS or PLC)	1	Según IEC-61511, nivel de IPL máximo 1.
Lazo de control automático	1	El fallo del lazo no contribuye al evento iniciador y se mantienen correctamente todos los elementos del lazo.
Lazo de control manual	1	No más de 5 minutos para la actuación. El fallo del lazo no contribuye al evento iniciador y se mantienen correctamente todos los elementos del lazo.
Lazo de control simple	1	Sin intervención humana. Debe ser independiente de otros IEs e IPLs.
Lazo de control simple	1	Sin intervención humana. 1 nivel de crédito máximo por escenario. La placa base es el único componente compartido con otro IEs o IPLs.
Lazo de control neumático	1	El fallo del lazo no contribuye al evento iniciador y se mantienen correctamente todos los elementos del lazo.
Manoreductor	1	Ajuste manual del dispositivo reductor.
Enclavamiento SIL 1	1	Todo de acuerdo a IEC-61508 y IEC-61511.
Enclavamiento SIL 2	2	Todo de acuerdo a IEC-61508 y IEC-61511.
Enclavamiento SIL 3	3	Todo de acuerdo a IEC-61508 y IEC-61511.
<b>Intervención Humana</b>		
Acción de operador	0	El operador tiene que seguir un procedimiento de respuesta de emergencia operativa bajo alto estrés (peligro de vida) y con menos de 5 minutos para valorar el problema, determinar un curso de acción y responder.
Acción de operador	1	Acción simple, bien documentada, con indicaciones claras y fiables, y que el tiempo de respuesta de >10 minutos.
Acción manual de operador en campo	1	El tiempo de respuesta de >10 minutos. Los sensores y alarmas son testeados y la formación del operador incluye

Descripción de la Protección	Crédito IPL	Comentarios
		la respuesta requerida.
Acción como respuesta a una alarma	1	El tiempo de respuesta de >10 minutos en campo o > 5 minutos desde sala de control. Sin distracciones por otras alarmas.
Acción como respuesta a un lectura en campo o análisis de muestras	1	El tiempo entre lecturas o resultados del análisis es como máximo dos veces el tiempo necesario para que el suceso iniciador se propague hasta la consecuencia.
Doble comprobación	1	Como se especifica en el procedimiento y grupos de trabajo independientes
Procedimiento de operación	1	Acción simple, bien documentada.
Doble sello mecánico e instrumentado	1	Siempre y cuando exista un procedimiento de monitoreo regular del instrumento, o una alarma que indique fallo de un sello junto a un procedimiento de reparación del sello.
Procedimiento de operación especial	1	Procedimiento basado en check-list, ejecutado por dos personas, con menos de 10 pasos y con >40 minutos para detectar y corregir errores.
<b>Equipos de Mitigación</b>		
Cubetos, paramientos ignífugos, sectores de incendio, confinamientos, etc.	2	Diseño e implementación de acuerdo con las normas aplicables. Mantenimiento e inspección periódica necesaria y documentada.
Equipo anti-propagación de llama/detonación	2	Elimina la posibilidad de retroceso a través de un sistema de tuberías hacia un recipiente, tanque o la atmósfera. La Probabilidad de Fallo en Demanda (PFD) se basa en el adecuado diseño, instalación y mantenimiento. Servicio de limpio.
Equipo anti-propagación detonación	1	Ensuciamiento o difícil servicio.
Equipo anti-propagación de llama	1	Mantenimiento rutinario
Venteo sin válvula	3	Evitará la sobrepresión. Servicio de limpio.
Rebosadero	3	Sin obstrucciones
Pared anti-explosión/ bunker	3	Protege equipos, edificios y personas contra explosión.
Ignifugado	2	Reduce la entrada de calor y proporciona tiempo adicional para despresurizar, evacuar, realizar intervención contra el fuego, etc.
EPI especial	1	

**A.8. AVALUACIÓ ECONÒMICA****A.8.1. CAPEX**

Taula A.7.1. Llistat de despeses generals del projecte.

ID	Descripció	Proveïdor	u.	Preu/u.	Import
<b>Maquinària</b>					
1	Compressor	KAESER	3	24,648.75€	73,946.25€
2	Assecador	KAESER	3	8,164.00€	24,492.00€
3	Tanc acumulador	KAESER	1	9,168.95€	9,168.95€
4	Filtres en línia	KAESER	3	961.50€	2,884.50€
5	Purgadors automàtics	KAESER	3	174.75€	524.25€
6	Tractament de condensats	KAESER	1	2,623.95€	2,623.95€
7	<i>Air-cooled chillers</i>	YORK	2	69,021.71€	138,043.42€
8	Bombes circuit <i>chillers</i>	WILO	3	3,259.86€	9,779.58€
9	Bombes circuit procés	WILO	3	8,416.76€	25,250.28€
10	Filtració i descalcificadors	AQUAMATCH	1	4,793.00€	4,793.00€
11	Vàlvules de control de flux	PENTAIR	3	379.00€	1,137.00€
12	Grup de pressió 10 m <sup>3</sup> /h	GRUNDFOS	1	26,292.00€	26,292.00€
13	Grup de pressió 2 m <sup>3</sup> /h	GRUNDFOS	1	23,166.00€	23,166.00€
<b>Canonades i accessoris (Refrigeració)</b>					
14	DN25 pipe (m)	BORUSAN	46	10.07€	465.11€
15	DN32 pipe (m)	BORUSAN	22	13.25€	296.82€
16	DN40 pipe (m)	BORUSAN	6	14.25€	85.48€
17	DN50 pipe (m)	BORUSAN	22	18.54€	415.14€
18	DN65 pipe (m)	BORUSAN	6	21.63€	129.78€
19	DN80 pipe (m)	BORUSAN	111	24.83€	2,746.52€
20	DN100 pipe (m)	BORUSAN	31	30.44€	937.46€
21	DN125 pipe (m)	BORUSAN	28	39.92€	1,117.64€

22	DN150 pipe (m)	BORUSAN	176	47.90€	8,450.03€
23	DN200 pipe (m)	BORUSAN	43	78.13€	3,390.79€
24	Fittings	BORUSAN	0.45	18,034.76€	8,115.64€
25	Supports	BORUSAN	0.15	18,034.76€	2,705.21€
26	DN25 insulation (m)	ARMACELL	46	4.43€	204.80€
27	DN32 insulation (m)	ARMACELL	22	4.95€	110.84€
28	DN40 insulation (m)	ARMACELL	6	5.08€	30.46€
29	DN50 insulation (m)	ARMACELL	22	5.50€	123.21€
30	DN65 insulation (m)	ARMACELL	6	6.32€	37.90€
31	DN80 insulation (m)	ARMACELL	111	7.78€	860.00€
32	DN100 insulation (m)	ARMACELL	31	9.54€	293.79€
33	DN125 insulation (m)	ARMACELL	28	10.26€	287.20€
34	DN150 insulation (m)	ARMACELL	176	11.03€	1,946.28€
35	DN200 insulation (m)	ARMACELL	43	13.46€	584.28€
36	Fittings	ARMACELL	0.15	4,478.76€	671.81€
37	DN25 jacketing (m)		46	5.92€	273.32€
38	DN32 jacketing (m)		22	6.64€	148.68€
39	DN40 jacketing (m)		6	6.96€	41.77€
40	DN50 jacketing (m)		22	7.58€	169.89€
41	DN65 jacketing (m)		6	8.63€	51.77€
42	DN80 jacketing (m)		111	10.11€	1,118.43€
43	DN100 jacketing (m)		31	11.32€	348.80€
44	DN125 jacketing (m)		28	13.43€	376.08€
45	DN150 jacketing (m)		176	14.66€	2,586.19€
46	DN200 jacketing (m)		43	18.00€	781.08€
47	Fittings		0.25	5,896.01€	1,474.00€
48	DN25-DN50 painting (m)		97	1.97€	191.13€

49	DN65-DN100 painting (m)		147	2.34€	344.90€
50	DN125-DN200 painting (m)		248	2.63€	651.02
51	Ball valve 1"	DUYAR	12	19.48€	233.82€
52	Ball valve 1 1/4"	DUYAR	4	27.39€	109.55€
53	Ball valve 1 1/2"	DUYAR	1	35.45€	35.45€
54	Ball valve 2"	DUYAR	4	59.13€	236.52€
55	Butterfly valve 3"	DUYAR	4	88.56€	354.25€
56	Butterfly valve 5"	DUYAR	2	138.77€	277.53€
57	Butterfly valve 6"	DUYAR	20	152.13€	3,042.65€
58	Butterfly valve 8"	DUYAR	6	259.49€	1,556.94€
59	Check valve 6"	DUYAR	6	626.10€	3,756.59€
60	Strainer 6"	DUYAR	8	307.72€	2,461.77€
61	Strainer 8"	DUYAR	2	484.45€	968.90€
62	Rubber compensator 6"	KAYSE	4	148.84€	595.38€
63	Header 10" (m)	BORUSAN	10	265.72€	2,657.18€
64	Header nozzle 1"		6	9.69€	58.16€
65	Header nozzle 6"		14	42.75€	598.53€
66	Header nozzle 8"		3	68.59€	205.76€
67	Header nozzle 1/2"		8	27.92€	223.38€
68	Pressure gauge	PAKKENS	8	50.72€	405.75€
69	Temperature gauge	PAKKENS	8	20.25€	161.98€
70	Automatic air vent 1/2"	PAKKENS	2	42.72€	85.44€
71	Flowswitch 6"	PAKKENS	2	678.25€	1,356.49€
72	Automatic water feeding	PAKKENS	2	70.81€	141.63€
73	Valve insulation jacket 3"	ONSE	4	35.79€	143.18€
74	Valve insulation jacket 5"	ONSE	2	43.58€	87.16€
75	Valve insulation jacket 6"	ONSE	34	44.81€	1,523.38€

76	Valve insulation jacket 8"	ONSE	8	47.14€	377.09€
77	Chemical flushing		-	394.74€	394.74€
78	Labelling		-	52.63€	52.63€
<b>Canonades i accessoris (Aire comprimit)</b>					
79	Galvanised pipe ½" (m)	BORUSAN	18	8.52€	155.14€
80	Galvanised pipe ¾" (m)	BORUSAN	12	8.42€	100.20€
81	Galvanised pipe 1" (m)	BORUSAN	165	11.35€	1,867.09€
81	Galvanised pipe 1 ½" (m)	BORUSAN	15	16.20€	243.01€
83	Galvanised pipe 2 ½" (m)	BORUSAN	15	24.73€	370.95€
84	Galvanised pipe 3" (m)	BORUSAN	242	28.63€	6,915.08€
85	Fittings (%)	BORUSAN	0.45	9,037.52€	4,066.89€
86	Supports (%)	BORUSAN	0.15	9,037.52€	1,355.63€
87	PPRC drain pipe Ø25 (m)	FIRAT	24	6.08€	146.03€
88	PPRC drain pipe Ø32 (m)	FIRAT	6	7.62€	45.70€
89	Fittings	FIRAT	0.45	191.73€	86.28€
90	Supports	FIRAT	0.15	191.73€	28.76€
91	Ball valve ½"	DUYAR	5	11.43€	57.15€
92	Ball valve ¾"	DUYAR	3	14.77€	29.55€
93	Ball valve 1"	DUYAR	53	19.48€	1,032.69€
94	Ball valve 4"	DUYAR	20	165.04€	3,300.88€
95	Strainer 1"	DUYAR	3	16.40€	49.20€
96	Galvanised header 6" (m)		2	276.33€	552.67€
97	Pressure gauge		3	50.72€	152.16€
<b>Instal·lació</b>					
98	Refrigeració	MEKANIK TESISAT			39,990.00€
99	Aire comprimit	MEKANIK TESISAT			20,129.24€

### A.8.2. OPEX

S'ha calculat els costos d'operació de la xarxa de serveis suposant que els equips treballen a la seva capacitat màxima durant 8160h (340 dies).

#### a) Consum dels *chillers*:

La instal·lació s'ha dissenyat per treballar amb un únic *chiller* tenint en compte que el consum majoritari del procés es dona en el pel·letitzador dels extrusors amb uns requisits de 317kW/línia.

$$\text{Càrrega Tèrmica} = 317kW \cdot 2 \text{ línies} = 634 kW$$

Una vegada coneguda la càrrega tèrmica dels grans consumidors, s'ha calculat quina és la càrrega total en el *chiller* segons la seva capacitat nominal.

$$\text{Càrrega Chiller} = 634kW / 683.8kW = 0.927 \approx 93\%$$

Tenint en compte un 93% de càrrega si els *chillers* funcionessin en continu, s'ha estimat el consum energètic associat a l'operació d'aquests sabent que al 100% té un consum de 250 kW.

$$\text{Consum chiller} = 0.93 \cdot 246.5kW = 228.55kW$$

Finalment, s'ha calculat el cost d'operació dels *chillers* segons el consum anual i el cost de l'electricitat.

$$228.55kW \cdot 8160h = 1,864,968 \approx 1,865,000kWh$$

$$1,865,000kWh \cdot 0.1417€/kWh = 264,270.5€/any$$

#### b) Consum dels compressors:

La instal·lació s'ha dissenyat per treballar amb 2 compressors amb una potència nominal de 37kW.

$$\text{Consum compressors} = 2 \cdot 37kW \cdot 81160h = 603,840 kWh$$

$$603,840 kWh \cdot 0.1417€/kWh = 85566.13€/any$$

#### c) Consum de les bombes:

La potència total instal·lada per a les bombes en funcionament és de 95.1 kW.

$$\text{Consum bombes} = 95.1kW \cdot 81160h = 776,016 kWh$$

$$776,016 kWh \cdot 0.1417€/kWh = 109,961.5 \approx 110,000€/any$$





