

INSTAL·LACIÓ DE CÀRREGA D'AIGUA D'UNA PLANTA DE PVC

TREBALL DE FI DE GRAU

TFGEQ_2020_pmolina

Autor: Pedro José Molina Valls

Tutor: Manuel Tierno García

Data: Tarragona, 29 de Juny de 2020

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:INSTAL·LACIÓ DE CÀRREGA D'AIGUA D'UNA PLANTA DE PVC

SUBTÍTOL

AUTOR:PEDRO JOSÉ MOLINA VALLS.....

CURS ACADÈMIC:2019-2020.....

VIST I PLAU DEL TUTOR ACADÈMIC

En/NaMANUEL TIERNO GARCÍA.....

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: 27/06/2020

DECLARACIÓ D'ABSÈNCIA DE CONFLICTES DE CONFIDENCIALITAT

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

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

Signatura:



Data: 27/06/2020

RESUM EXECUTIU

Com a conseqüència de les successives ampliacions i modificacions de les capacitats d'una planta i millores introduïdes en el procés, la instal·lació de càrrega d'aigua és susceptible de millores importants.

L'optimització del sistema de càrrega d'aigua tant pel que fa als cabals com a les temperatures de càrrega pot permetre importants reduccions en el temps de cicle dels reactors amb millores econòmiques destacables.

És per això que el present projecte engloba un nou disseny del sistema de càrrega d'aigua d'una planta de policlorur de vinil a partir de clorur de vinil i aigua com a matèries primeres, per produir 200000 tones/any de polímer.

El PVC és un material termoplàstic obtingut per la polimerització del clorur de vinil com a monòmer mitjançant un procés de polimerització en cadena.

Es tracta d'un dels plàstics més utilitzats, juntament amb el polietilè i el polipropilè. Degut a les seves propietats ofereix una àmplia gama de prestacions en diferents sectors tant domèstics com industrials, com n'és el cas de la construcció, aplicacions mecàniques, mobiliari, elèctric, indústria del automòbil, entre d'altres.

Per a la producció del policlorur de vinil es poden seguir quatre processos de fabricació diferents, els més comuns són la polimerització en suspensió i la polimerització en emulsió. Existeixen diferències importants entre els dos mètodes tant en el procés com en les propietats del producte obtingut essent la més important el tamany de partícula del polímer. Això provoca que el PVC tingui unes aplicacions diferents.

En el cas del PVC en suspensió s'utilitza per fabricar objectes de gran volum de producció com per exemple, canonades, productes mèdics o embalatge. L'emulsió té aplicacions que són més específiques com recobriments elèctrics, mobles, joguines i revestiments.

La planta que s'optimitzarà, que està situada al polígon químic de Tarragona, fabrica en aquests moments 185.000 t i té com a objectiu passar a fabricar 200.000 t/any utilitzant el procés en suspensió.

PROJECT ABSTRACT

As a consequence of the successive expansions and modifications of the PVC plant capacity and following improvements introduced in the process, the installation of the water storage is susceptible to significant advances.

The optimization of the water storage system and the upgrading in the load flowrate can lead to an important decrease in the cycle time of the reactors with the consequent economic improvements.

It is for this reason that this project comprises a new design in the water storage system of a polyvinyl chloride plant from vinyl chloride and water as main raw materials in order to produce 200.000 tons of polymer per year.

PVC is a thermoplastic material which is obtained by the polymerization of the vinyl chloride as a monomer through a full process of a polymerization chain.

PVC is one of the most widely used plastics together with the polyethylene and the polypropylene. Due to its properties it offers a wide range of functionalities in different fields (domestic or industrial) as it can be seen in the construction, mechanic applications, furniture, electricity or car industry among others.

To produce polyvinyl chloride, we can follow four different manufacture process. The most commonly used are the polymerization in suspension and the polymerization in emulsion. The difference between the can be found in the size of the polymer particle. It is for this reason that PVC has specific proprieties and different functionalities.

PVC in suspension can be used to produce great quantities of pipes, medical products or packaging. PVC in emulsion has more specific uses such as electric coating, furniture, toys and coating.

The plant to be optimized, which is located in the Tarragona chemical cluster, currently manufactures 185.000 tons and the objective is to produce 200.000 tons/year using the suspension process.

ÍNDEX

1. INTRODUCCIÓ	1
1.1. Agraïments	1
2. ETAPA PRELIMINAR.....	2
2.1. Descripció del projecte	2
2.2. Abast del projecte	2
2.3. Estudi bibliogràfic / alternatives al procés	2
2.3.1. Característiques del PVC.....	3
2.3.2. Reacció de polimerització del PVC.....	3
2.3.3. Processos de producció del PVC.....	3
2.3.4. Principals aplicacions del PVC	4
2.3.5. Etapes bàsiques del procés de producció per suspensió.....	4
2.3.5.1. Alimentació de les matèries primeres	5
2.3.5.2. Reacció de polimerització	5
2.3.5.3. Descàrrega	6
2.3.5.4. Neteja.....	6
2.3.5.5. Aplicació de parets	6
2.3.5.6. Desgasificació	6
2.3.5.7. Stripping	7
2.3.5.8. Centrifugació	7
2.3.5.9. Assecat.....	7
2.4. Planificació inicial del projecte (Diagrama de Gantt)	7
3. BASES PER AL DESENVOLUPAMENT DEL PROJECTE	9
3.1. Especificacions de les matèries primeres i capacitats	9
3.1.1. Normes de disseny a aplicar	9
3.2. Dades bàsiques per al desenvolupament de l'enginyeria	9
3.2.1. Energies ("Utilities") disponibles.....	9
3.2.1.1. Vapor d'aigua. Nivells i quantitats.....	9
3.2.1.2. Condensat: Especificacions de la xarxa	9
3.2.1.3. E. Elèctrica: Nivells de tensió i aplicacions	9
3.2.1.4. Aigües: Tipus, usos i qualitats.....	10
3.2.1.5. Combustibles: Tipus i Especificacions.....	11
3.2.1.6. Aire: Especificacions i Aplicacions	11
3.2.1.7. Nitrogen: Especificacions i aplicacions	12
3.2.1.8. Preus de les energies.....	12

3.2.2. Normes i codis de disseny	19
3.2.2.1. Recipients	19
3.2.2.2. Canonades	19
3.2.2.3. Equips dinàmics: Bombes	19
3.2.2.4. Instrumentació	19
3.2.2.5. Materials aïllants	13
3.2.2.6. Codificació d'equips	13
3.2.2.7. Codificació de les embranques.....	13
3.2.2.8. Identificació de línies	14
3.2.2.9. Identificació de vàlvules.....	14
3.2.2.10. Identificació d'instruments.....	14
3.2.2.11. Identificació de motors elèctrics	14
4. DESENVOLUPAMENT DE L'ENGINYERIA BÀSICA	14
4.1. Elaboració de diagrames	14
4.2. Disseny d'equips	20
4.2.1. Càlcul dels volums dels tancs d'emmagatzematge	20
4.2.1.1. Volum del tanc d'aigua a 5°C.....	20
4.2.1.2. Volums dels tancs d'aigua a 25°C i 90°C	21
4.2.2. Disseny dels tancs d'emmagatzematge	22
4.2.2.1. Càlcul del gruix dels tancs d'emmagatzematge	23
4.2.3. Disseny del bescanviador de calor	24
4.2.4. Disseny de canonades.....	25
4.2.5. Disseny de les bombes de transferència	28
4.2.6. Disseny de la instrumentació i control	31
4.2.6.1. Relació d'instruments de control.....	32
4.2.6.2. Sistema d'enclavaments	34
4.3. Descripcions	34
4.3.1. Descripció funcional del projecte.....	34
4.3.2. Descripció de la instal·lació	35
5. SEGURETAT EN EL DISSENY DE LES INSTAL·LACIONS	36
5.1. Metodologia de l'anàlisi.....	36
6. MANTENIMENT DE LA INSTAL·LACIÓ.....	37
6.1. Tancs d'emmagatzematge	37
6.2. Bombes centrífugues	37
6.3. Bescanviador de calor	38
6.4. Canonades	38

7. MEDIAMBIENT AL DISSENY DE LES INSTAL·LACIONS	39
7.1. Identificació dels principals contaminants	39
7.2. Residus associats al manteniment	39
7.3. Consums d'energia elèctrica	39
7.4. Consums tèrmics	40
7.5. Sorolls.....	40
8. ESTUDI ECONÒMIC	41
8.1. Compte de resultats	41
8.2. Pressupost d'execució del projecte.....	42
8.3. Avaluació global de la inversió	42
8.4. Anàlisi de sensibilitat	44
9. CONCLUSIONS	45
10. REFERÈNCIES.....	46
A.1. ETAPA PRELIMINAR.....	47
A.1.1. Etapes bàsiques del procés de producció per suspensió	47
A.2. DESENVOLUPAMENT DE L'ENGINYERIA BÀSICA	47
A.2.1. Disseny d'equips	47
A.2.2. Disseny de les bombes de transferència	50
A.2.3. Llistat de canonades	56
A.3. SEGURETAT EN EL DISSENY DE LES INSTAL·LACIONS	58
A.4. ESTUDI ECONÒMIC.....	61
A.4.1. Avaluació econòmica	61
A.4.2. Avaluació global de la inversió	62
A.4.3. <i>Cash flow</i> de la instal·lació.....	63
A.5. FITXES D'ESPECIFICACIONS DELS EQUIPS	65

1. **INTRODUCCIÓ**

Títol	Instal·lació de càrrega d'aigua d'una planta de PVC		
Identificador	TFG_2020_pmolina		
Tutor	Manuel Tierno García		
Dia	29/06/2020	Localització	Tarragona
Autor	Pedro José Molina Valls		

1.1. **Agraïments**

Volia donar les gràcies a tota aquella gent que ha estat al meu costat durant la realització d'aquest projecte i que m'ha ajudat fins l'últim moment, tant amics, com familiars i professors.

Finalment, un agraïment especial al meu tutor, Manuel Tierno, per la seva dedicació i per instruir-me en el món del PVC i del disseny industrial.

2. ETAPA PRELIMINAR

2.1. Descripció del projecte

L'objectiu d'aquest projecte és redissenyar la instal·lació de càrrega d'aigua d'una planta de PVC incrementant la producció i beneficis econòmics de la planta.

L'optimització del sistema de càrrega d'aigua tant pel que fa als cabals com a la temperatura de càrrega pot permetre importants reduccions en el temps de cicle dels equips generant importants beneficis econòmics per a l'empresa.

2.2. Abast del projecte

Per a una planta química de producció de PVC es vol reduir la quantitat d'aigua utilitzada durant la fabricació i la resta d'activitats conjuntes. El propòsit d'aquest projecte és intentar minimitzar el consum d'aigua redissenyant tant la instal·lació ja existent i modificar el sistema d'operació.

S'ha realitzat una recopilació de dades per tal d'avaluar la situació actual de la planta, establint les necessitats actuals per poder reduir en les futures. Per tal d'arribar als requisits establerts s'han redissenyat els tancs d'emmagatzematge i s'ha elaborat un diagrama conceptual del procés.

S'inclou una memòria de càlcul del plantejament dels balanços de matèria i energia, juntament amb els plànols, diagrames de flux i de control.

S'han redimensionat els diferents tancs d'emmagatzematge, el sistema de canonades (tant pel que fa a la distribució com a les dimensions) i el actual sistema de bombeig que és un important coll d'ampolla de la instal·lació. Igualment, s'ha calculat un nou bescanviador de calor per tal d'evitar problemes de disseny.

El treball comprèn el disseny dels sistemes de mesura i control. S'han establert els instruments de mesura, s'han dimensionat les vàlvules de control i es proposen noves estratègies de control, incloent solucions pel control automàtic.

S'ha realitzat un estudi de seguretat que inclou una anàlisi preliminar de risc i els sistemes de protecció dels equips a sobrepressions.

Finalment, s'ha dut a terme un estudi econòmic per tal de determinar la rendibilitat econòmica de les propostes de millora.

2.3. Estudi bibliogràfic / alternatives al procés

El policlorur de vinil és un dels plàstics més utilitzats en l'actualitat degut a les múltiples qualitats que posseeix, així com la gran versatilitat i el seu baix cost de fabricació front les nombroses prestacions que ofereix.

A continuació es mostra la simbologia creada per la *Society of the Plastics Industry* per identificar productes de policlorur de vinil:



Figura 2.1. Simbologia dels productes PVC

El PVC es pot fabricar en diferents graus de polimerització i, existeixen diferents processos de producció. Es tracta d'un producte molt semblant al polietilè però que es diferencia per que cada dos àtoms de carboni, un dels àtoms d'hidrogen es troba substituït per un àtom de clor, generat per mitjà d'una polimerització per radicals lliures del clorur de vinil.

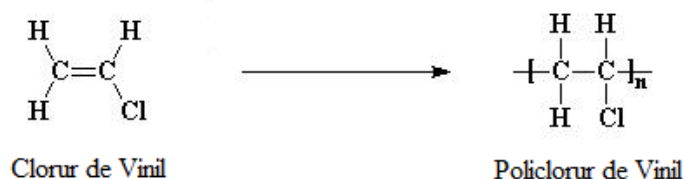


Figura 2.2. Polimerització vinílica per radicals lliures

2.3.1. Característiques del PVC

És un material que presenta una bona resistència mecànica, per aquest motiu es utilitza en molts àmbits de la construcció. Aquest polímer termoplàstic (polímer sintètic d'addició) és resistent a molts productes químics i és miscible als additius que formen part de les propietats del plàstic. Degut als àtoms de clor que formen part del polímer és resistent al foc i és eficaç per aïllar i protegir cables elèctrics.

Pel fet de ser un material inert i estable el podem trobar en àmbits de la salut i la higiene, com per exemple en canonades d'aigua potable o en materials mèdics.

D'entre les propietats més importants prioritza la seva flexibilitat, com també la gran capacitat per ser modelable sense necessitat d'exposar-lo a altes temperatures. Només en un període curt d'exposició a un focus de calor permet la seva modificació i, un cop es refreda a temperatura ambient, es manté la forma i propietats.

2.3.2. Reacció de polimerització del PVC

El policlorur de vinil és un material termoplàstic que prové de la polimerització del clorur de vinil en forma de monòmer mitjançant la polimerització continuada per la separació dels dobles enllaços. Aquest tipus de reacció té lloc quan els monòmers són activats per mitjà d'iniciadors. Una vegada els dobles enllaços es trenquen els àtoms de carboni s'uneixen uns amb els altres per mitjà d'enllaços simples formant llargues cadenes polimèriques.

El mecanisme que es segueix durant la polimerització consisteix en múltiples reaccions encadenades diferenciades en tres etapes que determinaran el creixement de la cadena polimèrica.

La primera etapa que té lloc és l'activació i el trencament dels dobles enllaços entre els àtoms de carboni, provocant un desequilibri electrònic molecular.

La segona etapa és la propagació entre les molècules activades per mitjà de les col·lisions entre elles. La polimerització es produeix per radicals lliures on s'activen els dobles enllaços mitjançant iniciadors o per l'acció de la temperatura.

La tercera etapa és la desactivació dels grups moleculars per l'estabilització electrònica entre elles, quedant finalment unides entre si.

2.3.3. Processos de producció del PVC

Les tècniques de fabricació es classifiquen en quatre tipus segons el medi de producció: polimerització en massa, en dissolució, en emulsió i en suspensió. Aquest projecte es centrarà en la polimerització en suspensió donat que és el procés que més s'utilitza actualment per a la fabricació de policlorur de vinil a l'indústria. No obstant, a continuació es descriuen breument cadascun dels processos:

- 1- **Polimerització en massa:** durant la polimerització no s'utilitza dissolvents, únicament el monòmer es troba en medi líquid, i es fa servir catalitzador. Es produeix en grans quantitats en poc temps degut a l'alta eficiència de la reacció. El principal inconvenient és que la massa de polímer té molta viscositat i poca homogeneïtat que pot desencadenar en degradacions del propi polímer.
- 2- **Polimerització en dissolució:** l'addició d'un dissolvent disminueix la viscositat de la massa polimèrica que es va generant durant la reacció en cadena, i per tant, hi ha una millor transferència de calor que millora l'eficiència de la reacció.
- 3- **Polimerització en emulsió:** és una tècnica molt complexa però molt comú també a l'indústria. S'utilitza un iniciador soluble en aigua i s'afegeix un emulsionant que produeix gotes que es mantenen en emulsió sense precipitar. Un augment de surfactant al medi genera unes petites micelles on penetren les molècules i l'iniciador, on seguidament tindrà lloc la polimerització. Aquestes van augmentant el seu volum a mesura que avança la reacció i les petites gotes de monòmer van dissipant.
- 4- **Polimerització en suspensió:** aquesta tècnica utilitza un iniciador que és soluble en el monòmer i insoluble en el medi de reacció que normalment és aigua. Al contrari de la polimerització en emulsió que l'iniciador és soluble en l'aigua. Per l'addició d'agents de suspensió, com per exemple alcohols polivinílics, es pot controlar d'una forma òptima el tamany de les partícules. En les gotes de monòmer formades és on té lloc la reacció de polimerització.

El PVC com ja s'ha esmentat en apartats anteriors, es fabrica fonamentalment per emulsió o suspensió. Gairebé totes les indústries que es dediquen a la producció del policlorur de vinil segueixen aquests dos mecanismes, la resta està quasi en desús. A Espanya la major part de les empreses dedicades a la fabricació d'aquest producte segueixen el mètode de polimerització en suspensió com és el cas de la companyia Ercros S.A.

2.3.4. Principals aplicacions del PVC

A partir dels processos de fabricació anteriorment descrits, es produeixen resines de policlorur de vinil d'alta qualitat, que presenten bones propietats mecàniques i elèctriques.

A continuació, a taula 2.1 es mostren algunes de les aplicacions del PVC.

Taula 2.1. Principals aplicacions del PVC

Sector	Aplicacions
Elèctric	Aïllants, cables elèctrics i connectors.
Construcció	Canonades, persianes i rajoles.
Alimentació	Films, <i>tupperwares</i> i ampolles
Medicina	Guants, xeringuilles, bosses sanguínies
Altres	Automòbils, joguines, ...

2.3.5. Etapes bàsiques del procés de producció per suspensió

El procés en suspensió utilitzat per a la producció de resines de policlorur de vinil és tipus *batch*. El cicle complet té una durada aproximada de 4-5 hores i es compon per les següents etapes: càrrega de matèries primeres, reacció de polimerització, descàrrega, neteja i aplicació d'antiincrustant.

Una vegada descarregat el reactor, en un altre tanc, es porta a terme la desgasificació (que consisteix en la recuperació del monòmer que no ha reaccionat), posteriorment el *slurry* (PVC+Aigua) passa per una columna de *stripping* i es centrifuga per treure una part important d'aigua. Finalment s'alimenta un assecador i es transporta el sòlid produït cap a les sitges d'emmagatzemament.

A l'annex A.1 es pot observar un esquema del procés, en les corrents d'entrada i sortida de cada unitat. A continuació, es descriuran cadascuna de les etapes especificant els equips que s'utilitzen durant l'operativa i les condicions de treball.

2.3.5.1. Alimentació de les matèries primeres

Un cop s'ha obtingut el clorur de vinil en una planta producció annexa, s'alimenta aquest monòmer al reactor, juntament amb aigua, catalitzadors i agents de suspensió.

2.3.5.2. Reacció de polimerització

La polimerització és una reacció molt exotèrmica durant la qual es desprèn molta calor, concretament 1540 kJ/kg. [4]

La reacció principal es du a terme en medi aquós en un reactor *batch*. Com el catalitzador de la reacció és soluble en el monòmer, per l'acció de l'agitació es dispersen en petites gotes dintre de les quals tindrà lloc la reacció de polimerització i on es formaran les unions dels enllaços generant cadenes polimèriques.

Les gotícules de VCM queden protegides per l'agent de suspensió, que les manté estables i regula la grandària de la partícula final.

La temperatura de treball sol estar compresa entre 55°C i 68°C i la pressió de treball entre 7,5 barg i 9,2 barg; aquestes condicions depenen de la resina que es vulgui fabricar en cada reactor. La conversió que té lloc és aproximadament del 90%. [4]

En la figura 2.4. es mostra una representació típica d'una reacció de polimerització en suspensió. A la gràfica es pot observar la tendència de la temperatura i de la pressió al llarg del temps, gràcies a la camisa de refrigeració s'extrau la calor de reacció i, en conseqüència, es pot mantenir la temperatura pràcticament constant al voltant de 60°C. Pel que fa la pressió es manté constant i paral·lela a la temperatura de reacció però arriba un punt que disminueix sobtadament com a conseqüència de la disminució de la concentració de clorur de vinil que va polimeritzant. Aquesta caiguda de pressió marca el moment d'iniciar la descàrrega.

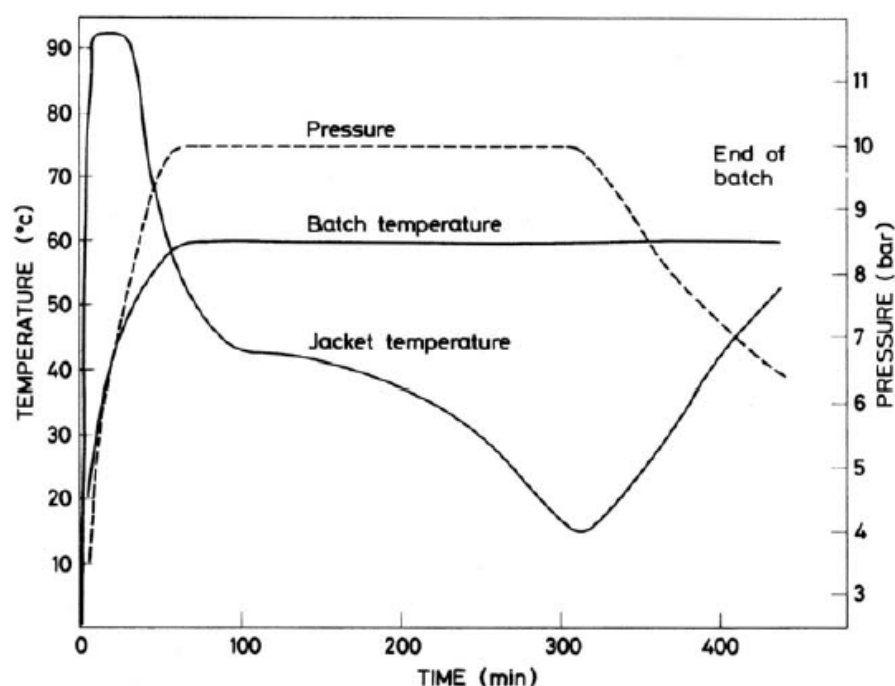


Figura 2.3. Perfil d'una polimerització en suspensió [4]

2.3.5.3. Descàrrega

Una vegada assolida la pressió de descàrrega, s'obre la vàlvula de fons del reactor i es posa en marxa la bomba de descàrrega per tal de transvasar el contingut del reactor cap el *Blow Down Tanc* (BDT) o tanc on es produirà la recuperació del VCM que no ha reaccionat.

2.3.5.4. Neteja

Finalitzada la descàrrega, es despleguen dues vàlvules de rentat, situades a la part superior del reactor, que projecten a tota la superfície interior un xorro d'aigua a pressió de forma que s'arrossegueu les partícules de PVC que puguin haver quedat dipositades. Tota aquesta aigua de neteja també es bombeja cap al BDT.

2.3.5.5. Aplicació de parets

L'última operació que es fa al reactor és una aplicació d'un agent antiincrustat a les parts del reactor per tal d'evitar l'embrutiment produït per la polimerització.

Aquest agent s'aplica creant un núvol de vapor a l'interior i dissolvent un compost que cobreix les parets evitant incrustacions que empitjorarien la qualitat del producte i reduirien el coeficient de transferència de calor i en conseqüència disminuint la producció.

2.3.5.6. Desgasificació

Un cop finalitzada la fase de polimerització en el reactor, el corrent de sortida és el que s'anomena un *slurry* (aigua i policlorur de vinil), a més, un 10% de clorur de vinil que no ha reaccionat. Aquest corrent entra dintre d'un tanc on s'elimina el clorur de vinil que no ha reaccionat, per l'acció de la temperatura mitjançant vapor i el buit produït per uns compressors. D'aquesta fase s'obtenen dos corrents, una que es dirigeix cap a una unitat de recuperació de clorur de vinil i l'altra que conté el *slurry*.

2.3.5.7. Stripping

En una columna de *stripping* de plats perforats (*dual-flow*), que treballa a pressió propera a l'atmosfèrica, es recupera el clorur de vinil que encara queda present dins de les partícules provinents de l'etapa anterior.

El *slurry* s'alimenta pel cap de la columna i, en contracorrent, entrant pel fons, es fa passar vapor d'aigua. El vapor, per una part escalfa les partícules a uns 100 °C, evaporant el monòmer contingut al porus i per l'altra arrossega el clorur de vinil en direcció al cap de la columna. Aquest corrent es refreda, condensant el vapor i recuperant el VCM.

En aquesta unitat s'obté una corrent pel fons de la columna que conté aigua i el policlorur de vinil lliure de VCM.

2.3.5.8. Centrifugació

La resina de polímer que es queda en suspensió en l'aigua es separa en una etapa de centrifugació. La corrent que prové de l'etapa del *stripping* està composta per un 70% d'aigua i un 30% de PVC. En aquesta fase mitjançant una centrifugadora i un bis sense fi es va separant l'aigua del polímer, obtenint una corrent al 30% d'aigua i la resta polímer. Per l'altra banda surt una corrent d'aigua residual [4].

2.3.5.9. Assecat

En l'última etapa del procés té lloc l'assecat de la corrent de sortida de la centrífuga que conté polímer en un 70%.

La sortida de la centrífuga s'alimenta a un secador tipus llit fluïditzat.

Aquest consisteix en una cambra, on el terra es una malla perforada per sota de la qual entra aire calent (escalfat amb un bescanviadors amb vapor).

La massa humida de PVC cau a l'interior i les partícules es mantenen suspeses per acció de l'aire. Les més humides i pesades estan a la part inferior i a mesura que perden aigua van pujant, de manera que obtenint partícules sòlides suspeses en aire i que presenten l'aspecte d'un fluid. La sortida de l'assegador és un sobreixidor per on surten les partícules amb menys d'un 0,3% d'humitat.

Un transport pneumàtic envia aquestes partícules a la part superior de la instal·lació on passen per uns tamisos per tal de rebutjar les partícules que superen una grandària determinada. D'allà cauen a una tremuja que és el pas previ al seu transport a les sitges d'emmagatzemament.

2.4. Planificació inicial del projecte (Diagrama de Gantt)

Per a desenvolupar un bon projecte cal assegurar que l'objectiu es compleix dins del temps establert pel client. Per aquest motiu, s'ha dissenyat un diagrama de Gantt on s'especifica la duració i totes les tasques que es duen a terme.

Aquesta eina és útil per tenir un control del treball realitzat i el temps que requereixen les tasques que queden per fer. Si es produeix un retard es pot analitzar la demora i reprogramar la resta de tasques.

A continuació, es pot observar la planificació que s'ha seguit en aquest projecte, tenint en compte que la durada per a la realització del mateix ha estat de 4 mesos, aproximadament, compresos entre mitjans de febrer (inici) i finals de juny (entrega final).

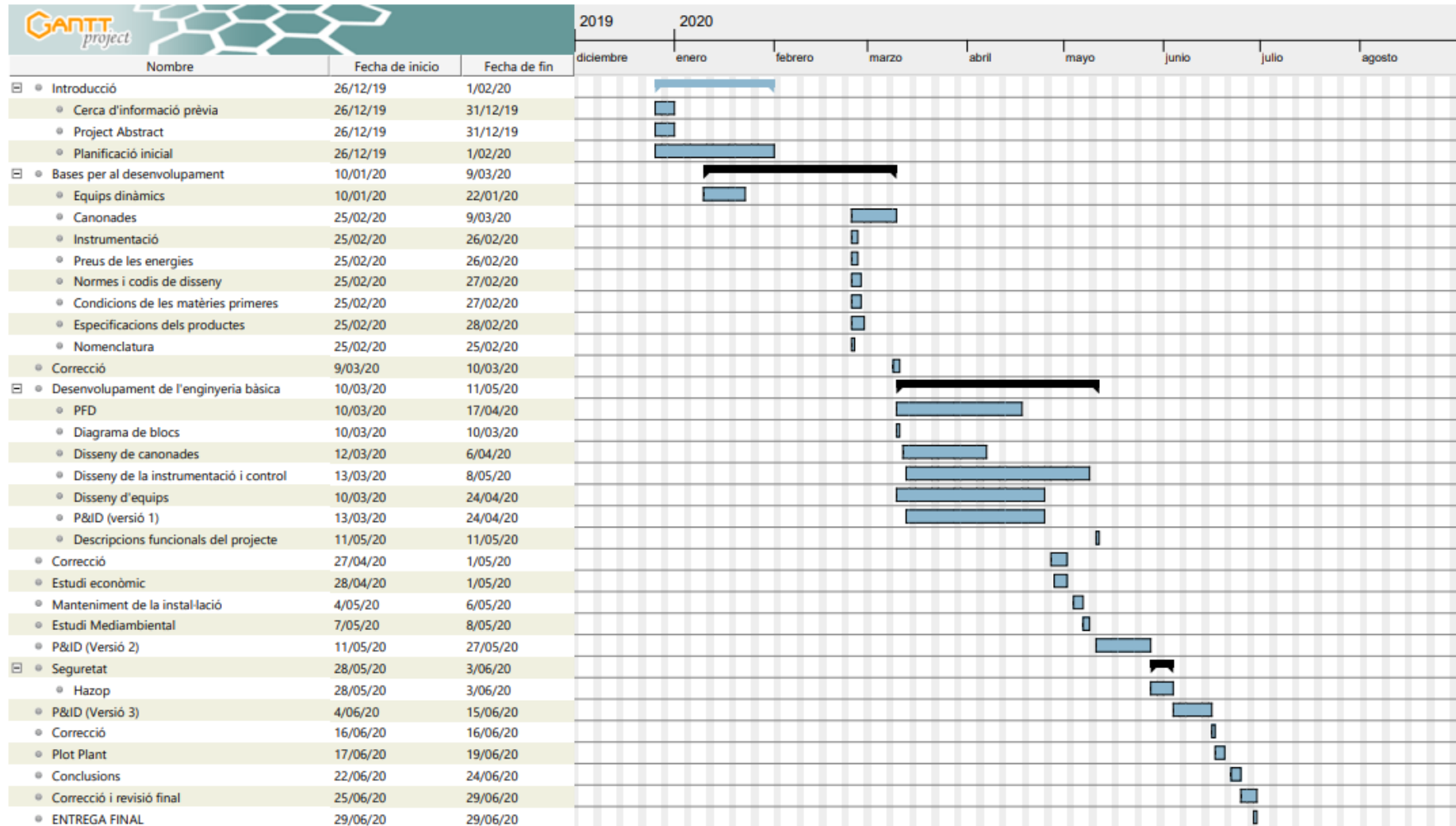


Figura 2.4. Diagrama de Gantt

3. BASES PER AL DESENVOLUPAMENT DEL PROJECTE

3.1. Especificacions de les matèries primeres i capacitats

3.1.1. Normes de disseny a aplicar

Per al càlcul de temperatura de disseny es farà servir el següent criteri:

- La temperatura de disseny serà igual a la suma de la temperatura d'operació màxima més 20°C. Si la suma és inferior a 60°C s'utilitzarà com a temperatura de disseny 60°C.

Per al càlcul de la pressió de disseny:

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

3.2. Dades bàsiques per al desenvolupament de l'enginyeria

En aquest apartat s'especifiquen totes aquelles dades que es requereixen a l'hora de dissenyar els equips. S'especifiquen les *utilities* disponibles, dades de l'emplaçament, preus d'energies, entre d'altres.

3.2.1. Energies (“Utilities”) disponibles

3.2.1.1. Vapor d'aigua. Nivells i quantitats

Taula 3.1. Tipus de nivells de vapor disponibles

Nivells de vapor	Pressió (barg)	Qualitat
Vapor d'alta pressió	12	Saturat
Vapor de mitja pressió	8	Saturat
Vapor de baixa pressió	2	Saturat

3.2.1.2. Condensat: Especificacions de la xarxa

Taula 3.2. Tipus de condensat disponibles

Nivells de condensat	Pressió màx. (barg)
Condensat d'alta pressió	12
Condensat de mitja pressió	8
Condensat de baixa pressió	2

3.2.1.3. E. Elèctrica: Nivells de tensió i aplicacions

Taula 3.3. Nivells de tensió

Tipus	Voltatge (V)	Freqüència (Hz)	Nº fases
Motor de potència igual o inferior a 200 kW	380	50	3

3.2.1.4. Aigües: Tipus, usos i qualitats

Taula 3.4. Tipus d'aigües i condicions

Aigües	Valors
Aigua de torre (TW):	
Temperatura d'entrada	27°C
Temperatura màxima de sortida	37°C
Pressió d'entrada a cota 0	8 barg màx
Pèrdua de càrrega	0,7 bar
Qualitat	Aigua dèbil amb agents anticorrosius
pH	7,8 - 8,2
Aigua freda (CHW):	
Temperatura d'entrada	5°C
Temperatura de sortida	8°C
Pressió d'entrada a cota 0	5 barg
Qualitat	Aigua desmineralitzada amb additius
Aigua d'addició a reactors (C1W):	
Pressió	18 barg
Temperatura	5°C
Qualitat	Aigua desmineralitzada
Aigua de "cierres" (SW):	
Pressió	15 barg
Temperatura	5°C
Qualitat	Aigua desmineralitzada
Aigua desmineralitzada de procés (PW):	
Pressió	7,2 barg
Temperatura	90°C
Qualitat	Aigua desmineralitzada
Aigua desmineralitzada (ADW1):	
Pressió	6,9 barg
Temperatura	Ambient
pH	5 - 6
Clorurs	2,3 ppm
SiO ₂	0,2 ppm
Conductivitat	1,5 - 20 µ Siemens
Sòlids totals	7,8 ppm
Aigua desmineralitzada a pressió (ADW2):	
Pressió	7 barg
Temperatura	Ambient
pH	5 - 6
Clorurs	2,3 ppm
SiO ₂	0,2 ppm

Taula 3.4. Tipus d'aigües i condicions (cont.)

Aigües	Valors
Conductivitat	1,5 - 20 μ Siemens
Sòlids totals	7,8 ppm
Aigua crua (CW):	
Pressió	6 barg
Temperatura	Ambient
Qualitat	Aigua de l'Ebre
Aigua contra incendis (FW):	
Pressió	9 barg
Temperatura	Ambient
Qualitat	Aigua Crua

3.2.1.5. Combustibles: Tipus i Especificacions

Taula 3.5. Tipus de combustibles i condicions

Gas natural	Valors
Pressió	2,5 barg
Temperatura	8°C
Poder calorífic	10300 kcal/Nm ³
Qualitat	90,6 % mol Metà 7,9 % mol Età 0,5 % mol Nitrogen

3.2.1.6. Aire: Especificacions i Aplicacions

Taula 3.6. Tipus d'aires i condicions

Aire	Valors
Aire d'instruments (IA):	
Pressió màxima	6 barg
Pressió mínima	4 barg
Temperatura	35 – 40°C
Qualitat	Aire sec
Aire de planta (PA):	
Pressió màxima	6 barg
Pressió mínima	4 barg
Temperatura	35 – 40°C
Qualitat	Aire humit

3.2.1.7. Nitrogen: Especificacions i aplicacions

Taula 3.7. Tipus de Nitrogen i condicions

Nitrogen	Valors
Nitrogen de mitja pressió (MIG):	
Pressió màxima	14 barg
Temperatura	Ambient
Puresa	99,99%
Qualitat	Lliure d'olis
Nitrogen de baixa pressió (LIG):	
Pressió màxima	8 barg
Temperatura	Ambient
Puresa	99,99%
Qualitat	Lliure d'olis

3.2.1.8. Preus de les energies

Taula 3.8. Preus de les energies

Energies	Preus
Gas natural	0,200 euros/Nm ³
Energia elèctrica	0,045 euros/kWh
Vapor	0,015 euros/kg
Nitrogen	0,145 euros/Nm ³
Aire	0,015 euros/Nm ³
Aigua crua	0,385 euros/m ³
Aigua desmineralitzada	1,385 euros/m ³
Aigua refrigeració	0,035 euros/m ³

3.2.2. Normes i codis de disseny

A continuació s'especifiquen les normatives per al disseny dels equips. En tots els casos s'utilitza el Sistema Internacional d'Unitat de Mesura (unitats S.I.).

3.2.2.1. Recipients

Tancs de baixa pressió: API 620
 Recipients a pressió: ASME VIII div. 1
 Bescanviadors de calor: TEMA R

3.2.2.2. Canonades

ASTM ANSI B31-3

3.2.2.3. Equips dinàmics: Bombes

DIN i estàndards dels subministradors

3.2.2.4. Instrumentació

ISA i API 550

3.2.2.5. Materials aïllants

En temperatures iguals o inferiors a 60°C no es necessari aïllament excepte en aquells casos que ho requereixi el procés.

En temperatures superiors a 60°C es requereix aïllament com a mesura de protecció personal o aïllament per a la calor d'acord amb els requisits del procés.

En temperatures iguals o inferiors a 12°C es requereix d'aïllament per a fred.

3.2.2.6. Codificació d'equips

Els equips s'identificaran utilitzant els següents codis: X 0 0 00

El primer caràcter alfanumèric fa referència al tipus d'equip segons la llista de la taula 3.9. El segon dígit correspon a la unitat a la que pertany l'equip. El tercer caràcter numèric fa referència a la secció. El 4t i el 5é fan referència a un número de sèrie consecutiu, especificats a la taula.

Taula 3.9. Codificació d'equips

Tipus d'equip	Codi	Nº de sèrie
Agitador	AG	A partir del 53
Compressor	C	A partir del 12
Bescanviador de calor	E	A partir del 33
Mesclador	MZ	A partir del 00
Bomba	P	A partir del 46
Reactor	R	A partir del 04
Columna	T	A partir del 00
Tanc o depòsit	TK	A partir del 53
Separador	S	A partir del 23
Altres	X	A partir del 00

3.2.2.7. Codificació de les embranques

El codi de les embranques dels diferents equips es compon d'una lletra seguida d'un número. La lletra fa referència al servei i el número distingeix les embranques destinades al mateix servei. Per exemple: A1, A2 i A3 serien els codis de tres embranques d'un depòsit dedicades a entrades de procés o servei.

- A- Entrades de producte (Procés o servei)
- B- Sortida de producte (Procés o servei)
- C- Embranques compartides per diversos serveis
- E- Venteig
- H- Boca d'home
- J- Toma d'anàlisi (PH)
- L- Sobreeixidor
- N- Indicador, transmissor, controlador o interruptor de nivell
- P- Indicador, transmissor, controlador o interruptor de pressió
- S- Toma de mostres
- T- Indicador, transmissor, controlador o interruptor de temperatura
- V- Drenatge
- W- Suports
- X- Altres

3.2.2.8. Identificació de línies

Les línies s'identifiquen utilitzant els següents grups de caràcters: PW-100-DN80-SS-HI
El primer caràcter fa referència al codi del fluid.

El segon caràcter correspon al número de secció sempre partint de 100.

El tercer grup identifica el diàmetre nominal de la canonada.

El quart correspon al tipus de material, és a dir, *stainless steel* (SS) o *carbon steel* (CS).

Per últim es fa referència a l'aïllament tèrmic, aquests poden ser de tipus *hot insulation* (HI) o *cold insulation* (CI).

3.2.2.9. Identificació de vàlvules

Es compon de quatre caràcters, com per exemple: BFA01

El primer tipus fa referència al tipus de vàlvula: ball (B), check (C), ...

El segon fa referència al tipus de connexió de la vàlvula, en aquest cas totes les vàlvules són bridades o *flanged* en anglès.

El tercer valor fa referència al P&ID, és a dir, A és per a les vàlvules del primer diagrama i B per al segon.

L'últim grup de caràcter numèric correspon al número de sèrie que va del 01 fins al 99.

3.2.2.10. Identificació d'instruments

Es compon de quatre grups de caràcters, per exemple: FT101

El primer grup indica el codi ISA de l'instrument. En aquest cas *flow transmitter* (FT).

El primer número correspon al número de P&ID.

L'últim grup indica el número de sèrie que va del 01 fins al 99.

3.2.2.11. Identificació de motors elèctrics

Els motors s'identifiquen amb tres grups de caràcters, com per exemple: PM146A

El primer caràcter fa referència al tipus d'equip, especificats a la taula 3.9.

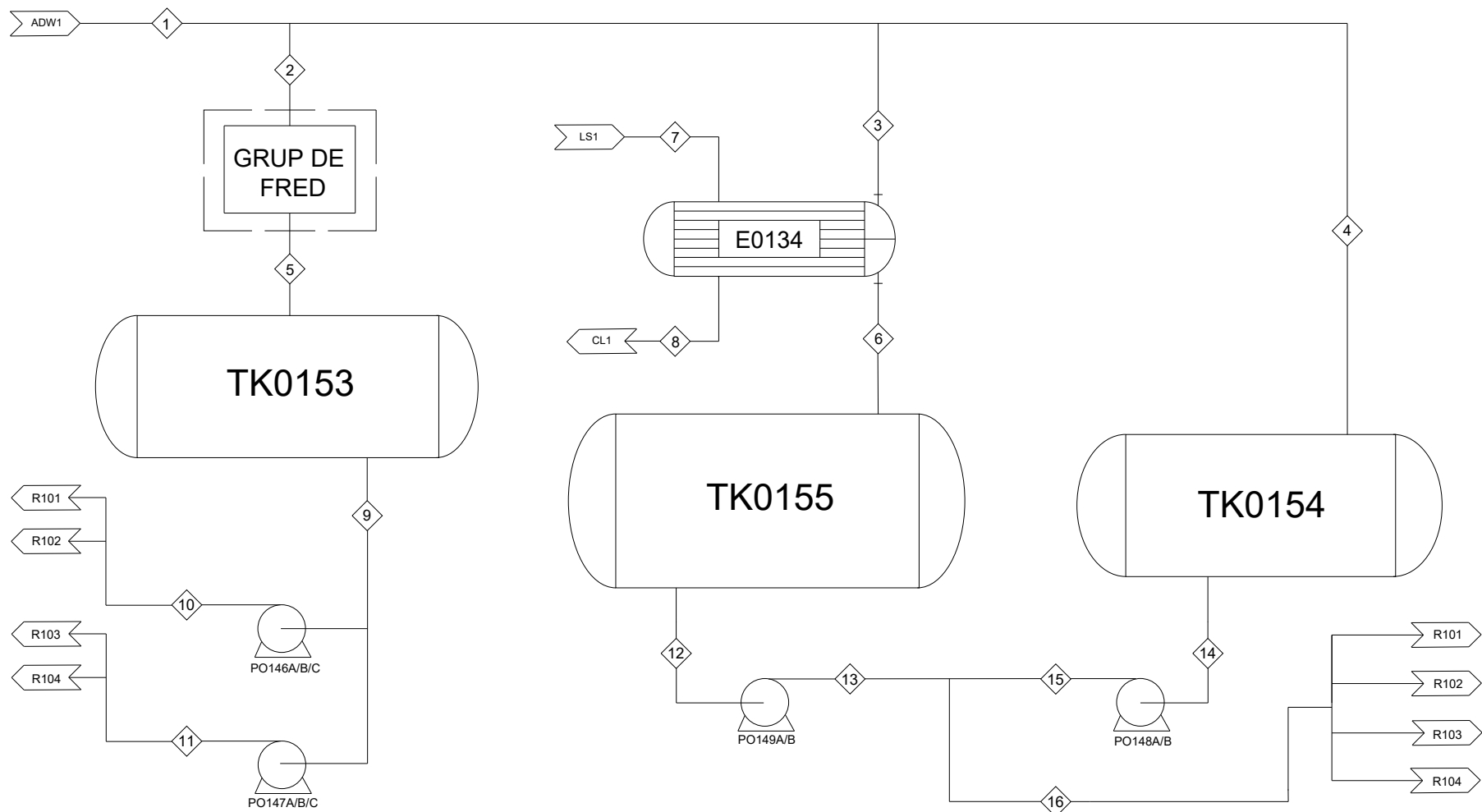
El segon és sempre la lletra M que indica motor.

Els quatre caràcters finals corresponen a l'ítem de l'equip.

4. DESENVOLUPAMENT DE L'ENGINYERIA BÀSICA

4.1. Elaboració de diagrames

A continuació, es pot observar el diagrama de flux de la instal·lació (PFD). Seguidament es presenten els diagrames de canonades i instrumentació (P&ID), juntament amb una taula de simbologia. Per últim, es pot veure el diagrama d'implantació (*Plot Plant*) integrat a l'espai facilitat dintre de la planta de PVC ja existent.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Fluid	Aigua	Aigua	Aigua	Aigua	Aigua	Aigua	Aigua	Aigua	Aigua	Aigua	Aigua	Aigua	Aigua	Aigua	Aigua	Aigua
Estat	Líquid	Líquid	Líquid	Líquid	Líquid	Líquid	Vapor	Líquid	Líquid	Líquid	Líquid	Líquid	Líquid	Líquid	Líquid	Líquid
Cabal (m³/h)	65,2	30,0	22,3	12,9	30,0	23,0	296	1,54	12,0	7,00	5,00	150	150	150	150	150
Densitat (kg/m³)	997	997	997	997	1000	965	4,65	892	1000	1000	1000	965	965	965	965	965
Cabal (kg/s)	18,1	8,31	6,18	3,57	8,33	6,18	0,383	0,383	3,33	1,94	1,39	40,2	40,2	40,2	40,2	40,2
Temperatura (°C)	Amb	Amb	Amb	Amb	5,00	90,0	175	175	5,00	5,00	5,00	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0
Pressió (barg)	6,90	6,90	6,90	6,90	6,90	6,84	8,00	7,83	0,400	16,0	16,0	0,400	16,0	0,400	16,0	16,0

Fecha	Nombre
09/05/20	TFG-2020

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI
TREBALL FINAL DE GRAU

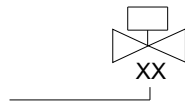
Escala
1:1

PFD

Nº 1

VÀLVULES

En cas de fallada:
FC (TANCADA)
FO (OBERTA)



TOT/RES



REGULADORA



MANUAL



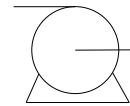
ANTIRRETORN

EQUIPS DE SEGURETAT

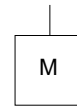


PSV

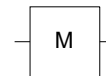
EQUIPS



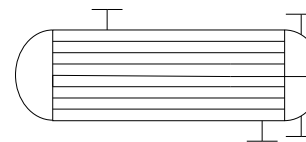
BOMBA
CENTRÍFUGA



MOTOR



MESURADOR DE
CABAL MÀSSIC



BESCANVIADOR
TUBS CARCASSA

INSTRUMENTS



VENTEIG

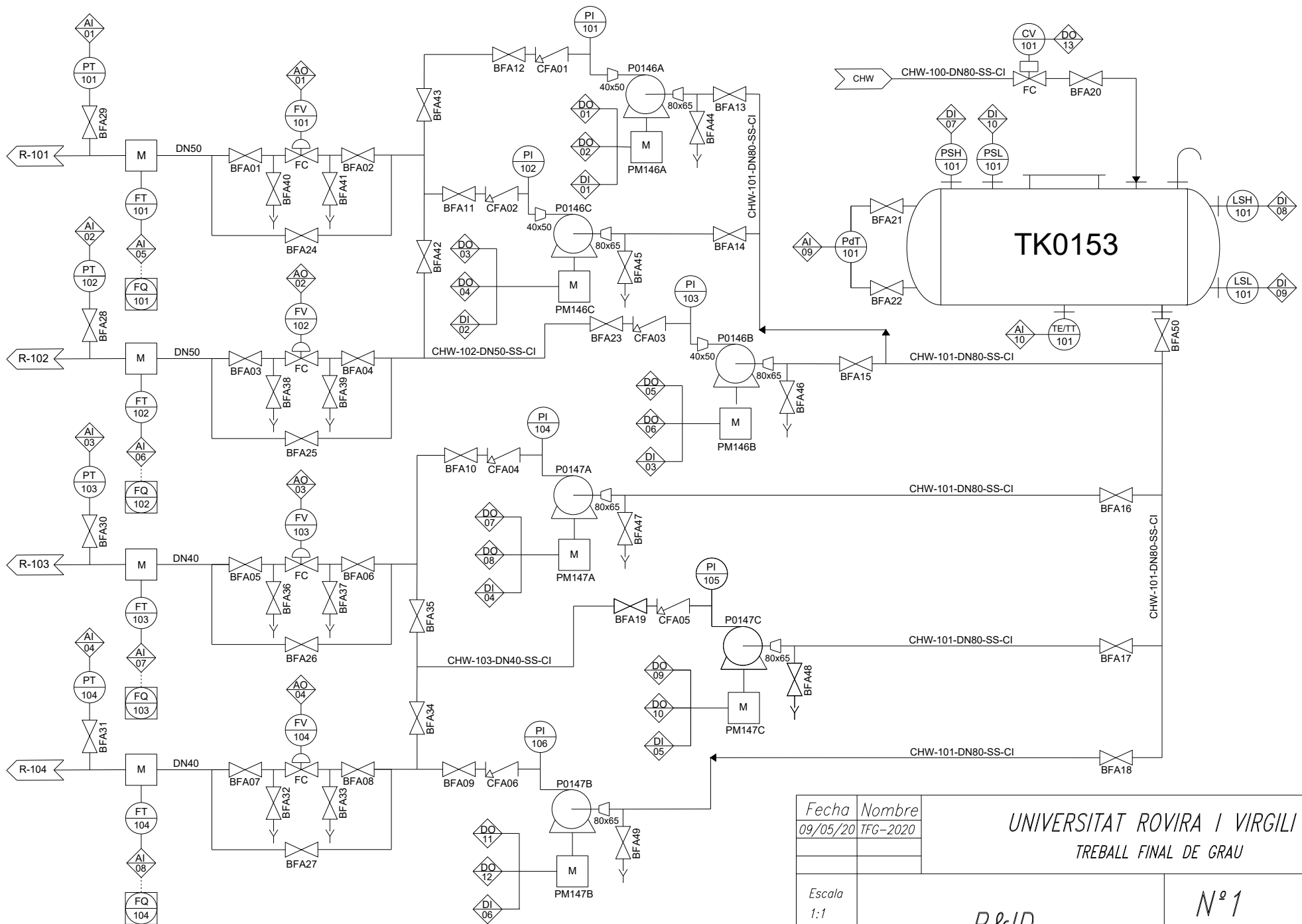


REDUCCIÓ

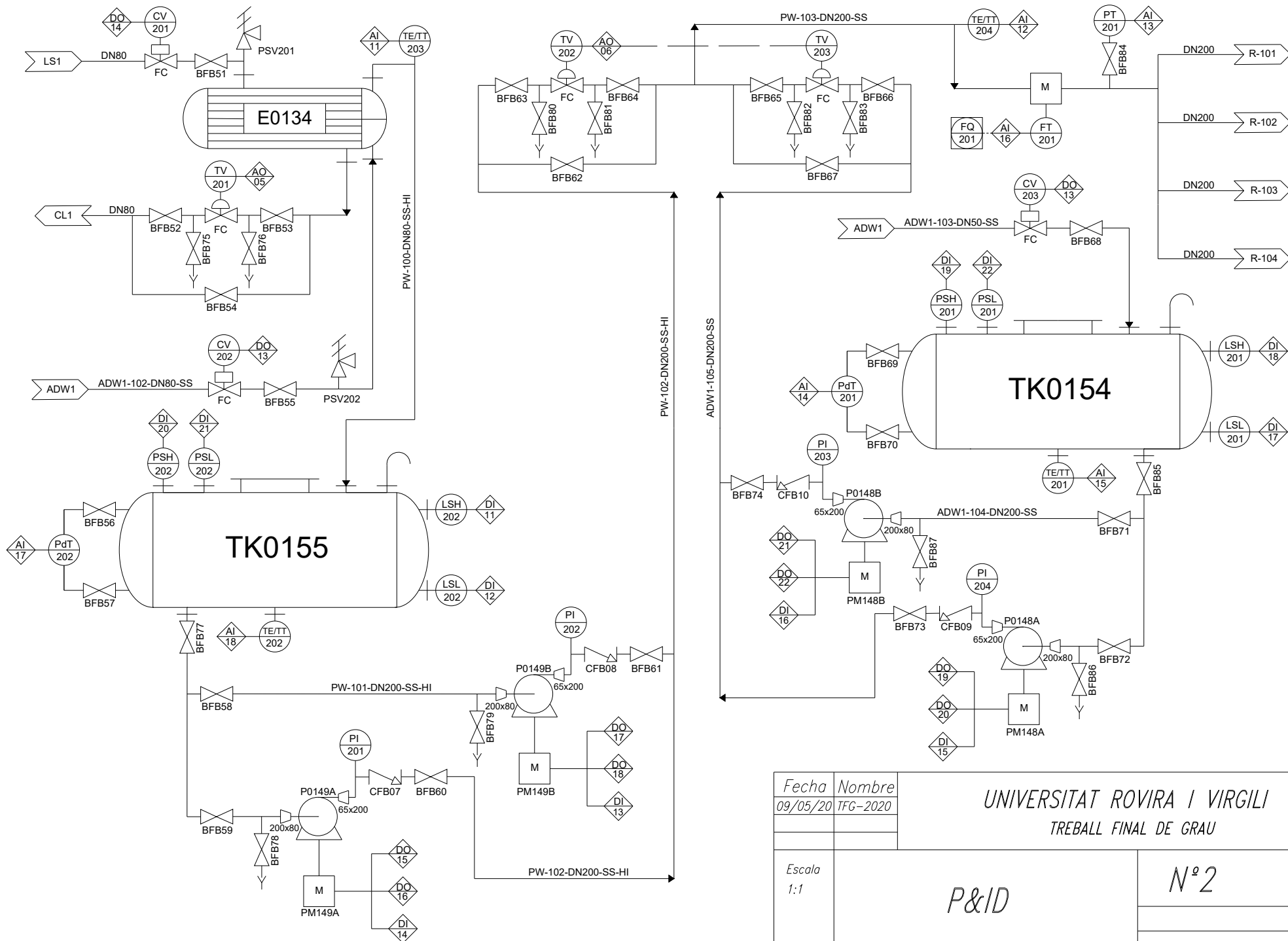
DNxDN

En direcció al flux

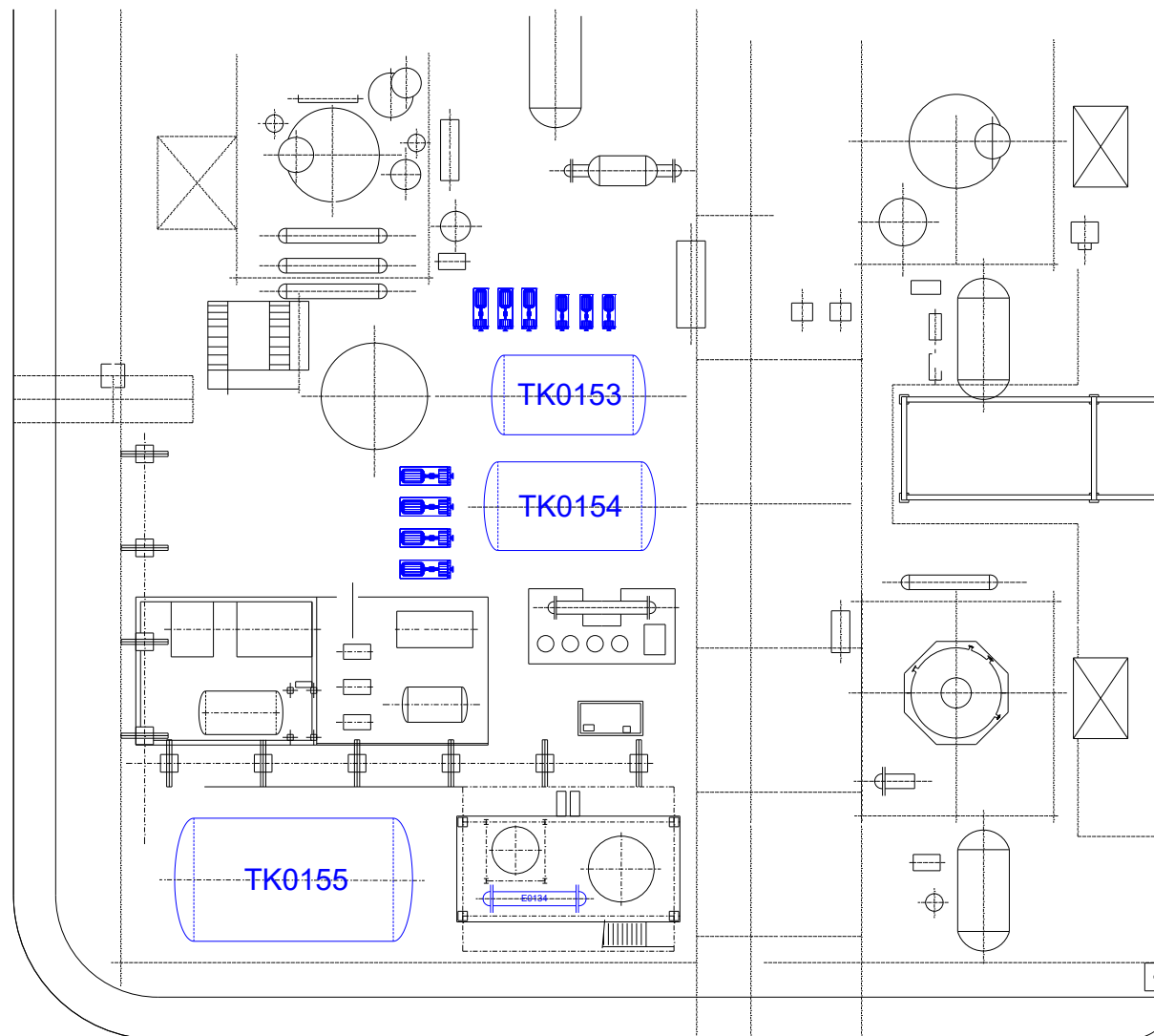
Fecha	Nombre	UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI	
09/05/20	TFG-2020		
Escala	SIMBOLOGIA		Nº 1
1:1			



Fecha	Nombre	UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI	
09/05/20	TFG-2020	TREBALL FINAL DE GRAU	
Escala 1:1	P&ID	Nº 1	



Fecha	Nombre	UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI	
09/05/20	TFG-2020		
Escala		P&ID	
1:1			
		Nº2	



Fecha	Nombre	UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI TREBALL FINAL DE GRAU	
23/06/20	TFG-2020		
Escala 1:1	PLOT PLANT		N ^o 1

4.2. Disseny d'equips

El balanç d'entrada de cada reactor juntament amb algunes de condicions d'operació del procés de producció del policlorur de vinil es troben a continuació. Amb aquestes dades s'han dissenyat tant els tancs d'emmagatzematge d'aigua a diferents temperatures de càrrega, les canonades, les bombes de transferència i el bescanviador de calor.

Taula 4.1. Balanç dels reactors del procés de producció de PVC

Dades	Reactor 101	Reactor 102	Reactor 103	Reactor 104
Volum reactor (m3)	115	115	80,0	80,0
m _{VCM} (kg)	460·10 ²	435·10 ²	285·10 ²	295·10 ²
T reacció (°C)	55,0	68,0	54,0	61,0
P reacció (barg)	7,60	11,2	7,50	9,20
Relació A/V i	0,85	1,05	1,10	1,10
Relació A/V f	1,30	1,30	1,50	1,40
Relació A/V f-i	0,45	0,25	0,40	0,30
Conversió (%)	90,0	90,0	90,0	90,0
t reacció (h)	3,75	3,50	4,30	3,68
t carga (h)	0,42	0,42	0,35	0,35
t descàrrega (h)	0,50	0,50	0,40	0,40
t neteja (h)	0,33	0,33	0,33	0,33
Cicle (h)	5,00	4,75	5,38	4,76
Cap. instantània (t/h)	8,28	8,242	4,765	5,57
Capacitat tècnica (t/any)	725·10 ²	722·10 ²	417·10 ²	488·10 ²
Factor de servei (%)	85,0	85,0	85,0	85
Capacitat real (t/any)	616·10 ²	613·10 ²	354·10 ²	414·10 ²
Número de <i>batches</i> /dia	4,80	5,05	4,46	5,04

4.2.1. Càlcul dels volums dels tancs d'emmagatzematge

La primera etapa de càrrega dels reactors és aigua a 45°C que s'obté de la mescla d'aigües a temperatura ambient amb un corrent d'aigua a 90°C.

Durant la reacció s'injecta aigua a 5°C.

4.2.1.1. Volum del tanc d'aigua a 5°C

Són dades de la recepta utilitzada per a cada reactor la relació aigua/VCM inicial i final. A la resta d'aquests dos paràmetres de recepta l'anomenarem relació A/V_{f-i} i és la dada que utilitzarem per a calcular el consum diari d'aigua a la temperatura de 5°C que s'ha d'alimentar als quatre reactors durant un dia.

$$\text{Consum aigua total } 5^{\circ}\text{C/dia} = m_{\text{VCM}} \cdot \frac{\text{relació A/V}_{f-i}}{\rho_{\text{aigua}}} \cdot N^{\circ}_{\text{batchos/dia}} \quad (4.1)$$

Taula 4.2. Resultats volum total d'aigua a 5°C

	R-101	R-102	R-103	R-104
m _{VCM} (kg)	460·10 ²	435·10 ²	285·10 ²	295·10 ²
Relació A/V (f-i)	0,45	0,25	0,40	0,30
Volum aigua (m ³)	20,7	10,9	11,4	8,84
Nº batchos/dia	4,80	5,05	4,46	5,04
Volum total (m ³)	99,4	54,9	50,8	44,6

La suma total dels volums d'aigua són 245 m³, això seria per a 24 hores, si l'autonomia dels tancs es fixa a 8 h el volum necessari és de 83,2 m³. S'ha de tenir en compte que aquest volum d'aigua correspon a un 80 % del volum total del tanc. Per tant, el volum final del tanc d'emmagatzematge d'aigua a 5°C és de 105 m³.

4.2.1.2. Volums dels tancs d'aigua a 25°C i 90°C

Resulta una mica més complex calcular els volums dels tancs d'aigua calenta i aigua a temperatura ambient, ja que, la càrrega d'aigua a aquestes dues temperatures es realitza a l'inici, totes dues mesclades en un sol corrent que entra als reactors en dues fases, la primera a 45°C i la segona a la temperatura màxima que permeti deixar la massa de reacció tan a prop com sigui possible de la temperatura de reacció, ja que això estalviarà haver d'escalfar amb la camisa.

A la primera fase de càrrega dels reactors (aigua a 45°C) es carrega el 50% del volum total marcat per la relació A/V_i. Aquesta temperatura ve fixada per l'anomenat "punt de núvol" de suspensió (PVA). Com que a continuació de l'aigua es carrega aquest additiu tant important per a regular el diàmetre de partícula de PVC i aquest s'hidrolitza i perd eficiència si es posa en contacte amb aigua a una temperatura superior compresa entre 48-50°C, s'ha de limitar la temperatura de càrrega en aquesta fase.

Una vegada ha començat la càrrega de VCM i el PVA rodeja les gotes d'aquest que es formen gràcies a l'acció de l'agitador, podem iniciar la segona etapa de càrrega d'aigua inicial.

Com es tracta d'una mescla de les dues aigües i la que es troba a temperatura ambient varia en funció de les condicions climàtiques pel seu gran poder calorífic, s'ha efectuat tres balanços d'energia, un a la temperatura mitjana de l'any 2019 a Tarragona que és de 17,5°C; el segon balanç correspon al pitjor dels casos a l'hivern del mateix any, que ha estat de 2°C i el tercer balanç correspon al de l'estiu a 30°C. A l'annex A.2 es troben els balanços d'energia realitzats.

Taula 4.3. Resultats volum total d'aigua a temperatura ambient

	R-101	R-102	R-103	R-104
Clorur Vinil (kg)	460·10 ²	435·10 ²	285·10 ²	295·10 ²
Relació A/V _i	0,85	1,05	1,10	1,10
Volum aigua (m ³)	18,7	17,1	16,8	12,6
Nº batchos/dia	4,80	5,05	4,46	5,04
Volum total (m ³)	89,9	86,5	74,7	63,5

La suma total dels volums d'aigua són 315 m³, això seria per a 24 hores si l'autonomia és de 8 h el volum necessari és de 104 m³. S'ha de tenir en compte que aquest volum d'aigua correspon a un 80% del volum total del tanc.

Taula 4.4. Resultats volum total d'aigua a 90°C

	R-101	R-102	R-103	R-104
Clorur vinil (kg)	460·10 ²	435·10 ²	285·10 ²	295·10 ²
Relació A/V i	0,85	1,05	1,10	1,10
Volum aigua (m ³)	29,1	34,0	23,3	24,2
Nº batchos/dia	4,80	5,05	4,46	5,04
Volum total (m ³)	140	172	104	122

La suma total dels volums d'aigua són 537 m³, això seria per a 24 hores si l'autonomia és de 8 h el volum necessari és de 179 m³. S'ha de tenir en compte que aquest volum d'aigua correspon a un 80% del volum total del tanc.

A la taula següent es mostren els volums finals dels tancs d'emmagatzematge amb els valors ajustats.

Taula 4.5. Volum finals dels tancs d'emmagatzematge

	TK0153 (5°C)	TK0154 (T_{amb})	TK0155 (90°C)
Volum 80 % (m ³)	83,2	104	179
Volum 100% (m ³)	105	135	225

4.2.2. Disseny dels tancs d'emmagatzematge

Per al disseny dels tancs s'ha decidit que es construiran de forma horitzontal, amb un cos cilíndric i dos caps torisfèrics. Amb els volums finals dels tancs es pot calcular els volums de cadascuna de les parts de cada tanc mitjançant les formules següents:

$$\text{Volum total tanc} = \text{volum cilindre} + 2 \cdot \text{volum torisfèric} \quad (4.2)$$

$$\text{Volum cilindre} = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot L \quad (4.3)$$

$$\text{Volum torisfèric} = 0,0809 \cdot D^3 \quad (4.4)$$

Amb les fórmules dels volums de cada part dels tancs es pot calcular (D) el diàmetre intern de cada tanc. No obstant es segueix la norma següent per al disseny, on L representa la longitud del cilindre.

$$\frac{L}{D} = 1,5 \quad (4.5)$$

A la taula següent es mostren els resultats obtinguts de cadascun dels tancs.

Taula 4.6. Dimensions finals de cadascun dels tancs d'alimentació

	TK0153 (5°C)	TK0154 (T_{amb})	TK0155 (90°C)
D (m)	4,28	4,65	5,52
r (m)	2,14	2,33	2,76
L (m)	6,42	6,98	8,28
V _{cilindre}	92,3	119	197
V _{torisfèric "dos caps"}	12,7	16,3	27,2

4.2.2.1. Càlcul del gruix dels tancs d'emmagatzematge

Per al càlcul del gruixos de cada part dels tancs s'ha seguit la normativa establerta en el codi ASME.

Les pressions i temperatures de disseny s'han calculat mitjançant les fórmules següents:

$$P_d = P_t + 10\% \cdot P_t + \rho_{\text{aigua}} \cdot \text{altura fluid} \cdot g \quad (4.6)$$

$$T_d = T_t + 20 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (4.7)$$

A la taula 4.7 es mostren les dades i els resultats per al disseny dels tancs d'emmagatzematge.

Taula 4.7. Resultats per al disseny dels tancs

Paràmetres	TK0153 (5°C)	TK0154 (T _{amb})	TK0155 (90°C)
P _{treball} (MPa)	0,101	0,101	0,101
T _{treball} (°C)	5,00	25,0	90,0
Altura fluid "D" (m)	4,28	4,65	5,52
P _{diseny} (MPa)	0,153	0,157	0,165
T _{diseny} (°C)	60,0	60,0	110

Per al càlcul dels gruixos de paret de cada tros de tanc s'ha seguit les fórmules que es presenten a continuació. Com que el radiografiat de les soldadures serà parcial, llavors E serà 0,85 [13]. Pel que fa a la tensió admissible S serà 138 MPa (SA-240 Grade 304) [14]. Un cop es calcula el gruix de la paret del tanc es suma 3 mm per corrosió.

$$t_{\text{torisfèric}} = \frac{0,885 \cdot P \cdot D}{S - 0,1 \cdot P} \quad (4.8)$$

$$t_{\text{cilindre}} = \frac{P \cdot r}{S \cdot E - 0,6 \cdot P} \quad (4.9)$$

Per a determinar el pes total del tanc buit s'ha calculat el pes de cada part. S'ha de tenir en compte que per al gruix i pes dels capçals s'ha multiplicat per dos el valor obtingut.

$$P_{\text{torisfèric}} = \frac{S \cdot t_{\text{corrosió}}}{0,885 \cdot D + 0,1 \cdot t_{\text{corrosió}}} \cdot \rho_{\text{acer}} \cdot g \quad (4.10)$$

$$P_{\text{cilindre}} = \pi \cdot ((r + t_{\text{corrosió}})^2 - r^2) \cdot L \cdot \rho_{\text{acer}} \cdot g \quad (4.11)$$

Per al càlcul del pes total del tanc ple s'ha utilitzat la fórmula següent:

$$P_{\text{ple}} = \text{Pes buit} + \rho_{\text{aigua}} \cdot g \cdot V_{\text{total}} \quad (4.12)$$

A la taula que es mostra a continuació es troben els resultats obtinguts per als tres tancs d'emmagatzematge i a l'annex A.5 es trobem els fulls d'especificacions dels tancs.

Taula 4.8. Resultats del càlcul del gruix de les parets dels tancs

Paràmetres	TK0153 (5°C)	TK0154 (T _{amb})	TK0155 (90°C)
t _{toriesfèric} (mm)	4,21	4,68	5,85
t _{toriesfèric + corrosió} (mm)	7,21	7,68	8,85
t _{cilindre} (mm)	2,80	3,11	3,89
t _{cilindre + corrosió} (mm)	5,80	6,11	6,89
P _{toriesfèric} (kN)	41,1	40,3	39,2
P _{cilindre} (kN)	39,2	48,9	77,5
P _{total buit} (kN)	80,3	89,2	117
P _{total ple} (kN)	1107	1410	2317

4.2.3. Disseny del bescanviador de calor

S'ha dissenyat un bescanviador de calor mitjançant el programa *Aspen Exchange Design & Rating®* per escalfar aigua a 90°C i emmagatzemar-la al tanc TK0155. A la taula següent es defineixen les característiques del bescanviador simulat [11].

Taula 4.9. Característiques del bescanviador de calor

Corrent	Carcassa		Tubs	
	Calent		Fred	
	Vapor		Aigua	
Localització	Entrada	Sortida	Entrada	Sortida
Temperatura (°C)	175	175	2,00	90,0
Pressió (barg)	8,00	7,83	6,90	6,84
Cabal màssic (kg/s)	0,383		2,55	
Calor bescanviada (kW)	775			

El bescanviador de calor s'ha dissenyat per a una temperatura d'entrada d'aigua de 2°C. Aquesta temperatura correspon al cas més desfavorable, és a dir, la temperatura ambient més baixa a Tarragona de l'any 2019.

A la taula 4.10. s'indiquen les característiques físiques de l'equip dissenyat en funció dels resultats obtinguts durant la simulació del mateix.

Taula 4.10. Característiques físiques del bescanviador de calor

Variables	Opció/Valor
Tipus de cap de fons	<i>B-bonnet bolted or integral with tubesheet</i>
Tipus de carcassa	<i>E-one pass shell</i>
Tipus de cap posterior	<i>M-bonnet</i>
Posició de l'intercanviador	Horitzontal
OD dels tubs (mm)	19,1
Pitch (mm)	23,8
U (W/m ² K)	277
Patró	30-triangular

Pels tubs de l'intercanviador circula aigua desmineralitzada a temperatura ambient i per la carcassa es fa passar un corrent de vapor saturat. Pel que fa a les velocitats de flux tant per l'interior dels tubs com a la carcassa són acceptables. En el cas del corrent de vapor està entre 8-50 m/s i en el cas del corrent d'aigua entre 0-8 m/s.

Pel disseny del bescanviador s'ha optat per una configuració BEM i el material acer al carboni, concretament un bescanviador de tipus tubs carcassa horitzontal. Aquest tipus d'intercanviador no presenta unions internes pel que es disminueix el risc de fissures i els tubs perifèrics es poden col·locar molt a prop de la cara interna de la carcassa, per tant, el nombre de tubs per un determinat diàmetre de carcassa és major que per qualsevol altre tipus de configuració. Els tubs escollits són de mida estàndard amb una configuració de feix de tubs 30-triangular per evitar problemes de vibracions i per obtenir un intercanvi de calor el més òptim possible. A l'annex A.5 es troba la fitxa d'especificacions de l'equip.

4.2.4. Disseny de canonades

Per al disseny de les canonades del tanc TK0153 s'ha decidit que el cabal d'alimentació sigui igual al cabal de sortida, d'aquesta forma ens assegurem que el tanc sempre estarà ple. S'ha suposat el pitjor escenari possible, és a dir, els quatre reactors alimentant aigua freda.

Per al càlcul del cabal de sortida s'ha utilitzat els volums d'aigua a 5°C total que requereixen els quatre reactors. S'ha determinat un temps d'entrada d'aigua freda de 3 hores, ja que els temps de càrrega dels reactors inclouen els temps d'escalfament i els temps de caiguda de pressió. A la taula 4.11 es poden veure els cabals d'entrada d'aigua freda de cada reactor.

Taula 4.11. Cabals d'entrada d'aigua freda

	R101	R102	R103	R104
Volum final (m ³)	20,7	10,8	11,4	8,85
P treball (barg)	7,60	11,2	7,50	9,20
t reacció (h)	3,75	3,50	4,30	3,68
t carga (h)	0,42	0,42	0,35	0,35
t entrada (h)	3,00	3,00	3,00	3,00
Cabal (m ³ /h)	6,90	3,63	3,80	2,95
Cabals ajustats (m ³ /h)	7,00	7,00	5,00	5,00

El cabal d'entrada més desfavorable correspon al R-101, si es té en compte que els quatre reactors alimenten aigua al mateix temps, per determinar el cabal de sortida del TK0153 es multiplica per quatre el cas més desfavorable.

$$\text{Caudal}_{\text{entrada}} \cdot 4 = 6,9 \cdot 4 = 27,6 \text{ m}^3/\text{h} \quad (4.13)$$

El cabal final d'entrada i sortida del tanc d'aigua freda s'ajusta a 30 m³/h.

Pel que fa als cabals d'aspiració i impulsio de les bombes és el mateix. Un cop els cabals del tanc TK0153 són coneguts, per dimensionar les canonades s'han fixat velocitats de flux de 2 m/s. Mitjançant les velocitats de flux i els cabals s'han calculat les àrees de pas de les canonades i els diàmetres interns.

$$\text{Àrea}_{\text{interna}} = \frac{\text{Cabal (m}^3/\text{s)}}{\text{Velocitat (m/s)}} \quad (4.14)$$

$$\dot{A}rea = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \quad (4.15)$$

A la taula següent es mostren els resultats de les àrees i els diàmetres interns requerits.

Taula 4.12. Àrees i diàmetres interns de les canonades del TK0153

Nº canonada	5	9	10	11
Cabal (m³/h)	30,0	30,0	7,00	5,00
Velocitat (m/s)	2,00	2,00	2,00	2,00
Àrea interna (m²)	$4,17 \cdot 10^{-3}$	$4,17 \cdot 10^{-3}$	$9,72 \cdot 10^{-4}$	$6,94 \cdot 10^{-4}$
D intern (mm)	72,8	72,8	35,1	29,7

Un cop s'han calculat els diàmetres interns que es requereixen, mitjançant la taula de dimensions ASME [15] s'han escollit canonades estàndards i es recalculen les velocitats de flux. A la taula 4.13 es mostren les dimensions estàndards de les canonades segons el diàmetre intern.

Taula 4.13. Dimensions estàndards de les canonades del TK0153 segons taula ASME

Nº canonada	5	9	10	11
D int. requerit (mm)	72,8	72,8	35,1	29,7
D extern STD (mm)	88,9	88,9	60,3	48,3
Polsades	3"	3"	2"	1 ½"
Gruix STD (mm)	5,49	5,49	3,91	3,68
D intern STD (mm)	77,9	77,9	52,4	40,9
Velocitat STD (m/s)	1,75	1,75	0,90	1,06

Les velocitats calculades segons els valors estàndards de la taula de canonades ASME han de donar velocitats de flux entre 1 i 3 m/s. Les velocitats de 0,90 m/s es donen com a bones perquè es tracta d'un tram d'aspiració de la bomba.

Per poder comparar els gruixos estàndards, es calculen els gruixos de les canonades segons el codi ASME [13].

$$t = \frac{P \cdot d_e}{2 \cdot (\sigma \cdot E + P \cdot Y)} \quad (4.16)$$

On, Y correspon al factor de temperatura 0,4; la pressió és atmosfèrica en els quatre reactors; E radiografiat parcial 0,85 i σ és la tensió admissible que es manté en 138 MPa (SA-240 Grade 304) [14].

A la taula 4.14 es poden observar els gruixos calculats segons el codi ASME.

Taula 4.14. Gruixos de les canonades segons el codi ASME

Nº canonada	5	9	10	11
D extern STD (mm)	88,9	88,9	60,3	48,3
t (mm)	0,04	0,04	0,29	0,20
t + t corrosió (mm)	3,04	3,04	3,29	3,20
Gruix STD (mm)	5,49	5,49	3,91	3,68

Com es pot observar els gruixos estàndards són més grans que els gruixos requerits, per tant, les canonades seleccionades (*Schedule STD*) són adequades a les necessitats.

Pel que fa a als tancs TK0154 i TK0155 s'ha seguit la mateixa metodologia per a dimensionar les canonades. En aquests tancs l'únic que varia és el cabal d'entrada i sortida que no és el mateix com el cas del TK0153. Com que no es poden alimentar els quatre reactors al mateix temps, en aquests dos tancs el cabal d'entrada es calcula en funció del cabal de sortida.

Els dos tancs es dimensionen amb el mateix cabal de sortida. Per al càlcul s'ha utilitzat el temps de càrrega dels reactors i l'aigua total (calenta i a temperatura ambient) que s'ha de carregar. A la taula següent es mostren els cabals calculats per a cada reactor.

Taula 4.15. Cabals requerits d'alimentació als reactors

	R-101	R-102	R-103	R-104
V aigua 90°C (m ³)	139	171	104	121
V aigua T _{amb} (m ³)	89,9	86,5	74,8	63,5
Temps càrrega (h)	0,42	0,42	0,35	0,35
Nº batch	4,80	5,05	4,46	5,04
m ³ /batch	45,8	51,5	44,7	36,9
m ³ /hora	109	123	128	105

El cas més desfavorable és el R-102, per tant, el cabal de sortida del tanc d'aigua calenta i el tanc a temperatura ambient s'ajusta a 150 m³/h.

Els cabals d'entrada al TK-0154 i TK-0155 s'han calculat a continuació:

$$\text{Cabal}_{\text{entrada TK0154}} = \frac{V_{\text{total aigua } T_{\text{amb}}}}{24\text{h}} = \frac{311\text{m}^3}{24\text{h}} = 12,9\text{m}^3/\text{h} \quad (4.17)$$

$$\text{Cabal}_{\text{entrada TK0155}} = \frac{V_{\text{total aigua } 90^\circ\text{C}}}{24\text{h}} = \frac{536\text{m}^3}{24\text{h}} = 22,3\text{m}^3/\text{h} \quad (4.18)$$

Per a calcular la resta de canonades associades a aquests dos tancs s'ha seguit la mateixa metodologia que en el tanc d'aigua freda TK0153. A la taula següent es poden veure els valors dels gruixos de les canonades.

Taula 4.16. Dimensions de les canonades dels tancs TK0154 i TK0155

Nº canonada	16	4	6
Cabal (m ³ /h)	150	12,9	22,4
Velocitat (m/s)	2,00	2,00	2,00
Àrea interna (m ²)	2,08·10 ⁻²	1,80·10 ⁻³	3,10·10 ⁻³
D intern (mm)	162	47,8	62,9
D extern STD (mm)	219	60,3	88,9
Polsades	8"	2"	3"
Gruix STD (mm)	8,18	3,91	5,49
D intern STD (mm)	202	52,5	77,9
Velocitat STD (m/s)	1,29	1,66	1,30
t (mm) ASME	1,04	0,100	0,308
t + t _{corrosió} (mm)	4,04	3,10	3,31

A l'annex A.2.3 es pot trobar un llistat de canonades.

4.2.5. Disseny de les bombes de transferència

Per al disseny de les bombes de la instal·lació s'ha utilitzat un programari *CheGuide* per fer una estimació de característiques de les bombes requerides [17]. A l'apartat d'annexos A.2.2 es poden observar tots els paràmetres per a cadascuna de les bombes.

Per al càlcul de la pressió de succió s'ha seguit les equacions següents:

$$P_{\text{Aspiració}} = P_1 + P_{\text{Estàtica}} - \Delta P_{\text{Equipament}} - \Delta P_{\text{Fricció}} \quad (4.19)$$

$$P_{\text{Estàtica}} (\text{bar}) = h_1 \cdot \rho \cdot g / 100000 \quad (4.20)$$

$$\Delta P_{\text{Fricció}} = \Delta P_{\text{Tub}} + \Delta P_{\text{Fittings}} \quad (4.21)$$

Per al càlcul de la pressió de descàrrega de les bombes s'han seguit les equacions següents:

$$P_{\text{Impulsió}} = P_2 + P_{\text{Estàtica}} + \Delta P_{\text{Equipament}} + \Delta P_{\text{Fricció}} \quad (4.22)$$

$$P_{\text{Estàtica}} (\text{bar}) = h_2 \cdot \rho \cdot g / 100000 \quad (4.23)$$

$$\Delta P_{\text{Fricció}} = \Delta P_{\text{Tub}} + \Delta P_{\text{Fittings}} \quad (4.24)$$

Per al càlcul de l'altura de bombeig de les bombes i la potència hidràulica s'ha utilitzat les equacions següents:

$$\text{Alçada bombeig (m)} = (P_{\text{Impulsió}} - P_{\text{Aspiració}}) \cdot 100000 / (\rho \cdot g) \quad (4.25)$$

$$\text{Potència (kW)} = \text{Alçada bombeig (m)} \cdot \text{Caball (m}^3/\text{h)} \cdot \text{SG} \cdot g / 3600 \quad (4.26)$$

A la taula 4.17 es mostren els resultats obtinguts pel programa per a cadascuna de les bombes de la instal·lació.

Taula 4.17. Resultats de les característiques de les bombes

	P0146A/B/C	P0147A/B/C	P0148A/B	P0149A/B
Caball (m ³ /h)	7,00	5,00	150	150
Pressió d'aspiració (bara)	1,09	1,05	1,06	1,06
Pressió d'impulsió (bara)	14,2	12,5	14,3	14,3
Pressió diferencial (bar)	13,1	11,4	13,2	13,2
Alçada bombeig (m)	133	116	135	135
Potència hidràulica (kW)	2,55	1,59	55,2	55,2
NPSH disponible (m)	11,1	10,6	10,5	10,2

Un vegada es coneixen les característiques de les bombes requerides, s'han seleccionat en un catàleg de la companyia *Grundfos* [18].

Primer s'ha escollit el tipus de bomba del catàleg en funció de l'alçada de bombeig H. Les úniques que donen una diferència d'alçada d'impulsió suficient són les de tipus NB. A continuació s'especifiquen les característiques principals de les bombes NB:

- Les carcasses de les bombes tenen brides de descàrrega DN 32 a 300.
- Els motors són per 50 Hz d'acer inoxidable.
- Les bombes NB tenen motors de 2, 4 i 6 pols

A la figura següent es pot observa la corba característica de la bomba P0146A/B/C.

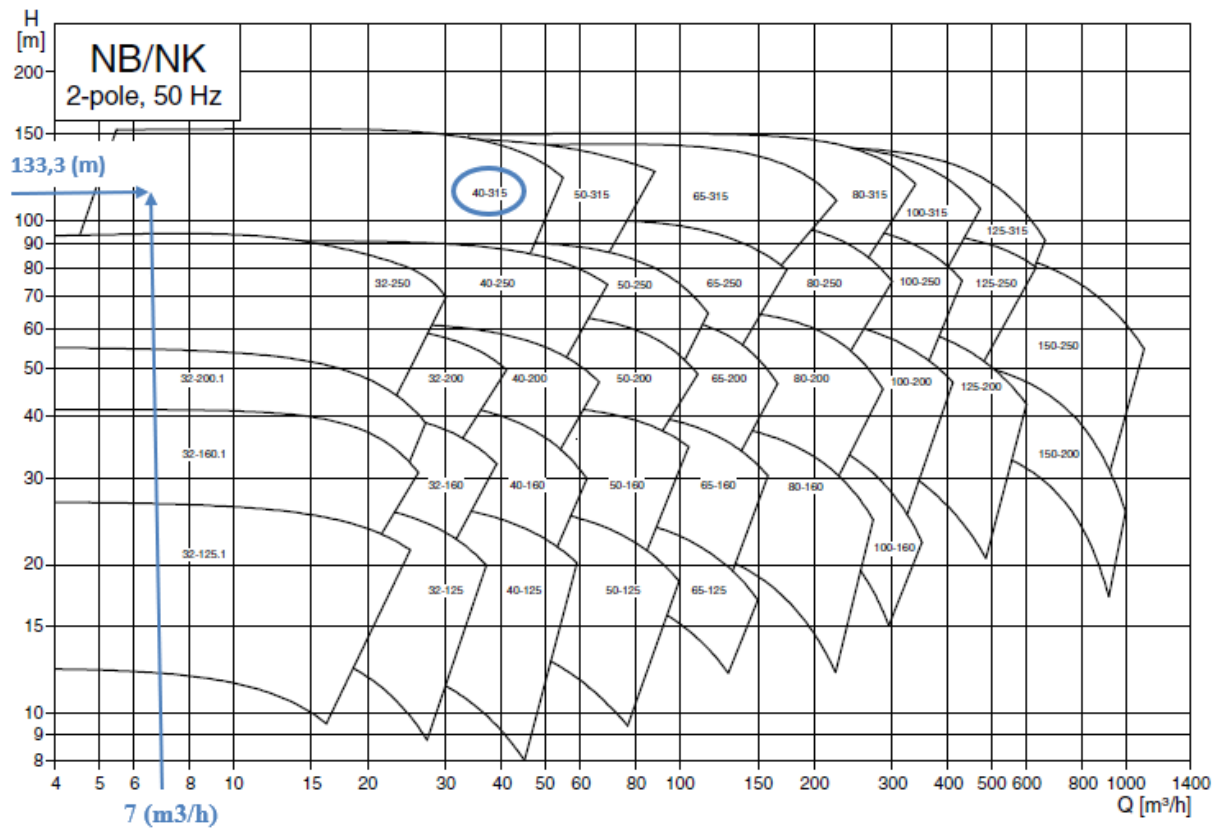


Figura 4.1. Corba característica de la bomba P0146A/B/C [18]

En una alçada diferencial de 133 m i un caudal de 7 m³/h es requereix una bomba de tipus NB 2-pols de 40-315. A la figura següent es mostra la corba característica.

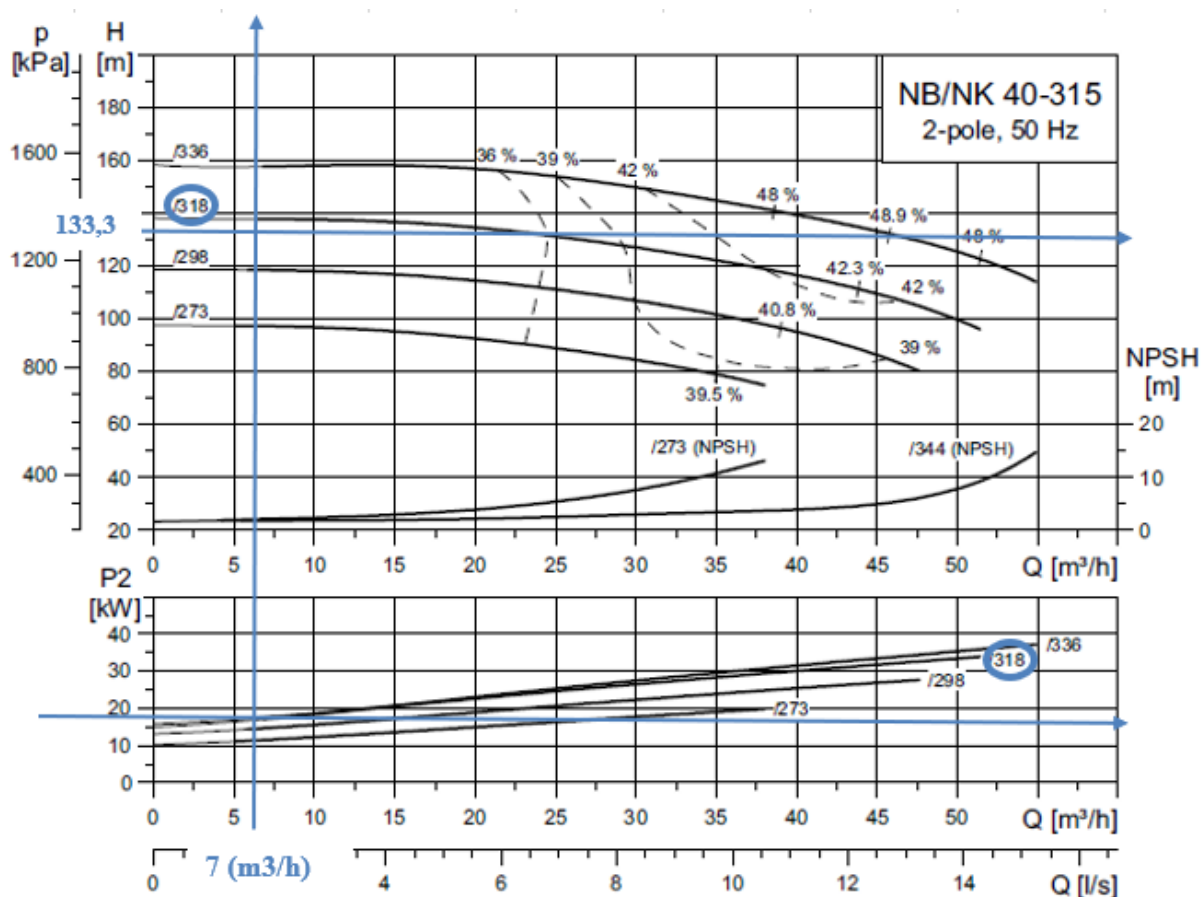


Figura 4.2. Corba característica de la bomba P0146A/B/C

A la primera gràfica s'observa que el rodet necessari és de tipus 318 i el NPSH requerit de la bomba és de 3 m. La segona gràfica indica la potència de consum que és de 17 kW. La potència total de la bomba és de 37 kW. A l'apartat d'annexos A.5 es pot trobar les fitxes d'especificacions.

Per a la resta de bombes s'ha seguit la mateixa metodologia i s'ha utilitzat el mateix catàleg. A la taula 4.18 es pot observar un resum de les característiques de les bombes. A l'annex A.4.2 es pot observar les corbes característiques de les bombes.

Taula 4.18. Característiques de les bombes

	P0146A/B/C	P0147A/B/C	P0148A/B	P0149A/B
Tipus	NB 40-315	NB 40-315	NB 65-315	NB 65-315
Nº parells de pols	2,00	2,00	2,00	2,00
Rodet	318	298	308	308
NPSH requerit	3,00	2,00	10,0	10,0
rpm	3000	3000	3000	3000
Potència consumida (kWh)	17,0	15,0	78,0	78,0
Potència total (kW)	37,0	30,0	90,0	90,0

En tots els casos, la bomba seleccionada presenta un NPSH requerit inferior al disponible a la instal·lació, per la qual cosa no s'esperen problemes de cavitació.

Per al càlcul de les revolucions per minut s'ha utilitzat la fórmula següent:

$$P = 60 \cdot \frac{f}{N} \quad (4.27)$$

On P fa referència al número de parells de pols, f és la freqüència en Hz i N és la velocitat de sincronització en rpm. A continuació, s'ha realitzat una taula resum de les revolucions per minut segons el número de parells de pols de la bomba.

Taula 4.18. Rpm segons el número de parells de pols per a una freqüència de 50 Hz

Número de parells de pols	rpm
2,00	3000
4,00	1500
6,00	1000
8,00	750
10,0	600
12,0	500
16,0	375

4.2.6. Disseny de la instrumentació i control

Per poder treballar de forma segura i garantir el bon funcionament de la instal·lació s'ha dissenyat un sistema de control. Es determinaran uns *set points* per cadascuna de les variables a controlar, així s'evitaran desviacions del procés gràcies a l'acció dels llaços de control. A continuació, es detalla l'estratègia de control dissenyada.

- 1- **Control de temperatura en el E0134:** per assegurar que s'assoleix la temperatura de 90°C a la sortida del bescanviador es proposa un llaç de control on la variable controlada és la temperatura de sortida i la variable manipulada és el cabal de condensats.

El transmissor TE/TT203 mesura la temperatura al corrent de sortida d'aigua del bescanviador i l'envia al controlador TC203. Aquest actuarà sobre la vàlvula TV201 que fa que s'obri o es tanqui per tal d'assolir el *set point* fixat. Si la temperatura fos més baixa el controlador faria obrir la vàlvula de condensats i si fos més alta la tancaria (acció inversa).

- 2- **Cabal d'entrada d'aigua a 5 °C al R-101:** el cabal d'entrada d'aigua freda al reactor R-101 es regula en funció de la senyal de control que envia el transmissor de cabal FT101 (variable controlada) al controlador FC101. Aquest modificarà l'apertura de la vàlvula FV101 (variable manipulada) per obrir o tancar. De manera que quan la variable del procés (cabal) augmenta per sobre del *set point* establert la vàlvula de control tancarà (acció inversa).

Aquest llaç de control és el mateix en les quatre entrades d'aigua freda als reactors.

- 3- **Control de temperatura a la mescla d'aigües a 45°C:** El cabal de sortida d'aigua a temperatura ambient del TK0154 i el cabal d'aigua calenta a 90°C del TK0155 es mesclen per donar lloc a una corrent a 45°C. En aquest cas, s'instal·la un transmissor de temperatura TT/TE204 (variable controlada) que enviarà senyal a al controlador TC204. Aquest actuarà sobre dues vàlvules TV202 i TV203 (variable manipulada).

En el cas de que la temperatura en el corrent de mescla sigui més baixa que el *set point* fixat, el controlador donarà l'ordre d'obrir de forma regular la vàlvula TV202 i tancar proporcionalment la vàlvula TV203; d'aquesta forma el cabal de sortida de la mescla de les dues aigües és manté sempre constant.

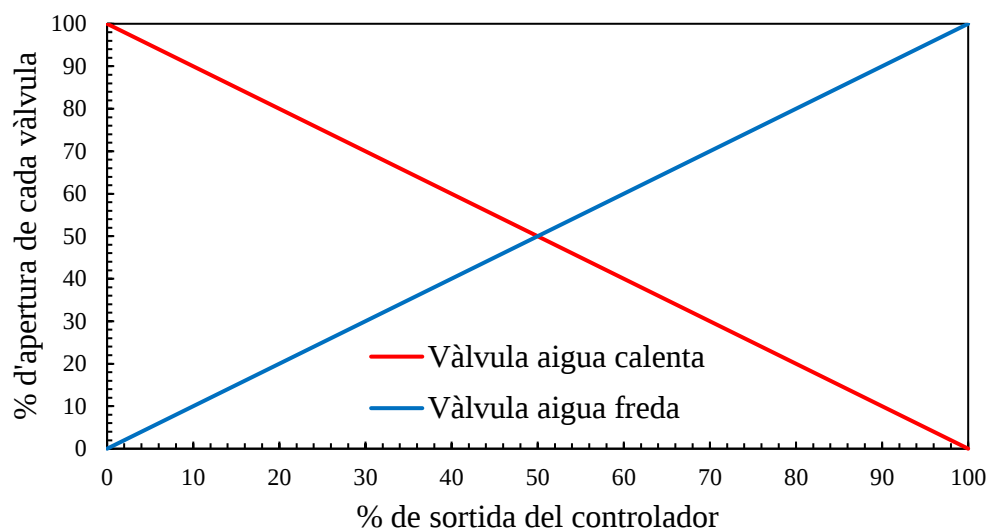


Figura 4.3. Control de temperatura a la mescla d'aigües a 45 °C

La instal·lació de càrrega d'aigua disposa d'un sistema de control distribuït (SCD). Amb una arquitectura distribuïda del sistema de control, en comptes de treballar amb controladors locals, es treballa amb un sistema únic integrat que té la capacitat de gestionar de forma autònoma cada sistema.

Les senyals dels controladors individuals i d'accionadors pneumàtics, s'envien mitjançant l'ús de cables coaxials.

4.2.6.1. Relació d'instruments de control

A la taula que es mostra a continuació, s'especifiquen tots els instruments i alarmes dels que es disposa. Al llistat s'indica el tipus de vàlvula o instrument de mesura utilitzat, els *set points* fixats i els rangs d'actuació.

Taula 4.19. Llistat d'instruments

Instrument	Descripció	SP	Rang	Tipus
PT101	Indicador de pressió		0-20 barg	Bourdon
PT102	Indicador de pressió		0-20 barg	Bourdon
PT103	Indicador de pressió		0-20 barg	Bourdon
PT104	Indicador de pressió		0-20 barg	Bourdon
PT201	Indicador de pressió		0-20 barg	Bourdon
FV101	Vàlvula de control		0-100 %	Globus
FV102	Vàlvula de control		0-100 %	Globus
FV103	Vàlvula de control		0-100 %	Globus
FV104	Vàlvula de control		0-100 %	Globus
TV201	Vàlvula de control		0-100 %	Globus

Taula 4.19. Llistat d'instruments (Cont.)

Instrument	Descripció	SP	Rang	Tipus
TV202	Vàlvula de control		0-100 %	Globus
TV203	Vàlvula de control		0-100 %	Globus
PI101	Indicador de pressió		0-20 barg	Bourdon
PI102	Indicador de pressió		0-20 barg	Bourdon
PI103	Indicador de pressió		0-20 barg	Bourdon
PI104	Indicador de pressió		0-20 barg	Bourdon
PI105	Indicador de pressió		0-20 barg	Bourdon
PI106	Indicador de pressió		0-20 barg	Bourdon
PI201	Indicador de pressió		0-20 barg	Bourdon
PI202	Indicador de pressió		0-20 barg	Bourdon
PI203	Indicador de pressió		0-20 barg	Bourdon
PI204	Indicador de pressió		0-20 barg	Bourdon
PdT101	Transmissor de nivell		0-100 %	Pressió diferencial
PdT201	Transmissor de nivell		0-100 %	Pressió diferencial
PdT202	Transmissor de nivell		0-100 %	Pressió diferencial
CV101	Vàlvula de control		ON/OFF	Bola
CV201	Vàlvula de control		ON/OFF	Bola
CV202	Vàlvula de control		ON/OFF	Bola
CV203	Vàlvula de control		ON/OFF	Bola
TE/TT101	Indicador de temperatura		0-100 °C	Termoparell
TE/TT201	Indicador de temperatura		0-100 °C	Termoparell
TE/TT202	Indicador de temperatura		0-100 °C	Termoparell
TE/TT203	Indicador de temperatura		0-100 °C	Termoparell
TE/TT204	Indicador de temperatura		0-100 °C	Termoparell
PSH101	Alarma de pressió alta		ON/OFF	Interruptor de P
PSH201	Alarma de pressió alta		ON/OFF	Interruptor de P
PSH202	Alarma de pressió alta		ON/OFF	Interruptor de P
PSL101	Alarma de pressió baixa		ON/OFF	Interruptor de P
PSL201	Alarma de pressió baixa		ON/OFF	Interruptor de P
PSL202	Alarma de pressió baixa		ON/OFF	Interruptor de P
LSH101	Alarma de nivell alt		ON/OFF	Interruptor de nivell
LSH201	Alarma de nivell alt		ON/OFF	Interruptor de nivell
LSH202	Alarma de nivell alt		ON/OFF	Interruptor de nivell
LSL101	Alarma de nivell baix		ON/OFF	Interruptor de nivell
LSL201	Alarma de nivell baix		ON/OFF	Interruptor de nivell
LSL202	Alarma de nivell baix		ON/OFF	Interruptor de nivell
FT101	Transmissor de cabal	7 m3/h	0-200 m3/h	Màssic
FT102	Transmissor de cabal	7 m3/h	0-200 m3/h	Màssic
FT103	Transmissor de cabal	5 m3/h	0-200 m3/h	Màssic

Taula 4.19. Llistat d'instruments (Cont.)

Instrument	Descripció	SP	Rang	Tipus
FT104	Transmissor de cabal	5 m3/h	0-200 m3/h	Màssic
FT201	Transmissor de cabal	150 m3/h	0-200 m3/h	Màssic
PSV201	Vàlvula de seguretat	8,4 barg	0-100 %	PSV
PSV202	Vàlvula de seguretat	7,3 barg	0-100 %	PSV

4.2.6.2. Sistema d'enclavaments

Els enclavaments o *interlocks* tenen com a funció principal la d'evitar estats no desitjats en els equips o mecanismes. Aquests eliminen qualsevol tipus de risc derivat d'una incorrecta activitat o situació inusual, garantint un bon funcionament de la instal·lació per treballar de forma segura. A continuació, s'enumeren els enclavaments instal·lats:

- Enclavament 1: Aturada de la bomba P0146A/B/C per baix nivell del tanc TK0153
- Enclavament 2: Aturada de la bomba P0147A/B/C per baix nivell del tanc TK0153
- Enclavament 3: Aturada de la bomba P0148A/B per baix nivell del tanc TK0154
- Enclavament 4: Aturada de la bomba P0149A/B per baix nivell del tanc TK0155
- Enclavament 5: Tancament de la vàlvula CV101 per alt nivell del tanc TK0153
- Enclavament 6: Tancament de la vàlvula CV202 per alt nivell del tanc TK0155
- Enclavament 7: Tancament de la vàlvula CV203 per alt nivell del tanc TK0154
- Enclavament 8: Aturada de la bomba P0146A/B/C per baixa pressió del tanc TK0153
- Enclavament 9: Aturada de la bomba P0147A/B/C per baixa pressió del tanc TK0153
- Enclavament 10: Aturada de la bomba P0148A/B per baixa pressió del tanc TK0154
- Enclavament 11: Aturada de la bomba P0149A/B per baixa pressió del tanc TK0155

4.3. Descripcions

4.3.1. Descripció funcional del projecte

El projecte es centra en l'etapa de càrrega d'aigua dels quatre reactors que hi ha a la planta. La instal·lació està dissenyada per alimentar aigua als reactors per dur a terme les reaccions de polimeritzacions pel procés de suspensió.

La línia d'aigua desmineralitzada de la planta de serveis arribar a la planta de PVC i alimenta als tancs dissenyats.

L'aigua entra directament a temperatura ambient al TK0154, passant pel bescanviador de calor E0134 que l'escalfa fins a 90°C abans d'entrar al TK0155 i per un grup de fred (aquest equip està fora de l'abast) que la refreda fins 5°C abans per alimentar al TK0153.

Per dur a terme la polimerització en suspensió, durant la primera etapa de càrrega dels reactors és carrega un cert volum d'aigua, calculat en funció de la recepta, que s'obté de la mescla dels dos tancs.

Una de les seqüències implementades al sistema de control distribuït calcula, per a cada tipus de resina de PVC que es vulgui fabricar i per a cada reactor, els volums i temperatures de càrrega d'aigua, en funció d'unes dades que apareixen a la recepta entregada a l'operador de control i que ha d'introduir al sistema abans d'iniciar el *batch*.

Son dades bàsiques de la recepta, que afecten a aquest càlcul, la quantitat de VCM que es vol carregar, la relació aigua/VCM inicial i final, la fracció d'aigua inicial que s'ha de carregar a la primera i segona etapa i especialment, la temperatura de reacció.

És important, per tal d'evitar degradació dels agents de suspensió que, en el moment de la seva càrrega, la temperatura del reactor estigui per sota de 50°C, i és per això que, dins de la càrrega d'aigua inicial podem distingir dues etapes. A la primera carreguem aproximadament la meitat de l'aigua inicial a una temperatura de 45°C. Posteriorment carreguem els agents de suspensió. La segona càrrega d'aigua es fa simultàniament amb el VCM (estalvia temps de càrrega) i te com a objectiu arribar, al final de la càrrega, amb una temperatura que estigui el més a prop possible de la temperatura de reacció. Això evita haver d'escalfar amb la camisa, el que suposa una despesa important ja que, durant l'etapa de refrigeració, tota aquesta aigua calenta aniria a la torre de refrigeració.

És per això que la major part d'aquesta segona etapa d'aigua inicial, prové del TK0155 (90°C). El càlcul de la temperatura d'aquesta segona etapa es fa també a començament llegint totes les temperatures de emmagatzemament, tenint en compte els volums de cada reactiu i fent un senzill balanç d'energia.

Així doncs, l'aigua a temperatura ambient del TK0154 es vehiculada per les bombes P0148A/B mentre que l'aigua calenta del TK0155 utilitza les P0149AB. Totes dues línies s'uneixen aigües avall i la temperatura es mesura en el tram comú de càrrega. Per aconseguir la temperatura objectiu de 45°C tots dos grups de bombes regularan la seva velocitat. El resultat serà un cabal de carrega de 150 m³/h a la temperatura objectiu.

El FT201 mesura el cabal de càrrega, el FC201 regula les revolucions de les bombes i el FQ201 acumula el cabal de forma que quan s'arriba al volum objectiu atura la càrrega.

Una vegada finalitzada aquesta primera fase, es carreguen els agents de suspensió, s'inicia la càrrega de VCM i la resta d'aigua de procés inicial.

Es fixa com a *set-point* de temperatura de càrrega un valor calculat (proper a 90°C) i el sistema actua per aconseguir que la temperatura final sigui propera a la temperatura de reacció.

La forma en que actua la seqüència és idèntica a la descrita anteriorment però amb volum i temperatures objectius diferents.

D'altra banda, el tanc TK0153 emmagatzema aigua desmineralitzada a 5°C provinent d'un grup de fred que no entra dintre de l'abast del projecte.

Aquesta aigua freda es dosifica al llarg de la reacció i té doble funció. En primer lloc, per a refrigerar la massa de reacció ja que la polimerització es fortament exotèrmica. I en segon lloc per a compensar la contracció de volum que es produeix quan un reactiu que té una densitat per sota de 0,9 g/cm³ és transforma en un producte de densitat 1,3 g/cm³. Sense l'addició en continu d'aquesta aigua el medi es faria cada vegada més viscosos dificultant, també, l'intercanvi de calor.

La quantitat d'aigua a addicionar duran la reacció també es calcula en funció de la recepta inicial.

Així, durant l'etapa de reacció les bombes P0146A/B/C i P0147A/B/C es posen en marxa per injectar aigua als reactors. Els cabals són mesurats pels FT101/102/103/104, controlats pels FC101/102/103/104 i acumulats en els FQ101/102/103/104 que quan arriben a la quantitat prefixada aturen la dosificació.

4.3.2. Descripció de la instal·lació

El TK0153 té un volum de 105 m³, dels quals útils el 80%, amb una relació L/D de 1,5 i un radi de 2,14 m. Aquest té un gruix de paret de 7,21 mm als caps torisfèrics i 5,80 mm al cos cilíndric; en un pes total del tanc buit de 80,34 kN d'acer SA-240 Grade 304.

El tanc TK0154 té un volum de 135 m³ amb un volum útil del 80% amb una relació L/D de 1,5 i un radi 2,33 m. Aquest té un gruix de paret dels caps de 7,68 mm i del cos 6,11 mm; el pes del tanc buit és de 89,2 kN de massa d'acer SA-240 Grade 304.

El tanc TK0155 té un volum de 225 m³ amb un volum útil del 80% amb una relació L/D de 1,5 i un radi 2,76 mm; el pes total de tanc buit és de 117 kN d'acer SA-240 Grade 304.

En quant a l'emmagatzematge d'aigua a 90°C es fa mitjançant l'escalfament d'un corrent d'aigua desmineralitzada que passa per un bescanviador de calor tubs i carcassa de tipus BEM. El diàmetre exterior és de 25'' i la longitud és de 3,66 m. El total de tubs és de 259 de 2 cm de diàmetre. La posició és horitzontal i el material acer al carboni. Per la part de la carcassa es fa passar una cabal de vapor saturat de 0,383 kg/s a 8 barg de pressió i pels tubs passa un cabal d'aigua de 2,55 kg/s.

Pel que fa a les bombes són de tipus NB d'acer inoxidable per a 50 Hz. La bomba P0146A/B/C s'ha dissenyat per a un cabal de 7 m³/h, en una pressió nominal de 16 barg, té un motor de 2 pols i 3000 rpm. És de tipus 40-315 amb un rodet 318 i dóna una potència de 37 kW. La bomba P0147A/B/C s'ha dissenyat per un cabal de 5 m³/h, en una pressió nominal de 16 barg, té un motor de 2 pols i 3000 rpm. De tipus 40-315 amb un rodet 298, exerceix una potència de 30 kW. Les bombes P0148A/B i P0149A/B tenen les mateixes característiques. Aquestes estan dissenyades per a cabals de 150 m³/h i pressió nominal de 16 barg. Tenen un motor de 2 pols i 3000 rpm. Són de tipus 65-315 amb un rodet 308, ens donaran un total de 90 kW de potència.

5. **SEGURETAT EN EL DISSENY DE LES INSTAL·LACIONS**

A fi d'avaluar i garantir la seguretat de la planta, es duu a terme l'anàlisi de risc i operativitat (HAZOP). Aquest anàlisi es conegut també com a anàlisi funcional d'operativitat (AFO) o anàlisi operatiu (AO).

La *Chemical Industry Association* descriu aquesta tècnica com un mètode per avaluar projectes d'enginyeria de nova instal·lació, on s'avalua el risc potencial de l'operació i si es produeix un funcionament incorrecte d'algun dels components instal·lats [12].

L'anàlisi HAZOP és una tècnica deductiva per identificar i avaluar qualitativament, així poder prevenir en cas de fallada en qualsevol punt de la instal·lació.

La tècnica es basa en el fet de que les desviacions en el funcionament de les condicions normals d'operació i disseny acostumen a conduir una metodologia rigorosa i sistemàtica. L'error del sistema pot provocar des d'una parada sense importància del procés fins a un accident de greus conseqüències.

5.1. **Metodologia de l'anàlisi**

El primer pas per realitzar un anàlisi HAZOP és la identificació de l'objectiu principal i de l'abast de l'estudi, així com també els límits físics de la instal·lació que s'ha dissenyat.

Després d'un estudi preliminar en base a tota la informació del projecte el següent pas ha estat escollir els elements crítics o nodes que s'han d'analitzar. En aquest cas, els punts crítics seleccionats han estat els tancs d'emmagatzematge, l'intercanviador de calor i les bombes de transferència.

Sobre cada node d'estudi, que correspon a cada element seleccionat, i de forma seqüencial i repetitiva, s'apliquen les paraules guia (temperatura, pressió i cabal) a cada una de les condicions d'operació del procés, les substàncies i les variables que intervenen.

Finalment, es generen les desviacions significatives de les condicions normals d'operació i es realitza un repàs exhaustiu dels possibles funcionaments anòmals.

A l'annex A.3 es mostra l'estudi realitzat de la instal·lació.

6. MANTENIMENT DE LA INSTAL·LACIÓ

Per a un bon funcionament de la instal·lació i evitar aturades de la planta s'ha de seguir un pla de manteniment preventiu. Aquest està enfocat a la prevenció de fallades en els principals equips amb l'objectiu de reduir errors per averies, mitjançant revisions periòdiques i programades segons les necessitats de la planta.

6.1. Tancs d'emmagatzematge

La instal·lació que s'ha dissenyat està constituïda per tres tancs (ASME) de grans dimensions que treballen a pressió atmosfèrica. Un dels problemes més comuns que tenen aquests tipus d'equips és la corrosió pel pas del temps. S'ha tingut en compte a l'hora de dissenyar els gruixos de les parets dels tancs 3 mm per l'acció de la corrosió. No obstant, s'ha de realitzar un manteniment per analitzar si aquest paràmetre.

S'ha de verificar visualment l'estat físic de cada tanc per a confirmar que no existeixin esquerdes, picadures o corrosió. Es realitzarà un estudi anual dels espessors de les parets i s'avaluarà l'estat físic d'aquests. A més, es verificarà que no hi hagin fuites en les unions i segellats.

6.2. Bombes centrífugues

Les bombes són uns dels equips imprescindibles en la instal·lació, ja que la fallada en una de les bombes podria generar l'aturada de la instal·lació per complet. Per aquest motiu s'han instal·lat bombes auxiliars per evitar que en cas de fallada d'alguna de les bombes s'aturi la planta. No obstant, s'ha d'analitzar els principals motius d'averia de les bombes per fer un bon manteniment, i s'ha determinat que els principals problemes són cavitació, obstrucció de l'impulsor, velocitats del fluid altes, insuficient NSPH, desalineació de l'eix en el motor, desequilibri del motor i defectes mecànics.

En el cas de desequilibri de la bomba caldria alinear l'eix per mitjà de dos cargols que es troben a la base del motor per ajustar la diferencia d'altures. S'ha d'utilitzar un rellotge comparador per mesurar el desplaçament tant radial com axial.

Si el problema esdevé per un augment de la temperatura dels coixinets s'haurà de comprovar que hi hagi suficient lubricant. Comprovar al mateix temps que el lubricant és transparent i que no hi ha escumes. Si es necessari, afegir oli i assegurar que el nivell d'oli sigui l'òptim.

Observar si hi ha vibracions, ja que si són molt fortes poden causar desalineacions de la bomba i ressonàncies de cavitació entre la bomba, la base o les vàlvules ubicades en les línies de succió/descàrrega.

A la taula següent es mostra un pla de manteniment de les bombes centrífugues.

Taula 6.1. Pla de manteniment de les bombes centrífugues

Tasca a realitzar	Freqüència (mesos)
Mesura de la temperatura dels rodaments	0,5
Comprovar el nivell de lubricant	0.5
Alineació de l'eix	1
Control de fugues	3
Substitució de lubricant	3
Comprovar la pressió de succió i descàrrega	6
Comprovar la presència de vibracions	6

Taula 6.1. Pla de manteniment de les bombes centrífugues (Cont.)

Tasca a realitzar	Freqüència (mesos)
Comprovar el nivell de sorolls	6
Comprovar els suports	12
Comprovar la bancada o la cimentació	12
Verificació de la presa de terra	12
Radiografiat interior	12

6.3. Bescanviador de calor

Per fer una revisió interna de l'equip caldrà que estigui despressuritzat i esperar a que estigui a temperatura ambient per a que el personal de manteniment no pateixi cap accident, ni cremades.

Els bescanviadors de tipus BEM tenen els punts més fràgils en les soldadures entre els tubs i la placa tubular. Aquests punts requereixen d'un manteniment exhaustiu per part dels operaris de manteniment.

Per altra banda, quan hi ha incrustacions internes, la caiguda de pressió esdevé notable i es produeix una reducció de la transferència de calor. Aquest és un dels principals problemes que tenen aquests equips, per aquest motiu s'han de desmuntar periòdicament per netejar-los segons les recomanacions del fabricant.

En general, les condicions que afecten més als bescanviadors de calor, són l'obturació dels tubs, la corrosió, el desgast i la ruptura entre la placa tubular i el feix de tubs. A la taula que es mostra a continuació, es detallen els temps de neteja i algunes de les accions que es realitzaran per garantir el bon funcionament de l'equip.

Taula 6.2. Pla de manteniment del bescanviador de calor

Tasca a realitzar	Freqüència (mesos)
Inspecció visual de l'estat físic de l'equip	6
Control de l'eficiència	6
Inspecció interna	12
Radiografiat	12
Neteja química de l'interior	24
Canvi de juntes	24

6.4. Canonades

Un bon manteniment de les canonades de la instal·lació evitarà danys directes a altres equips, accidents laborals i problemes de funcionament globals.

S'ha de tenir en compte que les canonades que no estan calorifugades permeten veure visualment l'estat físic de forma ràpida i si hi ha presència de corrosió o fissures. En aquells trams on hi ha calorifugat, s'haurà d'inspeccionar de forma més exhaustiva per comprovar que no hi hagin fugues.

Tot i que no es necessari fer neteja química de les canonades per l'interior perquè el líquid que circula és aigua, es recomanable radiografiar les canonades periòdicament i realitzar inspeccions visuals freqüentment. A la taula següent es pot veure un pla de manteniment de les canonades.

Taula 6.3. Pla de manteniment de les canonades

Tasca a realitzar	Freqüència (mesos)
Radiografiat	6
Inspeccions visuals línies no calorifugades	1
Inspeccions visuals línies calorifugades	1

7. MEDIAMBIENT AL DISSENY DE LES INSTAL·LACIONS

En aquest apartat es presenta un estudi de la sostenibilitat del projecte, analitzant els focus de contaminació per comprovar que la instal·lació compleix les normatives mediambientals.

7.1. Identificació dels principals contaminants

La planta consumeix vapor i en la generació d'aquest s'utilitza gas natural que en la combustió genera SO₂, CO₂, NO_x, CH₄ i partícules sòlides. No obstant, les calderes de vapor queden fora de l'abast d'aquest projecte.

Pel que fa a contaminants líquids, l'únic que podem considerar són els olis que es fan servir a la lubricació de les bombes. Aquest es minimitzaran amb el correcte manteniment programat en capítols anteriors.

7.2. Residus associats al manteniment

La instal·lació genera uns residus associats al manteniment dels equips.

Pel que fa als lubricants de les bombes, quan aquests són substituïts s'emmagatzemen en recipients per a que es puguin gestionar.

Altres possibles residus que es poden generar durant els treballs de manteniment que són classificats com a no perillosos però que requereixen d'una correcta gestió són les juntes dels equips i els aïllaments tèrmics. En el cas de substitució d'alguna de les juntes tant pel que fa a les bombes com al bescanviador de calor, s'haurà de consultar el fabricant per poder identificar el tipus de material que han estat fabricades per poder dipositar-les al contenidor adequat.

7.3. Consums d'energia elèctrica

En aquest apartat es quantifiquen els consums d'energia elèctrica de les bombes en un període d'un any. A la taula següent es mostra una estimació de les hores totals anuals de funcionament de les bombes per a cada reactor tenint en compte un factor de servei del 85 %.

Taula 7.1. Total d'hores de treball de les bombes del TK0154 i TK0155

	R-101	R-102	R-103	R-104
Cicle (hores/batch)	5,00	4,75	5,38	5,00
Nº batchs/dia	4,80	5,05	4,46	5,04
Nº batchs/any	$1,75 \cdot 10^3$	$1,84 \cdot 10^3$	$1,63 \cdot 10^3$	$1,84 \cdot 10^3$
Factor de servei (0,85)	$1,49 \cdot 10^3$	$1,57 \cdot 10^3$	$1,38 \cdot 10^3$	$1,56 \cdot 10^3$
Temps carga (h/batch)	$4,20 \cdot 10^{-1}$	$4,20 \cdot 10^{-1}$	$3,50 \cdot 10^{-1}$	$3,50 \cdot 10^{-1}$
Total (hores/any)	$6,25 \cdot 10^2$	$6,58 \cdot 10^2$	$4,84 \cdot 10^2$	$5,47 \cdot 10^2$

A les taules 7.2 i 7.3 s'ha calculat el consum de cada bomba en base al total d'hores de treball durant l'any.

Taula 7.2. Consums de les bombes del TK0154 i TK0155

P0149 i P0148	R-101	R-102	R-103	R-104
hores/any	$6,25 \cdot 10^2$	$6,58 \cdot 10^2$	$4,84 \cdot 10^2$	$5,47 \cdot 10^2$
kW	78,0	78,0	78,0	78,0
kWh/any	$4,88 \cdot 10^4$	$5,14 \cdot 10^4$	$3,78 \cdot 10^4$	$4,27 \cdot 10^4$

La suma dels consums durant la càrrega dels quatre reactors pel que fa a les bombes P0148A/B i P0149A/B és de 180,57 MWh/any. Aquest consum fa referència a una sola bomba en marxa durant la càrrega, ja que totes dues treballen simultàniament i suposem que ajusten les revolucions.

Taula 7.3. Total d'hores de treball de les bombes del TK0153

P0146 i P0147	R-101	R-102	R-103	R-104
hores /batch	3,75	3,50	4,30	3,68
Nº batchs/dia	4,80	5,05	4,46	5,04
Nº batchs/any	$1,75 \cdot 10^3$	$1,84 \cdot 10^3$	$1,63 \cdot 10^3$	$1,84 \cdot 10^3$
Factor de servei (0,85)	$1,49 \cdot 10^3$	$1,57 \cdot 10^3$	$1,38 \cdot 10^3$	$1,56 \cdot 10^3$
hores/any	$5,58 \cdot 10^3$	$5,48 \cdot 10^3$	$5,95 \cdot 10^3$	$5,75 \cdot 10^3$
kW	17,0	17,0	15,0	15,0
kWh/any	$9,49 \cdot 10^4$	$9,32 \cdot 10^4$	$8,92 \cdot 10^4$	$8,63 \cdot 10^4$

En aquest cas, el valor de partida és el temps de reacció en un *batch*, ja que és el temps que estan treballant les bombes del TK0153. La suma dels consums en els quatre reactors pel que fa a les bombes P0146A/B/C i P0147A/B/C és de 363,7 MWh/any.

7.4. Consums tèrmics

A la taula que es mostra a continuació s'especifiquen els consums de vapor anuals que es necessiten per escalfar aigua al bescanviador de calor.

Taula 7.4. Consums tèrmics anuals

Unitats	Vapor
kg/s	0,383
kg/h	$1,38 \cdot 10^3$
kJ/kg [16]	$2,03 \cdot 10^3$
kJ/h	$2,79 \cdot 10^6$
kWh/h	$7,76 \cdot 10^2$
kWh/any	$6,79 \cdot 10^6$

El consum total de vapor anual és de 6795 MWh/any. Per al càlcul del consum s'ha utilitzat el calor latent del vapor a 8 barg, és a dir, 2027,93 kJ/kg. S'ha tingut en compte que el bescanviador de calor està en funcionament tot l'any.

7.5. Sorolls

El soroll és un impacte també ha tenir en compte, especialment durant la fase de construcció.

La contaminació acústica generada en el procés de explotació i construcció s'ha de controlar per a que no superi els 65 dB, estipulats en el Reial Decret 1367/2007 a la categoria B per a zones industrials.

Per a protegir els operaris, enginyers i personal de fàbrica d'aquest soroll, tothom ha de portar casc i taps homologats per reduir aquest impacte.

8. ESTUDI ECONÒMIC

8.1. Compte de resultats

Primer s'han calculat els costos dels principals equips de la instal·lació de càrrega d'aigua, és a dir, el cost dels tres tancs d'emmagatzematge d'aigua a diferents temperatures, el cost de les deu bombes de transferència i el bescanviador de calor. Per fer el càlcul del cost actual de cada equip s'ha agafat com a referència els preus obtinguts d'un *software online* [6] on els preus són de l'any 2014 en dòlars.

Taula 8.1. Preus dels principals equips obtinguts del *software*

Equip	Cost 2014 (\$)
Tanc d'aigua a 5°C	164.400
Tanc d'aigua a 25°C	179.500
Tanc d'aigua a 90°C	214.600
Bomba NB 40-315 7m3/H	5.900
Bomba NB 40-315 5m3/h	3.800
Bomba NB 65-315 150m3/h	12.700
Bescanviador de calor	30.600

Per al càlcul dels cost actual dels equips s'ha utilitzat la fórmula següent:

$$C_A = C_B \cdot \frac{CEPCI_A}{CEPCI_B} \quad (8.1)$$

On C_A representa el cost a l'any 2019 (el més actual possible) i C_B el de l'any 2014. Mitjançant els CEPCI (*Chemical Engineering Plant Cost Index*) [7] es pot calcular un valor escalat del preu de cada equip. L'últim valor que s'ha obtingut del CEPCI és de l'any 2019.

A la taula 8.2 es mostren els valors de CEPCI.

Taula 8.2. Valors de CEPCI

Any	CEPCI
2014	576,1
2017	567,4
2018	576,4
2019	596,2

Un cop es coneixen els valors anteriors, es pot aplicar la fórmula del cost actual aplicant els preus en dòlars de cada equip. El valor de la conversió de dòlars a euros és a del 22-04-2020, on 1 USD = 0,919542€. A la taula que es mostra a continuació es poden observar els resultats obtinguts.

Taula 8.3. Resultats del cost actual dels equips principals

Equip	Unitats	Cost 2014 (\$)	Cost 2019 (\$)	Cost 2019 (€)	Total (€)
Tanc 5°C	1	164.400	170.136	156.447	156.447
Tanc 25°C	1	179.500	185.763	170.817	170.817
Tanc 90°C	1	214.600	222.087	204.219	204.219
Bomba 7 m³/h	3	5.900	6.106	5.615	16.844
Bomba 5 m³/h	3	3.800	3.933	3.616	10.849
Bom. 150 m³/h	4	12.700	13.143	12.086	48.343
Bescanviador	1	30.600	31.668	29.120	29.120
TOTAL	14	-	-	-	636.637

El cost total dels principals equips és de 636.636,87€.

8.2. Pressupost d'execució del projecte

Per al càlcul de la inversió total de la instal·lació de càrrega d'aigua s'ha tingut en compte uns factors que multipliquen en el cost inicial dels equips, tenint en compte la complexitat de la instal·lació. A la taula següent es representen els conceptes més importants.

Taula 8.4. Cost total de la inversió

Total equip base (TEB)		668.469€
Muntatge d'equip bàsic	83.558€	
Cimentacions i estructures	58.491€	
Canonades	75.202€	
Aïllament tèrmic	74.200€	
Electricitat + il·luminació	57.488€	
Instrumentació	91.914€	
No comptabilitzat	8.355€	
Edificis	108.626€	
Cost de factors (CF) = $TEB \cdot TF / 100$		557.837€
Cost directe de la planta (CD) = TEB + CF		1.226.306€
Cost indirecte (CI) = + 29 % del CD		355.629€
Imprevistos = + 14 % del CD		171.683€
Cost total instal·lació (CTI) = Subt.+ Impre.		1.753.617€

Una anàlisi molt més detallada de tots aquests factors es pot trobar a l'apartat d'annexos A.4.1.

El resultat obtingut és de 1.753.617,36€ que representa el cost total d'inversió inicial, tenint en compte el cost dels principals equips calculat anteriorment.

8.3. Avaluació global de la inversió

Els costos fixos i variables de la instal·lació s'han determinat en base a un augment en de la producció anual de 6.000 tones, que és la calculada per un escurçament de 6 minuts en el temps de càrrega dels reactors i un increment del 1% en el factor de servei dels equips.

A l'apartat d'annexos A.4.2 es pot observar els càlculs dels costos fixos, costos variables i ingressos variables.

S'ha considerat que la instal·lació té una vida útil de 20 anys i que el valor residual és un 15% de la inversió total inicial.

$$\text{Valor residual} = \text{CTI} \cdot 0,15 = (1,75 \cdot 10^6) \cdot 0,15 = 2,63 \cdot 10^5 \quad (8.2)$$

$$\text{Amortització} = \frac{\text{inversió inicial} - \text{valor residual}}{\text{anys vida útil}} = \frac{1,75 \cdot 10^6 - 2,63 \cdot 10^5}{20} = 7,45 \cdot 10^4 \quad (8.3)$$

A la taula següent es mostra el recompte de resultats.

Taula 8.5. Recompte de resultats

	€/any
Ingressos	5.400.000
-Costos variables	4.837.319
-Costos fixos	35.383
-Amortització	75.189
Total = benefici brut	452.109
Benefici brut	452.109
Impostos = benefici brut * 15%	158.238
<i>Cash flow</i> = Benefici brut – impostos + amortització	369.060

A la figura següent es mostra el *cash flow* acumulat durant el període de vida útil de la planta.

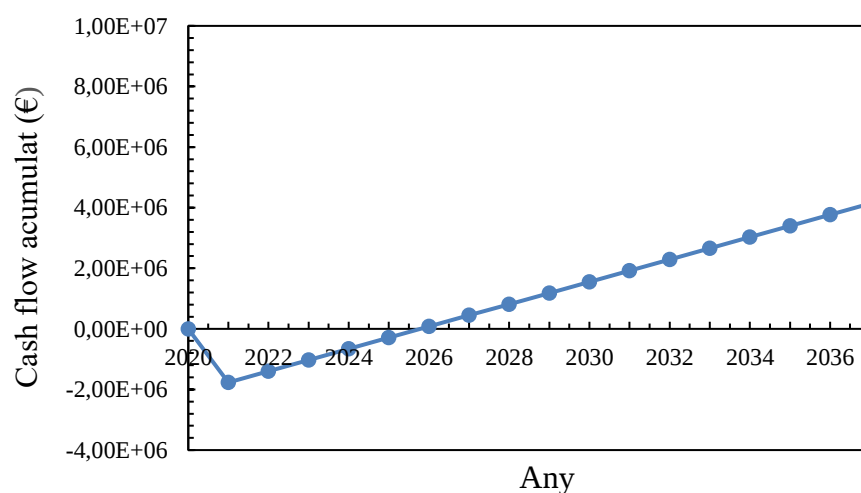


Figura 8.1. *Cash flow* acumulat

A continuació, s'ha calculat el VAN en una taxa d'interès del 10,5% i el TIR aplicant les fórmules següents per determinar la viabilitat de la inversió de la instal·lació. Finalment, s'ha calculat el *pay-back*, és a dir, el període de retorn de la inversió.

$$VAN = -I_0 + \sum_{j=1}^n \frac{CF_j}{(1+i)^j} \quad (8.4)$$

$$TIR = 0 = -I_0 + \sum_{j=1}^n \frac{CF_j}{(1+TIR)^j} \quad (8.5)$$

$$Pay-back = \frac{\text{inversió inicial}}{\text{cash flow}} \quad (8.6)$$

On, I és el valor de la inversió tota inicial, j és el període d'inversió en anys, i és la taxa d'interès i CF és el *cash flow*. A la taula 8.6 es poden observar els resultats obtinguts.

Taula 8.6. Resultats de la viabilitat de la inversió

Paràmetre	Unitat	Valor
VAN	€	1.116.509
TIR	%	20,4
Pay-back	Anys	4,75

Els resultats indiquen que el projecte és econòmicament viable, ja que el VAN és positiu i el TIR està per sobre del 15 %. El període de retorn de la inversió inicial és de 4 anys i 9 mesos, tenint en compte que aquest càlcul s'ha realitzat per a un preu de PVC/unitat de 900€ (Annex A.4.3).

8.4. Anàlisi de sensibilitat

S'ha realitzat un anàlisi de sensibilitat en el cas de que el preu de venda del policlorur de vinil sigui diferent al esperat. L'avaluació global de la inversió s'ha realitzat per a un preu de venda de policlorur de vinil de 900€. Per veure quins efectes té una variació del preu de venda del $\pm 5\%$ sobre la viabilitat del projecte s'ha analitzat novament la inversió global per a un preu de venda de 855€ i 945€. A la figura 8.2 es mostra la variació del *cash flow* acumulat inicial i una diferència del 5 % del preu de venda.

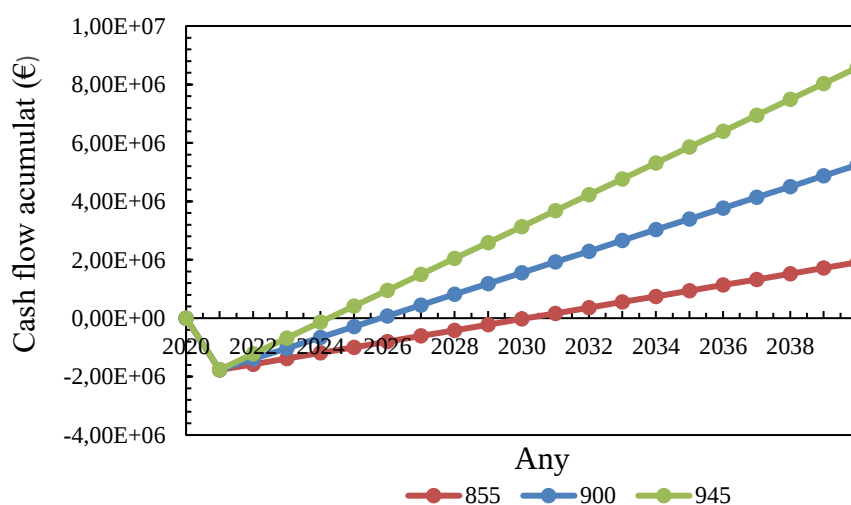


Figura 8.2. *Cash flow* acumulat per a diferents preus de venda de PVC

S'han calculat el VAN, el TIR i el *Pay-Back* per determinar si en aquests casos la variació del preu de venda al mercat del PVC té alguna influència en la viabilitat del projecte. A la taula 8.7 es mostren els resultats obtinguts per als tres casos analitzats.

Taula 8.7. Resultats del anàlisi de sensibilitat

Paràmetre	855€/unitat	900€/unitat	945€/unitat
VAN (i=10,5) (€)	-183.250	1.116.509	2.388.152
TIR (%)	8,70	20,4	30,6
<i>Pay-back</i> (anys)	9,14	4,75	3,25

Com es pot observar si el preu de venda al mercat disminueix en un 5%, el projecte deixa de ser viable econòmicament, mentre que si puja el projecte segueix sent molt més rentable.

9. CONCLUSIONS

A partir de les dades inicials proporcionades s'han calculat el balanços de matèria i d'energia. Amb el balanç de matèria s'ha dimensionat el tanc d'emmagatzematge d'aigua a 5°C i a partir dels balanços d'energia s'han dimensionat els tancs d'aigua a temperatura ambient i a 90°C. Partint de les pressions i temperatures de disseny i mitjançant el codi ASME s'ha calculat els gruixos de cada part dels tancs.

A partir del volum d'aigua necessària per dur a terme la mescla d'aigües a 45°C s'ha dissenyat un bescanviador de calor tubs carcassa. S'ha utilitzat el simulador *Aspen Exchange Design & Rating*® per determinar el cabal de vapor requerit per escalfar l'aigua en el pitjor escenari possible, és a dir, quan el corrent d'alimentació d'aigua desmineralitzada a temperatura ambient és de 2°C.

Amb els cabals volumètrics d'aigua requerida per a cada reactor s'ha pogut dimensionar les canonades, i amb la taula ASME s'han seleccionat canonades estàndards i s'han recalculat els gruixos i les velocitats de flux.

Per al disseny de les bombes de càrrega s'ha utilitzat un programari *CheGuide* per fer una estimació de les característiques de les bombes segons els cabals volumètrics i la pressió de treball de cada reactor. Amb els valors de succió, descàrrega, potències i pèrdues de pressió s'han seleccionat bombes d'un catàleg de GRUNFOS.

S'han elaborat els diagrames de flux i el de canonades i instrumentació de la instal·lació, com també el *Plot Plant* integrat a l'espai facilitat dintre de la planta de PVC ja existent. Mitjançant els diagrames s'ha dissenyat un sistema de control, on s'han fixat uns *set points* per cadascuna de les variables a controlar, així s'evitaran desviacions del procés gràcies a l'acció dels llaços de control. També s'han definit els enclavaments que permetran treballar de forma segura.

Paral·lelament als sistema de control s'ha avaluat la instal·lació i s'ha elaborat un HAZOP del tanc TK0155 i del bescanviador de calor E0134. S'han analitzat possibles desviacions significatives de les condicions normals d'operació i s'ha realitzat un repàs exhaustiu dels possibles funcionaments anòmals.

Finalment, l'estudi econòmic de viabilitat ens indica que la instal·lació dissenyada és rendible. La inversió inicial de la instal·lació de càrrega d'aigua es recupera en 4 anys i 9 mesos, tenint en compte que aquest càlcul s'ha realitzat per a un preu de PVC/unitat de 900€.

10. REFERÈNCIES

- [1] [https://www.jrsiberica.com/jrs_es/soluciones-de-fibras/bu quimica/aplicaciones/hpmc-por-pvc/](https://www.jrsiberica.com/jrs_es/soluciones-de-fibras/bu_quimica/aplicaciones/hpmc-por-pvc/) (Consulta: 26-02-2020)
- [2] <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/pvc.html> (Cons: 25-02-2020)
- [3] <https://idus.us.es/handle/11441/49638> (Consulta: 17-03-2020)
- [4] *Manufacture and processing of PVC*, Autor: R.H. BURGESS (Consulta: 25-03-2020)
- [5] <https://campusvirtual.urv.cat/mod/resource/view.php?id=2152366> (Cons: 21-03-2020)
- [6] <http://www.matche.com/equipcost/Default.html> (Consulta: 20-04-2020)
- [7] <https://www.chemengonline.com/2019-cepci-updates-march-prelim-and-april-final/> (Consulta: 22-04-2020)
- [8] <https://www.xe.com/es/currencyconverter/convert/?Amount=1&From=USD&To=EUR> (Consulta: 22-04-2020)
- [9] <http://icaen.gencat.cat/ca/energia/preus/> (Consulta: 26-04-2020)
- [10] <http://www.osti.gov/scitech/biblio/797810/> (Consulta: 26-04-2020)
- [11] *Aspen Exchange Design & Rating®*, Aspen Technology Inc., Cambridge/MA, USA, v.8.8 (Consulta: 04-05-2020)
- [12] *Chemical Industry Association Hazop* (Consulta: 14-05-2020)
- [13] https://campusvirtual.urv.cat/pluginfile.php/2852830/mod_resource/content/13/2018_11_13%20Exercici.%20C%C3%A0lcul%20recipient%20a%20pressi%C3%B3.pdf (Consulta: 18-03-2020)
- [14] https://campusvirtual.urv.cat/pluginfile.php/2852831/mod_resource/content/12/TAULA%20A3%20ASME%2028020.pdf (Consulta: 18-03-2020)
- [15] <https://www.peninsulardevastagos.es/wp-content/uploads/Peninsular-asme.pdf> (Consulta: 25-03-2020)
- [16] <https://www.tlv.com/global/LA/calculator/superheated-steam-table.html> (Consulta: 25-05-2020)
- [17] <https://checalc.com/calc/pump.html> (Consulta: 27-03-2020)
- [18] <http://net.grundfos.com/Appl/ccmsservices/public/literature/filedata/Grundfosliterature-970667.pdf> (Consulta: 27-03-2020)
- [19] https://www.thermexcel.com/english/tables/eau_boui.htm (Consulta: 06-06-2020)



ANNEXOS

A.1. ETAPA PRELIMINAR

A.1.1. Etapes bàsiques del procés de producció per suspensió

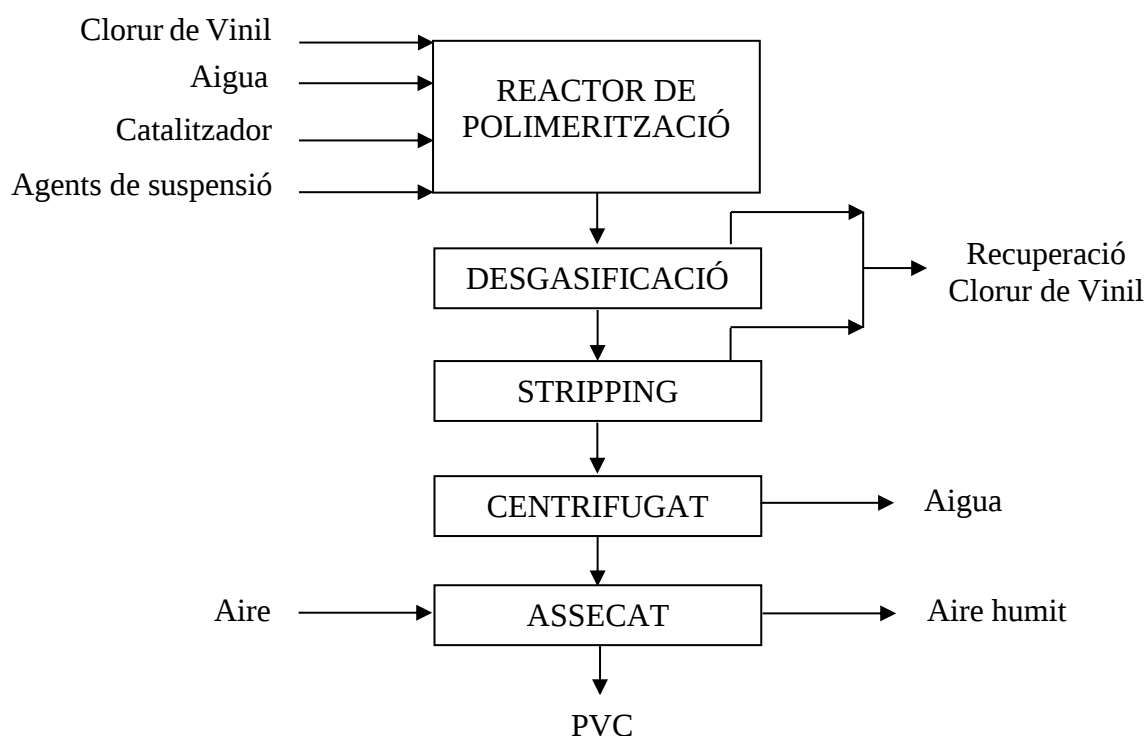


Figura A.1.1. Esquema del procés de producció del PVC en suspensió

A.2. DESENVOLUPAMENT DE L'ENGINYERIA BÀSICA

A.2.1. Disseny d'equips

A les taules que es mostren a continuació es poden observar els balanços d'energia realitzats per al càlcul del volum d'aigua a 45 °C que s'ha d'alimentar als reactors.

Taula A.2.1. Nomenclatura del balanç d'energia

Nomenclatura	Descripció
m_{VCM} (kg)	Massa de clorur de vinil carregat a cada reactor
T_{VCM} (°C)	Temperatura de càrrega del Clorur de vinil.
m_{H_2O} (kg)	Massa total d'aigua calculada que es carrega a cada reactor
T_{amb} (°C)	Temperatura ambient
T_{cal} (°C)	Temperatura de l'aigua calenta (90 °C)
$T_{reacció}$ (°C)	Temperatura de reacció diferent per a cada reactor
% A1	Percentatge d'aigua que es carrega a la primera etapa (50%)
m_{A1} (kg)	Massa total d'aigua a la primera etapa
T_{A1} (°C)	Temperatura de l'aigua a la primera etapa
$m_{A90^{\circ}1}$ (kg)	Massa d'aigua calenta a la primera etapa
$m_{A25^{\circ}1}$ (kg)	Massa d'aigua a temperatura ambient a la primera etapa

Taula A.2.1. Nomenclatura del balanç d'energia (Cont.)

Nomenclatura	Descripció
% A ₂	Massa d'aigua a la segona etapa
m _{B final A1} (kg)	Massa de <i>batch</i> al final de la primera etapa
T _{B final A1} (°C)	Temperatura final a la primera etapa
m _{A2} (kg)	Massa total d'aigua a la segona etapa
T _{A2} (°C)	Temperatura de l'aigua a la segona etapa
m _{A 90°C 2} (kg)	Massa d'aigua calenta a la segona etapa
m _{A 25°C 2} (kg)	Massa d'aigua a temperatura ambient a la segona etapa
T _f (°C)	Temperatura final de la massa de <i>batch</i>
m _{A 90°C 1+2} (kg)	Massa total d'aigua calenta carregada
m _{A 25°C 1+2} (kg)	Massa total d'aigua ambient carregada
Nº <i>batch</i> /dia	Nombre de <i>batches</i> processats cada dia a cada reactor
V _{90°C} (m ³)	Consum d'aigua calenta
V _{25°C} (m ³)	Consum d'aigua a temperatura ambient

Taula A.2.2. Balanç d'energia a la temperatura de 17,5 °C

	R-101	R-102	R-103	R-104
m _{VCM} (kg)	460·10 ²	435·10 ²	285·10 ²	295·10 ²
T _{VCM} (°C)	17,5	17,5	17,5	17,5
m _{H2O} (kg)	391·10 ²	456·10 ²	313·10 ²	324·10 ²
T _{amb} (°C)	17,5	17,5	17,5	17,5
T _{cal} (°C)	90,0	90,0	90,0	90,0
T _{reacció} (°C)	55,0	68,0	54,0	61,0
% A ₁	0,500	0,500	0,500	0,500
m _{A1} (kg)	195·10 ²	228·10 ²	156·10 ²	162·10 ²
T _{A1} (°C)	45,0	45,0	45,0	45,0
m _{A 90° 1} (kg)	741·10 ¹	866·10 ¹	594·10 ¹	6154
m _{A 25°C 1} (kg)	121·10 ²	141·10 ²	972·10 ¹	100·10 ²
% A ₂	0,500	0,500	0,500	0,500
m _{B final A1} (kg)	655·10 ²	663·10 ²	441·10 ²	457·10 ²
T _{B final A1} (°C)	32,7	34,1	34,4	34,4
m _{A2} (kg)	195·10 ²	228·10 ²	156·10 ²	162·10 ²
T _{A2} (°C)	90,0	90,0	83,6	90,0
m _{A 90°C 2} (kg)	195·10 ²	228·10 ²	142·10 ²	162·10 ²
m _{A 25°C 2} (kg)	0,00	0,00	138·10 ¹	0,00
T _f (°C)	53,1	55,9	54,0	56,5
m _{A 90°C 1+2} (kg)	269·10 ²	315·10 ²	202·10 ²	223·10 ²
m _{A 25°C 1+2} (kg)	121·10 ²	141·10 ²	111·10 ²	100·10 ²
Nº <i>batch</i> /dia	4,80	5,10	4,50	5,00
V _{90°C} (m ³)	129	159	90,0	113
V _{25°C} (m ³)	58,0	72,0	50,0	51,0

Taula A.2.3. Balanç d'energia a la temperatura de 2 °C

	R-101	R-102	R-103	R-104
m _{VCM} (kg)	4,60·10 ⁴	4,35·10 ⁴	2,85·10 ⁴	2,95·10 ⁴
T _{VCM} (°C)	2,00	2,00	2,00	2,00
m _{H2O} (kg)	3,91·10 ⁴	4,57·10 ⁴	3,14·10 ⁴	3,25·10 ⁴
T _{amb} (°C)	2,00	2,00	2,00	2,00
T _{cal} (°C)	90,0	90,0	90,0	90,0
T _{reacció} (°C)	55,0	68,0	54,0	61,0
% A ₁	0,500	0,500	0,500	0,500
m _{A1} (kg)	1,96·10 ⁴	2,28·10 ⁴	1,57·10 ⁴	1,62·10 ⁴
T _{A1} (°C)	4,50·10 ¹	4,50·10 ¹	4,50·10 ¹	4,50·10 ¹
m _{A 90° 1} (kg)	9,55·10 ³	1,12·10 ⁴	7,66·10 ³	7,93·10 ³
m _{A 25°C 1} (kg)	1,00·10 ⁴	1,17·10 ⁴	8,02·10 ³	8,30·10 ³
% A ₂	5,00·10 ⁻¹	5,00·10 ⁻¹	5,00·10 ⁻¹	5,00·10 ⁻¹
m _{B final A1} (kg)	6,56·10 ⁴	6,63·10 ⁴	4,42·10 ⁴	4,57·10 ⁴
T _{B final A1} (°C)	2,58·10 ¹	2,80·10 ¹	2,85·10 ¹	2,85·10 ¹
m _{A2} (kg)	1,96·10 ⁴	2,28·10 ⁴	1,57·10 ⁴	1,62·10 ⁴
T _{A2} (°C)	9,00·10 ¹	9,00·10 ¹	9,00·10 ¹	9,00·10 ¹
m _{A 90°C 2} (kg)	1,96·10 ⁴	2,28·10 ⁴	1,57·10 ⁴	1,62·10 ⁴
m _{A 25°C 2} (kg)	0,00	0,00	0,00	0,00
T _f (°C)	4,87·10 ¹	5,22·10 ¹	5,29·10 ¹	5,29E·10 ¹
m _{A 90°C 1+2} (kg)	2,91·10 ⁴	3,40·10 ⁴	2,33·10 ⁴	2,42·10 ⁴
m _{A 25°C 1+2} (kg)	1,00·10 ⁴	1,17·10 ⁴	8,02·10 ³	8,30·10 ³
Nº <i>batch</i> /dia	4,80	5,05	4,46	5,04
V _{90°C} (m ³)	1,40·10 ²	1,72·10 ²	1,04·10 ²	1,22·10 ²
V _{25°C} (m ³)	4,80·10 ¹	5,90·10 ¹	3,57·10 ¹	4,18·10 ¹

Taula A.2.4. Balanç d'energia a la temperatura de 30 °C

	R-101	R-102	R-103	R-104
m _{VCM} (kg)	4,60·10 ⁴	4,35·10 ⁴	2,85·10 ⁴	2,95·10 ⁴
T _{VCM} (°C)	30,0	30,0	30,0	30,0
m _{H2O} (kg)	3,91·10 ⁴	4,57·10 ⁴	3,14·10 ⁴	3,25·10 ⁴
T _{amb} (°C)	30,0	30,0	30,0	30,0
T _{cal} (°C)	90,0	90,0	90,0	90,0
T _{reacció} (°C)	55,0	68,0	54,0	61,0
% A ₁	0,500	0,500	0,500	0,500
m _{A1} (kg)	1,96·10 ⁴	2,28·10 ⁴	1,57·10 ⁴	1,62·10 ⁴
T _{A1} (°C)	4,50·10 ¹	4,50·10 ¹	4,50·10 ¹	4,50·10 ¹
m _{A 90° 1} (kg)	4,89·10 ³	5,71·10 ³	3,92·10 ³	4,06·10 ³
m _{A 25°C 1} (kg)	1,47·10 ⁴	1,71·10 ⁴	1,18·10 ⁴	1,22·10 ⁴
% A ₂	5,00·10 ⁻¹	5,00·10 ⁻¹	5,00·10 ⁻¹	5,00·10 ⁻¹
m _{B final A1} (kg)	6,56·10 ⁴	6,63·10 ⁴	4,42·10 ⁴	4,57·10 ⁴

Taula A.2.4. Balanç d'energia a la temperatura de 30 °C (Cont.)

	R-101	R-102	R-103	R-104
$T_{B \text{ final A1}} (^{\circ}\text{C})$	$3,83 \cdot 10^1$	$3,91 \cdot 10^1$	$3,92 \cdot 10^1$	$3,92 \cdot 10^1$
$m_{A2} \text{ (kg)}$	$1,96 \cdot 10^4$	$2,28 \cdot 10^4$	$1,57 \cdot 10^4$	$1,62 \cdot 10^4$
$T_{A2} (^{\circ}\text{C})$	$7,75 \cdot 10^1$	$9,00 \cdot 10^1$	$7,08 \cdot 10^1$	$8,84 \cdot 10^1$
$m_{A 90^{\circ}\text{C } 2} \text{ (kg)}$	$1,55 \cdot 10^4$	$2,28 \cdot 10^4$	$1,07 \cdot 10^4$	$1,58 \cdot 10^4$
$m_{A 25^{\circ}\text{C } 2} \text{ (kg)}$	$4,07 \cdot 10^3$	0,00	$5,02 \cdot 10^3$	$4,33 \cdot 10^{-2}$
$T_f (^{\circ}\text{C})$	$5,23 \cdot 10^1$	$5,89 \cdot 10^1$	$5,18 \cdot 10^1$	$5,88 \cdot 10^1$
$m_{A 90^{\circ}\text{C } 1+2} \text{ (kg)}$	$2,04 \cdot 10^4$	$2,85 \cdot 10^4$	$1,46 \cdot 10^4$	$1,98 \cdot 10^4$
$m_{A 25^{\circ}\text{C } 1+2} \text{ (kg)}$	$1,87 \cdot 10^4$	$1,71 \cdot 10^4$	$1,68 \cdot 10^4$	$1,26 \cdot 10^4$
Nº batch/dia	4,80	5,05	4,46	5,04
$V_{90^{\circ}\text{C}} \text{ (m}^3\text{)}$	$9,78 \cdot 10^1$	$1,44 \cdot 10^{-2}$	$6,50 \cdot 10^1$	$1,00 \cdot 10^{-2}$
$V_{25^{\circ}\text{C}} \text{ (m}^3\text{)}$	$8,99 \cdot 10^1$	$8,65 \cdot 10^1$	$7,48 \cdot 10^1$	$6,35 \cdot 10^1$

A.2.2. Disseny de les bombes de transferència

A les taules següents es poden trobar els paràmetres que s'han utilitzat en el programa CheGuide per a determinar les característiques de les bombes.

Taula A.2.5. Dades generals per a la bomba P0146A/B/C

Paràmetre	Valor	Unitat
P_2	11,2	barg
Cabal	7,00	m3/h
Densitat	997	kg/m3
Viscositat	1,00	cP
Pressió de vapor (5°C)	$8,70 \cdot 10^{-3}$	bara
Eficiència	50,0	%

Taula A.2.6. Paràmetres per a la bomba P0146A/B/C

Paràmetre	Unitat	Aspiració	Impulsió
Pressió d'operació	bara	1,00	12,2
<i>Static head</i>	m	1,00	20
<i>Equipament loss</i>	bar	0,00	0
Longitud	m	7,00	70
<i>Pipe Nominal Size (NPS)</i>		3,00	3
<i>Shedule</i>		40,0	40
Diàmetre intern del tub	mm	77,9	77,93
Velocitat	m/s	0,408	0,408
Número de <i>Reynolds</i>		31770	31770
<i>Suction Pipe</i>	bar/100m	$2,64 \cdot 10^{-2}$	$2,64 \cdot 10^{-2}$
Pressió d'aspiració	bara	1,09	14,2

Taula A.2.7. *Fittings* de la bomba P0146A/B/C

	Aspiració			Impulsió		
	Quantitat	k	ΔP	Quantitat	k	ΔP
Colzes (90°C)	2,00	0,290	0,00	6,00	0,290	0,00
Colzes (45°C)	0,00	0,210	0,00	0,00	0,210	0,00
<i>Tees</i>	0,00	0,670	0,00	2,00	0,670	0,00
<i>Branch</i>	2,00	1,09	0,00	0,00	1,09	0,00
Vàlvula de bola	2,00	0,210	0,00	4,00	0,210	$1,00 \cdot 10^{-2}$
Vàlvula papallona	0,00	0,360	0,00	0,00	0,360	0,00
Vàlvula comporta	0,00	0,140	0,00	0,00	0,140	0,00
Vàlvula de globus	0,00	5,35	0,00	1,00	5,35	0,00
Vàlvula <i>Check</i>	0,00	2,04	0,00	1,00	2,04	0,00
Vàlvula <i>Pulg</i>	0,00	0,360	0,00	0,00	0,360	0,00
Entrades canonades	2,00	0,510	0,00	2,00	0,510	0,00
Total pèrdua pressió (bar)			0,00			$1,00 \cdot 10^{-2}$

Taula A.2.8. Dades generals per a la bomba P0147A/B/C

Paràmetre	Valor	Unitat
P ₂	9,20	barg
Cabal	5,00	m ³ /h
Densitat	997	kg/m ³
Viscositat	1,00	cP
Pressió de vapor (5°C)	$8,70 \cdot 10^{-3}$	bara
Eficiència	50,0	%

Taula A.2.9. Paràmetres per a la bomba P0147A/B/C

Paràmetre	Unitat	Aspiració	Impulsió
Pressió d'operació	bara	1,00	10,2
<i>Static head</i>	m	1,00	20,0
<i>Equipment loss</i>	bar	0,00	0,00
Longitud	m	7,00	70,0
<i>Pipe Nominal Size (NPS)</i>		1,50	1,50
<i>Schedule</i>		40,0	40,0
Diàmetre intern del tub	mm	40,9	40,9
Velocitat	m/s	1,06	1,06
Número de <i>Reynolds</i>		43243	43243
<i>Suction Pipe</i>	bar/100m	0,342	0,342
Pressió d'aspiració	bara	1,05	12,5

Taula A.2.10. *Fittings* de la bomba P0147A/B/C

	Aspiració			Impulsió		
	Quantitat	k	ΔP	Quantitat	k	ΔP
Colzes (90°C)	2,00	0,290	0,00	6,00	0,290	$1,00 \cdot 10^{-2}$
Colzes (45°C)	0,00	0,210	0,00	0,00	0,210	0,00
<i>Tees</i>	0,00	0,670	0,00	2,00	0,670	$1,00 \cdot 10^{-2}$
<i>Branch</i>	2,00	1,09	$1,00 \cdot 10^{-2}$	0,00	1,09	0,00
Vàlvula de bola	2,00	0,210	0,00	4,00	0,210	$1,00 \cdot 10^{-2}$
Vàlvula papallona	0,00	0,360	0,00	0,00	0,360	0,00
Vàlvula comporta	0,00	0,140	0,00	0,00	0,140	0,00
Vàlvula de globus	0,00	5,35	0,00	1,00	5,35	$4,00 \cdot 10^{-2}$
Vàlvula <i>Check</i>	0,00	2,04	0,00	1,00	2,04	$1,00 \cdot 10^{-2}$
Vàlvula <i>Pulg</i>	0,00	0,360	0,00	0,00	0,360	0,00
Entrades canonades	2,00	0,510	0,00	2,00	0,510	$1,00 \cdot 10^{-2}$
Total pèrdua pressió (bar)			$1,00 \cdot 10^{-2}$			$9,00 \cdot 10^{-2}$

Taula A.2.11. Dades generals per a la bomba P0148A/B

Paràmetre	Valor	Unitat
P ₂	11,2	barg
Cabal	150	m ³ /h
Densitat	997	kg/m ³
Viscositat	1,00	cP
Pressió de vapor (5°C)	$3,16 \cdot 10^{-2}$	bara
Eficiència	50,0	%

Taula A.2.12. Paràmetres per a la bomba P0148A/B

Paràmetre	Unitat	Aspiració	Impulsió
Pressió d'operació	bara	1,00	12,2
<i>Static head</i>	m	1,00	20,0
<i>Equipament loss</i>	bar	0,00	0,00
Longitud	m	7,00	70,0
<i>Pipe Nominal Size (NPS)</i>		3,00	3,00
<i>Shedule</i>		40,0	40,0
Diàmetre intern del tub	mm	203	203
Velocitat	m/s	1,29	1,29
Número de <i>Reynolds</i>		2611703	2611703
<i>Suction Pipe</i>	bar/100m	$6,88 \cdot 10^{-2}$	$6,88 \cdot 10^{-2}$
Pressió d'aspiració	bara	1,06	14,3

Taula A.2.13. *Fittings* de la bomba P0148A/B

	Aspiració			Impulsió		
	Quantitat	k	ΔP	Quantitat	k	ΔP
Colzes (90°C)	2,00	0,230	0,00	6,00	0,230	$1,00 \cdot 10^{-2}$
Colzes (45°C)	0,00	0,170	0,00	0,00	0,170	0,00
<i>Tees</i>	0,00	0,560	0,00	2,00	0,560	$1,00 \cdot 10^{-2}$
<i>Branch</i>	2,00	0,900	$2,00 \cdot 10^{-2}$	0,00	0,900	0,00
Vàlvula de bola	2,00	0,170	0,00	4,00	0,170	$1,00 \cdot 10^{-2}$
Vàlvula papallona	0,00	0,280	0,00	0,00	0,280	0,00
Vàlvula comporta	0,00	0,110	0,00	0,00	0,110	0,00
Vàlvula de globus	0,00	4,51	0,00	1,00	4,51	$4,00 \cdot 10^{-2}$
Vàlvula <i>Check</i>	0,00	1,70	0,00	1,00	1,70	$1,00 \cdot 10^{-2}$
Vàlvula <i>Pulg</i>	0,00	0,290	0,00	0,00	0,290	0,00
Entrades canonades	2,00	0,500	$1,00 \cdot 10^{-2}$	2,00	1,00	$2,00 \cdot 10^{-2}$
Total pèrdua pressió (bar)			$3,00 \cdot 10^{-2}$			0,100

Taula A.2.14. Dades generals per a la bomba P0149A/B

Paràmetre	Valor	Unitat
P ₂	11,2	barg
Cabal	150	m ³ /h
Densitat	997	kg/m ³
Viscositat	1,00	cP
Pressió de vapor (5°C)	0,700	bara
Eficiència	50,0	%

Taula A.2.15. Paràmetres per a la bomba P0149A/B

Paràmetre	Unitat	Aspiració	Impulsió
Pressió d'operació	bara	1,00	12,2
<i>Static head</i>	m	1,00	20,0
<i>Equipament loss</i>	bar	0,00	0,00
Longitud	m	7,00	70,0
<i>Pipe Nominal Size (NPS)</i>		8,00	8,00
<i>Schedule</i>		40,0	40,0
Diàmetre intern del tub	mm	203	203
Velocitat	m/s	1,29	1,29
Número de <i>Reynolds</i>		261703	261703
<i>Suction Pipe</i>	bar/100m	$6,88 \cdot 10^{-2}$	$6,88 \cdot 10^{-2}$
Pressió d'aspiració	bara	1,06	14,3

Taula A.2.16. *Fittings* de la bomba P0149A/B

	Aspiració			Impulsió		
	Quantitat	k	ΔP	Quantitat	k	ΔP
Colzes (90°C)	2,00	0,230	0,00	6,00	0,230	$1,00 \cdot 10^{-2}$
Colzes (45°C)	0,00	0,170	0,00	0,00	0,170	0,00
Tees	0,00	0,560	0,00	2,00	0,560	$1,00 \cdot 10^{-2}$
Branch	2,00	0,900	$2,00 \cdot 10^{-2}$	0,00	0,900	0,00
Vàlvula de bola	2,00	0,170	0,00	4,00	0,170	$1,00 \cdot 10^{-2}$
Vàlvula papallona	0,00	0,280	0,00	0,00	0,280	0,00
Vàlvula comporta	0,00	0,110	0,00	0,00	0,110	0,00
Vàlvula de globus	0,00	4,51	0,00	1,00	4,51	$4,00 \cdot 10^{-2}$
Vàlvula Check	0,00	1,70	0,00	1,00	1,70	$1,00 \cdot 10^{-2}$
Vàlvula Pulg	0,00	0,290	0,00	0,00	0,290	0,00
Entrades canonades	2,00	0,500	$1,00 \cdot 10^{-2}$	2,00	1,00	$2,00 \cdot 10^{-2}$
Total pèrdua pressió (bar)			$3,00 \cdot 10^{-2}$			0,100

A les figures següents es mostren les corbes característiques de les bombes.

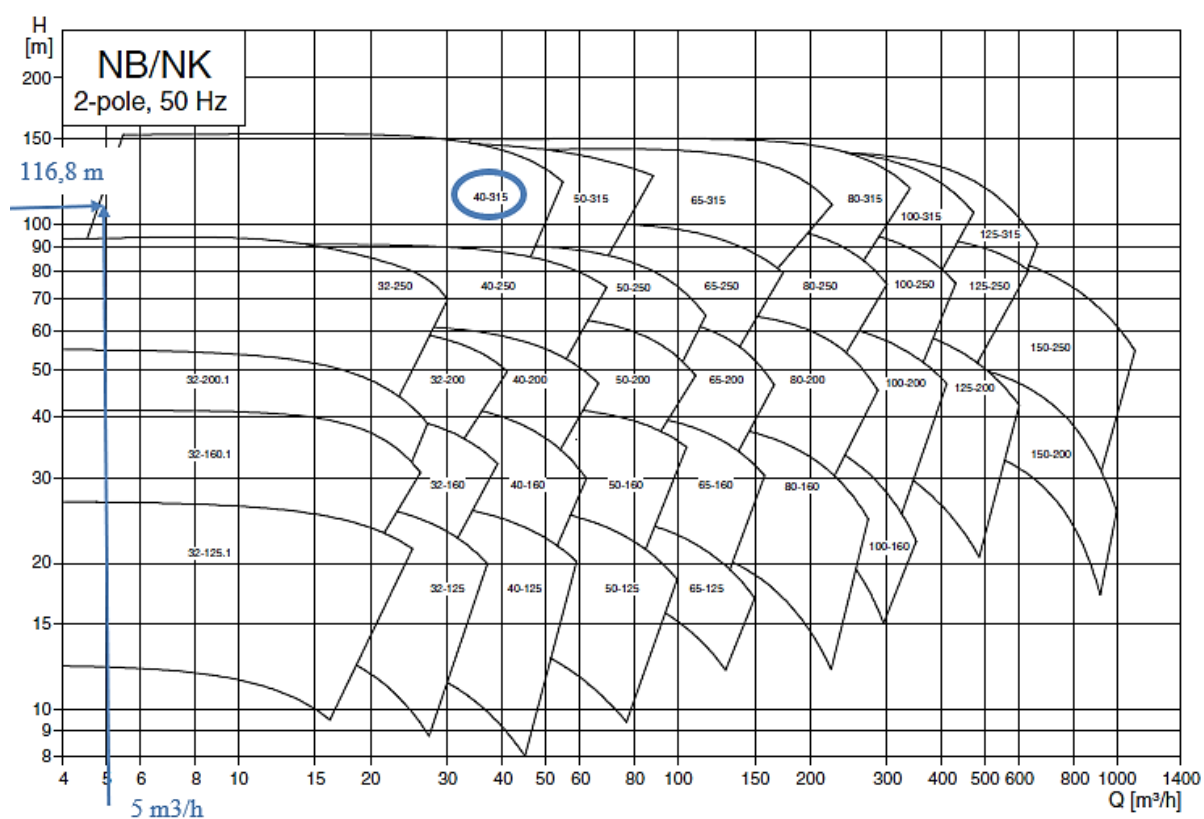


Figura A.2.1. Corba característica de la bomba P0147A/B/C

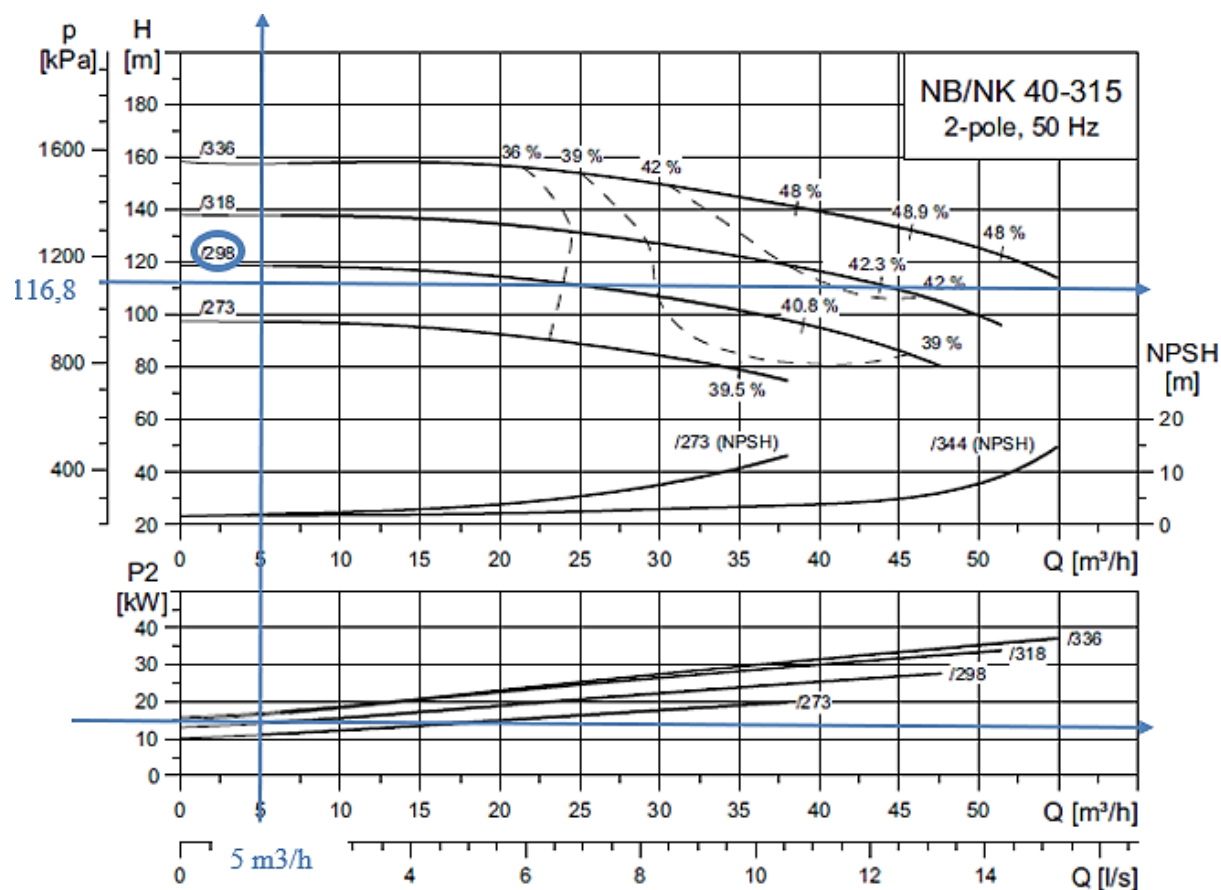


Figura A.2.2. Corba característica de la bomba P0147A/B/C

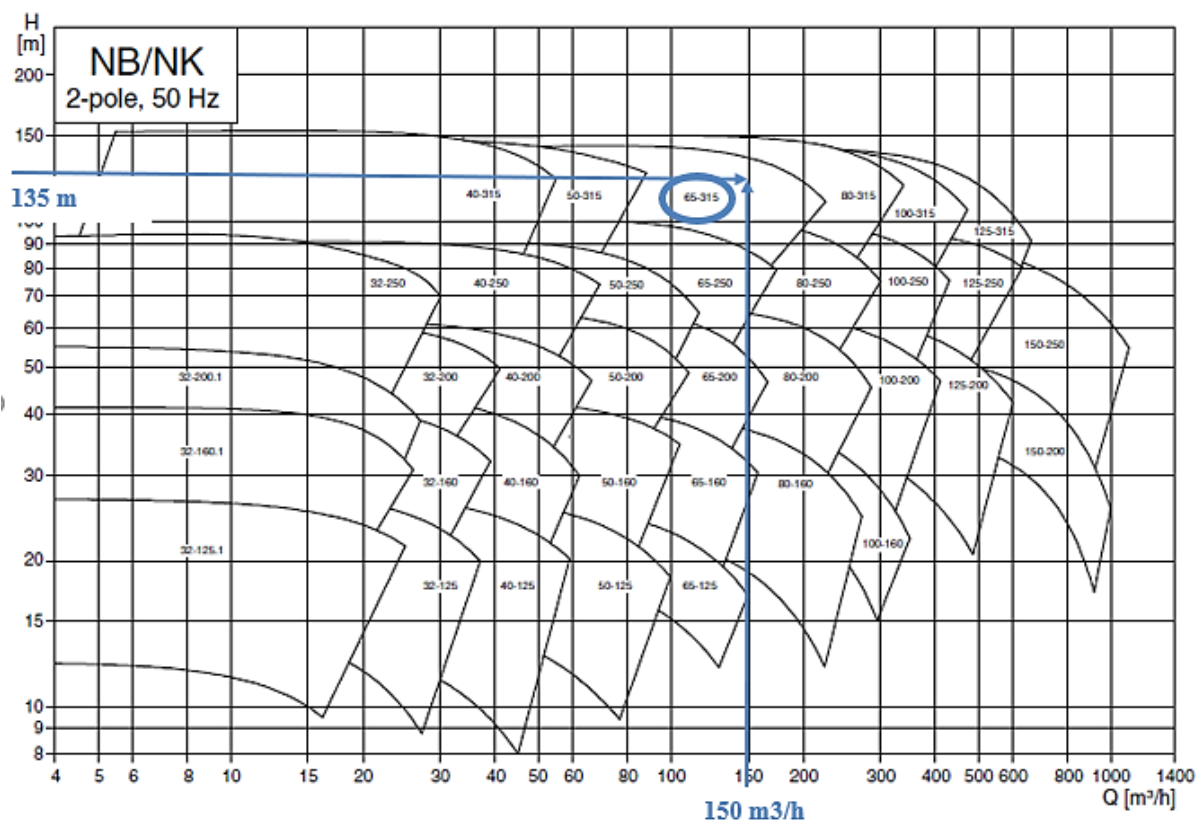


Figura A.2.3. Corba característica de la bomba P0148A/B i P0149A/B

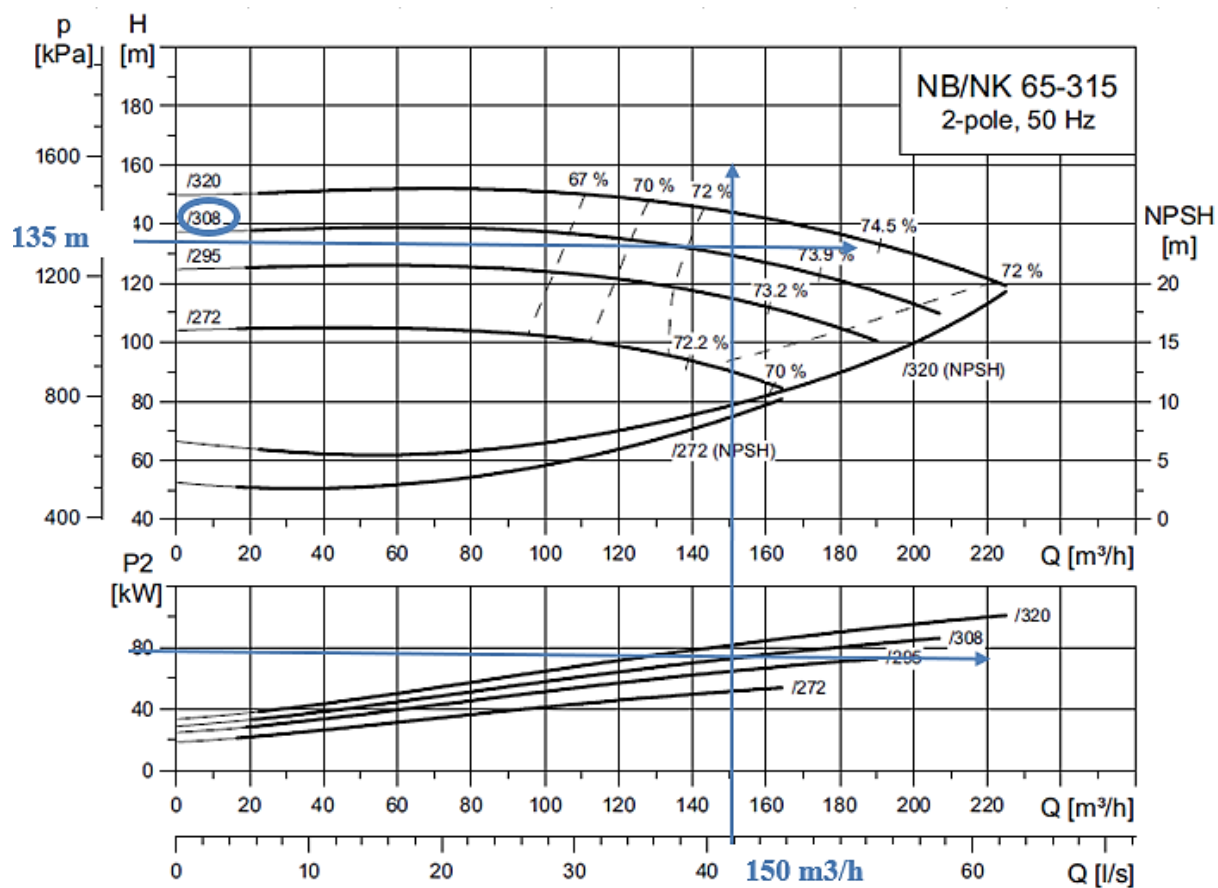


Figura A.2.4. Corba característica de la bomba P0148A/B i P0149A/B

A.2.3. Llistat de canonades

A taula següent es pot observar un llistat de les canonades que s'han seleccionat per al disseny de la instal·lació.

Taula A.2.17. Llistat de canonades

Canonada	Nº línia PFD	Fluid	Fase	DN (mm)	Cabal (m3/h)	Pressió (barg)	Temperatura disseny (°C)	Espessor (mm)	Aïllament tèrmic
ADW1-100-DN80-SS	1	Aigua desmineralitzada	L	125	65,2	6,90	Ambient	6,55	NO
ADW1-101-DN80-SS	2	Aigua desmineralitzada	L	80	30,0	6,90	Ambient	5,49	NO
ADW1-102-DN80-SS	3	Aigua desmineralitzada	L	80	22,3	6,90	Ambient	5,49	NO
ADW1-103-DN50-SS	4	Aigua desmineralitzada	L	50	12,9	6,90	Ambient	3,91	NO
CHW-100-DN80-SS-CI	5	Aigua freda	L	80	30,0	6,90	5,00	5,49	FRED
PW-100-DN80-SS-HI	6	Aigua calenta	L	80	22,3	6,84	90,0	5,49	CALENT
LS1-100-DN80-CS-HI	7	Vapor saturat	V	80	296	8,00	175	5,49	CALENT
CL1-100-DN80-CS-HI	8	Condensats	L	80	296	7,83	175	5,49	CALENT
CHW-101-DN80-SS-CI	9	Aigua freda	L	80	30,0	0,40	5,00	5,49	FRED
CHW-102-DN50-SS-CI	10	Aigua freda	L	50	7,00	16,0	5,00	3,91	FRED
CHW-103-DN40-SS-CI	11	Aigua freda	L	40	5,00	16,0	5,00	3,68	FRED
PW-101-DN200-SS-HI	12	Aigua calenta	L	200	150	0,40	90,0	8,18	CALENT
PW-102-DN200-SS-HI	13	Aigua calenta	L	200	150	16,0	90,0	8,18	CALENT
ADW1-104-DN200-SS	14	Aigua desmineralitzada	L	200	150	0,40	Ambient	8,18	NO
ADW1-105-DN200-SS	15	Aigua desmineralitzada	L	200	150	16,0	Ambient	8,18	NO
PW-103-DN200-SS	16	Aigua calenta	L	200	150	16,0	45,0	8,18	NO

A.3. SEGURETAT EN EL DISSENY DE LES INSTAL·LACIONS

A continuació, es mostra l'anàlisi Hazop realitzat per al tanc TK0155 i per al bescanviador de calor E0134.

Taula A.3.1. Anàlisi Hazop TK0155

Nus	Paraula Guia	Paràmetre de Procés	Causes	Conseqüències	Mesures correctores
TK0155	Més	Temperatura	Entrada aigua a més temperatura Foc Extern	No conseqüències de seguretat	Instal·lar un indicador de temperatura TT202 Configurar alarma d'alta temperatura TAH202
	Menys	Temperatura	Baixes temperatures ambientals i pèrdua de calor per les parets	No conseqüències de seguretat	Instal·lar un indicador de temperatura TT202 Configurar alarma de baixa temperatura TAL202 Calorifugar el tanc
	Més	Pressió	Obturació del venteig	Ruptura del TK0155	Instal·lar PSH202 i configurar alarma PAH202
	Menys	Pressió	Obturació del venteig	Plegament del TK0155 per vuit	Instal·lar PSL202 i configurar alarma PAL202
	Més	Nivell	Apertura no desitjada de la vàlvula d'entrada Menys cabal a la succió de la bomba P0146A/B/C o P0147A/B/C	Escalfament de la bomba i possibilitats d'existència de foc	Instal·lar sonda de nivell LSH202 i configurar alarma LAH202 Enclavament que tanqui la vàlvula d'entrada per alt nivell
	Menys	Nivell	Menys cabal d'entrada d'aigua Fuita al tanc	Descebament de la bomba	Instal·lar sonda de nivell LSL202, configurar alarma LAL202 Enclavament que pari la bomba quan s'activa aquest senyal

Taula A.3.2. Anàlisi Hazop E0134

Nus	Paraula Guia	Paràmetre de Procés	Causes	Conseqüències	Mesures correctores
E0134	Més	Temperatura	Major entrada de vapor saturat	Augment pressió al bescanviador	Instal·lar TT203 i configurar alarma d'alta temperatura TAH203
	Menys	Temperatura	Menor entrada de vapor saturat	No conseqüències de seguretat	Instal·lar TT203 i configurar alarma de baixa temperatura TAL203
	Més	Pressió	Bloqueig a la sortida del condensat	Danys al bescanviador	Instal·lar PSV201
	Menys	Pressió	Ruptura de les parets del bescanviador	Pèrdua de vapor	
			Esquerdes en els tubs interns	Fuita d'aigua i més caudal de condensat	
	Més	Cabal	D'aigua, veure menys Temperatura	No conseqüències de seguretat	Instal·lar PSV202
			Vapor Taponament de tubs	Augment de la pressió del bescanviador	Instal·lar PSV201
	Menys	Cabal	D'aigua, veure més Temperatura	Augment temperatura de l'aigua	
			Vapor Fuita de tubs o carcassa	Disminució en l'eficiència d'esclafament de l'aigua	

A.4. ESTUDI ECONÒMIC

A.4.1. Avaluació econòmica

Sabent quant costen els equips principals es calcula el cost total de la inversió. A la taula que es mostra a continuació es troben els resultats dels valors estimats en base al cost dels equips, en una precisió de $\pm 10\%$ i una inflació del 5% anual.

Taula A.4.1. Valors estimats del cost dels equips

Paràmetres	Baix	Probable	Alt
Cost dels equips principals ($\pm 10\%$)	572.973	636.637	700.301
Cost dels equips no llistats (5%)	28.649	31.832	35.015
Total equip base (TEB)	601.622	668.469	735.316

Seguidament amb els factors que es mostren a la taula A.4.2. s'estima el cost de diferents paràmetres de la inversió inicial de la instal·lació que també s'han de tenir en compte.

Taula A.4.2. Factors per estimar el cost de la instal·lació

Paràm.	Nivells	$<1,50 \cdot 10^5$	$>1,50 \cdot 10^5$ a $3,00 \cdot 10^5$	$>3,00 \cdot 10^5$ a $4,50 \cdot 10^5$	$>4,50 \cdot 10^5$ a $7,00 \cdot 10^5$	$>7,00 \cdot 10^5$ a $8,50 \cdot 10^5$
Equips	Alt	23/18	21/17	19/16	18,5/15	17,5/14
	Mitjà	18/12,5	17/11,5	16/10,8	15/10,5	14/9,2
	Baix	12,5/7,5	11,5/6,7	10,8/6	10/5,5	9,2/5,2
Estructures	Alt	16/12	18/13	17/12,2	15/10,2	14/9,3
	Mitjà	16/9,2	14/8,5	12/5,7	11/6,5	9,5/5
	Baix	5/0,3	4/0,2	3/0,2	2,5/0,1	2/0,1
Aïllament	Alt	105/65	90/58	80/45	70/40	58/34
	Mitjà	65/33	58/27	48/22	40/16	34/12
	Baix	33/13	27/10,5	22/8,5	16/6,5	12/5,5
Canonades	Alt	35/26	30/21	26/16	23/15	20/12,5
	Mitjà	28/21	24/18	14/15	18/12,2	14/9,3
	Baix	24/15	20/13	18/10,3	14/8,2	12/5,4
Electricitat	Alt	56/45	55/42	50/38	45/33	40/30
	Mitjà	26/17	22/15	19/12,5	17/10,3	14/8,5
	Baix	18/10,5	16/9,3	13/7,5	11/6,2	9/5,4
Instrument.	Alt	60/32	58/31	46/24	37/18	29/13
	Mitjà	35/15	32/13	26/10,5	20/7,5	15/5,5
	Baix	24/13	21/9,3	17/7,5	13/5,5	10/3,5
Procés	Complex	6/3	6/3	6/3	6/3	6/3
	Simple	2/0,5	2/0,5	2/0,5	2/0,5	2/0,5
Edificis	Interiors	70/40	60/30	50/28	45/25	38/19
	Exteriors	36/15	32/13	28/11,2	24/8,5	20/5,5

Un cop s'han determinat els factors en cadascun dels paràmetres, es realitza la mitjana i es sumen. A la taula següent es mostren els resultats.

Taula A.4.3. Mitjana dels factors

Paràmetre	Valor baix	Valor mitjà	Valor Alt
Equips	10,0	12,5	15,0
Estructures	6,50	8,80	11,0
Aïllament	6,50	11,3	16,0
Canonades	8,20	11,1	14,0
Electricitat	6,20	8,60	11,0
Instrumentació	7,50	13,8	20,0
Procés	0,50	1,30	2,00
Edificis	8,50	16,3	24,0
Total factors (TF)	53,9	83,5	113

Finalment amb els factors de la taula anterior es recalculen els valors.

Taula A.4.4. Resultats dels valors recalculats del cost dels equips principals

Paràmetres	Baix	Probable	Alt
Total equip base (TEB)	601.622	668.469	735.316
Total factors (TF)	53,9	83,5	113
Cost equip base final (CF) = $TEB \cdot TF / 100$	340.488	557.837	789.361
Cost directe de la planta (CD) = TEB + CF	942.110	1.226.306	1.524.677
Cost indirecte (CI) = + 29 % del CD	273.212	355.629	442.156
Subtotal = CD + CI	1.215.322	1.581.935	1.966.833
Imprevistos = + 14 % del CD	131.895	171.683	213.455
Cost total instal·lació (CTI) = Subt. + Impre.	1.347.217	1.753.617	2.180.288

El total de la inversió inicial de la instal·lació de càrrega d'aigua estimada és de 1.753.617,36€.

A.4.2. Avaluació global de la inversió

Els costos fixos i variables de la instal·lació s'han determinat en base a un augment en de la producció anual de 6.000 tones, un increment de 6 minuts en el temps de càrrega dels reactors i un increment del 1 % en el factor de servei dels equips.

Taula A.4.5. Costos fixos

Paràmetre	Cost total (€)	CTI/any (%)	Cost total/any (€)
Personal	0	1	No increment del personal
Manteniment	1.753.617	2	35.072
Total	-	-	35.072

Pel que fa als costos fixos de la instal·lació només provenen del manteniment, ja que no s'amplia el número d'operaris en la planta ni tampoc es construiran nous edificis. El cost de personal es considera un 1 % de la inversió inicial i el de manteniment un 2 %.

Taula A.4.6. Costos variables

	Unitat	Consum/Prod.	Unitats/any	€/unitat	€/any
Clorur Vinil	Ton.	1,005	6.000	700	4.200.000
Agent de suspensió	Ton.	0,001	6,00	1500	9.000
Aigua	Ton.	1,50	9.000	1,50	13.500
Iniciador	Ton.	0,003	18,0	3500	64.470
Vapor alta	Ton.	0,20	1.200	27,3	32.760
Vapor baixa	Ton.	0,42	2.520	16,3	41.076
Aigua refrigeració	m ³	1,30	7.800	0,035	273
Aigua desmineralitzada	m ³	3,25	19.500	1,35	26.325
Aigua tractada	m ³	0,40	2.400	0,56	1.344
Aigua contraïncendis	m ³	95,0	570.000	0,56	319.200
Energia elèctrica	Kw-h	230	1.380.000	0,08	110.400
Gas natural	Gcal.	65,0	390.000	0,03	12.371
Aire instruments	m ³ N	25,0	150.000	0,02	2.250
Nitrogen	m ³ N	5,00	30.000	0,15	4.350
Total					4.837.319

Taula A.4.7. Taula d'ingressos variables

	Unitat	Producció/any	€ venda/unitat	€/any
PVC	Ton.	6.000	900	5.400.000
Total				5.400.000

L'increment en la producció final de policlorur de vinil anual és d'unes 6.000 tones, el que generaria uns ingressos extra de 5.400.000 €/any tenint com a referència els 900€/unitat de PVC al mercat.

A.4.3. Cash flow de la instal·lació

Taula A.4.8. *Cash flow* de la instal·lació

Anys	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
% Capacitat producció		1	1	1	1	1	1	1	1
Ingressos/any		5.400.000	5.400.000	5.400.000	5.400.000	5.400.000	5.400.000	5.400.000	5.400.000
Costes variables		4.837.319	4.837.319	4.837.319	4.837.319	4.837.319	4.837.319	4.837.319	4.837.319
Costes fixos		35.383	35.383	35.383	35.383	35.383	35.383	35.383	35.383
Amortització		75.189	75.189	75.189	75.189	75.189	75.189	75.189	75.189
Beneficio brut		452.109	452.109	452.109	452.109	452.109	452.109	452.109	452.109
Impostos		158.238	158.238	158.238	158.238	158.238	158.238	158.238	158.238
Cash d'operacions	0	369.060	369.060	369.060	369.060	369.060	369.060	369.060	369.060
Capital directe	1.769.151								
Cash Flow	-1.769.15	369.060	369.060	369.060	369.060	369.060	369.060	369.060	369.060
Cash Flow acumulat	-1.769.15	-1.400.09	-1.031.03	-661.972	-292.912	76.148	445.207	814.267	1.183.327

A.5. FITXES D'ESPECIFICACIONS DELS EQUIPS

A continuació, es presenten les fitxes d'especificacions dels tancs d'emmagatzematge, de les bombes de transferència i del bescanviador de calor.

VERTICAL TANK DATA SHEET

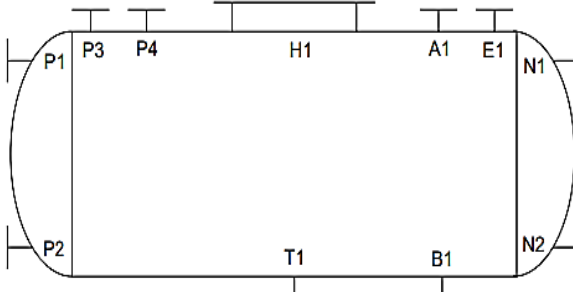
1	GENERAL	Item:	TANC																
2		Name:	TK0153																
3		Service:	Emagatzematge																
4		Capacity:	105 m3																
5	OPERAT. COND.	Operating Pressure											1	atm					
6		Operating Temperature											5	°C					
7		Liquid Density											997	kg/m ³					
8		Inlet flow											30	m3/h					
9		Outlet flow											30	m3/h					
10	DESIGN DATA	Design Pressure (eff.)											0,153	MPa					
11		Work Pressure											0,101	MPa					
12		Design Temperature											25	°C					
13		Corr. Allow.											3	mm					
		L											6,42	mm					
		D											4,28	mm					
		r											2,14	mm					
14		L/D											1,5						
15		Tipus de caps:											Torisfèrics						
16		Code:	ASME																
17		Radiograph:	Parcials										0,85						
18		Stress Relieve:		Yes	Parts:											x	No		
19		Insulation:		x	Yes	Thickness (mm.):												No	
20		Fireproofing:					Yes											x	No
21	Sandblast:					Yes	Grade:											x	No
22	Paint:					Yes	Parts:											x	No
23	Wt. Empty:											80,34	kN						
24	Wt. Full of product:											1107	kN						
25	Wt. Full of water:											1107	kN						
26	Hydrostatic Test (eff.)												kg/cm2 g						
27	MATERIALS			Thickness (mm)	Mat'l Class														
28		Guix caps sense corrosió		4,2															
29		Guix caps amb corrosió		7,2															
30		Guix cos sense corrosió		2,8															
31		Guix cos amb corrosió		5,8															
32																			
33																			
34		Material: acer inoxidable SA-240 Grade 304																	
35																			
36																			
37																			
38																			
39																			
40	NOZZLES	Service	Mark		Dia.	Rating													
41		Entrada aigua	A1	3"		#150													
42		Sortida aigua	B1	3"		#150													
44		Venteig	E1	3"		#150													
45		Interruptor temp.	T1	1"		#150													
46		Interruptor pressió	P1	1"		#150													
47		Interruptor pressió	P2	1"		#150													
48		Interruptor pressió	P3	1"		#150													
49		Interruptor pressió	P4	1"		#150													
50		Interruptor nivell	N2	1"		#150													
51	Interruptor nivell	N2	1"		#150														
52																			
54																			
55																			
56																			
57																			
58																			
59																			
60																			
61																			
62	0																		
63	REV.			DATE	PREP.		APPR.												
64																			

NOTES:

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

VERTICAL TANK DATA SHEET

1	GENERAL	Item:	TANC																
2		Name:	TK0154																
3		Service:	Emagatzematge																
4		Capacity:	135 m3																
5	OPERAT. COND.	Operating Pressure											1	atm					
6		Operating Temperature											25	°C					
7		Liquid Density											997	kg/m ³					
8		Inlet flow											13	m3/h					
9		Outlet flow											150	m3/h					
10	DESIGN DATA	Design Pressure (eff.)											0,156	MPa					
11		Work Pressure											0,101	MPa					
12		Design Temperature											45	°C					
13		Corr. Allow.											3	mm					
		L											6,93	mm					
		D											4,65	mm					
		r											2,33	mm					
14		L/D											1,5						
15		Tipus de caps:											Torisfèrics						
16		Code:	ASME																
17		Radiograph:	Parcials										0,85						
18		Stress Relieve:		Yes	Parts:											x	No		
19		Insulation:		x	Yes	Thickness (mm.):												No	
20		Fireproofing:					Yes											x	No
21		Sandblast:					Yes	Grade:											x
22	Paint:					Yes	Parts:											x	No
23	Wt. Empty:											89,23	kN						
24	Wt. Full of product:											1410	kN						
25	Wt. Full of water:											1410	kN						
26	Hydrostatic Test (eff.)												kg/cm2 g						
27	MATERIALS			Thickness (mm)	Mat'l Class														
28		Guix caps sense corrosió		4,7															
29		Guix caps amb corrosió		7,7															
30		Guix cos sense corrosió		3,1															
31		Guix cos amb corrosió		6,1															
32																			
33																			
34		Material: acer inoxidable SA-240 Grade 304																	
35																			
36																			
37																			
38																			
39																			
40	NOZZLES	Service	Mark		Dia.	Rating													
41		Entrada aigua	A1	3"		#150													
42		Sortida aigua	B1	3"		#150													
44		Venteig	E1	3"		#150													
45		Interruptor temp.	T1	1"		#150													
46		Interruptor pressió	P1	1"		#150													
47		Interruptor pressió	P2	1"		#150													
48		Interruptor pressió	P3	1"		#150													
49		Interruptor pressió	P4	1"		#150													
50		Interruptor nivell	N2	1"		#150													
51	Interruptor nivell	N2	1"		#150														
52																			
54																			
55																			
56																			
57																			
58																			
59																			
60																			
61																			
62	0																		
63	REV.			DATE	PREP.		APPR.												
64																			



NOTES:



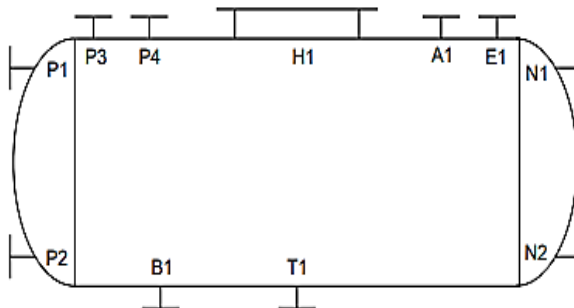
UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química

Departament d'Enginyeria Química

VERTICAL TANK DATA SHEET

1	GENERAL	Item: TANC											
2		Name: TK0155											
3		Service: Emagatzematge											
4		Capacity: 225 m3											
5	OPERAT. COND.	Operating Pressure										1	atm
6		Operating Temperature										90	°C
7		Liquid Density										997	kg/m ³
8		Inlet flow										22,35	m3/h
9		Outlet flow										150	m3/h
10	DESIGN DATA	Design Pressure (eff.)										0,165	MPa
11		Work Pressure										0,101	MPa
12		Design Temperature										110	°C
13		Corr. Allow.										3	mm
		L										2,76	mm
		D										5,52	mm
		r										8,28	mm
14		L/D										1,5	
15		Tipus de caps:										Torisfèrics	
16		Code: ASME											
17		Radiograph: Parcial										0,85	
18		Stress Relieve: Yes										Parts:	x No
19		Insulation: x Yes										Thickness (mm.):	No
20		Fireproofing: Yes											x No
21	Sandblast: Yes										Grade:	x No	
22	Paint: Yes										Parts:	x No	
23	Wt. Empty:										116,00	kN	
24	Wt. Full of product:										2317	kN	
25	Wt. Full of water:										2317	kN	
26	Hidrostatic Test (eff.)											kg/cm2 g	
27	MATERIALS	Thickness (mm)										Mat'l Class	
28		Guix caps sense corrosió										5,8	
29		Guix caps amb corrosió										8,8	
30		Guix cos sense corrosió										3,8	
31		Guix cos amb corrosió										6,8	
32													
33													
34		Material: acer inoxidable SA-240 Grade 304											
35													
36													
37													
38													
39													
40	NOZZLES	Service		Mark		Dia.		Rating					
41		Entrada aigua		A1		3"		#150					
42		Sortida aigua		B1		3"		#150					
44		Venteig		E1		3"		#150					
45		Interrupor temp.		T1		1"		#150					
46		Interrupor pressió		P1		1"		#150					
47		Interrupor pressió		P2		1"		#150					
48		Interrupor pressió		P3		1"		#150					
49		Interrupor pressió		P4		1"		#150					
50		Interrupor nivell		N2		1"		#150					
51	Interrupor nivell		N2		1"		#150						
52													
53													
54													
55													
56													
57													
58													
59													
60													
61													
62	0												
63	REV.										DATE	PREP.	APPR.
64													



NOTES:



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

HEAT EXCHANGER DATA SHEET

1	ITEM :	E0134				
2	Service:	Bescanviador de calor				
3	Type:	BEM	Position:	Horitzontal	Total surface / unit:	135,8 (m ²)
4						
5	PERFORMANCE OF UNIT					
6			Shell side		Tube side	
7			Inlet	Outlet	Inlet	Outlet
8	Fluid name		Vapor		Aigua	
9	Fluid total flow		kg/h			
10	Vapour		kg/h		1378	
11	Liquid		kg/h			
12	Steam		kg/h			
13	Water		kg/h		1378	
14	Temperature		°C		174,5	
15	Density (L/V)		kg/m ³		997	
16	Viscosity (L/V)		cP		1,002	
17	Vapour molecular weight					
18	Specific heat (L/V)		kcal/kg.°C			
19	Thermal conductivity (L/V)		kcal/h.m.°C			
20	Latent heat		kcal/kg		485,15	
21	Inlet pressure		bar		8	
22	Velocity (allowable / calculated)		m/s			
23	Pressure drop (allowable / calculated)		bar		0,11	
24	Fouling resistance		m ² -k/W		0,0002	
25	Heat exchanged:		(kW)		775	
26	Heat transfer rate (kcal/h.m ² .°C)		Fouled:		Clean:	
27	CONSTRUCTION PER SHELL					
28	Codes:		Shell side	Tube side		
29	Design pressure	kg/cm ²	8	8		
30	Design temperature	°C	100	100		
31	No. of passes		1	1		
32	Stress relief					
33	Radiograph		parcial	parcial		
34	Corrosion allowance	mm	3	3		
35	Nozzles	Service	Mark	Rating		
36		Entrada Aigua	A1	3"	#150	
37		Entrada Vapor	A2	3"	#150	
38		Sortida aigua	B1	3"	#150	
39		Sortida cond.	V1	2"	#150	
40						
41						
42						
43						
44						
45	MATERIALS					
46		Dia.	Thick. (mm.)	Spec. Mat		
47	Shell:					
48	Channel:					
49	Tubesheets:					
50	Baffles: n° / mat.					
51	Baffles spacing:	mm				
52						
53	Tubes:					
54	N°	259				
55	OD	20	mm			
56	BWG					
57	Length	3,66	mm			
58	Pitch:	23,8	mm			
59						
60						
61						
62						
63						
64	NOTES:					
65						
66						
67						
68						
69						
70						
REV.		DATE	PREP.	APPR.		

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

CENTRIFUGAL PUMP DATA SHEET

1	GENERAL	Manufacturer : ROVIRA I VIRGILI			
2		Item: BOMBA CENTRÍFUGA Model: NB 2-pols 40-315			
3		Name: P0146A/B/C No. of pumps required: 1 Code: Motor de gama alta			
5	OPERATING CONDITIONS	Liquid pumped:		Aigua	
6		Pumping Temp.(P.T) :		5 °C	
7		Density at P.T. :		997 kg/m3	
8		Vapor Press. at temp pumped:		0,0087 bara	
9		Viscosity at P.T. :		1 cP	
10		Capacity			
11		Normal		7 m³/h	
12		Max.		10 m³/h	
13		Suction Pressure (eff.) :		0,4 bar	
14		Discharge Pressure (eff.)		16 bar	
15		Differential Pressure		13,1 bar	
16		Differential Head		133,7 m	
17		N.P.S.H.Avail.		3 m	
18	DESIGN DATA	Design Temperature		5 °C	
19		PN		16 bar	
20		N.P.S.H.		3 m	
21		Consumed power		17 kWh	
22		Power at Shaft		37 kW	
23		Efficiency		50 %	
24		Min.Cont.flow		7 m³/h	
25	CONSTRUCTION DETAILS	Arrangement	X	Horiz.	Vert
26		Impeller		318	
27		Number of Stages			
28		Cooling consumption:		m³/s	
29		Bearings			
30		Type			
31		Lubrication		Oli	
32		Coupl.			
33		Type			
34		Lubr.:		Oli	
35		mm	Nº	Dia.	Rating
36	DNs	65			
37	DNd	40			
38	a	125			
39	h2	250			
40	SHAFT SEALING	Mechanical Seal			
41		Manufr.			
42		Type Nº			
43		Classification code acc. API:			
44		Stuffing box packing			
45		Stuffing box pressure (eff.)		kg/cm²g	
46	Lip Seal				
47	MATERIALS	Acer inoxidable			
48		Shaft			
49		Impeller			
50		Shaft sleeves			
51	Casing / Impeller Wear Rings				
52	DRIVER	Motor: 3000 rpm			
53		Installed Power		37	kW
54		Freq.		50	Hz
55		Rodet		318	
56	Connection				
57	TESTS	Hidrostatic test		2,55	bar
58		NPSH test		11,06	m
59	MISC.	Weight of Pump		328	kg
60		Driver weight			kg
61	REMARKS				
62					
63					
64					
65					
66					
0					
REV.	DATE	PREP.	APPR.		

NOTES:

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química

CENTRIFUGAL PUMP DATA SHEET

1	GENERAL	Manufacturer : ROVIRA I VIRGILI			
2		Item: BOMBA CENTRÍFUGA Model: NB 2-pols 40-315			
3		Name: P0147A/B/C No. of pumps required: 1 Code: Motor de gama alta			
5	OPERATING CONDITIONS	Liquid pumped:		Aigua	
6		Pumping Temp.(P.T) :		5 °C	
7		Density at P.T. :		997 kg/m3	
8		Vapor Press. at temp pumped:		0,0087 bara	
9		Viscosity at P.T. :		1 cP	
10		Capacity			
11		Normal	5	m ³ /h	
12	Max.	8	m ³ /h		
13		Suction Pressure (eff.) :		0,4 bar	
14		Discharge Pressure (eff.)		16 bar	
15		Differential Pressure		11,44 bar	
16		Differential Head		116,8 m	
17		N.P.S.H.Avail.		2 m	
18	DESIGN DATA	Design Temperature		5 °C	
19		PN		16 bar	
20		N.P.S.H.		2 m	
21		Consumed power		15 kWh	
22		Power at Shaft		30 kW	
23		Efficiency		50 %	
24		Min.Cont.flow		5 m ³ /h	
25	CONSTRUCTION DETAILS	Arrangement	X	Horiz.	Vert
26		Impeller diameter		298	
27		Number of Stages			
28		Cooling consumption:		m ³ /s	
29		Bearings			
30		Type			
31		Lubrication		Oli	
32		Coupl.			
33		Type			
34		Lubr.:		Oli	
35		mm	Nº	Dia.	Rating
36	DNs	65			
37	DNd	40			
38	a	125			
39	h2	250			
40	SHAFT SEALING	Mechanical Seal			
41		Manufr.			
42		Type Nº			
43		Classification code acc. API:			
44		Stuffing box packing			
45		Stuffing box pressure (eff.)		kg/cm ² g	
46		Lip Seal			
47	MATERIALS	Casing and Covers			
48		Shaft			
49		Impeller			
50		Shaft sleeves			
51		Casing / Impeller Wear Rings			
52	DRIVER	Motor: 3000 rpm			
53		Installed Power		30	kW
54		Freq.		50	Hz
55		Rodet		298	
56		Connection			
57	TESTS	Hidrostatic test		1,59	bar
58		NPSH test		10,06	m
59	MISC.	Weight of Pump		328	kg
60		Driver weight			kg
61	REMARKS				
62					
63					
64					
65					
66					
0	REV.	DATE	PREP.	APPR.	

NOTES:

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química

CENTRIFUGAL PUMP DATA SHEET

1	GENERAL	Manufacturer : ROVIRA I VIRGILI			
2		Item: BOMBA CENTRÍFUGA Model: NB 2-pols 65-315			
3		Name: P0148A/B No. of pumps required: 1 Code: Motor de gama alta			
5	OPERATING CONDITIONS	Liquid pumped:		Aigua	
6		Pumping Temp.(P.T) :		25 °C	
7		Density at P.T. :		997 kg/m3	
8		Vapor Press. at temp pumped:		0,0316 bara	
9		Viscosity at P.T. :		1 cP	
10		Capacity			
11		Normal	150	m³/h	
12	Max.	155	m³/h		
13		Suction Pressure (eff.) :		0,4 bar	
14		Discharge Pressure (eff.)		16 bar	
15		Differential Pressure		13,24 bar	
16		Differential Head		135,1 m	
17		N.P.S.H.Avail.		m	
18	DESIGN DATA	Design Temperature		25 °C	
19		PN		16 bar	
20		N.P.S.H.		10 m	
21		Consumed power		78 kW	
22		Power at Shaft		90 kW	
23		Efficiency		50 %	
24		Min.Cont.flow		150 m³/h	
25	CONSTRUCTION DETAILS	Arrangement	X	Horiz.	Vert
26		Impeller		308	
27		Number of Stages			
28		Cooling consumption:		m³/s	
29		Bearings			
30		Type			
31		Lubrication		Oli	
32		Coupl.			
33		Type			
34		Lubr.:		Oli	
35		mm	Nº	Dia.	Rating
36	DNs	80			
37	DNd	65			
38	a	125			
39	h2	457			
40	SHAFT SEALING	Mechanical Seal			
41		Manufr.			
42		Type Nº			
43		Classification code acc. API:			
44		Stuffing box packing			
45		Stuffing box pressure (eff.)		kg/cm² g	
46	Lip Seal				
47	MATERIALS	Casing and Covers			
48		Shaft			
49		Impeller			
50		Shaft sleeves			
51	Casing / Impeller Wear Rings				
52	DRIVER	Motor: 3000 rpm			
53		Installed Power		90	kW
54		Freq.		50	Hz
55		Rodet		308	
56	Connection				
57	TESTS	Hidrostatic test		55,16	bar
58		NPSH test		10,5	m
59	MISC.	Weight of Pump		428	kg
60		Driver weight			kg
61	REMARKS				
62					
63					
64					
65					
66					
0					
REV.	DATE	PREP.	APPR.		

NOTES:

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química

CENTRIFUGAL PUMP DATA SHEET

1	GENERAL	Manufacturer : ROVIRA I VIRGILI			
2		Item: BOMBA CENTRÍFUGA Model: NB 2-pols 65-315			
3		Name: P0149A/B No. of pumps required: 1 Code: Motor de gama alta			
5	OPERATING CONDITIONS	Liquid pumped:		Aigua	
6		Pumping Temp.(P.T) :		90 °C	
7		Density at P.T. :		997 kg/m3	
8		Vapor Press. at temp pumped:		0,7004 bara	
9		Viscosity at P.T. :		1 cP	
10		Capacity			
11		Normal	150	m³/h	
12	Max.	155	m³/h		
13		Suction Pressure (eff.) :		0,4 bar	
14		Discharge Pressure (eff.)		16 bar	
15		Differential Pressure		13,24 bar	
16		Differential Head		135,1 m	
17		N.P.S.H.Avail.		m	
18	DESIGN DATA	Design Temperature		90 °C	
19		PN		16 bar	
20		N.P.S.H.		10 m	
21		Consumed power		78 kW	
22		Power at Shaft		90 kW	
23		Efficiency		50 %	
24		Min.Cont.flow		150 m³/h	
25	CONSTRUCTION DETAILS	Arrangement	X	Horiz.	Vert
26		Impeller diameter		308	
27		Number of Stages			
28		Cooling consumption:		m³/s	
29		Bearings			
30		Type			
31		Lubrication		Oli	
32		Coupl.			
33		Type			
34		Lubr.:		Oli	
35		mm	Nº	Dia.	Rating
36	DNs	80			
37	DNd	65			
38	a	125			
39	h2	457			
40	SHAFT SEALING	Mechanical Seal			
41		Manufr.			
42		Type Nº			
43		Classification code acc. API:			
44		Stuffing box packing			
45		Stuffing box pressure (eff.)		kg/cm²g	
46		Lip Seal			
47	MATERIALS	Casing and Covers			
48		Shaft			
49		Impeller			
50		Shaft sleeves			
51		Casing / Impeller Wear Rings			
52	DRIVER	Motor: 3000 rpm			
53		Installed Power		90	kW
54		Freq.		50	Hz
55		Rodet		308	
56		Connection			
57	TESTS	Hidrostatic test		55,16	bar
58		NPSH test		10,2	m
59	MISC.	Weight of Pump		428	kg
60		Driver weight			kg
61	REMARKS				
62					
63					
64					
65					
66					
0					
REV.	DATE	PREP.	APPR.		

NOTES:

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química