

Gerard García Sánchez

**ADAPTACIÓ DE DOS TANCS PER AL
EMMAGATZEMAMENT D'UN ACRILAT**

Treball Fi de Màster

dirigit pel Dr. Josep Anton Ferré Vidal

Màster en Enginyeria Industrial



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

Tarragona

2021

Vull agrair als meus companys del treball que m'han ajudat en tot moment i als meus familiars i amics per la paciència i el suport. Agrair també a Josep Anton Ferré Vidal per la seva disponibilitat i ajuda. I per últim agrair a Albert Assens Escoda per la seva inestimable ajuda dia a dia i els seus coneixements. Sense aquests no es podria haver realitzat aquest projecte. Moltes gràcies a tots.

Índex

| | | |
|---|--|----|
| 1 | Introducció..... | 1 |
| 2 | Etapa preliminar | 1 |
| | 2.1 Descripció del projecte..... | 1 |
| | 2.2 Abast del projecte | 2 |
| | 2.3 Descripció del procés..... | 2 |
| 3 | Bases de disseny | 3 |
| | 3.1 Fulla de seguretat del acrilat 2-Etil-Hexil..... | 3 |
| | 3.2 Especificacions d'aire pobre..... | 3 |
| | 3.3 Procediment intern d'emmagatzematge d'acrilats..... | 3 |
| | 3.4 Anàlisi de requisits legals a externs de BASF..... | 4 |
| | 3.5 Codis i estàndards de disseny..... | 4 |
| | 3.6 Diagrama de GANTT..... | 4 |
| | 3.7 Localització..... | 6 |
| | 3.8 Dades meteorològiques | 7 |
| 4 | Enginyeria bàsica..... | 7 |
| | 4.1 Diagrames de procés..... | 7 |
| | 4.2 HAZOP B-6020..... | 13 |
| | 4.3 HAZOP B-6120..... | 30 |
| | 4.4 Disseny dels bescanviadors de calor..... | 48 |
| | 4.4.1 Càlcul del calor a extreure per el sistema..... | 48 |
| | 4.4.2 Paràmetres geomètrics..... | 49 |
| | 4.4.3 Càlcul de la transferència de calor | 50 |
| | 4.4.4 Càlcul de la pèrdua de càrrega..... | 53 |
| | 4.4.5 Resultats finals del bescanviador | 55 |
| | 4.5 Disseny de les bombes | 56 |
| | 4.5.1 Disseny de les bombes P-6130 i P-6030..... | 58 |
| | 4.5.2 Disseny de la bomba P-6333..... | 59 |
| | 4.6 Plànol de situació de les línies de refrigeració..... | 60 |
| | 4.7 Programació | 64 |
| | 4.7.1 Seqüència de encesa de la refrigeració del B-6020..... | 64 |
| | 4.7.2 Seqüència de parada de la refrigeració del B-6020..... | 64 |
| | 4.7.3 Enclavaments del tanc B-6020 | 64 |
| | 4.7.4 Seqüència de encesa de la refrigeració del B-6120..... | 65 |
| | 4.7.5 Seqüència de parada de la refrigeració del B-6120..... | 66 |
| | 4.7.6 Enclavaments del tanc B-6120 | 66 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4.8 | Disseny del dipòsit a pressió B-4401 | 67 |
| 4.8.1 | Inspecció i proves oficials | 67 |
| 4.8.2 | Disseny del dipòsit | 69 |
| 5 | Manteniment | 72 |
| 6 | Conclusions | 72 |
| 7 | Bibliografia | 73 |
| A. | Càlcul dels equips | 76 |
| A.1 | Càlcul del bescanviador de calor | 76 |
| A.1.1 | Càlcul del calor a extreure per el sistema W-6130 | 76 |
| A.1.2 | Càlcul del calor a extreure per el sistema W-6030 | 77 |
| A.1.3 | Càlcul del bescanviador W-6130 | 78 |
| A.1.4 | Càlcul del bescanviador W-6030 | 81 |
| A.1.5 | Càlcul de la pèrdua de càrrega del bescanviador W-6130 | 83 |
| A.1.6 | Càlcul de la pèrdua de càrrega del bescanviador W-6030 | 84 |
| A.1.7 | Comprovació del millor angle de corrugació de la placa | 85 |
| A.1.8 | Pas simple o 2 passos | 86 |
| A.2 | Càlcul de les bombes | 87 |
| A.2.1 | Disseny de la bomba P-6130 | 87 |
| A.2.2 | Disseny de la bomba P-6030 | 89 |
| A.2.3 | Disseny de la bomba P-6333 | 91 |
| A.3 | Càlcul de l'equip a pressió | 93 |

Resum

En el present projecte s'ha desenvolupat un sistema de refrigeració per a dos tancs del parc de tancs del port de BASF al port de Tarragona. La raó es que es volen utilitzar aquests tancs per a emmagatzemar Acrilat 2-Etil-Hexil, un monòmer molt utilitzat a l'indústria química.

El problema recau en que aquest compost ha d'estar preferiblement a una temperatura menor de 30 °C ja que sinó pot començar la reacció de polimerització exotèrmica i provocar una explosió.

Per a realitzar aquest circuit de refrigeració, s'ha fet el disseny dels dos bescanviadors de calor de plaques, un per a cada tanc, la bomba d'aigua de refrigeració i les dues bombes d'acrilat que impulsen el producte per el sistema, el refrigera i torna al tanc mesclant-se perfectament gràcies a un GIN, un aparell que aprofita l'efecte venturi amb la fase gas del tanc.

Aquesta fase gas del tanc es inertitzada amb aire pobre, un gas de nitrogen amb un 5-8% d'oxigen. La raó d'això es que el producte es emmagatzemat amb metil hidroquinona, un inhibidor de la reacció que necessita oxigen per a treballar en optimes condicions. Aquest aire pobre es generat amb un equip especialitzat i després emmagatzemat en un dipòsit a pressió el qual se n'ha fet el disseny indicant els espessors necessaris per a aguantar la pressió de disseny.

També s'han realitzat els diagrames de planta on surten els sistemes de refrigeració de cada tanc amb la instrumentació necessària per al correcte control, tot això creat gràcies als HAZOP dels dos tancs. Un petit plànol de situació fet a partir del programa Google Earth ajuda a visualitzar tots els elements del circuit de refrigeració.

Per últim, s'ha fet la programació dels dos sistemes de refrigeració amb els seus enclavaments així com el manteniment que han de seguir tant els equips com la instrumentació implementada en el projecte.

1 Introducció

| Títol del projecte | Adaptació de dos tancs per al emmagatzemament d'un acrilat |
|--------------------|--|
| Tutor Professional | Escoda Assens, Albert |
| Tutor Universitat | Ferré Vidal, Josep Anton |
| Coordenador | Guasch Pesquer, Lluís |
| Autor | García Sánchez, Gerard |

La família dels acrilats son aquelles sals i èsters que deriven del àcid acrílic. Aquests tenen un enllaç vinil (un doble enllaç en els seus carbonis) que els fa molt útils per a formar polímers plàstics i acrílics ja que aquest enllaç es molt reactiu i dona una gran versatilitat de productes finals com els metacrilats, les pintures acríliques etc.

El que s'estudia en aquest projecte es l'acrilat 2-etilhexil que actualment s'emmagatzema a un tanc al parc de tancs interior de BASF Española S.L. Degut a la demanda d'aquest en els últims anys, s'ha estudiat l'opció d'utilitzar dos tancs actualment buits al parc de tancs que te BASF al port per a emmagatzemar l'acrilat ja que es un punt estratègic degut a que es pot rebre per vaixells o amb camions i es pot enviar per canonada a les plantes de BASF que ho necessiten mitjançant el rack dixquímics. Aquesta millora augmentaria un factor de 8 l'emmagatzemament de l'acrilat fent-lo més versàtil a l'hora de transports i es la base per a poder augmentar la producció en un futur proper.

Però igual que hi ha molts avantatges, també n'hi ha d'inconvenients i el més notable es que es una substància que polimeritza a temperatures relativament baixes (60°C) i que necessita d'inhibidors i condicions especials per a ser emmagatzemat sinó pot reaccionar violentament i produir reaccions molt exotèrmiques i possibles explosions per *runaway*. Per aquesta raó es obligatori disposar d'un efectiu sistema de refrigeració del tanc per a mantenir la temperatura per sota d'uns valors segurs sense que es consumeixi molt l'inhibidor i seguint la normativa interna de BASF per a l'emmagatzematge d'acrilats.

2 Etapa preliminar

2.1 Descripció del projecte

Per a poder refrigerar tot el contingut dels tancs es necessari de dos bescanviadors de calor independents amb els seus circuits de refrigeració amb aigua de mar. Aquesta aigua ve del procés d'escalfament del propà criogènic que també s'emmagatzema al parc de tancs del port. El propà a -42°C es escalfat amb aigua de mar i aquesta després es mescla amb mes aigua de mar per a temperar-la i es torna al mediterrani.

El que es vol es aprofitar aquesta aigua freda que fàcilment arriba als 8-9°C per a refrigerar l'acrilat per dos motius, el primer es per que així aquesta aigua de mar surt mes calenta i no fa falta mesclar-la tant i la segona raó i la mes important es que la temperatura ideal a la que l'acrilat ha d'estar emmagatzemat es de 20°C i a l'estiu l'aigua de mar pot arribar als 15-20°C de temperatura i no hi ha gradient suficient per a refrigerar el producte.

Per tant, es vol dissenyar els dos sistemes de refrigeració automàtics amb aigua de mar per a refrigerar l'acrilat dins dels tancs. També es vol dissenyar un dipòsit d'aire pobre necessari per al correcte emmagatzemament del acrilat i tot el sistema de seguretat i la programació i automatització.

2.2 Abast del projecte

El projecte abasta des de la anàlisi de seguretat (HAZOP) i dels permisos legals i medi ambient per al posterior disseny dels dos bescanviadors de calor i la instrumentació necessària per a automatitzar tot el procés i mantenir-lo en els valors adients per al correcte funcionament segur, fins el disseny de les dues bombes que impulsen l'acrilat per el sistema de refrigeració i la bomba d'aigua de mar que porta aquesta als dos sistemes de refredament.

També es necessari el disseny d'un dipòsit a pressió d'aire pobre que es nitrogen amb un 5-8% d'oxigen per a activar la metil hidroquinona (MeHQ) l'inhibidor de la polimerització del acrilat i inertitzar els tancs per a evitar situacions de perill degut a la inflamabilitat del acrilat.

Per últim, el sistema de refrigeració ha d'estar automatitzat i controlat. Per aquesta raó s'ha realitzat la programació dels sistemes d'arrancada, de parada, de mode segur i dels enclavaments amb l'ajuda dels diagrames P&ID dibuixats a partir dels HAZOP.

2.3 Descripció del procés

Els dos tancs de planta son el B-6020 i el B-6120 amb 3000 i 1000 m³ respectivament. Quan degut a la radiació solar o una càrrega d'un vaixell o una cisterna, l'acrilat dintre del tanc arriba als 22°C s'activa el sistema de refrigeració encenent les bombes d'acrilat que l'extreuen del tanc i el fan passar per un bescanviador de calor que gràcies a l'aigua de mar freda, baixa la temperatura del acrilat i aquest torna al tanc.

Dins del tanc al final del sistema de refrigeració hi ha un GIN, un aparell que per efecte venturi agafa part de la fase gas de la part alta del tanc i expulsa aquesta amb l'acrilat líquid fred. Aquest genera uns corrents que mesclen uniformement el líquid dintre del tanc assegurant que no es creï una estratificació de temperatures en l'acrilat del tanc i evitar possibles situacions de polimerització per alta temperatura o per concentració baixa d'oxigen en l'inhibidor o d'inhibidor mateix en l'acrilat.

Al mesclar la fase gas que conté quantitats controlades d'oxigen, l'inhibidor s'activa i evita els problemes de polimerització que es comentaven en el paràgraf anterior. A més a més, a l'aspiració de la bomba hi ha un toma mostres on periòdicament es prenen mostres de les concentracions d'inhibidor al tanc i si son baixes, tot seguit hi ha un filtre on es pot afegir inhibidor per a mesclar-lo al tanc i corregir la situació.

Per l'altre costat, l'aigua freda ve del sistema de refrigeració del propà on una bomba l'impulsa als dos tancs on unes vàlvules automàtiques regulen el cabal per a ajustar la temperatura del acrilat. Una vegada l'aigua surt del bescanviador arriba a la canonada de sortida al mar on es junta amb la que ve del sistema de refrigeració del propà i en funció de la seva temperatura s'aboca al mar o es mescla amb mes aigua del mar per a que no hi hagi una diferència de temperatures molt elevades entre el mar i l'abocament i així no provoquem canvis en la biosfera i el medi marí.

3 Bases de disseny

3.1 Fulla de seguretat del acrilat 2-Etil-Hexil

S'ha seguit la fulla de seguretat que es disposa a BASF versió N^o11 per les prescripcions d'emmagatzematge i reactivitat. Per a les dades fisicoquímiques s'ha utilitzat el programa COMSOL i els projectes propis de BASF.

3.2 Especificacions d'aire pobre

L'aire pobre o *Lean Air* es una mescla entre un 5 i un 8% d'oxigen en nitrogen que es molt utilitzat per a l'activació d'inhibidors en medis potencialment explosius ja que, en el cas d'aquest projecte, s'utilitza Metil hidroquinona per a inhibir la reacció de polimerització del acrilat 2-Etil-Hexil en el seu emmagatzemament i necessita d'oxigen per a treballar en condicions òptimes.

L'aire pobre es generat per un equip proporcionat per una empresa externa que s'alimenta de nitrogen, aire de instrumentació i aire comprimit i està assegurada la seva composició gràcies a un sistema de detectors i *block and bleed* que ajusten la concentració als valors que s'han comentat en el paràgraf anterior. Tot es pot veure al diagrama D-2140 de l'apartat 4.1.

3.3 Procediment intern d'emmagatzematge d'acrilats

Hi ha un procediment intern de BASF per a l'emmagatzematge d'acrilats amb les prescripcions de seguretat necessàries. Aquests acrilats, encara que tinguin l'inhibidor present amb la concentració d'oxigen necessària, poden polimeritzar a temperatures que fàcilment es pot arribar a l'estiu (entre 40 i 60°C).

Per aquesta raó hi ha un procediment que explica els diferents escenaris que poden passar en funció de la temperatura interior del tanc i les mesures de seguretat i control que s'han de implementar.

- A temperatures menors que T_0 , els acrilats arriben a cristal·litzar-se fent que aquesta fase sòlida no tingui inhibidor ja que aquest té un punt de fusió més baix. En el cas que s'estudia, aquesta temperatura es molt baixa (menor de -45 °C) així que a la practica no aplica aquesta restricció de temperatura.
- La temperatura T_1 es la màxima recomanada per al emmagatzemament de l'acrilat. A partir d'aquesta temperatura l'inhibidor es consumeix molt ràpidament i no es desitjable. Aquesta temperatura per al acrilat 2-Etil-Hexil es de 35°C.
- Temperatures iguals o majors de $T_2 = 35$ °C poden ser potencialment perilloses i han d'évitar-se estrictament. Si s'arriba a aquesta temperatura es signe que està passant alguna reacció exotèrmica no desitjada, que pot haver-hi foc exterior o algun agent altament exotèrmic.
- Quan s'arriba a la temperatura T_3 s'ha de preparar el sistema RESTAB, un agent que inhibeix per complet l'acrilat i la seva reacció de polimerització però el fa malbé i s'ha de tractar, netejar i tornar a omplir el tanc amb nou producte. Si aquesta temperatura, de 40°C persisteix amb el temps o s'eleva s'ha d'activar el sistema RESTAB i la bomba de recirculació per a ajudar a mesclar l'agent a tot l'acrilat del tanc.

- Si s'arriba a la temperatura T_4 de 60°C, s'ha d'activar el procediment d'evacuació. En aquest punt ja haurien d'haver arribat els equips d'emergències que haurien d'haver estat notificats al arribar a T_3 i si la temperatura segueix pujant, evacuar al personal.

3.4 Anàlisi de requisits legals a externs de BASF

S'ha de fer la adequació de la instal·lació segons la seguretat ocupacional tal i com dicta el Reial Decret 1215/97 del 18 de juliol per el que s'estableixen les disposicions mínimes de seguretat i salut per a la utilització per els treballadors dels equips de treball [4].

També, segons el Reial Decret 681/2003 del 12 de juny sobre la protecció de la salut i la seguretat dels treballadors exposats als riscos derivats de les atmosferes explosives en els llocs de treball [3], s'haurà de realitzar una adenda abans de la posta en marxa. Aquesta adenda no entra en el abast d'aquest projecte.

Es important també consultar els documents del BREFs [11] (millors tècniques disponibles) però en el cas del parc de tancs del port, com actualment ja es compleixen, no es requereixen modificacions. Per exemple ja es tenen calculades i localitzades les emissions difuses i fugitives dels kitos i juntes a camp i ja es té una idea d'on poden aparèixer i hi ha un programa de detecció i actuació per a minimitzar-les, així mateix com la seguretat del aigua o la gestió dels residus.

En la selecció i compra dels equips, l'eficiència es un factor clau que es tindrà en compte.

3.5 Codis i estàndards de disseny

Per al disseny del equip a pressió d'aire pobre B-4401, s'ha seguit el codi ASME, Secció VIII, Divisió 1 [5].

Dintre d'aquesta divisió s'ha dissenyat els espessors mínims del cos segons esforços longitudinals i circumferencials com diu el paràgraf UG-27 del mateix codi.

Per al cas del disseny dels espessors mínims per als capçals, s'ha realitzat segons els paràgraf UG-32 del codi.

Les eficiències de les juntes s'obtenen de la taula UW-12 del mateix codi.

3.6 Diagrama de GANTT

A la següent pàgina es pot visualitzar el diagrama de GANTT del projecte. S'ha volgut separar en tres seccions per a una millor visualització:

- Secció en blau: Es la part teòrica pura de busca de informació i redactar i escriure.
- Secció en verd: Es la part dels dos HAZOP i tots els diagrames i plànols dibuixats.
- Secció en vermell: Es tota la part de disseny dels equips amb el redactat tant de la part de treball com del annex corresponent.

Diagrama de Gantt

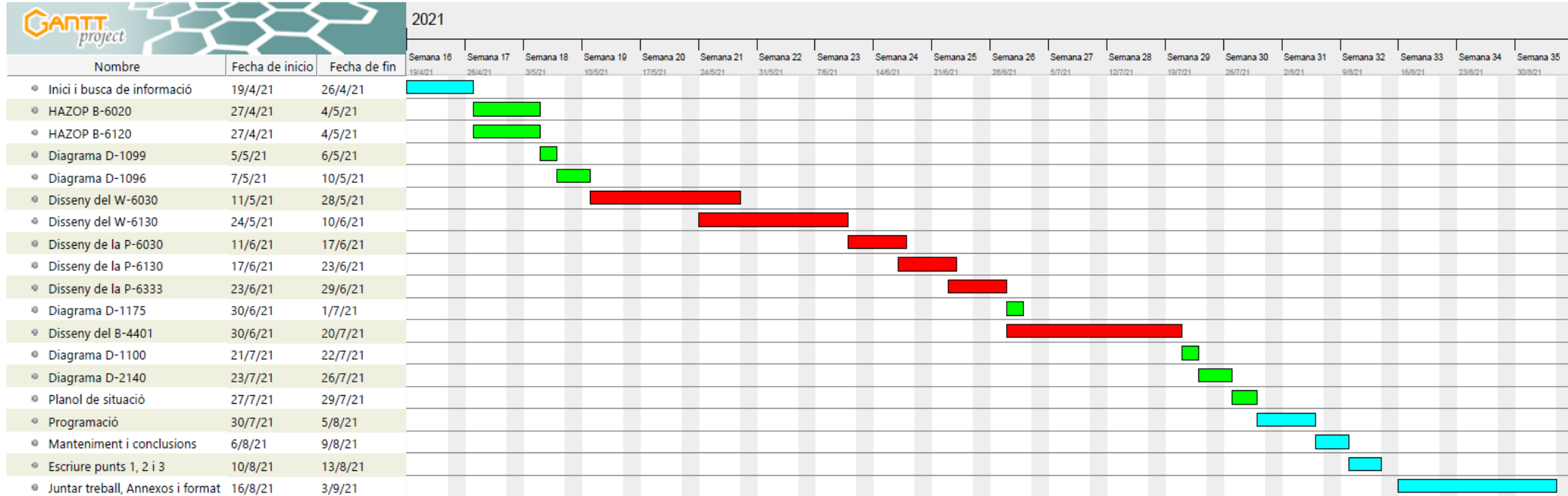


Figura 3.6.1. Diagrama de GANTT

3.7 Localització

El parc de tancs del port de BASF Española es troba al mateix port de Tarragona, al moll d'hidrocarburs. A les figures 3.7.1 i 3.7.2 es poden veure la localització exacta del parc de tancs.



Figura 3.7.1. Localització del parc de tancs port dintre del complex del port de Tarragona



Figura 3.7.2. Localització dels tancs B-6020 i B-6120.

3.8 Dades meteorològiques

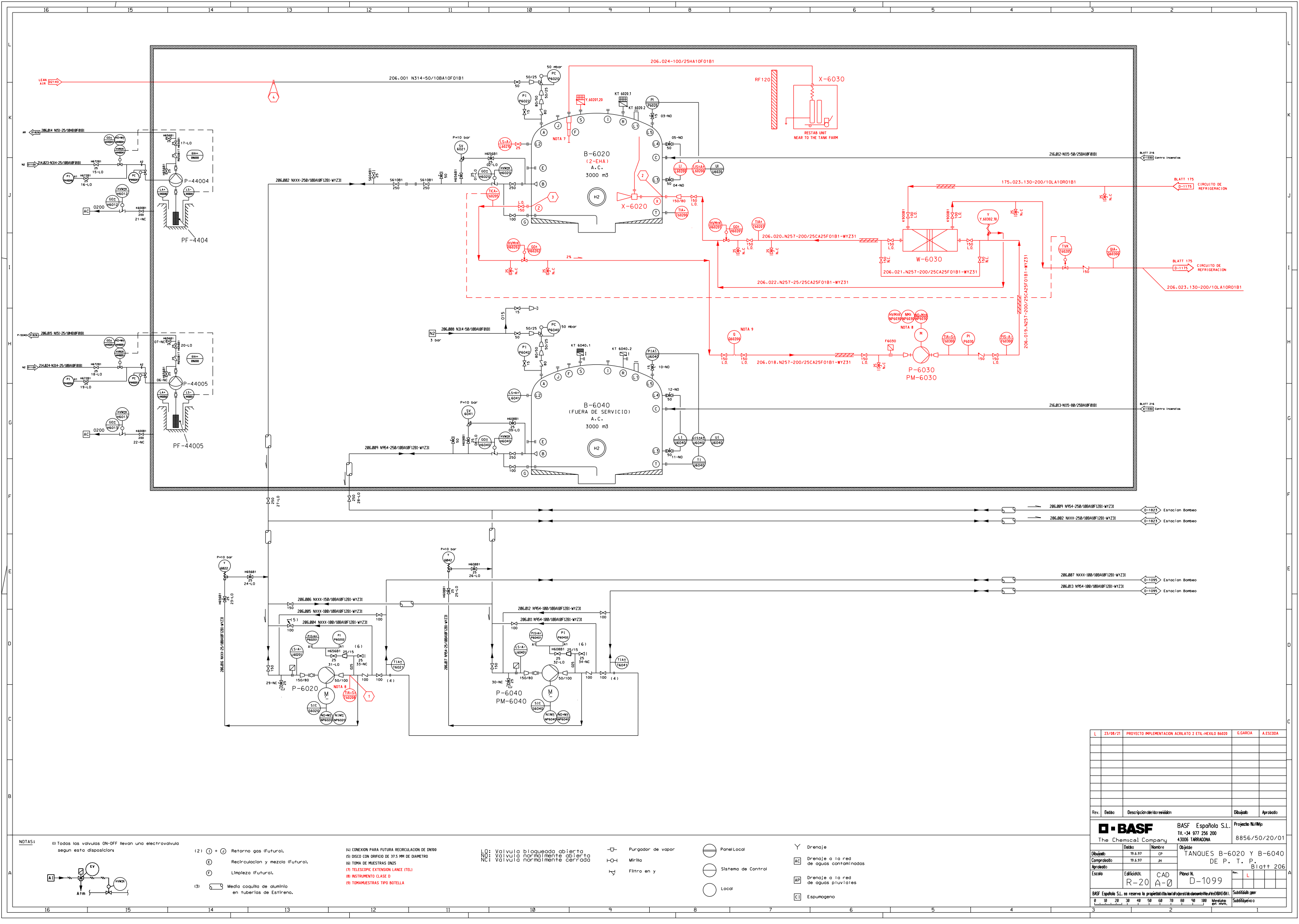
A la taula 3.8.1 es poden observar les dades meteorològiques històriques de Tarragona [6]. En el cas del disseny dels bescanviadors de calor, la irradiància solar màxima serà un factor a tindre en compte [13].

Taula 3.8.1. Valors de les dades meteorològiques històriques a Tarragona

| Dada meteorològica | Valor |
|---|---------------------------|
| Temperatura mitjana min (°C) | 8,000 (Gener) |
| Temperatura mitjana max (°C) | 24,70 (Juny) |
| Temperatura min (°C) | 4,100 (Gener) |
| Temperatura max (°C) | 29,80 (Juny) |
| Precipitació min (mm) | 21,00 (Juliol) |
| Precipitació max (mm) | 88,00 (Octubre) |
| Humitat min (%) | 59,00 (Juny) |
| Humitat max (%) | 74,00 (Desembre) |
| Dies de pluja min (dies) | 3,000 (Juny, Juliol) |
| Dies de pluja max (dies) | 7,000 (Setembre, Octubre) |
| Hores de sol min (h) | 7,000 (Desembre) |
| Hores de sol max (h) | 12,40 (Juny) |
| Altitud (m) | 0,000 |
| Irradiància solar max ($\frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}}$) | 1116 |

4 Enginyeria bàsica

4.1 Diagrames de procés



NOTAS: (1) Todas las válvulas ON-OFF llevan una electroválvula según esta disposición

- (2) (1) + (2) Retorno gas (futuro).
- (3) Recirculación y mezcla (futuro).
- (4) Limpieza (futuro).
- (5) Medida caudal de aluminio en tuberías de Estirano.

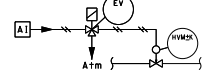
- (6) CONEXION PARA FUTURA RECIRCULACION DE DN100
- (7) DISCO CON ORIFICIO DE 37.5 MM DE DIAMETRO
- (8) TOMA DE MUESTRAS DN25
- (9) TELESCOPIC EXTENSION LANCE (TEL)
- (10) INSTRUMENTO CLASE D
- (11) TOMAMUESTRAS TIPO BOTELLA

LO: Válvula bloqueada abierta
 NO: Válvula normalmente abierta
 NC: Válvula normalmente cerrada

- (V) Purgador de vapor
- (M) Mirilla
- (F) Filtro en y

- (S) Panel Local
- (C) Sistema de Control
- (L) Local

- (D) Drenaje
- (AC) Drenaje a la red de aguas contaminadas
- (AP) Drenaje a la red de aguas pluviales
- (E) Espumogeno



| | | | | |
|------|----------|---|----------|-----------|
| L | 23/08/21 | PROYECTO IMPLEMENTACION ACRILATO 2 ETIL-HEXILO 8600 | G.GARCIA | A. ESCODA |
| Rev. | Debo | Descripción de la revisión | Dibujado | Aprobado |

BASF The Chemical Company

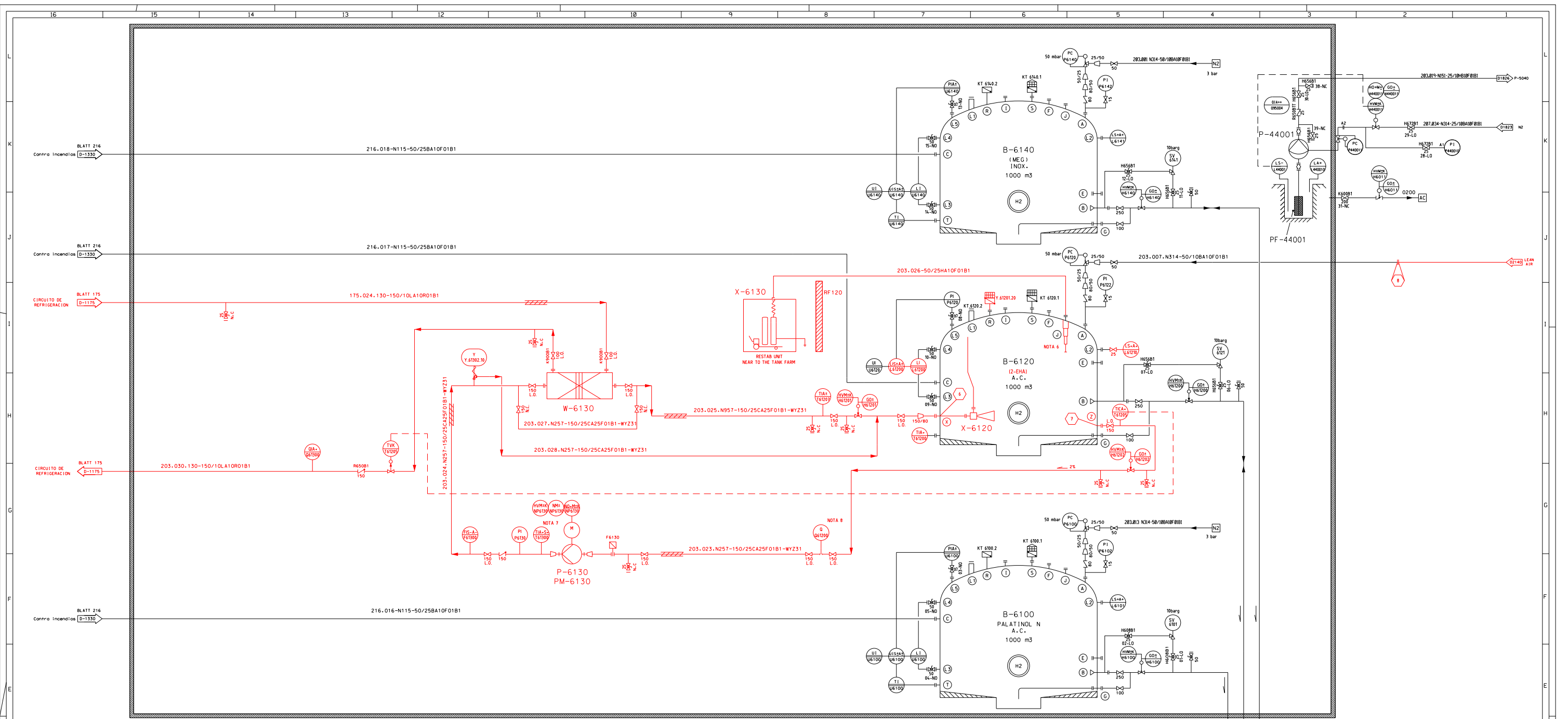
BASF Española S.L.
 Tlf. +34 977 256 200
 43006 TARRAGONA

Proyecto N.º/Id. 8856/50/20/01

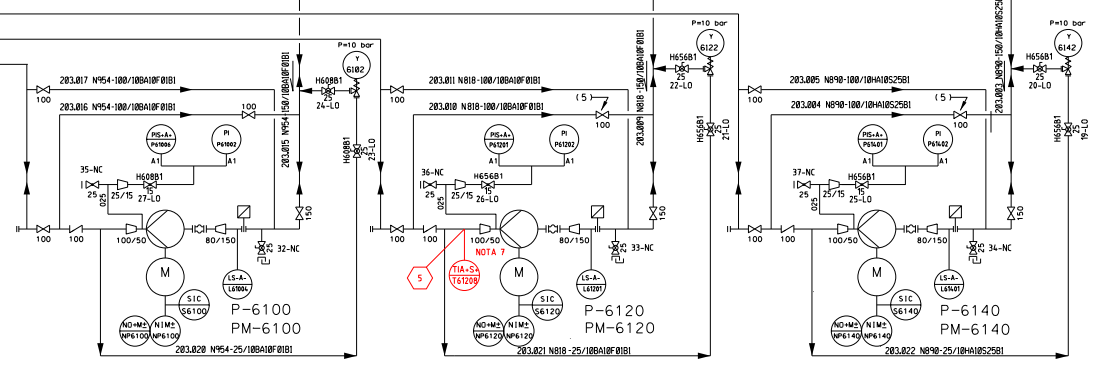
Objeto: TANQUES B-6020 Y B-6040 DE P. T. P. Blatt 206

Escala: Edición: R-20 CAD A-0 Panel N.º: D-1099

BASF Española S.L. se reserva la propiedad de los datos contenidos en este documento. Substituido por: 8 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 200

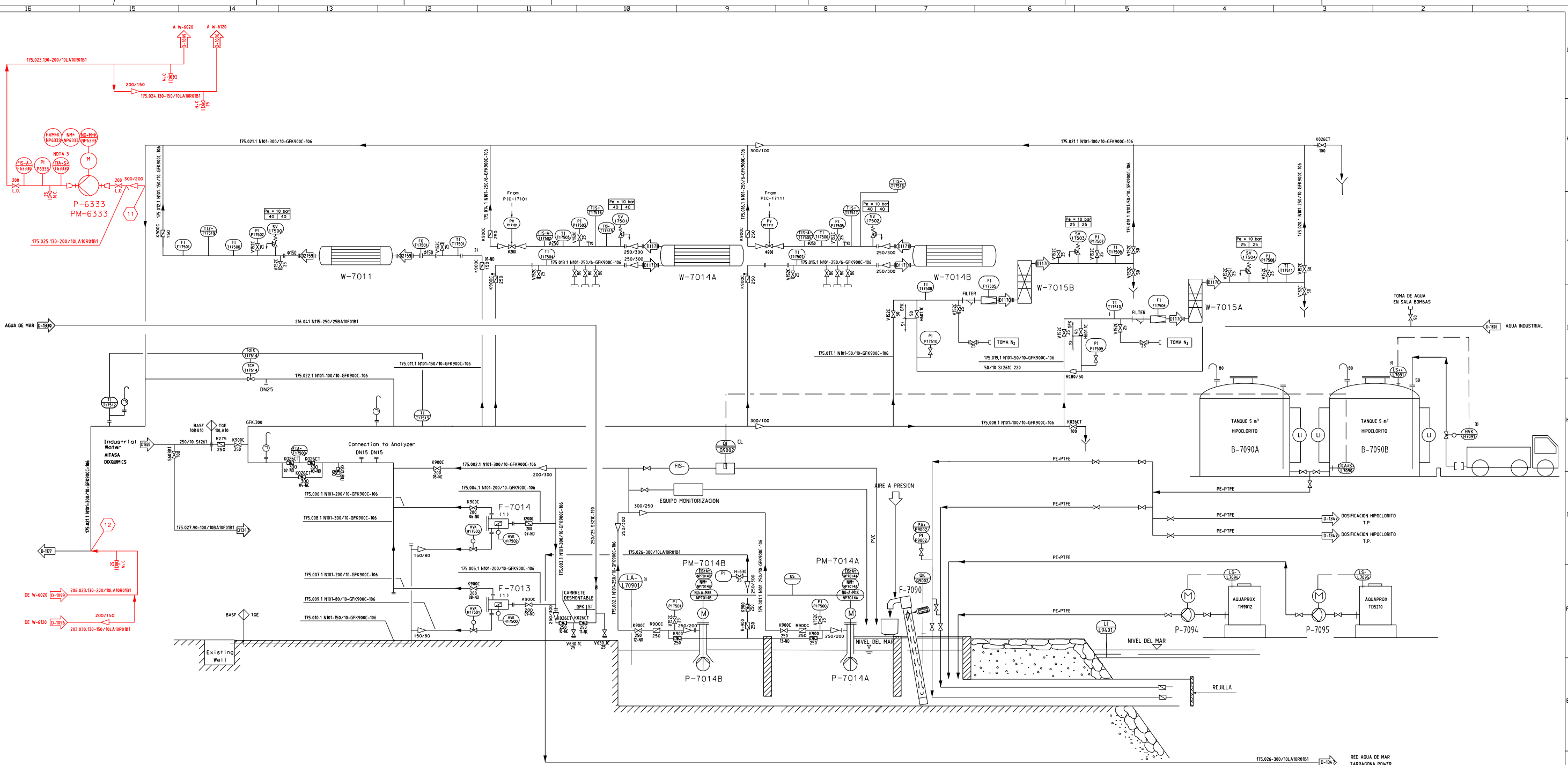


- Estacion Bombeo \leftarrow 203.014 N954-250/10BA10F01B1
- Estacion Bombeo \leftarrow 203.008 N818-250/10BA10F01B1
- Estacion Bombeo \leftarrow 203.002 N890-250/10BA10S25B1
- Estacion Bombeo \leftarrow 203.005 N890-100/10BA10S25B1
- Estacion Bombeo \leftarrow 203.012 N818-100/10BA10F01B1
- Estacion Bombeo \leftarrow 203.019 N954-100/10BA10F01B1



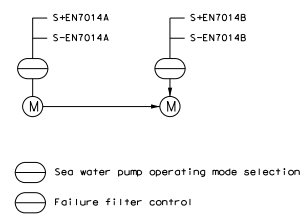
- NOTAS:**
- (1) Todos las valvulas ON-OFF llevan una electrovalvula segun esta disposicion:
 - (2) Limpieza (Futuro).
 - (3) Media coquilla de aluminio en tuberias de Estireno.
 - (5) Disco con orificio de 37.5 mm de diametro.
 - (6) TELESCOPIC EXTENSION LANCE (TEL)
 - (7) INSTRUMENTO CLASE D
 - (8) TOMAMUESTRAS TIPO BOTELLA
 - (9) Valvula siempre abierta fijada con un candado.
 - (10) Mirilla
 - (11) Filtro en y
 - (12) Bloqueada normalmente abierta.
 - (13) Bloqueada normalmente cerrada.
 - (14) Valvula siempre cerrada fijada con un candado.
 - (15) Purgador de vapor
 - (16) Sistema de Control
 - (17) Local
 - (18) Drenaje
 - (19) Drenaje a la red de aguas contaminadas
 - (20) Drenaje a la red de aguas pluviales
 - (21) Espumogeno

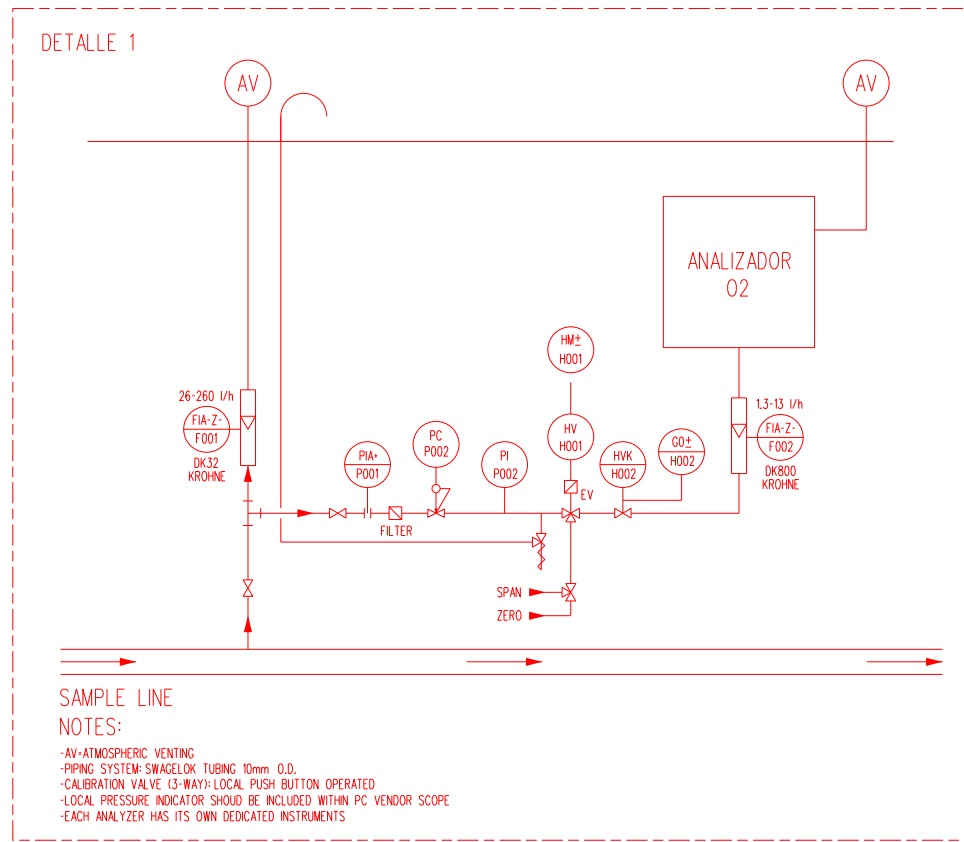
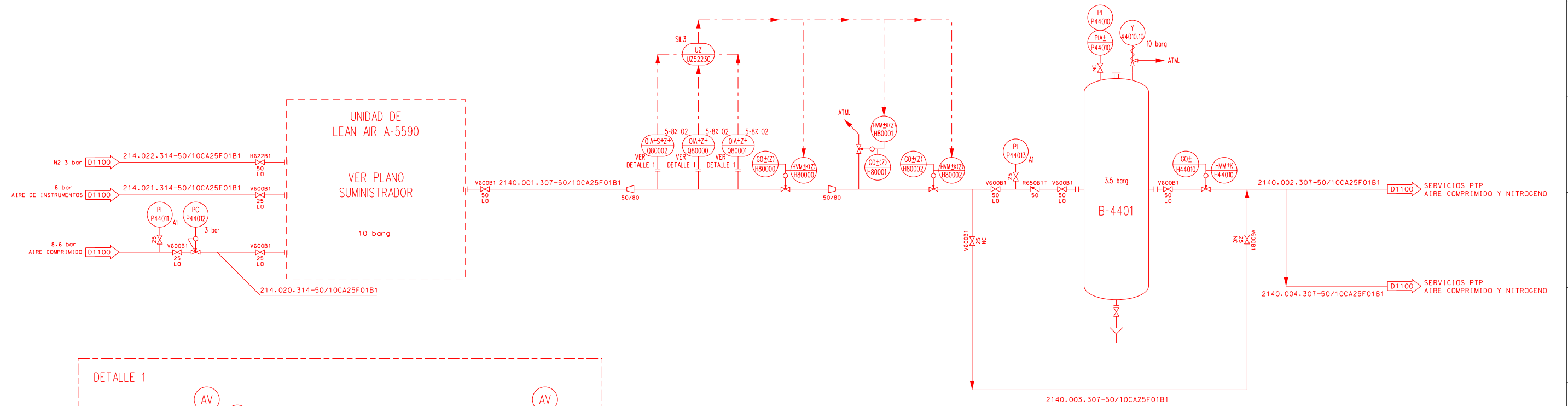
| | | | | |
|--|---------------|--|---|-------------|
| 1 | 13/04/21 | PROYECTO IMPLEMENTACION ACRILATO 2 ETL-HEXILO B420 | G.GARCIA | A.ESCODA |
| Rev. | Fecha | Descripción de la revisión | Dibujado | Aprobado |
| | | BASF Española S.L. The Chemical Company Tlf. +34 977 256 200 43006 TARRAGONA | Proyecto N./Mo 8856-50-20-04 | BLATT 203 |
| Dibujado | Comprobado | Aprobado | PID DE PROCESO PARQUE DE TANQUES | |
| Edificio | N.º | CAD | Piano | N.º |
| R-20 | A-0 | D-1096 | | |
| BASF Española S.L. se reserva la propiedad de autor de este documento (Ver DIN 54). Sustituido por | | | | Sustituye a |
| 0 | 10 | 20 | 30 | 40 |
| 50 | 60 | 70 | 80 | 90 |
| 100 | Medido en mm. | | | |



NOTES:
 (1) The filters will be control by means of a local PLC.
 A failure alarm will be sent to the control system.
 3) Lazo en clase D

| | | | | |
|--|------------|---|--|----------|
| Rev. | Fecha | Descripción de la revisión | Dibujado | Aprobado |
| | | | | |
| BASF The Chemical Company | | BASF Española S.L. Tlf. +34 977 256 200 43006 TARRAGONA | Proyecto N.º/Abc CIRCULO REFRIGERACION TANQUE PROPANO CON AGUA DE MAR BLAT175 | |
| Dibujado | Comprobado | Aprobado | | |
| Edición N.º | PTP | CAD | D-1175 | |
| BASF Española S.L. se reserva la propiedad de autor de este documento (Ver DIN 341). Sustituye por | | | | |
| 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 Medida en mm. Sustituye o | | | | |





SAMPLE LINE NOTES:

- AV-ATMOSPHERIC VENTING
- PIPING SYSTEM: SWAGelok TUBING 10mm O.D.
- CALIBRATION VALVE (3-WAY)-LOCAL PUSH BUTTON OPERATED
- LOCAL PRESSURE INDICATOR SHOULD BE INCLUDED WITHIN PC VENDOR SCOPE
- EACH ANALYZER HAS ITS OWN DEDICATED INSTRUMENTS

Y-44010.10 VALVULA DE SEGURIDAD SV P DE TARADO P=10 bar
 B-4401 DEPOSITO PULMON LEAN AIR P/T DISENO P=10 bar

| | | | | |
|---|----------|--|----------|-------------|
| Rev. | Fecha | Descripción de la revisión | Dibujado | Aprobado |
| A | 23/08/21 | PROYECTO IMPLEMENTACION ACRILATO 2 E-H UNIDAD LEAN AIR | G.GARCIA | A.ESCOBA |
| Escala | | Edificio N. | CAD | Plano N. |
| R-20 | | A-0 | D-2140 | A |
| BASF Española S.L. se reserva la propiedad de autor de este documento (Ver DIN 341) | | | | Sustituye o |
| Sustituye o | | | | |

BASF The Chemical Company

BASF Española S.L.
 Tlf. +34 977 256 200
 43006 TARRAGONA

Proyecto N./Año
 8856-50-20-04

Objeto
**SERVICIOS PTP:
 UNIDAD DE LEAN AIR**

BLATT 2140

4.2 HAZOP B-6020

Taula 4.2.1. HAZOP del tanc B-6020

| Element de discussió | Perill | Causes | Conseqüències | Acció | Descripció de l'acció |
|--|-------------------|---|---|---|-----------------------|
| 1- Control dels perills que suposen les reaccions químiques i les substàncies. | 1- Polimerització | 1- Baixa concentració inhibidora (<10 ppm Metil Hidroquinona [MeHQ]) | 1- Polimerització. Augment de la pressió per possible reacció descontrolada. | 1- Anàlisi inhibidor del producte rebut (vaixell). | |
| | | | | 2- Certificat del proveïdor verificat per entitat inspectora. | |
| | | 3- Anàlisi periòdica de la concentració d'inhibidor del dipòsit (cada 15 dies), amb mostreig i possibilitat d'addició de MeHQ per filtre de cistella o similar (F6030). Objectiu d'assegurar un mínim de 10 ppm de MeHQ per a ambdós tancs. | 1- Afegir toma de mostres en succió de bombes de recirculació P-6030. 2- Afegir filtre per a l'addició d'inhibidors en línia en la recirculació de la bomba d'aspiració. | | |
| | | 2- Massa temps d'emmagatzematge sense trasbalsar. | 1- Polimerització. Augment de la pressió per possible | 1- Recirculació d'una hora al dia. | |

| Element de discussió | Perill | Causes | Conseqüències | Acció | Descripció de l'acció |
|----------------------|--------|--|---|---|---|
| | | | reacció descontrolada. | | |
| | | | | 2- Recirculació almenys cada 4 setmanes del 100% del volum. | |
| | | | | 3- La línia de descàrrega d'embarcacions es buida en cada descàrrega. | |
| | | | | 4- S'espera dur a terme trasbalsos diaris. A la parada de la planta es tindrà la línia aturada fins a 1 mes. En cas d'una línia aturada superior a 1 mes, es passarà el PIG per la línia de trasbalsos. | 1- Si F6530 (PTP) o F3020 (PTI) no incrementen el valor en un període d'1 mes, haurà d'aparèixer l'alarma en el panell indicant que es requereix renovar o buidar el contingut de la línia. |
| | | 3- Alta temperatura per radiació solar | 1- Polimerització. Augment de la pressió per possible reacció descontrolada | 1- TIA+60200/TICA+60205 (doble sensor en tanc, el més baix possible i separat l'un de l'altre). TIA+S+60300 en aspiració de la bomba P-6030. | 2- Calibrar F6530 i F3020. |
| | | | | | 1- Programar alarmes de temperatura en panell crític dels dos sistemes de B-6020 i B-6120 |

| Element de discussió | Perill | Causes | Conseqüències | Acció | Descripció de l'acció |
|----------------------|--------|--------|---------------|--|---|
| | | | | TIA+60204 a la impulsió del l'intercanviador W-6030. Totes a panell d'alarma crític. | |
| | | | | 2- T0 (congelació) --> N/A | |
| | | | | 3- TIA+60200/TICA+60205: T1 (concepte: 35°C) --> Posar l'alarma crítica a 33 °C per a l'activació de la recirculació amb mode organitzatiu. | 1- Crear procediment de com actuar en cas d'alarma crítica en els tancs B-6120 i B-6020 (T1, T2, T3, T4) i formar anualment els col·laboradors del procediment d'actuació. Organitzar també simulacres. |
| | | | | 4- TIA+60200/TICA+60205: T2 (T =35 °C) --> Posar alarma crítica a 35 °C perquè a més d'activar la recirculació es realitzi una revisió/registre continu de temperatura, mostreig, activació dels aspensors per a refrigerar el tanc. Avisar als bombers. | |

| Element de discussió | Perill | Causes | Conseqüències | Acció | Descripció de l'acció |
|----------------------|--------|--------|---------------|--|---|
| | | | | 5- TIA+60200/TICA+60205: T3 (T =40 °C) --> Posar alarma crítica a 40 °C per iniciar el procediment d'addició de RESTAB al dipòsit i activar la resposta d'emergència (l'operació la duen a terme els bombers). | |
| | | | | 6- TIA+60200/TICA+60205: T4 (T =60 °C) --> Posa alarma crítica a T= 60 °C per iniciar el procediment d'evacuació. | |
| | | | | 7- Procediment operatiu mes la llista de comprovació d'alta qualitat per garantir el rendiment en totes les alarmes de temperatura. | |
| | | | | 8- Simulacres anuals per tenir el personal format i entrenat. | |
| | | | | 9- Protecció solar en les canonades i pintura blanca amb el codi corresponent. | 1- Consulta totes les línies que presenten protecció solar. |
| | | | | 10- Tancs pintats de blanc en zona oberta. | |

| Element de discussió | Perill | Causes | Conseqüències | Acció | Descripció de l'acció |
|----------------------|--------|--|--|---|-----------------------|
| | | 4- Alta temperatura per producte subministrat. | 1- Polimerització. Augment de la pressió per possible reacció descontrolada. | 1- Acord amb el proveïdor per al subministrament de producte a temperatura < 30 °C. | |
| | | | | 2- Comprovar la temperatura de recepció per part de l'inspector. | |
| | | | | 3- El procediment de funcionament ha d'incloure que no s'acceptarà cap producte a més de 30 °C. | |
| | | 5- Alta temperatura per recirculació de la bomba | 1- Polimerització. Augment de la pressió per possible reacció descontrolada | 1- Sistema de recirculació a través del W-6030 amb aigua de mar que assegura dissipar la calor proporcionada per la bomba P-6030, la causant per la radiació solar i la del propi líquid dintre del tanc. | |
| | | 6- Alta temperatura per radiació produïda pel foc contigu (zona de propà). | 1- Polimerització. Augment de la pressió per possible reacció descontrolada | 1- En cas d'incendi contigu, el tanc està protegit amb aspersors. | |

| Element de discussió | Perill | Causes | Conseqüències | Acció | Descripció de l'acció |
|----------------------|--------|---|---|--|---|
| | | 7- Pèrdua d'inhibidor (no O ₂). | 1- Polimerització. Augment de pressió. Explosió. | 1- Atmosfera d'aire pobre que assegura una concentració de 5% <O ₂ <8% amb SIL3. | |
| | | 8- Pas del PIG amb nitrogen | 1- Polimerització. Augment de pressió. Explosió | 1- El pas del PIG es farà des de l'estació d'aire pobre amb SIL3, evitant la possibilitat d'aportació directa de nitrogen. | |
| | | 9- Condensació de vapor sense inhibidor. | 1- Augment de la quantitat de producte desinhibit. Situació susceptible d'iniciar la reacció de polimerització. | 1- Veure mesures anteriors i a més es mantindrà una temperatura inferior als 25 °C. | |
| | | | | 2- L'absència de nervis en l'estructura del tanc impedeix la formació de punts de polimerització | |
| | | | | 3- Absència de seccions de tub on el gas del producte es pugui acumular en instruments i dispositius de protecció. | |
| | | 10- Saturació insuficient de l'inhibidor amb O ₂ . | 1- Augment de la quantitat de producte desinhibit. | 1- Recirculacions al tanc diàries a través del GIN (filtre induït per gas) | 1- En fase de muntatge assegurar-se de que la instal·lació de |

| Element de discussió | Perill | Causes | Conseqüències | Acció | Descripció de l'acció |
|----------------------|--------|---|---|---|---|
| | | | Situació susceptible d'iniciar la reacció de polimerització. | instal·lat en els dipòsits i dissenyat segons concepte de seguretat per empresa externa, per garantir la correcta saturació del producte amb l'O ₂ . | volanderes de bloqueig i de rosca-contrarrosca en les brides crítiques del GIN. |
| | | | | 2- Assegureu-vos que la tovera de succió del GIN mai està coberta de líquid (part més alta del tanc). | |
| | | | | 3- Assegurar-se que el GIN sempre està cobert de líquid (LS- en el tanc). | |
| | | | | 4- El GIN ha d'estar recolzat a terra i guiat en la direcció del fluid. Les volanderes han de ser de bloqueig. Instal·lar el mes a prop del terra possible. | |
| | | 11- Producte rebut amb polímer o impureses. | 1- Augment de la quantitat de producte desinhibit. Situació susceptible d'iniciar la reacció de polimerització. | 1- Acord amb els proveïdors dels paràmetres de polímer i impureses. | |
| | | | | 2- Mostreig i anàlisi d'impureses i de polímer abans de la descàrrega de vaixells. | |

| Element de discussió | Perill | Causes | Conseqüències | Acció | Descripció de l'acció |
|----------------------|--|--|--|---|---|
| | | 12- Error humà en connectar/desconnectar mànegues. | 1- Possible contaminació que pugui produir una polimerització. | 1- Instal·lació fixa en sala de mànega. Només connexió de mànega a l'atraque. | 1- Comprar mànegues de descàrrega de vaixells amb un color diferent al de les existents. |
| 2- Pressió alta | 1- Pressió alta en B-6020 (acer al carboni) Pd=0,05 bar. | 1- Polimerització. | 1- Veure punt 1. | | |
| | | 2- Bomba de descàrrega de vaixells (Pmax=12bar). | 1- Sobrepressió. Explosió amb metralla. | 1- Y60201.20 tarat a 30 mbar. (kito d'operació). KT6020.1 tarat a 40 mbar. (kito d'emergència). Manteniment preventiu mínim 1 vegada a l'any. | |
| | | 3- Addició restab (Pmax = 18 bar) | 1- Sobrepressió. Explosió amb metralla | 1- KT6020.2 a 50 mbar (tapa d'emergència). | |
| | | 4- Aire pobre (Pmax=10 bar). | 1- Sobrepressió. Explosió amb metralla | 1- Y60201.20 tarat a 30 mbar. (operació kito). KT6020.1 tarat a 40 mbar. (kito d'emergència). Manteniment preventiu mínim 1 vegada a l'any. | 1- Dibuixar l'entrada d'aire pobre al tanc B-6020. Dibuixa correctament la línia aïllada de nitrogen. |

| Element de discussió | Perill | Causes | Conseqüències | Acció | Descripció de l'acció |
|----------------------|-------------------------------|---|--|---|--|
| | | 5- Foc extern. | 1- Sobrepressió. Explosió amb metralla. | 1- KT6020.2 a 50 mbar (tapa d'emergència). | |
| | 2- Pressió alta en canonades. | 1- Línia de recirculació al tanc: Bomba de recirculació (Pmax=9bar). | 1- Intrínsecament segur. PN16. | 1- Línies PN > Pmax | |
| | | 2- Línia d'entrada de producte /càrrega de tancs: - Bomba de càrrega de cisternes (Pmax= 6,2 bar). - Bomba de descàrrega de vaixells (Pmax=12 bar). | 1- Possible fuga de producte per brida PN10. | 1- Seqüència per a la descàrrega de vaixell on: es disposa d'una seqüència on s'inclou tots els finals de carrera de les vàlvules manuals i les automàtiques. | |
| | | 3- Línia d'aire pobre (Pmax=10bar). | 1- Intrínsecament segur. PN10. | 1- Línies PN > Pmax | |
| | | 4- Expansió tèrmica. | 1- Ruptura de la línia. Fuites. | 1- Y60302.10 tarada a 10 bar. | 1- Revisió al diagrama D-1099, la pressió de tarada de les SV de fons de tanc. |
| | 3- Pressió alta en W-6030. | 1- P-6030: Pmax= 5 bar. | 1- Intrínsecament segur. PN16 | 1- Equips PN > bombes P max | |

| Element de discussió | Perill | Causes | Conseqüències | Acció | Descripció de l'acció |
|------------------------|---|---|---|--|---|
| | | - Expansió tèrmica | - Possible fuga de producte per brida. | 2- Es detecta un tram de volum bloquejable de més de 100L. Instal·lar L.O. en les manuals per evitar més SVs. -un SV s'instal·la a 10 bar | 1- Dibuixar SV en el pla i defineix TAG, també les L.O. |
| 3- Protecció de bombes | 1- P-6030 Bomba centrífuga acoblament magnètic. Acer al carboni | 1- Funcionament en sec: Aspiració tancada o sense producte al tanc. | 1- Possible font d'ignició (tanc inertitzat amb aire pobre) | 1- Disposar la possibilitat d'encendre's localment. | |
| | | | | 2- El cabalímetre local ha d'estar disponible per a que l'operador que iniciï la bomba - FIS-A-60300 Instrument amb pantalla de camp, senyal d'alarma a panell i enclavament. | |
| | | | | 3- Manòmetre local PI 60300. | |
| | | | | 4- Definir el cabal mínim necessari per activar FIS-A-60300 amb parada de bomba (programar retard per a permetre l'arrancada de la bomba). | |

| Element de discussió | Perill | Causes | Conseqüències | Acció | Descripció de l'acció |
|----------------------|--|---|--|---|-----------------------|
| | | 2- Bloqueig a la impulsió de la bomba / <i>Dead head</i> | 1- Sobreescalfament. Polimerització del producte. | 1- TIA+S+60300. Si TS+ en el cos de la bomba a 45°C i tanc TIA+ a menys de 33°C, llavors para bomba. Si TIA+ del tanc superior a 33°C, no per bomba (bypass TS + bomba). Instal·lat el mes a prop de la bomba. Instrument de classe D. | |
| | 2- P-6020 Bomba centrífuga tancament mecànic simple. Acer al carboni | 1- Funcionament en sec: Aspiració tancada o sense producte al tanc. | 1- Possible font d'ignició (tanc inertitzat amb aire pobre). | 1- LS-A-60200 a l'aspiració de la bomba. | |
| | | 2- Bloqueig a la impulsió de la bomba / <i>Dead head</i> | 1- Sobreescalfament. Polimerització del producte. | 1- TIA+S+60208. Si TS+ en el cos de la bomba a 45°C i tanc TIA+ a menys de 33°C, llavors para bomba. Si TIA+ del tanc superior a 33°C, no per bomba (bypass TS + bomba). Instal·lat el mes a prop de la bomba. Instrument de classe D. | |

| Element de discussió | Perill | Causes | Conseqüències | Acció | Descripció de l'acció |
|----------------------|---|--|-----------------------|---|---|
| 4- Pressió baixa | 1- Baixa pressió en B-6020. Pd=-3,5 mbar | 1- Bomba de càrrega de cisternes i fallada del PC. | 1- Implosió del tanc. | 1- Detecció de fallada del subministrament d'aire pobre. Alarma a panell. | 1- S'han definit 3 kitos al tanc B-6020: - Y60201.20: kito d'operació. - KT6020.1 kito d'emergència. - KT 6020.2 tapa de d'emergència. |
| | | | | | 2- Revisar el cabal d'aire pobre al tanc B-6020. S'ha d'assegurar que compensa el buit generat per la bomba P-6020 + efecte venturi del GIN. |
| | | | | 2- KT6020.1 tarat a -3 mbar. | |
| 5- Temperatura alta | 1- Veure polimerització (reacció química) | | | | |
| 6- Temperatura baixa | 1- Temperatura baixa | 1- No hi ha cap risc de seguretat rellevant. | | | |
| 7- Nivell alt | | | | 1- Diapasó LS+A+60210 per garantir el volum màxim en | |

| Element de discussió | Perill | Causes | Conseqüències | Acció | Descripció de l'acció |
|----------------------|-----------------------|---|---|---|--|
| | 1- Nivell alt B-6020 | 1- Error humà o fallada del sistema d'instrumentació. | 1- Sobre omplerta del tanc i vessament al cubeto. | <p>el tanc. Actua tancant H6020.</p> <p>2- LIA+S+60200 analògic. Actua tancant H6020 un 10% abans del LS+A+60210.</p> | |
| 8- Nivell baix | 1- Nivell baix B-6020 | 1- Error humà o fallada del sistema d'instrumentació | 1- Veure protecció contra bombes. | 1- LIA-S-60200 analògic para bomba d'enviament a planta P-6020. El <i>trip point</i> ha d'estar per sobre del GIN (assegurar líquid sempre) i per sobre de la línia de buidada del tanc. | |
| 9- Cabal alt | 1- Cabal alt | 1- Fallada en el control de la bomba o instrumentació | 1- Possible font d'ignició per generació d'electricitat estàtica. | <p>1- Velocitat inferior a 4 m/s en la línia de descàrrega de vaixells cap a la B-6120 i la B-6020. No és rellevant per a la seguretat.</p> <p>2- Velocitat superior a 4 m/s per el GIN.</p> <p>3- L'omplerta i la recirculació es realitzen per la part inferior del dipòsit evitant l'efecte esquitxada ja que sempre estaran inundats.</p> | 1- Dibuixar en P&ID picatge de la línia de recirculació directament en la tubuladura del tanc. |

| Element de discussió | Perill | Causes | Conseqüències | Acció | Descripció de l'acció |
|---------------------------------|--|--------------------------------------|--|---|-----------------------|
| 10- Cabal baix - Flux de retorn | 1- Retorn des del B-6020 fins a la línia d'aire pobre. Poc probable. | 1- | 1- | 1- Veure <i>block and bleed</i> D-2140. | |
| | 2- <i>Backflow</i> de B-6020 al vaixell. | 1- Fallada a les bombes del vaixell. | 1- Compensació per vasos comunicants. No hi ha problemes de seguretat rellevants. | 1- Es disposa de vàlvules antiretorn. | |
| | 3- Cabal baix de RESTAB | 1- Bloqueig de línia d'entrada | 1- Polimerització. Augment de temperatura per sobre de T3 sense possibilitat d'addició de RESTAB | 1- Llança Extensió Telescòpica (TEL) per a injecció del RESTAB per afegir RESTAB: <ul style="list-style-type: none"> - La TEL només s'ampliarà en cas d'activació del RESTAB. - Tub mínim de DN100 dedicat per al RESTAB. - TEL col·locada el més a prop possible de la paret del tanc (màxim 1/3 del radi respecte a la paret del tanc). - Alçada màxima del dipòsit de 10 m. | |

| Element de discussió | Perill | Causes | Conseqüències | Acció | Descripció de l'acció |
|----------------------|--------|--------|---------------|---|-----------------------|
| | | | | <ul style="list-style-type: none"> - Manteniment del TEL màxim cada 2 anys. - No es necessita cap instrumentació addicional en el TEL per assegurar-se que es llança lliure de polímers. - Incloure escenari de sobrepressió mitjançant l'addició de RESTAB per al kito d'emergència KT6020.2. - Identificació a camp dels punts d'adició del RESTAB ben identificat al tanc. - El punt d'aplicació ha d'estar darrere d'una paret de formigó, ha de ser de fàcil accés i ha de presentar un acoblament ràpid tipus "drydis". - Per al RESTAB serà necessari la canonada inoxidable DN50. - Només es permet la connexió de la mànega RESTAB, cap altra mànega. | |

| Element de discussió | Perill | Causes | Conseqüències | Acció | Descripció de l'acció |
|----------------------|---------------------------------------|------------------------|--|--|-----------------------|
| | | | | - Els dos carros RESTAB s'emmagatzemaran al magatzem del PTP. | |
| | | 2- Connexió defectuosa | 1- Polimerització. Augment de temperatura per sobre de T3 sense possibilitat d'addició de RESTAB | 1- Veure punt anterior | |
| | | 3- RESTAB en mal estat | 1- Polimerització. Augment de temperatura per sobre de T3 sense possibilitat d'addició de RESTAB | 1- Veure punt anterior | |
| 11- Fuites internes | 1- Fuites internes en intercanviadors | 1- Fuites internes | 1- Acrilat 2-Etil-Hexil va a l'aigua de mar | 1- Bescanviador de titani per garantir la integritat mecànica de l'equip contra la corrosió. | |
| | | | | 2- Anàlisi programada de l'aigua de mar per comprovar un possible contingut d'acrilat. | |
| | | | | 3- Càlcul de $P \times V$ d'equips per comprovar si | |

| Element de discussió | Perill | Causes | Conseqüències | Acció | Descripció de l'acció |
|-------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|---|---|--|
| | | | | cau dins de les inspeccions periòdiques segons REP i programar-les. | |
| | | | | 4- Instal·lació del detector d'acrilat Q60300 a la línia d'aigua de sortida dels bescanviadors. | 1- Discutir amb experts quina es la millor tecnologia aplicable. |
| | 2- Fuita | 1- Corrosió. | 1- | 1- Incloure les vàlvules automàtiques en els polsadors d'emergència. | |
| 12- Pèrdua de serveis públics | 1- Pèrdua de nitrogen | 1- Fallada del subministrament | 1- Pèrdua d'aire pobre. Pèrdua de l'inertització. | 1- SIL3 garanteix la concentració d'O ₂ a l'estació d'aire pobre. | |
| | 1- Pèrdua d'aire de instrumentació | 1- Fallada del subministrament | 1- Pèrdua d'O ₂ . No activació d'inhibidor. Les automàtiques van a posició segura. En el plànol, totes van a tancat. | 1- SIL3 garantint la concentració d'O ₂ a l'estació d'aire pobre. | |
| | 3- Pèrdua d'electricitat | 1- Fallada del subministrament | 1- Impossibilitat de recirculació | 1- Generadors disponibles (2 dies). | |
| | 4- Pèrdua d'aigua de mar | 1- Fallada de la bomba | 1- Impossibilitat de refrigerar. | 1- Adquisició de recanvis pertinents per a assegurar no tindre les bombes fora de servei mes de 2 dies. | |

| Element de discussió | Perill | Causes | Conseqüències | Acció | Descripció de l'acció |
|----------------------|--------|--------|---------------|--|-----------------------|
| | | | | 2- Lloguer d'unitat <i>chiller</i> en parada de propà. | |

4.3 HAZOP B-6120

Taula 4.3.1. HAZOP del tanc B-6120

| Element de discussió | Perill | Causes | Conseqüències | Acció | Descripció de l'acció |
|--|-------------------|--|--|---|---|
| 1- Control dels perills que suposen les reaccions químiques i les substàncies. | 1- Polimerització | 1- Baixa concentració inhibidora (<10 ppm Metil Hidroquinona [MeHQ]) | 1- Polimerització. Augment de la pressió per possible reacció descontrolada. | 1- Anàlisi inhibidor del producte rebut (vaixell). | |
| | | | | 2- Certificat del proveïdor verificat per entitat inspectora. | |
| | | | | 3- Anàlisi periòdica de la concentració d'inhibidor del dipòsit (cada 15 dies), amb mostreig i possibilitat d'addició de MeHQ per filtre de cistella o similar (F6130). Objectiu d'assegurar un mínim de 10 ppm de MeHQ per a ambdós tancs. | 1- Afegir toma de mostres en succió de bombes de recirculació P-6130. 2- Afegir filtre per a l'addició d'inhibidors en línia en la recirculació de la bomba d'aspiració. |

| Element de discussió | Perill | Causes | Conseqüències | Acció | Descripció de l'acció |
|----------------------|--------|---|--|---|---|
| | | 2- Massa temps d'emmagatzematge sense trasbalsar. | 1- Polimerització. Augment de la pressió per possible reacció descontrolada. | 1- Recirculació d'una hora al dia. | |
| | | | | 2- Recirculació almenys cada 4 setmanes del 100% del volum. | |
| | | | | 3- La línia de descàrrega d'embarcacions es buida en cada descàrrega. | |
| | | | | 4- S'espera dur a terme trasbalsos diaris. A la parada de la planta es tindrà la línia aturada fins a 1 mes. En cas d'una línia aturada superior a 1 mes, es passarà el PIG per la línia de trasbalsos. | 1- Si F6530 (PTP) o F3020 (PTI) no incrementen el valor en un període d'1 mes, haurà d'aparèixer l'alarma en el panell indicant que es requereix renovar o buidar el contingut de la línia. |
| | | | | | 2- Calibrar F6530 i F3020. |
| | | | 1- Polimerització. Augment de la | 1- TIA+61200/TICA+61205 (doble sensor en tanc, el | 1- Programar alarmes de temperatura en |

| Element de discussió | Perill | Causes | Conseqüències | Acció | Descripció de l'acció |
|----------------------|--------|--|--|---|---|
| | | 3- Alta temperatura per radiació solar | pressió per possible reacció descontrolada | <p>més baix possible i separat l'un de l'altre).</p> <p>TIA+S+61300 en aspiració de la bomba P-6030.</p> <p>TIA+61204 a la impulsió del l'intercanviador W-6130.</p> <p>Totes a panell d'alarma crític.</p> | panell crític dels dos sistemes de B-6020 i B-6120 |
| | | | | 2- T0 (congelació) --> N/A | |
| | | | | 3- TIA+61200/TICA+61205: T1 (concepte: 35°C) --> Posar l'alarma crítica a 33 °C per a l'activació de la recirculació amb mode organitzatiu. | 1- Crear procediment de com actuar en cas d'alarma crítica en els tancs B-6120 i B-6020 (T1, T2, T3, T4) i formar anualment els col·laboradors del procediment d'actuació. Organitzar també simulacres. |
| | | | | 4- TIA+61200/TICA+61205: T2 (T =35 °C) --> Posar alarma crítica a 35 °C perquè a més d'activar la recirculació es realitzi una revisió/registre continu de | |

| Element de discussió | Perill | Causes | Conseqüències | Acció | Descripció de l'acció |
|----------------------|--------|--------|---------------|--|-----------------------|
| | | | | temperatura, mostreig, activació dels aspersors per a refrigerar el tanc. Avisar als bombers. | |
| | | | | 5- TIA+61200/TICA+61205: T3 (T =40 °C) --> Posar alarma crítica a 40 °C per iniciar el procediment d'addició de RESTAB al dipòsit i activar la resposta d'emergència (l'operació la duen a terme els bombers). | |
| | | | | 6- TIA+61200/TICA+61205: T4 (T =60 °C) --> Posa alarma crítica a T= 60 °C per iniciar el procediment d'evacuació. | |
| | | | | 7- Procediment operatiu mes la llista de comprovació d'alta qualitat per garantir el rendiment en totes les alarmes de temperatura. | |
| | | | | 8- Simulacres anuals per tenir el personal format i entrenat. | |

| Element de discussió | Perill | Causes | Conseqüències | Acció | Descripció de l'acció |
|----------------------|--------|--|--|---|---|
| | | | | 9- Protecció solar en les canonades i pintura blanca amb el codi corresponent. | 1- Consulta totes les línies que presenten protecció solar. |
| | | | | 10- Tancs pintats de blanc en zona oberta. | |
| | | 4- Alta temperatura per producte subministrat. | 1- Polimerització. Augment de la pressió per possible reacció descontrolada. | 1- Acord amb el proveïdor per al subministrament de producte a temperatura < 30 °C. | |
| | | | | 2- Comprovar la temperatura de recepció per part de l'inspector. | |
| | | | | 3- El procediment de funcionament ha d'incloure que no s'acceptarà cap producte a més de 30 °C. | |
| | | 5- Alta temperatura per recirculació de la bomba | 1- Polimerització. Augment de la pressió per possible reacció descontrolada | 1- Sistema de recirculació a través del W-6130 amb aigua de mar que assegura dissipar la calor proporcionada per la bomba P-6130, la causant per la radiació solar i la del propi líquid dintre del tanc. | |

| Element de discussió | Perill | Causes | Conseqüències | Acció | Descripció de l'acció |
|----------------------|--------|--|---|--|-----------------------|
| | | 6- Alta temperatura per radiació produïda pel foc contigu (zona de propà). | 1- Polimerització. Augment de la pressió per possible reacció descontrolada | 1- En cas d'incendi contigu, el tanc està protegit amb aspersors. | |
| | | 7- Pèrdua d'inhibidor (no O ₂). | 1- Polimerització. Augment de pressió. Explosió. | 1- Atmosfera d'aire pobre que assegura una concentració de 5% <O ₂ <8% amb SIL3. | |
| | | 8- Pas del PIG amb nitrogen | 1- Polimerització. Augment de pressió. Explosió | 1- El pas del PIG es farà des de l'estació d'aire pobre amb SIL3, evitant la possibilitat d'aportació directa de nitrogen. | |
| | | 9- Condensació de vapor sense inhibidor. | 1- Augment de la quantitat de producte desinhibit. Situació susceptible d'iniciar la reacció de polimerització. | 1- Veure mesures anteriors i a més es mantindrà una temperatura inferior als 25 °C. | |
| | | | | 2- L'absència de nervis en l'estructura del tanc impedeix la formació de punts de polimerització | |
| | | | | 3- Absència de seccions de tub on el gas del producte es pugui acumular en | |

| Element de discussió | Perill | Causes | Conseqüències | Acció | Descripció de l'acció |
|----------------------|--------|---|---|--|--|
| | | | | instruments i dispositius de protecció. | |
| | | 10- Saturació insuficient de l'inhibidor amb O ₂ . | 1- Augment de la quantitat de producte desinhibit. Situació susceptible d'iniciar la reacció de polimerització. | 1- Recirculacions al tanc diàries a través del GIN (filtre induït per gas) instal·lat en els dipòsits i dissenyat segons concepte de seguretat per empresa externa, per garantir la correcta saturació del producte amb l'O ₂ . | 1- En fase de muntatge assegurar-se de que la instal·lació de volanderes de bloqueig i de rosca-contrarosca en les brides crítiques del GIN. |
| | | | | 2- Assegureu-vos que la tovera de succió del GIN mai està coberta de líquid (part més alta del tanc). | |
| | | | | 3- Assegurar-se que el GIN sempre està cobert de líquid (LS- en el tanc). | |
| | | | | 4- El GIN ha d'estar recolzat a terra i guiat en la direcció del fluid. Les volanderes han de ser de bloqueig. Instal·lar el mes a prop del terra possible. | |

| Element de discussió | Perill | Causes | Conseqüències | Acció | Descripció de l'acció |
|----------------------|--|--|---|---|--|
| | | 11- Producte rebut amb polímer o impureses. | 1- Augment de la quantitat de producte desinhibit. Situació susceptible d'iniciar la reacció de polimerització. | 1- Acord amb els proveïdors dels paràmetres de polímer i impureses. 2- Mostreig i anàlisi d'impureses i de polímer abans de la descàrrega de vaixells. | |
| | | 12- Error humà en connectar/desconnectar mànegues. | 1- Possible contaminació que pugui produir una polimerització. | 1- Instal·lació fixa en sala de mànega. Només connexió de mànega a l'atraque. | 1- Comprar mànegues de descàrrega de vaixells amb un color diferent al de les existents. |
| 2- Pressió alta | 1- Pressió alta en B-6120 (acer al carboni) Pd=0,05 bar. | 1- Polimerització. | 1- Veure punt 1. | | |
| | | 2- Bomba de descàrrega de vaixells (Pmax= 12bar). | 1- Sobrepressió. Explosió amb metralla. | 1- Y61201.20 tarat a 30 mbar. (kito d'operació). KT6120.1 tarat a 40 mbar. (kito d'emergència). Manteniment preventiu mínim 1 vegada a l'any. | |
| | | 3- Addició restab (Pmax = 18 bar) | 1- Sobrepressió. Explosió amb metralla | 1- KT6120.2 a 50 mbar (tapa d'emergència). | |

| Element de discussió | Perill | Causes | Conseqüències | Acció | Descripció de l'acció |
|----------------------|-------------------------------|---|--|---|---|
| | | 4- Aire pobre (Pmax=10 bar). | 1- Sobrepressió. Explosió amb metralla | 1- Y61201.20 tarat a 30 mbar. (operació kito). KT6120.1 tarat a 40 mbar. (kito d'emergència). Manteniment preventiu mínim 1 vegada a l'any. | 1- Dibuixar l'entrada d'aire pobre al tanc B-6020. Dibuixa correctament la línia aïllada de nitrogen. |
| | | 5- Foc extern. | 1- Sobrepressió. Explosió amb metralla. | 1- KT6120.2 a 50 mbar (tapa d'emergència). | |
| | 2- Pressió alta en canonades. | 1- Línia de recirculació al tanc: Bomba de recirculació (Pmax=9bar). | 1- Intrínsecament segur. PN16. | 1- Línies PN > Pmax | |
| | | 2- Línia d'entrada de producte /càrrega de tancs: - Bomba de càrrega de cisternes (Pmax= 6,2 bar). - Bomba de descàrrega de vaixells (Pmax=12 bar). | 1- Possible fuga de producte per brida PN10. | 1- Seqüència per a la descàrrega de vaixell on: es disposa d'una seqüència on s'inclou tots els finals de carrera de les vàlvules manuals i les automàtiques. | |
| | | 3- Línia d'aire pobre (Pmax=10bar). | 1- Intrínsecament segur. PN10. | 1- Línies PN > Pmax | |

| Element de discussió | Perill | Causes | Conseqüències | Acció | Descripció de l'acció |
|------------------------|---|---|---|---|--|
| | | 4- Expansió tèrmica. | 1- Ruptura de la línia. Fuites. | 1- Y61302.10 tarada a 10 bar. | 1- Revisió al diagrama D-1096, la pressió de tarada de les SV de fons de tanc. |
| | 3- Pressió alta en W-6130. | 1- P-6130: Pmax= 5 bar. - Expansió tèrmica | 1- Intrínsecament segur. PN16 - Possible fuga de producte per brida. | 1- Equips PN > bombes P max 2- Es detecta un tram de volum bloquejable de més de 100L. Instal·lar L.O. en les manuals per evitar més SVs. -un SV s'instal·la a 10 bar | 1- Dibuixar SV en el pla i defineix TAG, també les L.O. |
| 3- Protecció de bombes | 1- P-6130 Bomba centrífuga acoblament magnètic. Acer al carboni | 1- Funcionament en sec: Aspiració tancada o sense producte al tanc. | 1- Possible font d'ignició (tanc inertitzat amb aire pobre) | 1- Disposar la possibilitat d'encendre's localment. 2- El cabalímetre local ha d'estar disponible per a que l'operador que iniciï la bomba - FIS-A-61300 Instrument amb pantalla de camp, senyal d'alarma a panell i enclavament. 3- Manòmetre local PI 61300. | |

| Element de discussió | Perill | Causes | Conseqüències | Acció | Descripció de l'acció |
|----------------------|--|---|--|--|-----------------------|
| | | | | 4- Definir el cabal mínim necessari per activar FIS-A-61300 amb parada de bomba (programar retard per a permetre l'arrancada de la bomba). | |
| | | 2- Bloqueig a la impulsió de la bomba / <i>Dead head</i> | 1- Sobreescalfament. Polimerització del producte. | 1- TIA+S+61300. Si TS+ en el cos de la bomba a 45°C i tanc TIA+ a menys de 33°C, llavors para bomba. Si TIA+ del tanc superior a 33°C, no para bomba (bypass TS + bomba). Instal·lat el mes a prop de la bomba. Instrument de classe D. | |
| | 2- P-6120 Bomba centrífuga tancament mecànic simple. Acer al carboni | 1- Funcionament en sec: Aspiració tancada o sense producte al tanc. | 1- Possible font d'ignició (tanc inertitzat amb aire pobre). | 1- LS-A-61200 a l'aspiració de la bomba. | |
| | | 2- Bloqueig a la impulsió de la bomba / <i>Dead head</i> | 1- Sobreescalfament. Polimerització del producte. | 1- TIA+S+61208. Si TS+ en el cos de la bomba a 45°C i tanc TIA+ a menys de 33°C, llavors para bomba. Si TIA+ del tanc superior a 33°C, no para bomba (bypass TS + bomba). | |

| Element de discussió | Perill | Causes | Conseqüències | Acció | Descripció de l'acció |
|----------------------|---|--|-----------------------|---|---|
| | | | | Instal·lat el mes a prop de la bomba. Instrument de classe D. | |
| 4- Pressió baixa | 1- Baixa pressió en B-6120. Pd=-3,5 mbar | 1- Bomba de càrrega de cisternes i fallada del PC. | 1- Implosió del tanc. | 1- Detecció de fallada del subministrament d'aire pobre. Alarma a panell. | 1- S'han definit 3 kitos al tanc B-6120: - Y61201.20: kito d'operació. - KT6120.1 kito d'emergència. - KT 620.2 tapa de d'emergència. |
| | | | | | 2- Revisar el cabal d'aire pobre al tanc B-6120. S'ha d'assegurar que compensa el buit generat per la bomba P-6120 + efecte venturi del GIN. |
| | | | | 2- KT6120.1 tarat a -3 mbar. | |
| 5- Temperatura alta | 1- Veure polimerització (reacció química) | | | | |

| Element de discussió | Perill | Causes | Conseqüències | Acció | Descripció de l'acció |
|----------------------|-----------------------|---|---|--|-----------------------|
| 6- Temperatura baixa | 1- Temperatura baixa | 1- No hi ha cap risc de seguretat rellevant. | | | |
| 7- Nivell alt | 1- Nivell alt B-6120 | 1- Error humà o fallada del sistema d'instrumentació. | 1- Sobre omplerta del tanc i vessament al cubeto. | 1- Diapasó LS+A+61210 per garantir el volum màxim en el tanc. Actua tancant H6020. | |
| | | | | 2- LIA+S+61200 analògic. Actua tancant H6120 un 10% abans del LS+A+61210. | |
| 8- Nivell baix | 1- Nivell baix B-6120 | 1- Error humà o fallada del sistema d'instrumentació | 1- Veure protecció contra bombes. | 1- LIA-S-61200 analògic para bomba d'enviament a planta P-6120. El <i>trip point</i> ha d'estar per sobre del GIN (assegurar líquid sempre) i per sobre de la línia de buidada del tanc. | |
| 9- Cabal alt | 1- Cabal alt | 1- Fallada en el control de la bomba o instrumentació | 1- Possible font d'ignició per generació d'electricitat estàtica. | 1- Velocitat inferior a 4 m/s en la línia de descàrrega de vaixells cap a la B-6120 i la B-6020. No és rellevant per a la seguretat. | |
| | | | | 2- Velocitat superior a 4 m/s per el GIN. | |

| Element de discussió | Perill | Causes | Conseqüències | Acció | Descripció de l'acció |
|---------------------------------|--|--------------------------------------|--|---|--|
| | | | | 3- L'omplerta i la recirculació es realitzen per la part inferior del dipòsit evitant l'efecte esquitxada ja que sempre estaran inundats. | 1- Dibuixar en P&ID picatge de la línia de recirculació directament en la tubuladura del tanc. |
| 10- Cabal baix - Flux de retorn | 1- Retorn des del B-6120 fins a la línia d'aire pobre. Poc probable. | 1- | 1- | 1- Veure <i>block and bleed</i> D-2140. | |
| | 2- <i>Backflow</i> de B-6120 al vaixell. | 1- Fallada a les bombes del vaixell. | 1- Compensació per vasos comunicants. No hi ha problemes de seguretat rellevants. | 1- Es disposa de vàlvules antiretorn. | |
| | 3- Cabal baix de RESTAB | 1- Bloqueig de línia d'entrada | 1- Polimerització. Augment de temperatura per sobre de T3 sense possibilitat d'addició de RESTAB | 1- Llança Extensió Telescòpica (TEL) per a injecció del RESTAB per afegir RESTAB: - La TEL només s'ampliarà en cas d'activació del RESTAB. - Tub mínim de DN100 dedicat per al RESTAB. - TEL col·locada el més a prop possible de la paret del | |

| Element de discussió | Perill | Causes | Conseqüències | Acció | Descripció de l'acció |
|----------------------|--------|--------|---------------|---|-----------------------|
| | | | | <p>tanc (màxim 1/3 del radi respecte a la paret del tanc).</p> <ul style="list-style-type: none"> - Alçada màxima del dipòsit de 10 m. - Manteniment del TEL màxim cada 2 anys. - No es necessita cap instrumentació addicional en el TEL per assegurar-se que es llança lliure de polímers. - Incloure escenari de sobrepressió mitjançant l'addició de RESTAB per al kito d'emergència KT6120.2. - Identificació a camp dels punts d'adició del RESTAB ben identificat al tanc. - El punt d'aplicació ha d'estar darrere d'una paret de formigó, ha de ser de fàcil accés i ha de presentar un acoblament ràpid tipus "drydis". | |

| Element de discussió | Perill | Causes | Conseqüències | Acció | Descripció de l'acció |
|----------------------|---------------------------------------|------------------------|--|--|-----------------------|
| | | | | <ul style="list-style-type: none"> - Per al RESTAB serà necessari la canonada inoxidable DN50. - Només es permet la connexió de la mànega RESTAB, cap altra mànega. - Els dos carros RESTAB s'emmagatzemaran al magatzem del PTP. | |
| | | 2- Connexió defectuosa | 1- Polimerització. Augment de temperatura per sobre de T3 sense possibilitat d'addició de RESTAB | 1- Veure punt anterior | |
| | | 3- RESTAB en mal estat | 1- Polimerització. Augment de temperatura per sobre de T3 sense possibilitat d'addició de RESTAB | 1- Veure punt anterior | |
| 11- Fuites internes | 1- Fuites internes en intercanviadors | 1- Fuites internes | 1- Acrilat 2-Etil-Hexil va a l'aigua de mar | 1- Bescanviador de titani per garantir la integritat mecànica de l'equip contra la corrosió. | |

| Element de discussió | Perill | Causes | Conseqüències | Acció | Descripció de l'acció |
|-------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|---|--|--|
| | | | | 2- Anàlisi programada de l'aigua de mar per comprovar un possible contingut d'acrilat. | |
| | | | | 3- Càlcul de P x V d'equips per comprovar si cau dins de les inspeccions periòdiques segons REP i programar-les. | |
| | | | | 4- Instal·lació del detector d'acrilat Q61300 a la línia d'aigua de sortida dels bescanviadors. | 1- Discutir amb experts quina es la millor tecnologia aplicable. |
| | 2- Fuita | 1- Corrosió. | 1- | 1- Incloure les vàlvules automàtiques en els polsadors d'emergència. | |
| 12- Pèrdua de serveis públics | 1- Pèrdua de nitrogen | 1- Fallada del subministrament | 1- Pèrdua d'aire pobre. Pèrdua de l'inertització. | 1- SIL3 garanteix la concentració d'O ₂ a l'estació d'aire pobre. | |
| | 1- Pèrdua d'aire de instrumentació | 1- Fallada del subministrament | 1- Pèrdua d'O ₂ . No activació d'inhibidor. Les automàtiques van a posició segura. En el plànol, totes van a tancat. | 1- SIL3 garantint la concentració d'O ₂ a l'estació d'aire pobre. | |

| Element de discussió | Perill | Causes | Conseqüències | Acció | Descripció de l'acció |
|----------------------|--------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|---|-----------------------|
| | 3- Pèrdua d'electricitat | 1- Fallada del subministrament | 1- Impossibilitat de recirculació | 1- Generadors disponibles (2 dies). | |
| | 4- Pèrdua d'aigua de mar | 1- Fallada de la bomba | 1- Impossibilitat de refrigerar. | 1- Adquisició de recanvis pertinents per a assegurar no tindre les bombes fora de servei mes de 2 dies. | |
| | | | | 2- Lloguer d'unitat <i>chiller</i> en parada de propà. | |

4.4 Disseny dels bescanviadors de calor

Per a poder reduir la temperatura del acrilat dintre del tanc, es necessari un sistema eficient de bescanvi de calor que garanteixi que la temperatura no pugi dels 35 °C ja que pot provocar una possible situació de perill que desencadenaria una emergència.

Dintre de la indústria química hi ha un gran tipus de bescanviadors de calor, cadascun amb els seus mètodes de càlcul i els seus avantatges i inconvenients. Els mes emprats son els de tub i carcassa ja que son molt versàtils i son els que tenen un rang mes ampli d'actuació però no son els únics, també n'hi ha de plaques, aerorefrigerants, doble tub etc.

En el cas que s'estudia, els mes adients son els de plaques degut als següents punts:

- Son mes econòmics a l'hora d'utilitzar materials resistents a la corrosió com el titani o l'acer inoxidable.
- El camp d'aplicació es l'adiant amb temperatures i pressions baixes.
- Altes eficiències de fins el 86%.
- Gran flexibilitat a l'hora d'incrementar l'àrea d'intercanvi, desmuntatge per al manteniment, canvi d'aplicació.
- Baix fouling respecte als tradicionals degut a les altes turbulències. Ja que es treballa amb aigua de mar aquest es un factor clau degut a la brutícia del fluid.

Les plaques seran de titani ja que l'aigua de mar es un agent molt corrosiu i les juntes son de fibra de aramida amb aglomerant NBR (Nitril cautxú) de la marca GARLOCK.

4.4.1 Càlcul del calor a extreure per el sistema

Per al càlcul es suposarà el pitjor escenari possible encara que es altament improbable que pugui arribar ja que el llaços de control actuarien abans i mai el tanc pot estar completament ple.

Aquest escenari es quan tenim el tanc al 100% amb una temperatura interior de 34 °C i baixar-la fins a 30°C a ple estiu amb màxima irradiància solar [13] sense aïllant al tanc. Aquest cas no es possible ja que l'acrilat a les parets pot arribar a mes de 60°C i polimeritzar, per aquesta raó es necessari un recobriment al tanc. Un altra suposició es que tota aquesta calor s'ha d'eliminar en un màxim de 8 hores. Per un costat, eliminaria el calor de la irradiància solar i baixaria la temperatura interior en un temps lògic sense que sigui un equip massa sobredimensionat i per l'altre, aquest resultat quadra a escala amb l'exemple de bescanviador de plaques que ara mateix es troba a planta.

Amb aquestes suposicions fetes, trobem els valors de calor a eliminar per el bescanviador:

$$Q_{eliminar} (kJ) = Q_{acrilat tanc} + Q_{radiació} \quad (4.4.1.1)$$

On totes les variables estan en kW. Mencionar que la contribució de la bomba Q_{bomba} es negligible en comparació a les altres dues. Tots els càlculs es troben al Annex A.1.1.

Tot seguit es pot veure a la taula 4.4.1.1 els valors del calor a eliminar per el sistema.

Taula 4.4.1.1. Valors del calor a eliminar per el sistema

| Paràmetre | Bescanviador W-6130 | Bescanviador W-6030 |
|--|---------------------|---------------------|
| Calor del acrilat al tanc de 34 a 30°C $Q_{acrilat\ tanc}$ (kJ) | $7,634 \times 10^6$ | $2,240 \times 10^7$ |
| Calor de la radiació $Q_{radiació}$ (kJ) | $2,121 \times 10^6$ | $3,829 \times 10^6$ |
| Calor a eliminar per el sistema $Q_{eliminar}$ (kJ) | $9,754 \times 10^6$ | $2,623 \times 10^7$ |
| Calor a eliminar per el sistema en 8h (kW) | 339 | 911 |

4.4.2 Paràmetres geomètrics

Es comença amb els paràmetres geomètrics:

$$A \text{ (m}^2\text{)} = A_p \cdot (n - 2) \quad (4.4.2.1)$$

On A es l'àrea del bescanviador en m^2 , n es el número total de plaques al bescanviador i A_p l'àrea efectiva de la placa tenint en compte les corrugacions en m^2 :

$$A_p \text{ (m}^2\text{)} = L_e \cdot W \quad (4.4.2.2)$$

On L_e es la longitud efectiva de les plaques en m i W l'amplada de la placa en m. Normalment aquests valors no son coneguts sinó que els fabricants donen els valors de la distància horitzontal i vertical entre els centres dels ports, VPCD i LPCD respectivament:

$$W \text{ (m)} = VPCD + D + 0.015 \quad (4.4.2.3)$$

$$L_e \text{ (m)} = LPCD - 2D \quad (4.4.2.4)$$

On D es el diàmetre del port en m^2 . A l'equació 4.4.2.4 s'ha fet una aproximació conservadora per a calcular la longitud efectiva ja que les plaques tenen un petita zona de conducció del fluid on la suma es una mica major al diàmetre nominal Fig 4.4.2.1. Com també condueix aquesta zona, s'ha suposat que dues vegades el diàmetres es conservador i aplicable.

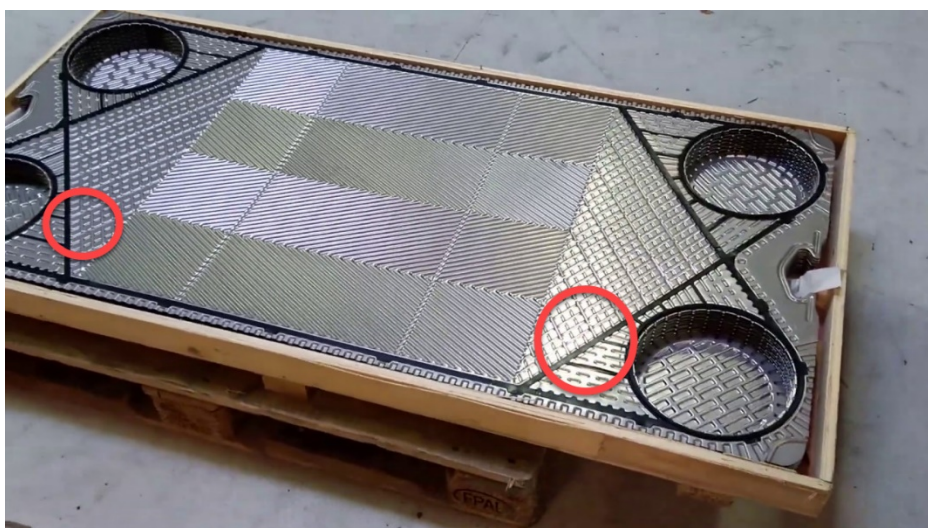


Figura 4.4.2.1. Placa d'un bescanviador de calor. En vermell es pot veure la zona de conducció del fluid a la placa que normalment es mes petit que el diàmetre d'entrada.

Tot seguit es calcula l'àrea de pas per els canals S_C :

$$S_C \text{ (m}^2\text{)} = W \cdot b \quad (4.4.2.5)$$

On b es la separació entre les plaques en m que es calcula amb la següent equació:

$$b \text{ (m)} = P_T - \varepsilon \quad (4.4.2.6)$$

On P_T es el Pitch entre les plaques i ε el gruix de la placa tot en m. Aquesta informació es troba a la fulla de característiques de la placa però al no disposar de la informació del gruix de la mateixa, s'ha estimat el seu valor sent bastant conservadors amb els exemples de bescanviadors de plaques que tenim a planta.

Amb aquests valors, ja es pot calcular el Diàmetre equivalent, un paràmetre d'interès per a calcular el numero de Reynolds:

$$D_e \text{ (m)} = \frac{4 \cdot \text{àrea de pas del canal}}{\text{perímetre mullat}} = \frac{4 \cdot b \cdot W}{2(b+W \cdot \phi)} \quad (4.4.2.7)$$

On ϕ es un valor que per a la majoria de plaques es 1.17.

$$N_c = \frac{n-1}{2} \quad (4.4.2.8)$$

On N_c es el nombre de canals per cada fluid i n el nombre de plaques a l'intercanviador.

Taula 4.4.2.1. Valors dels paràmetres geomètrics dels bescanviadors

| Paràmetre geomètric | Bescanviador W-6130 | Bescanviador W-6030 |
|--|------------------------|------------------------|
| Àrea del bescanviador A (m ²) | 22,12 | 53,84 |
| Numero de plaques n | 50 | 90 |
| Àrea efectiva de la placa A_p (m ²) | 0,461 | 0,612 |
| Longitud efectiva de les plaques L_e (m ²) | 0,968 | 1,064 |
| Amplada de la placa W (m) | 0,476 | 0,576 |
| HPCD (m) | 0,298 | 0,353 |
| LPCD (m) | 1,294 | 1,478 |
| Diàmetre dels ports D (m) | 0,163 | 0,207 |
| Àrea del pas pel canal S_c (m ²) | $1,810 \times 10^{-3}$ | $2,273 \times 10^{-3}$ |
| Separació entre plaques b (m) | $3,800 \times 10^{-3}$ | $3,950 \times 10^{-3}$ |
| Pitch entre plaques P_T (m) | $4,800 \times 10^{-3}$ | $4,950 \times 10^{-3}$ |
| Gruix de la placa ε (m) | 0,001 | 0,001 |
| Diàmetre equivalent D_e (m) | $6,452 \times 10^{-3}$ | $6,713 \times 10^{-3}$ |
| ϕ | 1,170 | 1,170 |
| Nombre de canals N_c | 24,5 | 44,5 |

4.4.3 Càlcul de la transferència de calor

Una vegada ja estan calculats els paràmetres geomètrics, es passa al càlcul dels valors de la transferència de calor:

$$M_c \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) = \frac{M}{N_c} \quad (4.4.3.1)$$

On M_c es el cabal màssic que passa per cada canal i M el cabal màssic que entra a l'intercanviador en $\frac{\text{kg}}{\text{s}}$. Amb el cabal màssic calculat i l'àrea de pas dels canals S_c es troba la velocitat màssica al canal:

$$m \left(\frac{\text{kg}}{\text{s m}^2} \right) = \frac{M_c}{S_c} \quad (4.4.3.2)$$

I amb la velocitat trobem l'últim paràmetre per a calcular el número de Reynolds:

$$Re = \frac{m D_e}{\eta} \quad (4.4.3.3)$$

On η es la viscositat dinàmica del fluid en Pa · s. Amb el Reynolds calculat i amb el diagrama de la figura 4.4.3.1, en funció del angle de corrugació de la placa i del número de Prandtl (equació 4.4.3.4), es pot trobar el número de Nusselt necessari per al coeficient de transferència de calor.

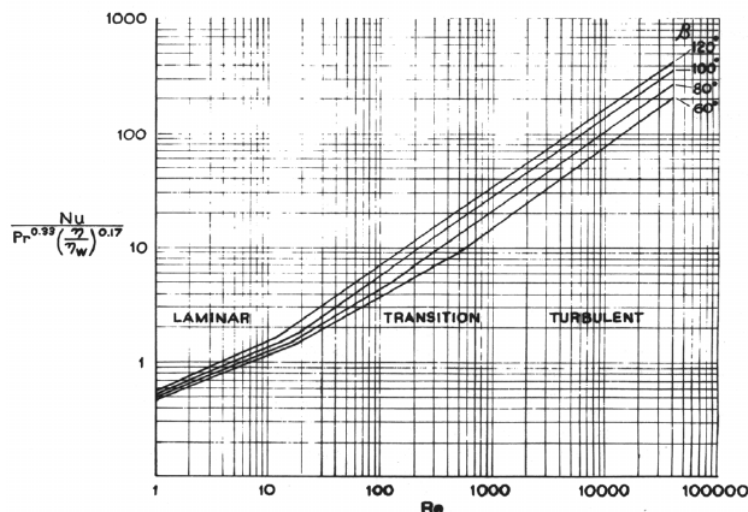


Figura 4.4.3.1. Nombre de Nusselt per a plaques amb corrugació tipus Chevron

$$Pr = \frac{c_p \eta}{k} \tag{4.4.3.4}$$

On c_p es el calor específic del fluid en $\frac{J}{kg K}$ i k es la conductivitat tèrmica en $\frac{W}{m K}$.

Per últim, el paràmetre η_w que es la viscositat dinàmica de l'aigua es pot trobar bibliogràficament [14] i per al rang en el que es treballa val $1,002 \times 10^{-3} Pa \cdot s$.

Amb tot això, s'estima el valor del número de Nusselt amb l'equació 4.4.3.5:

$$Nu = C \cdot Re \cdot Pr^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{\eta}{\eta_w}\right)^{0.17} \tag{4.4.3.5}$$

On C es una constant que es l'eix Y de la gràfica de la figura 4.4.3.1 en funció del Reynolds. A partir d'aquí s'ha treballat amb dos possibles escenaris, un on la corrugació de les plaques es de 60° que implica menor turbulència i transferència de calor però a la vegada una pèrdua de càrrega mes limitada, i l'altre on la corrugació Chevron es de 120° augmentant notablement la turbulència però amb un cost en termes de pèrdua de càrrega elevats.

S'han realitzat tots els càlculs amb els dos bescanviadors i la pèrdua de càrrega amb la corrugació de 120° dona una valors massa elevats e inacceptables, per aquesta raó s'ha calculat tot a partir d'ara amb la de 60° . Un exemple del càlcul es pot trobar a l'annex A.1.7.

Sabent els Nusselt per a cada configuració, només queda trobar els coeficients de transferència de calor:

$$h \left(\frac{W}{m^2K}\right) = \frac{Nu \cdot k}{D_e} \tag{4.4.3.6}$$

Tots aquests càlculs d'aquest apartat es repeteixen per a l'acrilat i per a l'aigua de mar. Una vegada ja calculat tot nomes queda descobrir quin coeficient global de transferència de calor U en $\frac{W}{m^2K}$ tenim a cada bescanviador:

$$\frac{1}{U} \left(\frac{m^2K}{W}\right) = \frac{1}{h_c} + \frac{\varepsilon}{k} + \frac{1}{h_f} + R_{f,c}'' + R_{f,f}'' \tag{4.4.3.7}$$

On h_c es el coeficient de transferència de calor per al fluid calent en $\frac{W}{m^2K}$, h_f per al fred, k es la conductivitat tèrmica de la placa en $\frac{W}{mK}$, $R_{f,c}''$ es la resistència a causa del fouling del fluid calent en $\frac{m^2K}{W}$ i $R_{f,f}''$ per al fred. Aquests valors de fouling es troben a la bibliografia específicament per a plaques.

I per últim, quan ja tenim el coeficient global de transferència de calor, es calcula el calor bescanviat per a saber si el bescanviador esta ben dimensionat o si s'ha de fer alguna variació en els paràmetres. S'ha utilitzat el mètode de la temperatura logarítmica mitjana:

$$\Delta T_{LM} \text{ (K)} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right)} \quad (4.4.3.8)$$

$$\Delta T_1 \text{ (K)} = T_{\text{acrilat entrada}} - T_{\text{aigua sortida}} \quad (4.4.3.9)$$

$$\Delta T_2 \text{ (K)} = T_{\text{acrilat sortida}} - T_{\text{aigua entrada}} \quad (4.4.3.10)$$

$$Q \text{ (W)} = U \cdot A \cdot \Delta T_{LM} \cdot F \quad (4.4.3.11)$$

On Q es la calor bescanviada en W, ΔT_{LM} es la temperatura logarítmica mitjana en K i F es un factor que en bescanviadors amb 50 plaques o mes es considera 1.

Taula 4.4.3.1. Valors dels paràmetres termodinàmics del bescanviador W-6130

| Paràmetres termodinàmics | Costat Acrilat 2 Etil hexil | Costat aigua de mar |
|---|-----------------------------|------------------------|
| Cabal total que entra al HE M ($\frac{\text{kg}}{\text{s}}$) | 42,68 | 29,23 |
| Cabal que passa per cada canal M_c ($\frac{\text{kg}}{\text{s}}$) | 1,742 | 1,193 |
| Velocitat màssica al canal m ($\frac{\text{kg}}{\text{sm}^2}$) | 962,8 | 659,3 |
| Viscositat dinàmica η (Pa s) | $1,502 \times 10^{-3}$ | $1,307 \times 10^{-3}$ |
| Conductivitat tèrmica k ($\frac{\text{W}}{\text{mK}}$) | 0,158 | 0,580 |
| Reynolds Re | 4136 | 3255 |
| Prandtl Pr | 18,53 | 8,706 |
| Capacitat calorífica C_p ($\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$) | 1,984 | 3,863 |
| Nusselt Nu | 116,2 | 73,18 |
| Resistència de fouling ($\frac{\text{m}^2 \text{K}}{\text{W}}$) | $1,7 \times 10^{-5}$ | 3×10^{-4} |
| Coefficient de transferència de calor h ($\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$) | 2843 | 6579 |
| Coefficient global de transferència de calor U ($\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$) | | 1154 |
| Temperatura entrada HE (°C) | 34 | 9 |
| Temperatura sortida HE (°C) | 30 | 12 |
| Temperatura logarítmica mitjana ΔT_{LM} (°C) | | 21,50 |
| Calor bescanviada Q (kW) | | 530 |

Taula 4.4.3.2. Valors dels paràmetres termodinàmics del bescanviador W-6030

| Paràmetres termodinàmics | Costat Acrilat 2 Etil hexil | Costat aigua de mar |
|--|-----------------------------|------------------------|
| Cabal total que entra al HE M ($\frac{\text{kg}}{\text{s}}$) | 115,0 | 78,57 |
| Cabal que passa per cada canal M_c ($\frac{\text{kg}}{\text{s}}$) | 2,579 | 1,766 |
| Velocitat màssica al canal m ($\frac{\text{kg}}{\text{sm}^2}$) | 1135 | 777,0 |
| Viscositat dinàmica η (Pa s) | $1,502 \times 10^{-3}$ | $1,307 \times 10^{-3}$ |
| Conductivitat tèrmica k ($\frac{\text{W}}{\text{mK}}$) | 0,158 | 0,580 |
| Reynolds Re | 5072 | 3991 |
| Prandtl Pr | 18,53 | 8,706 |
| Capacitat calorífica C_p ($\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$) | 1,984 | 3,863 |
| Nusselt Nu | 133,2 | 86,10 |
| Resistència de fouling ($\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$) | $1,7 \times 10^{-5}$ | 3×10^{-4} |
| Coefficient de transferència de calor h ($\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$) | 3132 | 7438 |
| Coefficient global de transferència de calor U ($\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$) | | 1225 |
| Temperatura entrada HE (°C) | 34 | 9 |
| Temperatura sortida HE (°C) | 30 | 12 |
| Temperatura logarítmica mitjana ΔT_{LM} (°C) | | 21,50 |
| Calor bescanviada Q (kW) | | 1418 |

Com es pot visualitzar a les taules 4.4.3.1 i 4.4.3.2 la calor bescanviada als dos equips es major de la necessària, això es degut a que s'ha buscat que sigui aproximadament un 50% mes gran que el necessari per a raons de seguretat i per a possibles expansions del sistema.

4.4.4 Càlcul de la pèrdua de càrrega

Per acabar els càlculs dels bescanviadors es necessària també saber quina pèrdua de càrrega hi ha per a poder realitzar el disseny de les bombes que es veuran a l'apartat 4.5.

La pèrdua de càrrega al bescanviador es divideix en dos parts. La primera es la pèrdua de càrrega dintre dels canals de les plaques i la segona la pèrdua de càrrega als ports a causa de la velocitat.

Per a calcular la pèrdua de càrrega dintre dels canals, es comença buscant el factor de fricció de Fanning en funció del número de Reynolds de cada fluid al diagrama de la figura 4.4.4.1.

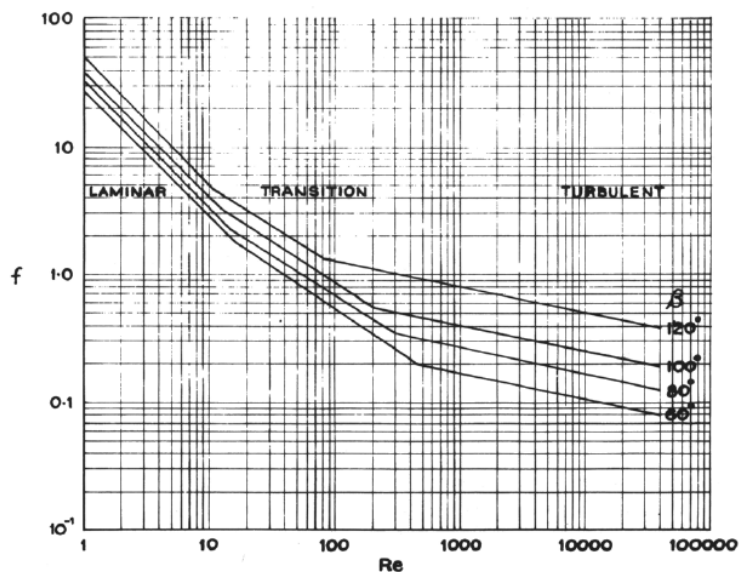


Figura 4.4.4.1. Factor de fricció de Fanning en funció del número de Reynolds per a plaques amb corrugació Chevron.

Que serveix per a l'equació següent:

$$\Delta P_C \text{ (Pa)} = \frac{2 \cdot f \cdot m^2 \cdot L_e N_p}{\rho \cdot D_e} \cdot \left(\frac{\eta}{\eta_w}\right)^{-0.17} \tag{4.4.4.1}$$

On ΔP_C es la pèrdua de càrrega als canals en Pa, f es el factor de fricció de Fanning, L_e es la longitud efectiva de les plaques en m, N_p el número de canals, ρ la densitat del fluid en $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ i D_e el diàmetre equivalent en m.

Normalment aquesta pèrdua es la mes significativa al bescanviador ja que el turbulència generada per el pas de les plaques i la quantitat de les mateixes son molt elevades.

A continuació, per a calcular la pèrdua de càrrega al port, es necessari fer uns càlculs previs:

$$S_p \text{ (m}^2\text{)} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \tag{4.4.4.2}$$

On S_p es l'àrea de pas pel port en m^2 i D el diàmetre del port en m. Amb l'àrea ja es pot calcular la velocitat del fluid pel port V_p :

$$V_p \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right) = \frac{M}{\rho \cdot S_p} \tag{4.4.4.3}$$

On M es el cabal màssic total d'entrada al bescanviador en $\frac{\text{kg}}{\text{s}}$. I finalment es procedeix a trobar la pèrdua de càrrega al port:

$$\Delta P_p \text{ (Pa)} = 1.5 \cdot \frac{V_p^2 \cdot \rho}{2} \tag{4.4.4.4}$$

Que sumant-la amb la pèrdua de càrrega als canals trobem la pèrdua de càrrega total al bescanviador:

$$\Delta P \text{ (Pa)} = \Delta P_C + \Delta P_p \tag{4.4.4.5}$$

Aquests passos es repeteixen per als dos fluids del bescanviador donant els resultats de les taules 4.4.4.1 i 4.4.4.2.

Taula 4.4.4.1. Valors dels paràmetres per a la pèrdua de càrrega del bescanviador W-6130

| Paràmetres per a la pèrdua de càrrega | Costat Acrilat 2 Etil hexil | Costat aigua de mar |
|--|-----------------------------|---------------------|
| Factor de fricció de Fanning f | 0,13 | 0,14 |
| Pèrdua de càrrega als canals ΔP_C (Pa) | $3,572 \times 10^4$ | $1,700 \times 10^4$ |
| Àrea de pas pel port S_p (m ²) | $2,090 \times 10^{-2}$ | |
| Velocitat del fluid pel port V_P ($\frac{m}{s}$) | 2,162 | 1,363 |
| Pèrdua de càrrega al port ΔP_p (Pa) | 3312 | 1429 |
| Pèrdua de càrrega total ΔP (Pa) | $3,903 \times 10^4$ | $1,843 \times 10^4$ |
| Pèrdua de càrrega total ΔP (bar) | 0,400 | 0,184 |

Taula 4.4.4.2. Valors dels paràmetres per a la pèrdua de càrrega del bescanviador W-6030

| Paràmetres per a la pèrdua de càrrega | Costat Acrilat 2 Etil hexil | Costat aigua de mar |
|--|-----------------------------|---------------------|
| Factor de fricció de Fanning f | 0,13 | 0,14 |
| Pèrdua de càrrega als canals ΔP_C (Pa) | $5,239 \times 10^4$ | $2,493 \times 10^4$ |
| Àrea de pas pel port S_p (m ²) | $3,375 \times 10^{-2}$ | |
| Velocitat del fluid pel port V_P ($\frac{m}{s}$) | 3,600 | 2,268 |
| Pèrdua de càrrega al port ΔP_p (Pa) | 9174 | 3959 |
| Pèrdua de càrrega total ΔP (Pa) | $6,156 \times 10^4$ | $2,890 \times 10^4$ |
| Pèrdua de càrrega total ΔP (bar) | 0,616 | 0,290 |

Com es pot observar a les taules, els valors de les pèrdues de càrrega en tots els escenaris es acceptable ja que cap d'ells supera 1 bar de caiguda de pressió i a mes a mes es troba bastant per sota d'aquests valors.

4.4.4.1 Pas simple o 2 passos

Una de les opcions que també s'utilitza en els bescanviadors de calor son els que tenen 2 passos. Aquests normalment son emprats en situacions on hi ha un espai molt reduït o la pèrdua de càrrega es bastant baixa i es pugui utilitzar aquesta configuració.

Per al mateix nombre de plaques, la caiguda de pressió es aproximadament 7 vegades mes elevada amb pas doble respecte al pas simple. Aquests càlculs i resultats es poden trobar al Annex A.1.8.

Amb el resultat del pas doble es pot veure que es superaria bastant la pèrdua de càrrega de 1 bar i a mes a mes l'espai que es disposa es suficientment gran. Per això el pas simple es la millor configuració de bescanviador.

4.4.5 Resultats finals del bescanviador

Una vegada ja fets tots els càlculs i les suposicions, a les taula 4.4.5.1 es pot veure els paràmetres més importants dels bescanviadors.

Taula 4.4.5.1. Resultats finals dels bescanviadors

| Paràmetre | Bescanviador W-6130 | Bescanviador W-6030 |
|--|---------------------|---------------------|
| Àrea del bescanviador A (m ²) | 22,12 | 53,84 |
| Numero de plaques n | 50 | 90 |
| Diàmetre dels ports D | DN 150 | DN 200 |
| Cabal total entrada acrilat ($\frac{\text{kg}}{\text{s}}$) | 42,68 | 114,8 |
| Cabal total entrada aigua mar ($\frac{\text{kg}}{\text{s}}$) | 29,23 | 78,57 |
| Temperatura entrada/sortida acrilat (°C) | 34 / 30 | |
| Temperatura entrada/sortida aigua (°C) | 9 / 12 | |
| Pèrdua de carrega total acrilat/aigua ΔP (bar) | 0,400 / 0,184 | 0,616 / 0,289 |
| Calor bescanviada Q (kW) | 530,0 | 1418 |

4.5 Disseny de les bombes

Per a que els equips funcionin correctament es necessita dissenyar les bombes que generaran el cabal i la pressió necessàries per a vèncer la pèrdua de càrrega de les canonades i dels equips.

En el cas que s'estudia son necessàries 3 bombes, una per al tanc B-6020, un altra per al B-6120 i l'última per al circuit d'aigua de refrigeració.

Per a començar a dissenyar-les, el mes important es que aquestes bombes no cavitin i que s'espantllin. El punt més crític de tota la bomba es just a l'aspiració del rodet (punt A de la figura 4.5.1) ja que es on hi ha la pressió mes baixa de tot el circuit i on si la pressió baixa d'un cert llindar pot igualar-se a la pressió de vapor de l'aigua i crear-se petites bombolles de vapor d'aigua que acabarien amb la vida de la bomba.

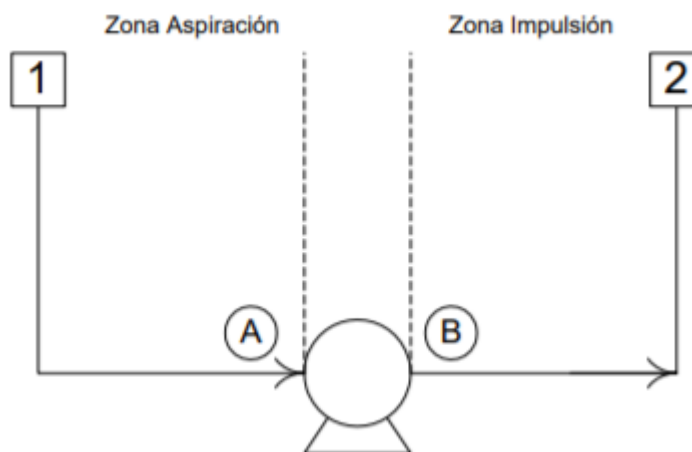


Figura 4.5.1. Representació esquemàtica del circuit de les bombes

Aquest punt crític on el fluid està mes a prop d'arribar a la pressió de vapor es el NSPH disponible (*Net Positive Suction Head*) i es calcula a partir de la equació de Bernoulli:

$$\frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} + Z_1 = \frac{P_A}{\rho \cdot g} + \frac{v_A^2}{2 \cdot g} + Z_A \quad (4.5.1)$$

Ara apliquem fregament, suposem que les velocitats als dos punts es igual, la pressió al punt 1 suposem $P_1 = 0$ Pa i agafem $Z_A = 0$ m:

$$\Delta h_p(\text{m}) = \frac{P_A}{\rho \cdot g} + \Delta h_f - Z_1 \quad (4.5.2)$$

Si suposem que $\Delta h_p = 0$ ja que la bomba no dona energia en el tram 1-A i sabent que el NSPH es:

$$NSPH_{dis} = \frac{P_1 - P_{vap}}{\rho \cdot g} \quad (4.5.3)$$

$$P_{vap}(\text{bar}) = 10^{A - \frac{B}{T}} \quad (4.5.4)$$

Troblem al final, reorganitzant:

$$NSPH_{dis}(\text{m}) = \frac{-P_{vap}}{\rho \cdot g} - \Delta h_f + Z_1 > 0 \quad (4.5.5)$$

On P_1 es la pressió del punt 1 en Pa, P_{vap} la pressió de vapor del líquid a la temperatura de treball en Pa, ρ la densitat en $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, g l'acceleració de la gravetat en $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$, Δh_f la pèrdua de càrrega per fregament a la canonada en m i Z_1 l'altura del punt 1 en m.

Per a resoldre el fregament amb la canonada es pot utilitzar les equacions següents:

$$\Delta h_f(\text{m}) = \Delta h_{f \text{ recte}} + \Delta h_{f \text{ locali}} \quad (4.5.6)$$

$$\Delta h_{f \text{ recte}}(\text{m}) = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (4.5.7)$$

$$\Delta h_{f \text{ locali}}(\text{m}) = K \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (4.5.8)$$

$$v \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right) = \frac{M}{\rho \cdot \pi \cdot \frac{D^2}{4}} \quad (4.5.9)$$

On $\Delta h_{f \text{ recte}}$ es la pèrdua de càrrega deguda als trams de canonada recta en m i $\Delta h_{f \text{ locali}}$ es la pèrdua de càrrega localitzada ocasionada per vàlvules, colzes, entrades i sortides de canonada, contraccions, eixamplaments etc. L es la longitud de la canonada en m, K es una constant que depèn de cada element, v la velocitat del fluid en $\frac{\text{m}}{\text{s}}$, M el cabal màssic en $\frac{\text{kg}}{\text{s}}$, D el diàmetre de la canonada en m i f el factor de fricció de Darcy que es calcula amb la següent equació:

$$f = \frac{0,25}{\left[\log_{10} \left(\frac{k}{3,7} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2} \quad (4.5.10)$$

On k es la rugositat absoluta de la canonada en m, i Re el número de Reynolds que es calcula amb l'equació 4.5.11.

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\eta} \quad (4.5.11)$$

On η es la viscositat dinàmica del fluid en $\text{Pa} \cdot \text{s}$. Amb tota aquesta informació ja es pot calcular el $NSPH_{dis}$ de les tres bombes ja que totes tenen la mateixa configuració de la figura 4.5.1.

A l'hora de fer els càlculs s'observa que en funció del nivell que tingui el tanc, el valor de Z_1 i per tant, la velocitat, pèrdua de càrrega i al final el $NSPH_{dis}$ varien per aquesta raó s'ha de fer un estudi per a veure si el $NSPH_{dis}$ arriba a ser 0 o negatiu. Tots els càlculs es poden trobar a l'Annex A.2.

S'ha suposat que el calor de radiació es sempre el mateix indistintament del nivell del tanc no obstant, el calor a extreure del acrilat si que depèn del nivell Z_1 . Aquesta suma de calors et demanda el cabal necessari que passarà per la bomba i directament la velocitat i la pèrdua de càrrega associada. Dels resultats que es poden extreure a l'Annex A.2 es pot

observar que a qualsevol altura que tingui el nivell del tanc en estat segur el $NSPH_{dis}$ sempre serà positiu.

A la taula 4.5.1 es poden veure tots els resultats de les bombes:

Taula 4.5.1. Valors dels paràmetres i càlculs de les bombes

| Paràmetre | Bomba P-6130 | Bomba P-6030 | Bomba P-6333 |
|--|------------------------|------------------------|------------------------|
| Fluid que circula | Acrilat 2 Etil-Hexil | Acrilat 2 Etil-Hexil | Aigua de mar |
| Altura del punt 1 Z_1 (m) | 1,000 | 1,000 | 4,000 |
| Densitat del fluid ρ ($\frac{kg}{m^3}$) | 945 | 945 | 1000 |
| Acceleració de la gravetat g ($\frac{m}{s^2}$) | | 9,810 | |
| Pressió de vapor P_{vap} (Pa) | 45,35 | 45,35 | 1688 |
| Pèrdua de càrrega en el tram recte $\Delta h_{f\ recte}$ (m) | $2,251 \times 10^{-2}$ | $2,355 \times 10^{-2}$ | 0,241 |
| Pèrdua de càrrega localitzada $\Delta h_{f\ locali}$ (m) | $8,112 \times 10^{-2}$ | $8,823 \times 10^{-2}$ | 1,202 |
| Pèrdua de càrrega total Δh_f (m) | 0,104 | 0,112 | 1,442 |
| Factor de fricció de Darcy f | $1,959 \times 10^{-2}$ | $1,771 \times 10^{-2}$ | $1,383 \times 10^{-2}$ |
| Longitud de la canonada L (m) | 9,000 | 9,000 | 8,000 |
| Diàmetre de la canonada D (m) | 0,163 | 0,213 | 0,213 |
| Velocitat del fluid v ($\frac{m}{s}$) | 0,640 | 0,787 | 3,017 |
| Cabal màssic M ($\frac{kg}{s}$) | 12,62 | 26,55 | 107,8 |
| Rugositat absoluta de la canonada k (m) | $1,500 \times 10^{-6}$ | $1,500 \times 10^{-6}$ | $1,000 \times 10^{-5}$ |
| Número de Reynolds Re | $6,558 \times 10^4$ | $1,055 \times 10^5$ | $4,923 \times 10^5$ |
| Viscositat dinàmica η (Pa · s) | $1,502 \times 10^{-3}$ | $1,502 \times 10^{-3}$ | $1,307 \times 10^{-3}$ |
| $NSPH_{dis}$ (m) | 0,891 | 0,883 | 2,386 |

Com es pot visualitzar a la taula, tots els valors del NSPH son positius fins i tot al nivell mínim que pot tindre el tanc.

4.5.1 Disseny de les bombes P-6130 i P-6030

Tot seguit s'ha de calcular quina es la pèrdua de càrrega des de la impulsió de les bombes a les sortides del GIN per a dimensionar-les. En aquest cas s'ha suposat que el tanc està completament ple amb les mateixes característiques que el dimensionament dels bescanviadors. Amb aquest escenari el cabal i la velocitat del fluid son màximes i conseqüentment la pèrdua de càrrega també es màxima.

Per a trobar la pèrdua de càrrega total es parteix de la equació de Bernouilli (Eq. 4.5.1). Suposem que les velocitats son iguals, les pressions pràcticament iguals també i agafem com a referència l'altura de la bomba a la impulsió. Amb tot això, l'equació quedaria de la següent manera:

$$\Delta h_{pump}(m) = \Delta h_f + Z_2 \quad (4.5.1.1)$$

On Δh_{pump} es l'altura mínima que ha de donar la bomba per a que arribi el fluid, Δh_f es la pèrdua de càrrega total i Z_2 l'altura a la que està el GIN respecte la bomba, tot en m . Z_2 ha de ser forçosament l'altura a la que es troba el GIN ja que ha de treballar sempre amb líquid i no hi hauria d'arribar la fase gas per al seu correcte funcionament. Δh_f es calcula com a les equacions X i X i s'afegeixen les contribucions dels bescanviadors i dels GIN. Com es pot veure a l'equació X. Tots els càlculs es poden trobar als Annexos A.2.1 i A.2.2.

$$\Delta h_f (m) = \Delta h_{f\ recte} + \Delta h_{f\ locali} + \Delta h_{f\ bescanviador} + \Delta h_{f\ GIN} \quad (4.5.1.2)$$

Tot seguit es poden veure els resultats a la taula 4.5.1.1.

Taula 4.5.1.1. Valors de les bombes d'impulsió d'acrilat

| Paràmetres | Bomba P-6130 | Bomba P-6030 |
|--|--------------|--------------|
| Altura del punt 1 Z_2 (m) | 1,000 | 1,000 |
| Longitud de la canonada L (m) | 20,00 | 20,00 |
| Pèrdua de càrrega en el tram recte $\Delta h_{f \text{ recte}}$ (m) | 0,447 | 0,741 |
| Pèrdua de càrrega localitzada $\Delta h_{f \text{ locali}}$ (m) | 0,948 | 1,731 |
| Pèrdua de càrrega del bescanviador $\Delta h_{f \text{ bescanviador}}$ (m) | 4,210 | 6,641 |
| Pèrdua de càrrega del GIN $\Delta h_{f \text{ GIN}}$ (m) | 5,394 | 5,394 |
| Pèrdua de càrrega total Δh_f (m) | 12,00 | 15,51 |
| Cabal màssic M ($\frac{\text{kg}}{\text{s}}$) | 42,68 | 114,8 |

Amb les valors de la pèrdua de càrrega total i el cabal es troben les bombes i els rodets necessaris per a que la bomba funcioni correctament. El mateix passa amb la bomba P-6333.

4.5.2 Disseny de la bomba P-6333

L'última bomba a dissenyar es la de impulsió d'aigua de mar per tot el circuit de refrigeració i que al final la fa tornar a la canonada que descarrega al mar.

En aquest cas, Z_2 i Z_B estan a la mateixa altura i les velocitats i pressions també es suposen iguals als dos punts. Per això l'única contribució de la bomba es superar totes les pèrdues de càrrega de la canonada mes els dos bescanviadors com es poden veure a les equacions 4.5.2.1 i 4.5.2.2. Tots els càlculs es poden trobar a l'Annex A.2.3.

$$\Delta h_{pump}(m) = \Delta h_f \quad (4.5.2.1)$$

$$\Delta h_f (m) = \Delta h_{f \text{ recte}} + \Delta h_{f \text{ locali}} + \Delta h_{f \text{ bescanviador}} \quad (4.5.2.1)$$

Tot seguit es poden veure els resultats a la taula 4.5.2.1.

Taula 4.5.2.1. Valors de la bomba d'aigua de mar P-6333

| Paràmetres | Bomba P-6333 |
|--|--------------|
| Longitud de la canonada L (m) | 380,0 |
| Pèrdua de càrrega en el tram recte $\Delta h_{f \text{ recte}}$ (m) | 10,91 |
| Pèrdua de càrrega localitzada $\Delta h_{f \text{ locali}}$ (m) | 10,21 |
| Pèrdua de càrrega dels bescanviadors $\Delta h_{f \text{ bescanviador}}$ (m) | 4,823 |
| Pèrdua de càrrega total Δh_f (m) | 26,00 |
| Cabal màssic M ($\frac{\text{kg}}{\text{s}}$) | 107,8 |

4.6 Plànol de situació de les línies de refrigeració

Una vegada realitzat els dissenys dels bescanviadors i de les bombes, en aquest apartat es podrà veure la situació de les línies dels sistemes de refrigeració amb els equips a planta amb l'ajuda de l'eina Google Earth [10].

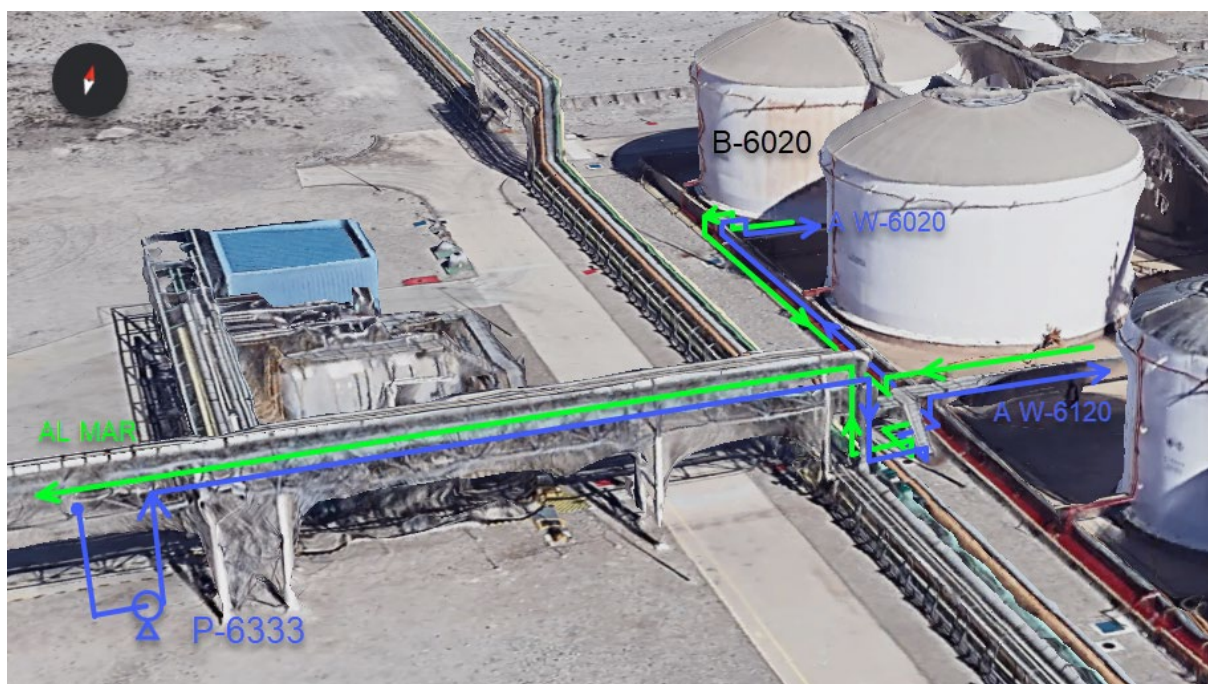


Figura 4.6.1. Circuit d'aigua de refrigeració dels tancs B-6020 i B-6120.

Com es pot veure a la figura 4.6.1 a l'esquerra de tot en blau hi ha un punt on es punxaria la línia d'aigua freda del circuit de propà. D'allà baixaria a la bomba P-6333 on impulsaria l'aigua de mar per el rack situat a uns 5 metres.

Quan arriba al final de tot del rack, baixaria uns 3 metres i seguiria en la mateixa direcció del rack uns 2 metres, giraria a ma esquerra aproximadament 1 metre i després un altra vegada a la dreta passant per sota de les escales d'accés al cubeto dels tancs uns altres 2 metres. Cal destacar que en aquest tram de 3 canonades que es de difícil accés s'implementarien carrets de canonada per si en un futur s'ha de fer manteniment a les canonades o el desmantellament, sigui molt mes fàcil treballar i extreure els elements. A sobre aniria una escala portàtil per al correcte pas dels operaris. S'instal·larien vàlvules de purga als punts mes baixos del sistema

Tot seguit hi hauria una T on una canonada es dirigiria al bescanviador W-6120 (figura 4.6.3) per sota de la passarel·la que hi ha per al personal, aprofitant les suportacions que ja té o si fos necessari, ajudant amb reforços i l'altra part de la canonada seguiria cap al cubeto del B-6020 on hi hauria un petit tram per a superar l'altura del mateix i entraria cap al bescanviador W-6020 (figura 4.6.2).

En el cas de la tornada de l'aigua de mar, que son les canonades en verd, aquestes farien exactament el mateix recorregut en paral·lel que han fet les d'aigua freda però quan arriben a la part esquerra es dirigirien mes a la esquerra per a punxar a la canonada que va cap al mar. Aquest tram es pot veure a la figura 4.6.4.

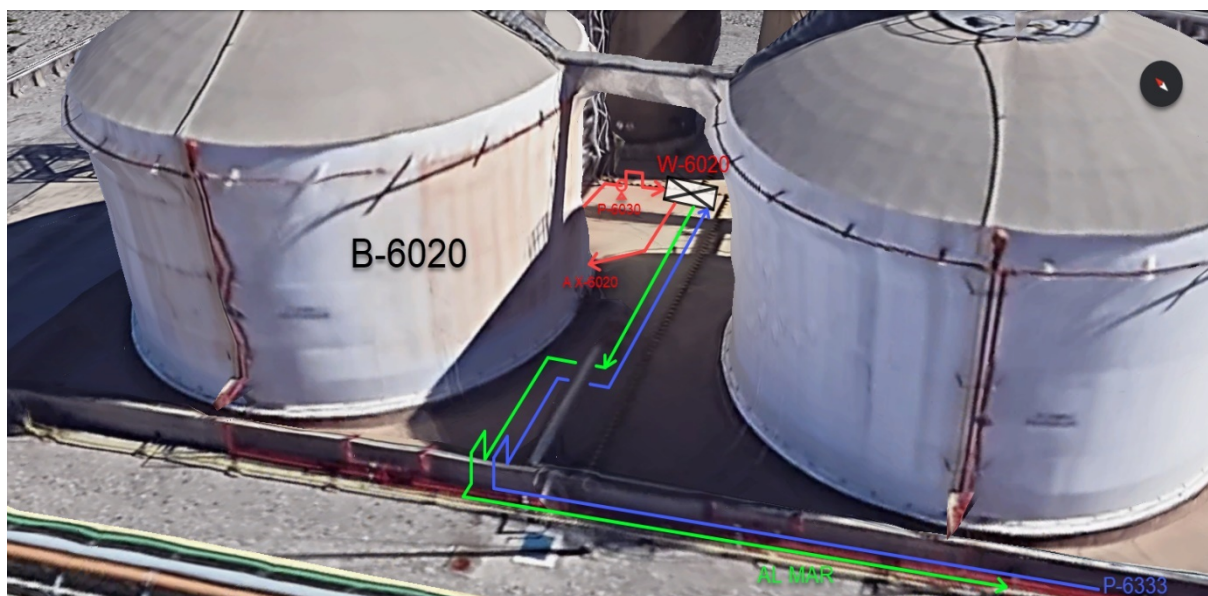


Figura 4.6.2. Circuit d'aigua de refrigeració del tanc B-6020.

Una vegada superat el cubeto del B-6020, la línia d'aigua freda (blava) passa per sota de la canonada d'entrada de producte a camp. Igual que a la zona d'escales de la figura 4.6.1 s'instal·laran carrets per a facilitar el manteniment i passat això es dirigeix directament al bescanviador W-6020. En el cas de la tornada d'aigua de mar (en verd) faria el mateix recorregut en paral·lel i també tindrà un carret a la part per on passa sota la canonada de producte.

El circuit d'acrilat començaria a la part baixa del tanc dirigint-se a la bomba P-6030 on aquesta impulsaria el producte cap al bescanviador W-6020. Una vegada refrigerat, entraria dintre del tanc on es troba el GIN X-6020 que mesclaria uniformement l'acrilat dintre del tanc. A totes les canonades hi haurien escales portàtils per a que els operadors puguin passar.

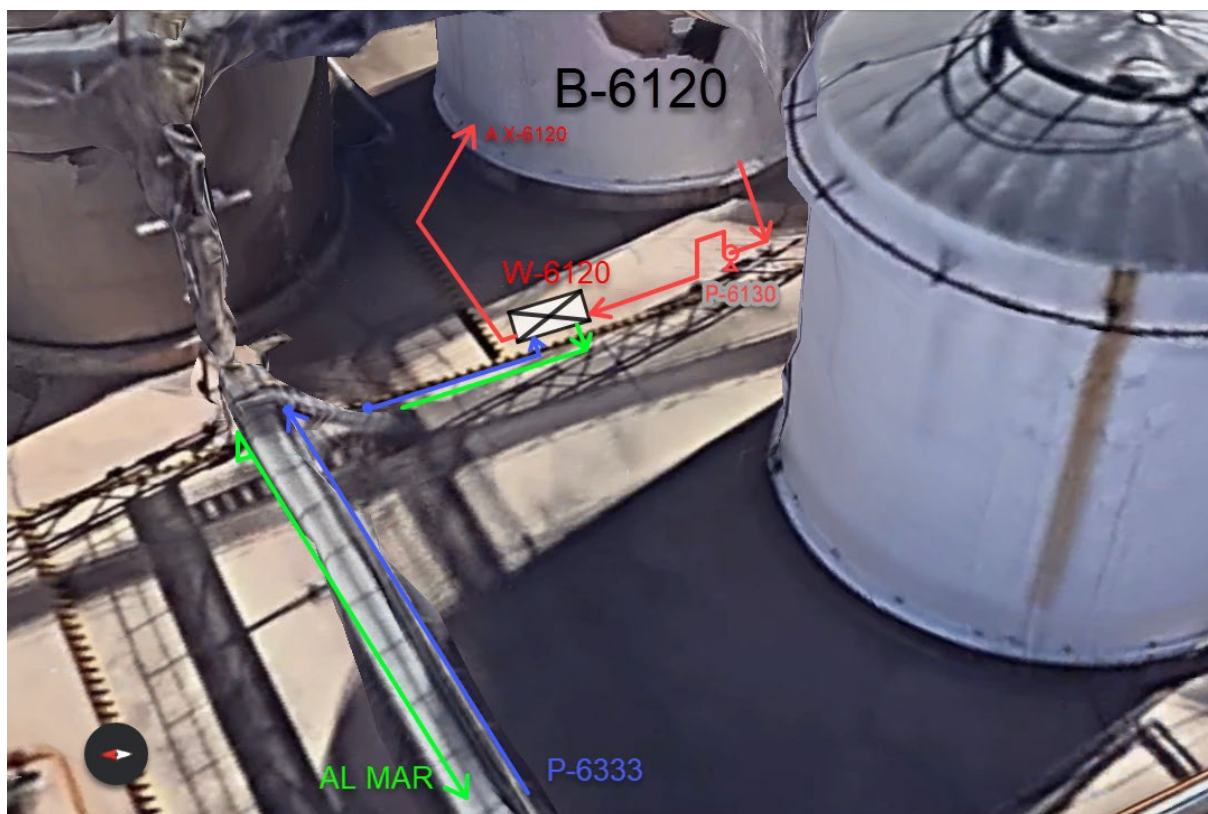


Figura 4.6.3. Circuit d'aigua de refrigeració del tanc B-6120.

Com s'ha explicat anteriorment, les canonades d'aigua freda i la tornada de l'aigua del bescanviador passen per sota de les escales de personal d'accés als cubets encara que a la figura 4.6.3 es representin als costats per a la millor visualització del circuit.

Quan la canonada d'aigua freda arriba al final de les escales, baixa uns 2 metres i es dirigeix cap a la dreta direcció el bescanviador W-6120. La tornada de l'aigua de mar realitza també el mateix recorregut en aquest cas en direcció al rack per anar cap al mar.

El circuit d'acrilat es exactament igual que el del B-6020, surt de la part baixa del B-6020, fa una baioneta i un gir cap a la bomba P-6130 on el producte es impulsat cap al W-6120 i mes tard entra al tanc on l'espera el GIN X-6130 que mescla li refrigera l'acrilat del tanc. A totes les canonades hi haurien escales portàtils per a que els operadors puguin passar.

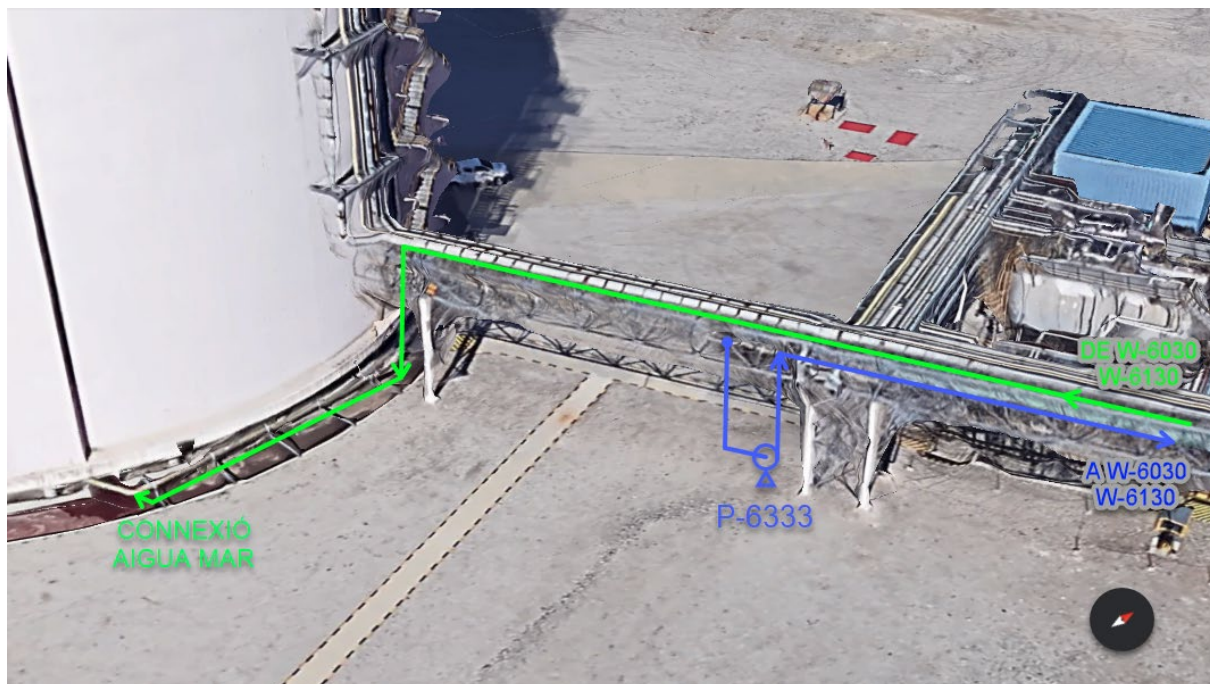


Figura 4.6.4. Connexió de la tornada d'aigua de refrigeració a la canonada d'aigua a mar.

I per últim, l'aigua de mar que ha sortit dels bescanviadors es dirigeix per el rack en paral·lel a la seva homòloga freda fins al final d'aquest on baixaria fins a les suportacions ja existents i abocaria l'aigua a la connexió amb el circuit d'aigua de mar del propà.

Aquest punt on es faria la connexió, igual que tots els punts on es punxa una línia nova a un tanc o una línia ja existent se'n diuen picatges o *tie-in* i estan representats als diagrames amb hexàgons amb un número dintre com es pot veure a l'exemple de la figura 4.6.5:

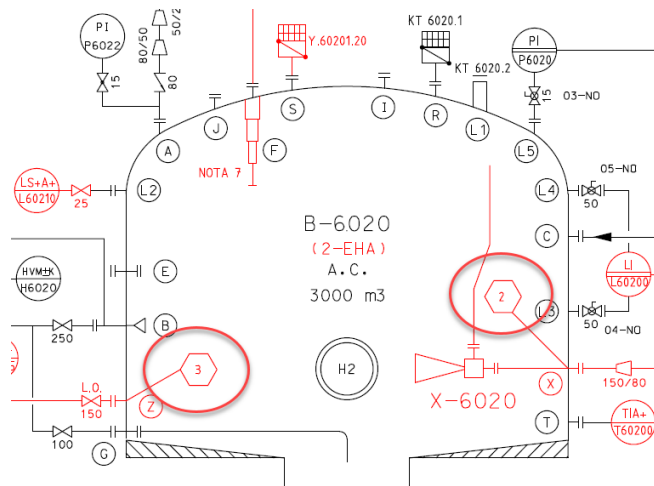


Figura 4.6.5. Exemples de *Tie in* del tanc B-6020 del diagrama D-1099

Les isometries s'ajustaran a camp i les suportacions son ja existents a planta. A la següent taula es poden veure els metres de canonada aproximats necessaris i les seves característiques per a poder implementar el projecte.

Taula 4.6.1. Canonades del sistema de refrigeració

| Paràmetre | Aigua de mar DN 200 | Aigua de mar DN 100 | Refrigeració B-6020 | Refrigeració B-6120 |
|------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Llargada (m) | 300 | 80 | 20 | 20 |
| Diàmetre Nominal | 200 | 150 | 200 | 150 |
| Pressió Nominal | 16 | 16 | 16 | 16 |
| Material | Fibra de vidre | Fibra de vidre | Acer al carboni | Acer al carboni |
| Líquid que conté | Aigua de mar | Aigua de mar | Acrilat | Acrilat |

4.7 Programació

Dissenyades les bombes i els bescanviadors i havent realitzat els HAZOP, es procedeix a fer la descripció funcional de la programació amb l'ajuda de les modificacions fetes als diagrames D-1099 i D-1096.

4.7.1 Seqüència de encesa de la refrigeració del B-6020

Aquesta seqüència comença quan la temperatura T60205 o la T60200 detecta que la temperatura arriba a 22 °C moment en el que s'activa la seqüència. Inicialment la seqüència comprova que tots els equips involucrats estan en automàtic, després s'obren les vàlvules automàtiques H60201, H60202 i T60205 per a deixar el pas tant a l'acrilat com a l'aigua de refrigeració. Amb totes les condicions inicials en OK, es dona permissiu de bomba i s'activen els motors PM-6030 i PM-6333 i les bombes P-6030 i P-6333.

A partir d'aquí fins que les temperatures T60205 i T60200 no baixin fins a 20°C no es pararia la seqüència de recirculació a no ser que:

- El cabalímetre F60300 detecti cabal molt baix.
- L'analitzador Q60300 detecti concentració d'acrilat.
- L'indicador de nivell L60200 detecti nivell baix al tanc.
- La temperatura T60300 detecti temperatura alta.
- La temperatura T60207 detecti temperatura alta.
- Si l'operador ho vol parar per algun motiu en concret.

En qualsevol d'aquests casos es perdria el permissiu de la bomba, es pararia la seqüència i la instal·lació quedaria en mode segur tancant les vàlvules automàtiques H6020, H60202 i H60201, obrint la vàlvula T60205 i aturant el motor PM-6030 i la bomba P-6030.

4.7.2 Seqüència de parada de la refrigeració del B-6020

Aquesta seqüència comença quan les temperatures T60205 o T60200 detectin una temperatura de 20°C o menor o si la seqüència queda aturada per un enclavament en posició segura.

Es perdria el permissiu de la bomba, es pararia la seqüència i la instal·lació quedaria en mode segur tancant les vàlvules automàtiques H6020, H60202 i H60201, obrint la vàlvula T60205 i aturant el motor PM-6030 i la bomba P-6030.

4.7.3 Enclavaments del tanc B-6020

Aquests son els mètodes de seguretat que s'activarien en cas de que algun equip corri algun risc o si pot haver perill de *runaway*.

4.7.3.1 Temperatura molt alta al tanc

A $T=40^{\circ}\text{C}$ els operadors es prepararien per a l'addició de RESTAB, però anirien controlant la temperatura. En cas que la tendència segueixi en augment farien l'addició del sistema RESTAB X-6030 per a neutralitzar tot el contingut interior i eliminar qualsevol tipus de risc. S'activaria la seqüència de encesa de la refrigeració (si no esta activada ja) per a que ajudi al RESTAB a mesclar-se uniformement dintre del tanc. També s'activaria el sistema de *sprinklers* contra incendis per a refrigerar al màxim el tanc i ajudar amb la tasca de neutralització.

4.7.3.2 Nivell molt alt al tanc

Quan el nivell L60210 detecta líquid s'activa la alarma de nivell molt alt a panell i es para el motor PM-6020 i la bomba P-6020 i la automàtica H6020 tanca.

4.7.3.3 Nivell molt baix al tanc

Si el nivell L60200 detecta nivell molt baix al tanc, s'envia alarma de nivell molt baix a panell i s'enclava el motor PM-6020 i la bomba P-6020 i la automàtica H6020 tanca. Si el sistema de refrigeració està actiu, s'activa la seqüència de parada de la refrigeració per a no fer efecte difusor d'acrilat a la càmera de gas del tanc.

4.7.3.4 Cabal molt baix a la impulsió de la P-6030

Si el cabalímetre F60300 detecta un cabal molt baix, s'activa seqüència de parada del sistema de refrigeració.

4.7.3.5 Pressió molt alta a la impulsió de la P-6030

En aquest cas la vàlvula de seguretat Y.60302.10 dispararia i alliberaria pressió en el tram d'entrada directa al tanc B-6020.

4.7.3.6 Concentració elevada d'acrilat al circuit de refrigeració

Quan el analitzador Q60300 detecta una concentració elevada d'acrilat en el circuit de refrigeració, s'envia alarma crítica de concentració alta d'acrilat en el circuit de refrigeració a panell i l'operador hauria d'aturar la seqüència de recirculació i anar a camp i aïllar el bescanviador. L'operador eliminaria l'automatisme de la seqüència de activació del sistema de refrigeració.

4.7.4 Seqüència de encesa de la refrigeració del B-6120

Aquesta seqüència comença quan la temperatura T61205 o la T61200 detecta que la temperatura arriba a 22°C moment en el que s'activa la seqüència. Inicialment la seqüència comprova que tots els equips involucrats estan en automàtic, després s'obren les vàlvules automàtiques H61201, H61202 i T61205 per a deixar el pas tant a l'acrilat com a l'aigua de refrigeració. Amb totes les condicions inicials en OK, es dona permissiu de bomba i s'activen els motors PM-6130 i PM-6333 i les bombes P-6130 i P-6333.

A partir d'aquí fins que les temperatures T61205 i T61200 no baixin fins a 20°C no es pararia la seqüència de recirculació a no ser que:

- El cabalímetre F61300 detecti cabal molt baix.
- L'analitzador Q61300 detecti concentració d'acrilat.
- L'indicador de nivell L61200 detecti nivell baix al tanc.
- La temperatura T61300 detecti temperatura alta.
- La temperatura T61207 detecti temperatura alta.

- Si l'operador ho vol parar per algun motiu en concret.

En qualsevol d'aquests casos es perdria el permissiu de la bomba, es pararia la seqüència i la instal·lació quedaria en mode segur tancant les vàlvules automàtiques H6120, H61202 i H61201, obrint la vàlvula T61205 i aturant el motor PM-6130 i la bomba P-6130.

4.7.5 Seqüència de parada de la refrigeració del B-6120

Aquesta seqüència comença quan les temperatures T61205 o T61200 detectin una temperatura de 20°C o menor o si la seqüència queda aturada per un enclavament en posició segura.

Es perdria el permissiu de la bomba, es pararia la seqüència i la instal·lació quedaria en mode segur tancant les vàlvules automàtiques H6120, H61202 i H61201, obrint la vàlvula T61205 i aturant el motor PM-6130 i la bomba P-6130.

4.7.6 Enclavaments del tanc B-6120

Aquests son els mètodes de seguretat que s'activarien en cas de que algun equip corri algun risc o si pot haver perill de *runaway*.

4.7.6.1 Temperatura molt alta al tanc

A $T=40^{\circ}\text{C}$ els operadors es prepararien per a l'addició de RESTAB, però anirien controlant la temperatura. En cas que la tendència segueixi en augment farien l'addició del sistema RESTAB X-6130 per a neutralitzar tot el contingut interior i eliminar qualsevol tipus de risc. S'activaria la seqüència de encesa de la refrigeració (si no esta activada ja) per a que ajudi al RESTAB a mesclar-se uniformement dintre del tanc. També s'activaria el sistema de *sprinklers* contra incendis per a refrigerar al màxim el tanc i ajudar amb la tasca de neutralització.

4.7.6.2 Nivell molt alt al tanc

Quan el nivell L61210 detecta líquid s'activa la alarma de nivell molt alt a panell i es para el motor PM-6120 i la bomba P-6120 i la automàtica H6120 tanca.

4.7.6.3 Nivell molt baix al tanc

Si el nivell L61200 detecta nivell molt baix al tanc, s'envia alarma de nivell molt baix a panell i s'enclava el motor PM-6120 i la bomba P-6120 i la automàtica H6120 tanca. Si el sistema de refrigeració està actiu, s'activa la seqüència de parada de la refrigeració per a no fer efecte difusor d'acrilat a la càmera de gas del tanc.

4.7.6.4 Cabal molt baix a la impulsió de la P-6130

Si el cabalímetre F61300 detecta un cabal molt baix, s'activa seqüència de parada del sistema de refrigeració.

4.7.6.5 Pressió molt alta a la impulsió de la P-6130

En aquest cas la vàlvula de seguretat Y.61302.10 dispararia i alliberaria pressió en el tram d'entrada directa al tanc B-6120.

4.7.6.6 Concentració elevada d'acrilat al circuit de refrigeració

Quan el analitzador Q61300 detecta una concentració elevada d'acrilat en el circuit de refrigeració, s'envia alarma crítica de concentració alta d'acrilat en el circuit de refrigeració a panell i l'operador hauria d'aturar la seqüència de recirculació i anar a camp i aïllar el

bescanviador. L'operador eliminaria l'automatisme de la seqüència de activació del sistema de refrigeració.

4.8 Disseny del dipòsit a pressió B-4401

En l'emmagatzemament del acrilat en els tancs es necessari una atmosfera inerta lliure d'agents oxidants que pugui ocasionar alguna reacció o combustió que doni a la polimerització però a la vegada també ha d'activar la Metil-Hidroquinona, l'inhibidor que ajuda a que la reacció de polimerització no es doni a terme.

L'agent activant del inhibidor es l'oxigen però ha d'estar en unes concentracions per sota del límit d'explosivitat per a que no hi hagi cap risc d'ignició i explosió. Per a aquesta raó, s'ha fet el disseny d'un tanc d'aire pobre, un gas de nitrogen amb entre un 5-8% d'oxigen, per al correcte funcionament de les mesures de seguretat i procés.

4.8.1 Inspecció i proves oficials

El parc de tancs del port està classificat dintre del grup de refineries de petroli i plantes químiques de la Instrucció Tècnica Complementaria (ITC EP-3) del Reial Decret 2060/2008 del 12 de desembre per el que s'aprova el Reglament de equips a pressió i les instruccions complementàries [2].

Per a saber quines inspeccions i proves oficials s'han de aplicar al dipòsit a pressió, primer s'han de calcular els paràmetres del potencial de risc i saber les característiques del fluid.

4.8.1.1 Potencial de risc

El potencial de risc es una classificació que es dona als equips a pressió que es defineix com el producte de la pressió de disseny en bar per el volum del tanc en m³ segons el Article 3 del capítol II del ITC [2]:

$$\text{Potencial de risc (bar} \cdot \text{m}^3) = \text{Pressió (bar)} \cdot \text{Volum (m}^3) \quad (4.8.1.1.1)$$

$$\text{Potencial de risc (bar} \cdot \text{m}^3) = 10 \text{ bar} \cdot 4 \text{ m}^3 = 40 \text{ bar} \cdot \text{m}^3 \quad (4.8.1.1.2)$$

Taula 4.8.1.1.1. Potencial al que pertanyen els equips a pressió en funció del potencial de risc

| Potencial | Potencial de risc |
|-----------|-------------------------------------|
| 1 | Major o igual a 1000 |
| 2 | Major o igual a 300 i menor de 1000 |
| 3 | Major o igual a 25 i menor de 300 |
| 4 | Major o igual a 10 i menor a 25 |
| 5 | Menor de 10 |

En el cas que s'estudia, el potencial de risc es de 40 i cauria dintre del potencial de 3.

4.8.1.2 Característica del fluid

Com el seu nom indica son les característiques semblants al fluid en el que s'opera al tanc a pressió. Es classifiquen segons la taula 4.8.1.2.1 que es pot trobar també al Article 3 del capítol II del ITC [2]:

Taula 4.8.1.2.1. Grup al que pertanyen els equips a pressió en funció de les característiques del fluid.

| Grup | Característica del fluid |
|------|---|
| 1.1 | Fluids inflamables en forma de vapors, líquids, gasos i mescles dels mateixos, a una temperatura màxima de treball de 200 °C o més; gasos o líquids classificats com a molt tòxics i hidrogen a qualsevol temperatura en concentracions superiors al 75% per volum. |
| 1.2 | Altres fluids perillosos inclosos en el grup 1 de l'article 9 del Reial decret 769/1999, de 7 de maig i que no estan classificats en el grup anterior. |
| 2.1 | Gasos no perillosos inclosos en el grup 2 de l'article 9 del Reial decret 769/1999, de 7 de maig (vapor d'aigua, gasos inerts, inofensius, aire,...) |
| 2.2 | Altres fluids no perillosos que no estiguin classificats en el grup anterior. |

La característica del fluid seria la 2.1. Una vegada es tenen aquests valors es pot veure a la figura 4.8.1.2.1 extret del Article 3 del capítol II del ITC [2] a quina classe pertanyeria el dipòsit i amb això veure quines inspeccions serien necessàries i amb quina periodicitat.

| Potencial de riesgo | Características de los fluidos | | | |
|---------------------|--------------------------------|---------|---------|---------|
| | 1.1 | 1.2 | 2.1 | 2.2 |
| 1 | Clase 1 | Clase 1 | Clase 1 | Clase 2 |
| 2 | Clase 1 | Clase 2 | Clase 2 | Clase 3 |
| 3 | Clase 2 | Clase 3 | Clase 3 | Clase 4 |
| 4 | Clase 3 | Clase 4 | Clase 4 | Clase 5 |
| 5 | Clase 4 | Clase 5 | Clase 5 | Clase 5 |

Figura 4.8.1.2.1. Classe dels equips a pressió en funció del potencial de risc i les característiques del fluid

Com es pot veure a la figura 4.8.1.2.1, el dipòsit entraria dintre de la classe 3.

Amb aquesta informació es va al punt 2 del article 6 del capítol III del ITC on surt la taula que et marca la periodicitat i el nivell de les inspeccions en funció de la classe d'equip a pressió com es pot veure a la següent figura:

| AGENTE Y PERIODICIDAD DE LAS INSPECCIONES PERIÓDICAS DE RECIPIENTES | | | |
|---|-----------------------------|-----------------------------|---------------|
| Clasificación del recipiente (art. 3.3) | Nivel de inspección (Anexo) | | |
| | A | B | C |
| Clase 1 | Inspector propio 4 años | O.C.A.6 años | O.C.A.12 años |
| Clase 2 | Inspector propio 4 años | O.C.A.8 años | O.C.A.16 años |
| Clase 3 | Inspector propio 6 años | Inspector propio (*)10 años | No requiere |
| Clase 4 | Inspector propio 6 años | Inspector propio 12 años | No requiere |
| Clase 5 | Inspector propio 8 años | No requiere | No requiere |

Figura 4.8.1.2.2. Agent i periodicitat de les inspeccions periòdiques dels recipients a pressió. (*) En el cas d'equips especials, les inspeccions de nivell 3 B es realitzaran per O.C.A (Organismo de Control Autorizado).

En el cas d'una classe 3, s'han de realitzar inspeccions tipus A cada 6 anys, de tipus B cada 10 anys i les revisions tipus C no son necessàries. Aquests tipus de revisions es redacten mes avall tal i com diu l'Annex del ITC:

- Nivell d'inspecció A: A mes a mes de l'annex III del Reglament d'Equips a Pressió, es realitzarà una revisió dels espessors mitjançant ultrasons i/o qualsevol prova no destructiva que es consideri necessària.
- Nivell d'inspecció B: Consistirà en almenys una inspecció visual interna completa i una comprovació de gruix de totes les parts sota pressió. Si d'aquesta inspecció en resulten motius raonables per a un major control, s'aplicaran les proves no destructives que es considerin necessàries. Quan una inspecció interna no es pugui dur a terme per impossibilitat física o raons tècniques justificables, serà substituïda per els assajos no destructius necessaris garantint una seguretat equivalent o per una prova de pressió.
- Nivell d'inspecció C: Prova de pressió hidrostàtica.

4.8.2 Disseny del dipòsit

El volum d'aquest tanc ens ve donat per la demanda d'acrilat diària prevista per l'empresa per als dos tancs que generarà una demanda d'aire pobre que es preveu que ha de ser de 4 m³. Aquest tanc opera a 3,5 barg i està assegurat a 10 bar amb una vàlvula de seguretat tarada a aquesta pressió.

Degut a que no treballa a pressions molt elevades, els capçals tindran forma el·lipsoidal 2:1 amb una altura 4 vegades menor al diàmetre del tanc i l'altura del tanc serà aproximadament 2,5 vegades el diàmetre del mateix tot això basant-nos en exemples que disposem a planta.

Amb aquestes suposicions i segons la normativa ASME secció VIII Divisió I UG-27 [5], es procedeix a fer el disseny del dipòsit indicant espessors requerits de la carcassa i dels capçals per pressió interna i el pes del equip en total.

A la figura 4.8.2.1 es pot veure una representació del dipòsit amb les seves variables:

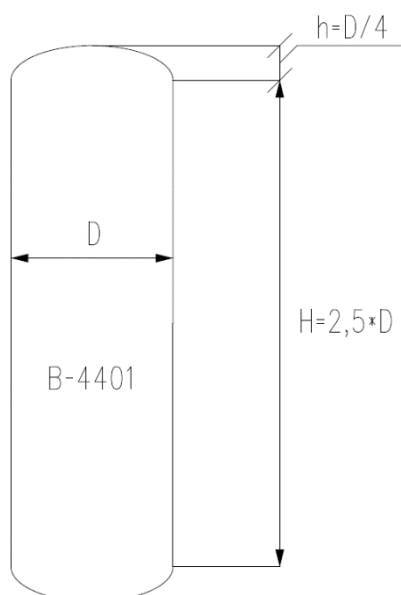


Figura 4.8.2.1. Diagrama del dipòsit amb les especificacions comentades anteriorment

Com es pot veure a la figura 4.8.2.1 el dipòsit es pot separar en un cilindre i dos meitats d'un el·lipsoide 2:1 com els de les equacions següents:

$$V_{total} (m^3) = V_{cilindre} + V_{elipsoide\ 2:1} \quad (4.8.2.1)$$

$$V_{cilindre} (m^3) = \pi \cdot R^2 \cdot H \quad (4.8.2.2)$$

$$D (m) = 2 \cdot R \quad (4.8.2.3)$$

$$V_{elipsoide\ 2:1} (m^3) = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot altura \cdot llargada \cdot amplada \quad (4.8.2.4)$$

On R es el radi del cilindre en m. En el cas del volum de la el·lipsoide, la llargada i l'amplada son iguals al radi del cilindre i l'altura h es $\frac{D}{4} = \frac{R}{2}$. També s'imposa que l'altura H sigui aproximadament unes 2,5 vegades el diàmetre del tanc degut a un exemple que es troba a camp.

$$V_{elipsoide\ 2:1} (m^3) = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot \frac{r}{2} \cdot R^2 = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot R^3 \quad (4.8.2.5)$$

$$H (m) = 2,5 \cdot D = 5 \cdot R \quad (4.8.2.6)$$

Al final arreglant les equacions quedaria:

$$V_{total} (m^3) = (5\pi + \frac{2}{3}\pi) \cdot R^3 \quad (4.8.2.7)$$

$$R(m) = \sqrt[3]{\frac{V_{total}}{(5\pi + \frac{2}{3}\pi)}} \quad (4.8.2.8)$$

Sabent que el volum total del dipòsit ha de ser d'uns 4 m³ gràcies a les dades que es poden extreure de planta i del estudi previ fet a BASF, es troben els valors dels paràmetres geomètrics que es poden visualitzar més avall a la taula 4.8.2.1. Tot seguit, es calcula l'espessor mínim requerit seguint el codi ASME, Secció VIII, Divisió 1 [5]. Per els càlculs que venen a continuació, es fan servir mesures en sistema imperial ja que son equacions del codi ASME, però els resultats que es donaran al final es ja amb la conversió feta [12].

Dintre del codi, el paràgraf UG-27 narra que s'han de calcular els espessors segons esforços longitudinals e_{lon} (in) i circumferencials e_{cir} (in) i veure quin dels dos es mes restrictiu, es a dir, quin dels dos necessita un espessor més gran.

$$e_{cir} (in) = \frac{P \cdot R}{S \cdot E - 0,6 \cdot P} \quad (4.8.2.9)$$

$$e_{lon} (in) = \frac{P \cdot R}{2 \cdot S \cdot E + 0,4 \cdot P} \quad (4.8.2.10)$$

On P es la pressió de disseny en psi, R el radi interior del dipòsit en in, S l'esforç admissible del material del recipient en psi que es calcula amb l'equació 4.8.2.11 i E l'eficiència de la junta on aquest valor es pot trobar a la taula UW-12 del codi ASME, Secció VIII [5]. Per al cas que s'estudia, aquest valor val 1 ja que l'equip es nou i està completament radiografiat i les juntes tindran doble cordó de soldadura amb junta a tope.

$$S (psi) = \frac{\sigma_e}{1,5} \quad (4.8.2.11)$$

On σ_e es el límit elàstic del material en psi [8].

També s'ha de calcular quin serà l'espessor necessari als capçals el·lipsoidals 2:1 que, per a aquest cas es calculen gràcies a l'equació 4.8.2.12.

$$e_{cap} (in) = \frac{P \cdot D}{2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P} \quad (4.8.2.12)$$

On D es el diàmetre interior del capçal el·lipsoidal que coincideix amb el diàmetre del dipòsit en in.

Per últim es suma la contribució de la possible corrosió que pot tindre el dipòsit que, al ser aire pobre, no es exacerbada. Per aquest exemple amb $\frac{1}{16}$ de in n'hi ha mes que suficient (aproximadament 1,5 mil·límetres).

$$e \text{ (in)} = e_{\text{restrictiu}} + e_{\text{corrosió}} \quad (4.8.2.13)$$

Una vegada es té l'espessor mínim necessari $e \text{ (in)}$, es busca el següent espessor comercial més alt per al disseny final. Tots els càlculs es poden veure al annex A.3 i els resultats a la taula 4.8.2.1.

Taula 4.8.2.1. Valors dels paràmetres geomètrics i espessors del B-4401

| Paràmetre | B-4401 |
|--|------------------------|
| Altura del cilindre H (m) | 3,040 |
| Diàmetre del dipòsit D (m) | 1,216 |
| Radi del dipòsit R (m) | 0,608 |
| Volum total del dipòsit V_{total} (m ³) | 4,000 |
| Pressió de disseny P (bar) | 10,00 |
| Esforç admissible del acer S (bar) | 2620 |
| Límit elàstic del acer σ_e (bar) | 3930 |
| Espessor circumferencial e_{cir} (m) | $2,406 \times 10^{-3}$ |
| Espessor longitudinal e_{lon} (m) | $1,200 \times 10^{-3}$ |
| Espessor dels capçals e_{cap} (m) | $2,401 \times 10^{-3}$ |
| Espessor de la corrosió e_{corrosio} (m) | $1,588 \times 10^{-3}$ |
| Espessor mínim dipòsit e (m) | $4,000 \times 10^{-3}$ |
| Espessor final dipòsit e_{final} (m) | $6,350 \times 10^{-3}$ |

Per últim es calcula el pes del dipòsit buit i del dipòsit ple d'aigua necessaris per als suports i la cimentació necessària. Aquests càlculs no s'han realitzat ja que no entren en l'abast del projecte i perquè s'encarrega el departament de *construction*.

$$W_{\text{buit}} \text{ (kg)} = 1,2 \cdot \rho_{\text{acer}} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot H \cdot \left[(D + 2 \cdot e_{\text{final}})^2 - (D)^2 \right] + W_{\text{capçals}} \quad (4.8.2.14)$$

$$W_{\text{capçals}} \text{ (kg)} = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot [(R + e_{\text{final}})^3 - (R)^3] \cdot \rho_{\text{acer}} \quad (4.8.2.15)$$

$$W_{\text{aigua}} \text{ (kg)} = \rho_{\text{aigua}} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot H \cdot (D)^2 \quad (4.8.2.16)$$

$$W_{\text{total}} \text{ (kg)} = W_{\text{buit}} + W_{\text{aigua}} \quad (4.8.2.17)$$

On W_{buit} es el pes del recipient buit en kg, ρ_{acer} la densitat de l'acer en $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ [9], $W_{\text{capçals}}$ el pes dels dos capçals en kg, ρ_{aigua} la densitat de l'aigua en $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ i W_{total} el pes total del recipient ple d'aigua en kg.

Taula 4.8.2.2. Valors del dipòsit B-4401

| Paràmetre | B-4401 |
|--|--------|
| Densitat de l'acer ρ_{acer} ($\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$) | 7850 |
| Densitat de l'aigua ρ_{aigua} ($\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$) | 1000 |
| Pes del dipòsit buit W_{buit} (kg) | 932,1 |
| Pes dels capçals $W_{\text{capçals}}$ (kg) | 234,0 |
| Pes de l'aigua del dipòsit W_{aigua} (kg) | 4000 |
| Pes total del dipòsit amb aigua W_{total} (kg) | 4932 |

5 Manteniment

En aquest apartat es parlarà només del manteniment que es realitzarà als equips i instruments crítics o els més importants. Tots els altres també tindran plans de manteniment preventius de revisions i inspeccions en funció de la naturalesa de cadascú.

Per al llaç Z del diagrama D-2140, es realitzarà un pla preventiu de periodicitat anual on es revisaran tant els elements primaris (que són els nivells, temperatures, pressions) com els elements secundaris (vàlvules, motors) i es faran simulacions per a comprovar que tots els elements treballen adequadament (si la vàlvula tanca o obre, si s'envia la alarma, etc).

Per als instruments amb llaç D marcats als diagrames D-1096 i D-1099, també es realitzaran els mateixos plans de manteniment preventius anuals amb les mateixes revisions que el llaç Z.

En el cas de les tres bombes es tindran els recanvis necessaris de totes les peces i estan codificades per a que si sorgeix qualsevol problema, es puguin reparar en un termini d'entre 1 o 2 dies com a màxim. Amb això s'estalvia doblar les tres bombes i tots els costos de línies, vàlvules i manteniment.

6 Conclusions

S'ha realitzat l'adaptació dels dos tancs per a l'emmagatzemament de l'acrilat 2-Etil-Hexil amb el dimensionament d'un sistema de refrigeració independent per a cada tanc complint amb les condicions de seguretat específiques donades per els HAZOP realitzats. Amb aquests, s'han fet els diagrames de planta mostrant els equips amb la instrumentació i els sistemes de seguretat.

S'han dimensionat els bescanviadors de calor W-6020 i W-6120 necessaris per a cada tanc sabent que el de tipus plaques de titani es el més adient per a aquesta tasca. També s'han calculat les àrees totals dels dos, el número de plaques, els diàmetres dels ports, el cabals màxims d'acrilat i d'aigua que entren, les temperatures d'entrada i de sortida, la pèrdua de càrrega deguda a cada fluid i la calor total bescanviada.

Gràcies als cabals trobats a l'apartat anterior, s'han dissenyat les tres bombes centrífugues dels sistemes de refrigeració sabent que a màxims cabals cap d'ella cavitaria i sabent la pressió necessària que han d'impulsar per a superar totes les pèrdues de càrrega del sistema de refrigeració sumant bescanviadors, canonades i elements com colzes, vàlvules etc.

S'ha fet un esquema isomètric de per on passarien les canonades del sistema d'aigua de refrigeració dintre dels cubetsos i una estimació dels metres necessaris de canonades de cada tipus a implementar.

També s'ha dissenyat el recipient a pressió d'aire pobre seguint el codi ASME, Secció VIII, Divisió 1. S'ha trobat quines són les dimensions com l'altura, el diàmetre i l'espessor necessari per a poder aguantar les pressions demandades així com el pes del mateix recipient buit i omplert amb aigua.

S'ha fet la programació dels sistemes de refrigeració dels tancs B-6020 i B-6120. Aquesta programació compren des de els sistemes d'arrancada i de parada de les bombes i vàlvules com els enclavaments de seguretat que prèviament s'han comentat als HAZOP.

Per últim s'ha pensat, i en un futur s'implementarà, el manteniment necessari per a preservar i garantir la seguretat dels equips dissenyats així com els instruments implicats en els processos dels mateixos complint amb la normativa vigent.

7 Bibliografia

- [1] Ministeri de la presidència, BOE, Reial Decret 656/2017, del 23 de juny, per el que s'aprova el Reglament d'Emmagatzemament de Productes Químics i les seves Instruccions Tècniques Complementaries MIE APQ 0 a 10. Disponible: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2017-8755.
- [2] Ministeri de la presidència, BOE, Reial decret 2060/2008, de 12 de desembre, pel qual s'aprova el Reglament d'Equips a Pressió i les seves instruccions tècniques Complementaries. Disponible: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2009-1964>.
- [3] Ministeri de la presidència, BOE, Reial decret 681/2003, de 12 de juny, sobre protecció de la salut i seguretat dels treballadors exposats als riscos derivats d'atmosferes explosives en el lloc de treball. Disponible: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2003-12099.
- [4] Ministeri de la presidència, BOE, Reial decret 1215/1997, de 18 de juliol, pel qual s'estableixen els requisits mínims de seguretat i salut per a l'ús per part dels treballadors dels equips de treball. Disponible: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1997-17824>.
- [5] *The American Society of Mechanical Engineers*. Disponible: <https://www.asme.org/>.
- [6] *Climate data organization*. Disponible: <https://es.climate-data.org/europe/espana/cataluna/tarragona-1565/>.
- [7] *Engineering Consultancy Software*. Disponible: <https://www.red-bag.com/ped-classification>.
- [8] Propiedades mecanicas de los aceros al carbono. Disponible: <https://ingemecanica.com/tutoriales/materiales.html#tabla9>.
- [9] Pesos específicos de los metales. Disponible: <https://ingemecanica.com/tutoriales/pesos.html>.
- [10] Google Earth. Disponible: <https://www.google.es/intl/es/earth/index.html>.
- [11] Oficina Europea, Documents de referencia sobre les millors tècniques disponibles. Disponible: <https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/es/reference>.
- [12] Convertidor d'unitats de mesura. Disponible: <https://www.convertunits.com/>.
- [13] Atlas de Radiació Solar en Espanya. Disponible: https://www.aemet.es/documentos/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/atlas_radiacion_solar/atlas_de_radiacion_24042012.pdf.
- [14] *Flottweg, Tecnologías de Separación*. Disponible: <https://www.flottweg.com/es/wiki/tecnica-de-separacion/viscosidad-dinamica/>.

ANNEXOS

Màster en Enginyeria Industrial



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI We create chemistry

**Tarragona
2021**

A. Càlcul dels equips

A.1 Càlcul del bescanviador de calor

A.1.1 Càlcul del calor a extreure per el sistema W-6130

Per a calcular el valor del calor que s'ha d'extreure del tanc per a baixar la temperatura, s'utilitza la següent equació.

$$Q_{eliminar} = Q_{acrilat\ tanc} + Q_{radiació} = 7,634 \times 10^6 \text{ kJ} + 2,121 \times 10^6 \text{ kJ} \quad (\text{A.1.1.1})$$

$$Q_{eliminar} = 9,754 \times 10^6 \text{ kJ}$$

$$Q_{eliminar} \text{ (kW)} = \frac{Q_{eliminar} \text{ (kJ)}}{t} \quad (\text{A.1.1.2})$$

$$Q_{eliminar} \text{ (kW)} = 9,754 \times 10^6 \text{ kJ} \cdot \frac{1}{3600 \text{ s}} \cdot \frac{1}{8 \text{ h}} = 339 \text{ kW}$$

Comentar que el calor que aporta la bomba al fluid es insignificant en comparació a les altres dues i es pot negligir. Tot seguit es mostra el càlculs dels altres contribucions:

$$Q_{acrilat\ tanc} = m \cdot C_p \cdot \Delta T = 9,619 \times 10^5 \text{ kg} \cdot 1,964 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (307 - 303) \text{ K} \quad (\text{A.1.1.3})$$

$$Q_{acrilat\ tanc} = 7,634 \times 10^6 \text{ kJ}$$

$$m = V \cdot \rho = 1018 \text{ m}^3 \cdot 945 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 9,619 \times 10^5 \text{ kg} \quad (\text{A.1.1.4})$$

$$V = A_b \cdot h = \pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 \cdot h = \pi \cdot \left(\frac{12}{2}\right)^2 \text{ m}^2 \cdot 9 \text{ m} = 1018 \text{ m}^3 \quad (\text{A.1.1.5})$$

On m es la massa total del acrilat en el tanc en kg, C_p es la capacitat calorífica del acrilat a la temperatura de treball en $\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$, ΔT es la diferència de temperatura, V el volum del acrilat en m^3 , ρ la seva densitat en $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, A_b l'àrea de la base del tanc que es circular en m^2 i h l'altura del tanc en m. Important recalcar que la capacitat calorífica s'ha suposat constant ja que la seva variació en el rang de temperatures que es treballa es pot considerar negligible i a efectes pràctics no fa variar massa el resultat final. El volum del acrilat es suposa quan el tanc està completament ple.

$$Q_{radiació} = I \cdot A \cdot t = 1116 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}} \cdot 237,5 \text{ m}^2 \cdot 8 \text{ h} = 2,121 \times 10^6 \text{ kJ} \quad (\text{A.1.1.6})$$

$$A = 0,7 \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{D}{2} \cdot h = 0,7 \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{12}{2} \text{ m} \cdot 9 \text{ m} = 237,5 \text{ m}^2 \quad (\text{A.1.1.7})$$

On I es la irradiància solar màxima a l'estiu a la zona de Tarragona en $\frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}}$ A l'àrea on impacten aquests rajos de sol al tanc en m^2 i t els temps d'exposició en h. Com es pot veure a l'equació A.1.1.7 hi ha un factor multiplicador de 0,7 que serveix per a indicar el percentatge d'àrea que toca el sol a tot el tanc. Aquest valor hauria de ser una mica mes petit però com que no s'ha sumat la contribució de l'àrea del domo ja que sempre hi ha nitrogen i sistemes de seguretat i ventilació, la contribució de la radiació solar a la part de dalt es mínima. Per aquesta raó el 0,7 compensa aquest cas.

Tot seguit es mostra la taula amb tots els paràmetres per al bescanviador W-6130.

Taula A.1.1.1. Paràmetres del càlcul del calor a eliminar per el bescanviador W-6130

| Paràmetre | Bescanviador W-6130 |
|--|---------------------|
| Irradiància I ($\frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}}$) | 1116 |
| Altura tanc h (m) | 9 |
| Diàmetre tanc D (m) | 12 |
| Àrea d'incidència del sol al tanc A (m^2) | 237,5 |
| Volum (m^3) | 1018 |
| ΔT (K) | 4 |
| Temps t (h) | 8 |
| Densitat del acrilat ρ ($\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$) | 945 |
| Massa total del acrilat al tanc m (kg) | $9,619 \times 10^5$ |
| Capacitat calorífica del acrilat Cp ($\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$) | 1,984 |
| Calor del acrilat al tanc de 34 a 30°C $Q_{\text{acrilat tanc}}$ (kJ) | $7,634 \times 10^6$ |
| Calor de la radiació $Q_{\text{radiació}}$ (kJ) | $2,121 \times 10^6$ |
| Calor a eliminar per el sistema Q_{eliminar} (kJ) | $9,754 \times 10^6$ |
| Calor a eliminar per el sistema en 8h (kW) | 339 |

A.1.2 Càlcul del calor a extreure per el sistema W-6030

Es realitza els mateixos passos i les mateixes suposicions que per al apartat A.1.1:

$$Q_{\text{eliminar}} = Q_{\text{acrilat tanc}} + Q_{\text{radiació}} = 2,240 \times 10^7 \text{ kJ} + 3,829 \times 10^6 \text{ kJ} \quad (\text{A.1.2.1})$$

$$Q_{\text{eliminar}} = 2,623 \times 10^7 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{eliminar}} \text{ (kW)} = \frac{Q_{\text{eliminar}} \text{ (kJ)}}{t} \quad (\text{A.1.2.2})$$

$$Q_{\text{eliminar}} \text{ (kW)} = 2,623 \times 10^7 \text{ kJ} \cdot \frac{1}{3600 \text{ s}} \cdot \frac{1}{8 \text{ h}} = 911 \text{ kW}$$

$$Q_{\text{acrilat tanc}} = m \cdot Cp \cdot \Delta T = 2,822 \times 10^6 \text{ kg} \cdot 1,964 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (307 - 303) \text{ K} \quad (\text{A.1.2.3})$$

$$Q_{\text{acrilat tanc}} = 2,240 \times 10^7 \text{ kJ}$$

$$m = V \cdot \rho = 2987 \text{ m}^3 \cdot 945 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 2,822 \times 10^6 \text{ kg} \quad (\text{A.1.2.4})$$

$$V = A_b \cdot h = \pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 \cdot h = \pi \cdot \left(\frac{19,5}{2}\right)^2 \text{ m}^2 \cdot 10 \text{ m} = 2987 \text{ m}^3 \quad (\text{A.1.2.5})$$

$$Q_{\text{radiació}} = I \cdot A \cdot t = 1116 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}} \cdot 429 \text{ m}^2 \cdot 8 \text{ h} = 3,829 \times 10^6 \text{ kJ} \quad (\text{A.1.2.6})$$

$$A = 0,7 \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{D}{2} \cdot h = 0,7 \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{19,5}{2} \text{ m} \cdot 10 \text{ m} = 429 \text{ m}^2 \quad (\text{A.1.2.7})$$

Tot seguit es mostra la taula amb tots els paràmetres per al bescanviador W-6030.

Taula A.1.2.1. Paràmetres del càlcul del calor a eliminar per el bescanviador W-6030

| Paràmetre | Bescanviador W-6030 |
|---|---------------------|
| Irradiància I ($\frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}}$) | 1116 |
| Altura tanc h (m) | 10 |
| Diàmetre tanc D (m) | 19,5 |
| Àrea d'incidència del sol al tanc A (m^2) | 429 |
| Volum (m^3) | 2987 |
| ΔT (K) | 4 |
| Temps t (h) | 8 |
| Densitat del acrilat ρ ($\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$) | 945 |
| Massa total del acrilat al tanc m (kg) | $2,822 \times 10^6$ |
| Capacitat calorífica del acrilat C_p ($\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$) | 1,984 |
| Calor del acrilat al tanc de 34 a 30°C $Q_{\text{acrilat tanc}}$ (kJ) | $2,240 \times 10^7$ |
| Calor de la radiació $Q_{\text{radiació}}$ (kJ) | $3,829 \times 10^6$ |
| Calor a eliminar per el sistema Q_{eliminar} (kJ) | $2,623 \times 10^7$ |
| Calor a eliminar per el sistema en 8h (kW) | 911 |

A.1.3 Càlcul del bescanviador W-6130

A.1.3.1 Paràmetres geomètrics

Es comença amb els paràmetres geomètrics:

$$A = A_p \cdot (n - 2) = 0,461 \text{ m}^2 \cdot (50 - 2) = 22,12 \text{ m}^2 \quad (\text{A.1.3.1.1})$$

$$A_p = L_e \cdot W = 0,968 \text{ m} \cdot 0,476 \text{ m} = 0,461 \text{ m}^2 \quad (\text{A.1.3.1.2})$$

$$W = VPCD + D + 0,015 = 0,298 \text{ m} + 0,163 \text{ m} + 0,015 \text{ m} = 0,476 \text{ m} \quad (\text{A.1.3.1.3})$$

$$L_e = LPCD - 2D = 1,294 \text{ m} - 2 \cdot 0,163 \text{ m} = 0,968 \text{ m} \quad (\text{A.1.3.1.4})$$

$$S_c = W \cdot b = 0,476 \text{ m} \cdot 3,800 \times 10^{-3} \text{ m} = 1,809 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \quad (\text{A.1.3.1.5})$$

$$b = P_T - \varepsilon = 4,800 \times 10^{-3} \text{ m} - 0,001 \text{ m} = 3,800 \times 10^{-3} \text{ m} \quad (\text{A.1.3.1.6})$$

$$D_e = \frac{4 \cdot \text{àrea de pas del canal}}{\text{perímetre mullat}} = \frac{4 \cdot b \cdot W}{2(b+W \cdot \phi)} = \quad (\text{A.1.3.1.7})$$

$$\frac{4 \cdot 3,800 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot 0,476 \text{ m}}{2(3,800 \times 10^{-3} \text{ m} + 0,476 \text{ m} \cdot 1,17)} = 6,452 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$N_c = \frac{n-1}{2} = \frac{60-1}{2} = 24,5 \quad (\text{A.1.3.1.8})$$

Taula A.1.3.1.1. Valors dels paràmetres geomètrics del bescanviador W-6130

| Paràmetre geomètric | Bescanviador W-6130 |
|---|------------------------|
| Àrea del bescanviador A (m^2) | 22,12 |
| Numero de plaques n | 50 |
| Àrea efectiva de la placa A_p (m^2) | 0,461 |
| Longitud efectiva de les plaques L_e (m^2) | 0,968 |
| Amplada de la placa W (m) | 0,476 |
| HPCD (m) | 0,298 |
| LPCD (m) | 1,294 |
| Diàmetre dels ports D (m) | 0,163 |
| Àrea del pas pel canal S_c (m^2) | $1,810 \times 10^{-3}$ |
| Separació entre plaques b (m) | $3,800 \times 10^{-3}$ |

| | |
|-------------------------------------|------------------------|
| Pitch entre plaques P_T (m) | $4,800 \times 10^{-3}$ |
| Gruix de la placa ε (m) | 0,001 |
| Diàmetre equivalent D_e (m) | $6,452 \times 10^{-3}$ |
| ϕ | 1,170 |
| Nombre de canals N_c | 24,5 |

A.1.3.2 Càlcul de la transferència de calor

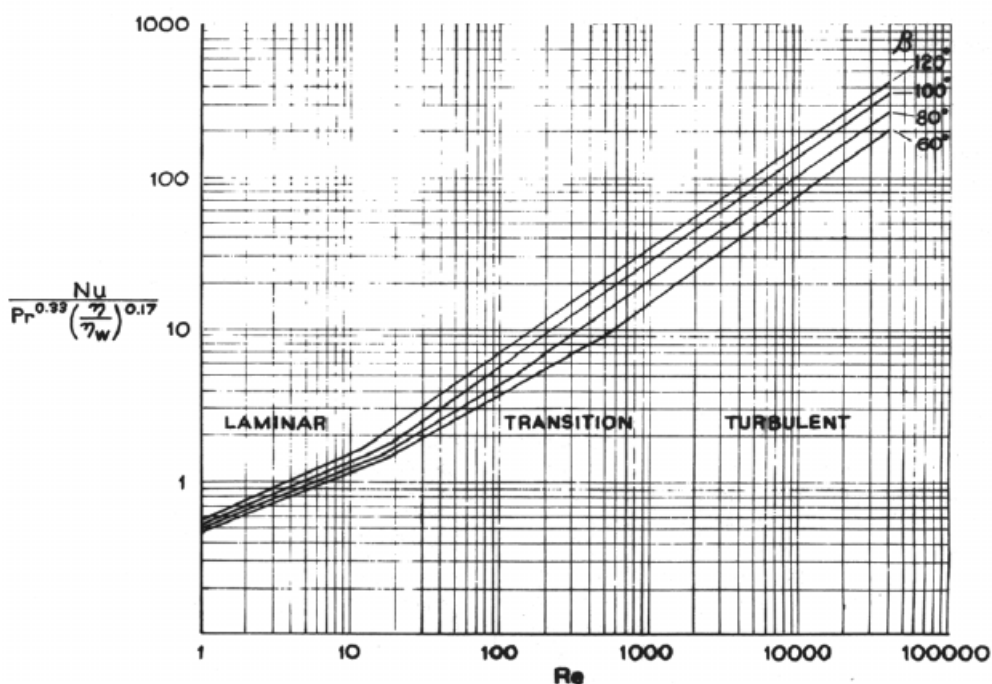
A.1.3.2.1 Costat Acrilat 2-Etil-Hexil

$$M_c = \frac{M}{N_c} = \frac{42,68 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{24,5} = 1,742 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad (\text{A.1.3.2.1.1})$$

$$m = \frac{M_c}{S_c} = \frac{1,742 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{1,809 \times 10^{-3} \text{ m}^2} = 962,8 \frac{\text{kg}}{\text{s m}^2} \quad (\text{A.1.3.2.1.2})$$

$$Re = \frac{m D_e}{\eta} = \frac{962,8 \frac{\text{kg}}{\text{s m}^2} \cdot 6,452 \times 10^{-3} \text{ m}^2}{1,502 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}} = 4136 \quad (\text{A.1.3.2.1.3})$$

Amb el Reynolds calculat i amb el diagrama de la figura A.1.3.2.1.1, en funció del angle de corrugació de la placa i del número de Prandtl (Equació A.1.3.2.1.4), es pot trobar el número de Nusselt necessari per al coeficient de transferència de calor.



A.1.3.2.1.1. Nombre de Nusselt per a plaques amb corrugació tipus Chevron

$$Pr = \frac{c_p \eta}{k} = \frac{1946 \frac{\text{J}}{\text{kg K}} \cdot 1,502 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}}{0,158 \frac{\text{W}}{\text{m K}}} = 18,53 \quad (\text{A.1.3.2.1.4})$$

Amb tot això, s'estima el valor del número de Nusselt amb l'equació A.1.3.2.1.5:

$$Nu = C \cdot Re \cdot Pr^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{\eta}{\eta_w}\right)^{0.17} = 41 \cdot 4136 \cdot 18,53^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{1,502 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}}{1,002 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}}\right)^{0.17} \quad (\text{A.1.3.2.1.5})$$

$$Nu = 116,2$$

$$h_c = \frac{Nu \cdot k}{D_e} = \frac{116,2 \cdot 0,158 \frac{\text{W}}{\text{m K}}}{6,452 \times 10^{-3} \text{ m}^2} = 2843 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} \quad (\text{A.1.3.2.1.6})$$

A.1.3.2.2 Costat aigua de mar

$$M_c = \frac{M}{N_c} = \frac{29,23 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{24,5} = 1,193 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad (\text{A.1.3.2.2.1})$$

$$m = \frac{M_c}{S_c} = \frac{1,193 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{1,809 \times 10^{-3} \text{ m}^2} = 659,3 \frac{\text{kg}}{\text{s m}^2} \quad (\text{A.1.3.2.2.2})$$

$$Re = \frac{m D_e}{\eta} = \frac{659,3 \frac{\text{kg}}{\text{s m}^2} \cdot 6,452 \times 10^{-3} \text{ m}^2}{1,307 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}} = 3255 \quad (\text{A.1.3.2.2.3})$$

$$Pr = \frac{C_p \eta}{k} = \frac{3863 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \cdot 1,307 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}}{0,580 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}} = 8,706 \quad (\text{A.1.3.2.2.4})$$

Amb tot això, s'estima el valor del número de Nusselt amb l'equació A.1.3.2.2.5:

$$Nu = C \cdot Re \cdot Pr^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{\eta}{\eta_w}\right)^{0.17} = 34 \cdot 3255 \cdot 8,706^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{1,307 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}}{1,002 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}}\right)^{0.17} \quad (\text{A.1.3.2.2.5})$$

$$Nu = 73,18$$

$$h_f = \frac{Nu \cdot k}{D_e} = \frac{73,18 \cdot 0,58 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}}{6,452 \times 10^{-3} \text{ m}^2} = 6578 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \quad (\text{A.1.3.2.2.6})$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{2843} + \frac{0,001}{21,90} + \frac{1}{6578} + 1,7 \times 10^{-5} + 3,0 \times 10^{-4} = 8,665 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \quad (\text{A.1.3.2.2.7})$$

$$U = \frac{1}{8,665 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}} = 1154 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \quad (\text{A.1.3.2.2.8})$$

Tot seguit es calcula el calor bescanviat utilitzant el mètode de la temperatura logarítmica mitjana:

$$\Delta T_{LM} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} = \frac{22 - 21}{\ln\left(\frac{22}{21}\right)} = 21,5 \text{ K} \quad (\text{A.1.3.2.2.9})$$

$$\Delta T_1 = 34 - 12 = 22 \text{ K} \quad (\text{A.1.3.2.2.10})$$

$$\Delta T_2 = 30 - 9 = 21 \text{ K} \quad (\text{A.1.3.2.2.11})$$

$$Q = 1154 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \cdot 22,12 \text{ m}^2 \cdot 21,5 \text{ K} \cdot 1 = 5,287 \times 10^5 \text{ W} \approx 530 \text{ kW} \quad (\text{A.1.3.2.2.12})$$

Taula A.1.3.2.2.1. Valors dels paràmetres termodinàmics del bescanviador W-6130

| Paràmetres termodinàmics | Costat Acrilat 2 Etil hexil | Costat aigua de mar |
|--|-----------------------------|------------------------|
| Cabal total que entra al HE M ($\frac{\text{kg}}{\text{s}}$) | 42,68 | 29,23 |
| Cabal que passa per cada canal M_c ($\frac{\text{kg}}{\text{s}}$) | 1,742 | 1,193 |
| Velocitat màssica al canal m ($\frac{\text{kg}}{\text{s m}^2}$) | 962,8 | 659,3 |
| Viscositat dinàmica η (Pa s) | $1,502 \times 10^{-3}$ | $1,307 \times 10^{-3}$ |
| Conductivitat tèrmica k ($\frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$) | 0,158 | 0,580 |
| Reynolds Re | 4136 | 3255 |
| Prandtl Pr | 18,53 | 8,706 |
| Capacitat calorífica C_p ($\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$) | 1,984 | 3,863 |
| Nusselt Nu | 116,2 | 73,18 |
| Resistència de fouling ($\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$) | $1,7 \times 10^{-5}$ | 3×10^{-4} |
| Coefficient de transferència de calor h ($\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$) | 2843 | 6579 |
| Coefficient global de transferència de calor U ($\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$) | 1154 | |

| | | |
|--|----|-------|
| Temperatura entrada HE (°C) | 34 | 9 |
| Temperatura sortida HE (°C) | 30 | 12 |
| Temperatura logarítmica mitjana ΔT_{LM} (°C) | | 21,50 |
| Calor bescanviada Q (kW) | | 530 |

A.1.4 Càlcul del bescanviador W-6030

A.1.4.1 Paràmetres geomètrics

Es comença amb els paràmetres geomètrics:

$$A = A_p \cdot (n - 2) = 0,612 \text{ m}^2 \cdot (90 - 2) = 53,84 \text{ m}^2 \quad (\text{A.1.4.1.1})$$

$$A_p = L_e \cdot W = 1,063 \text{ m} \cdot 0,575 \text{ m} = 0,612 \text{ m}^2 \quad (\text{A.1.4.1.2})$$

$$W = VPCD + D + 0,015 = 0,353 \text{ m} + 0,207 \text{ m} + 0,015 \text{ m} = 0,575 \text{ m} \quad (\text{A.1.4.1.3})$$

$$L_e = LPCD - 2D = 1,478 \text{ m} - 2 \cdot 0,207 \text{ m} = 1,063 \text{ m} \quad (\text{A.1.4.1.4})$$

$$S_C = W \cdot b = 0,575 \text{ m} \cdot 3,950 \times 10^{-3} \text{ m} = 2,273 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \quad (\text{A.1.4.1.5})$$

$$b = P_T - \varepsilon = 4,950 \times 10^{-3} \text{ m} - 0,001 \text{ m} = 3,950 \times 10^{-3} \text{ m} \quad (\text{A.1.4.1.6})$$

$$D_e = \frac{4 \cdot \text{\textit{àrea de pas del canal}}}{\text{\textit{perímetre mullat}}} = \frac{4 \cdot b \cdot W}{2(b+W \cdot \phi)} = \frac{4 \cdot 3,950 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot 0,575 \text{ m}}{2(3,950 \times 10^{-3} \text{ m} + 0,575 \text{ m} \cdot 1,17)} = \quad (\text{A.1.4.1.7})$$

$$= 6,713 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$N_c = \frac{n-1}{2} = \frac{90-1}{2} = 44,5 \quad (\text{A.1.4.1.8})$$

Taula A.1.4.1.1. Valors dels paràmetres geomètrics del bescanviador W-6030

| Paràmetre geomètric | Bescanviador W-6030 |
|--|------------------------|
| Àrea del bescanviador A (m ²) | 53,84 |
| Numero de plaques n | 90 |
| Àrea efectiva de la placa A_p (m ²) | 0,612 |
| Longitud efectiva de les plaques L_e (m ²) | 1,063 |
| Amplada de la placa W (m) | 0,575 |
| HPCD (m) | 0,353 |
| LPCD (m) | 1,478 |
| Diàmetre dels ports D (m) | 0,207 |
| Àrea del pas pel canal S_C (m ²) | $2,273 \times 10^{-3}$ |
| Separació entre plaques b (m) | $3,950 \times 10^{-3}$ |
| Pitch entre plaques P_T (m) | $4,950 \times 10^{-3}$ |
| Gruix de la placa ε (m) | 0,001 |
| Diàmetre equivalent D_e (m) | $6,713 \times 10^{-3}$ |
| ϕ | 1,170 |
| Nombre de canals N_c | 44,5 |

A.1.4.2 Càlcul de la transferència de calor

A.1.4.2.1 Costat Acrilat 2-Etil-Hexil

$$M_c = \frac{M}{N_c} = \frac{114,8 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{44,5} = 2,579 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad (\text{A.1.4.2.1.1})$$

$$m = \frac{M_c}{S_C} = \frac{2,579 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{2,273 \times 10^{-3} \text{ m}^2} = 1135 \frac{\text{kg}}{\text{s m}^2} \quad (\text{A.1.4.2.1.2})$$

$$Re = \frac{mD_e}{\eta} = \frac{1135 \frac{\text{kg}}{\text{s m}^2} \cdot 6,713 \times 10^{-3} \text{ m}^2}{1,502 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}} = 5071 \quad (\text{A.1.4.2.1.3})$$

$$Pr = \frac{C_p \eta}{k} = \frac{1946 \frac{\text{J}}{\text{kg K}} \cdot 1,502 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}}{0,158 \frac{\text{W}}{\text{m K}}} = 18,53 \quad (\text{A.1.4.2.1.4})$$

Amb tot això, s'estima el valor del número de Nusselt amb l'equació A.1.4.2.1.5:

$$Nu = C \cdot Re \cdot Pr^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{\eta}{\eta_w}\right)^{0,17} = 47 \cdot 5071 \cdot 18,53^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{1,502 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}}{1,002 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}}\right)^{0,17} \quad (\text{A.1.4.2.1.5})$$

$$Nu = 133,2$$

$$h_c = \frac{Nu \cdot k}{D_e} = \frac{133,2 \cdot 0,158 \frac{\text{W}}{\text{m K}}}{6,713 \times 10^{-3} \text{ m}^2} = 3132 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \quad (\text{A.1.4.2.1.6})$$

A.1.4.2.2 Costat aigua de mar

$$M_c = \frac{M}{N_c} = \frac{78,57 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{44,5} = 1,766 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad (\text{A.1.4.2.1.7})$$

$$m = \frac{M_c}{S_c} = \frac{1,766 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{2,273 \times 10^{-3} \text{ m}^2} = 777,0 \frac{\text{kg}}{\text{s m}^2} \quad (\text{A.1.4.2.1.8})$$

$$Re = \frac{mD_e}{\eta} = \frac{777,0 \frac{\text{kg}}{\text{s m}^2} \cdot 6,713 \times 10^{-3} \text{ m}^2}{1,307 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}} = 3991 \quad (\text{A.1.4.2.1.9})$$

$$Pr = \frac{C_p \eta}{k} = \frac{3863 \frac{\text{J}}{\text{kg K}} \cdot 1,307 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}}{0,580 \frac{\text{W}}{\text{m K}}} = 8,706 \quad (\text{A.1.4.2.1.10})$$

Amb tot això, s'estima el valor del número de Nusselt amb l'equació A.1.4.2.1.11:

$$Nu = C \cdot Re \cdot Pr^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{\eta}{\eta_w}\right)^{0,17} = \quad (\text{A.1.4.2.1.11})$$

$$Nu = 40 \cdot 3991 \cdot 8,706^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{1,307 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}}{1,002 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}}\right)^{0,17} = 86,09$$

$$h_f = \frac{Nu \cdot k}{D_e} = \frac{86,09 \cdot 0,58 \frac{\text{W}}{\text{m K}}}{6,713 \times 10^{-3} \text{ m}^2} = 7438 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \quad (\text{A.1.4.2.1.12})$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{3132} + \frac{0,001}{21,90} + \frac{1}{7438} + 1,7 \times 10^{-5} + 3,0 \times 10^{-4} \quad (\text{A.1.4.2.1.13})$$

$$\frac{1}{U} = 8,164 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$U = \frac{1}{8,164 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}} = 1225 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \quad (\text{A.1.4.2.1.14})$$

Tot seguit es calcula el calor bescanviat utilitzant el mètode de la temperatura logarítmica mitjana:

$$\Delta T_{LM} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} = \frac{22 - 21}{\ln \left(\frac{22}{21}\right)} = 21,5 \text{ K} \quad (\text{A.1.4.2.1.15})$$

$$\Delta T_1 = 34 - 12 = 22 \text{ K} \quad (\text{A.1.4.2.1.16})$$

$$\Delta T_2 = 30 - 9 = 21 \text{ K} \quad (\text{A.1.4.2.1.17})$$

$$Q = 1225 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \cdot 53,84 \text{ m}^2 \cdot 21,5 \text{ K} \cdot 1 = 1,418 \times 10^6 \text{ W} = 1418 \text{ kW} \quad (\text{A.1.4.2.1.18})$$

Taula A.1.4.2.1.1. Valors dels paràmetres termodinàmics del bescanviador W-6030.

| Paràmetres termodinàmics | Costat Acrilat 2 Etil hexil | Costat aigua de mar |
|--|-----------------------------|------------------------|
| Cabal total que entra al HE M ($\frac{\text{kg}}{\text{s}}$) | 115,0 | 78,57 |
| Cabal que passa per cada canal M_c ($\frac{\text{kg}}{\text{s}}$) | 2,579 | 1,766 |
| Velocitat màssica al canal m ($\frac{\text{kg}}{\text{sm}^2}$) | 1135 | 777,0 |
| Viscositat dinàmica η (Pa s) | $1,502 \times 10^{-3}$ | $1,307 \times 10^{-3}$ |
| Conductivitat tèrmica k ($\frac{\text{W}}{\text{mK}}$) | 0,158 | 0,580 |
| Reynolds Re | 5072 | 3991 |
| Prandtl Pr | 18,53 | 8,706 |
| Capacitat calorífica C_p ($\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$) | 1,984 | 3,863 |
| Nusselt Nu | 133,2 | 86,10 |
| Resistència de fouling ($\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$) | $1,7 \times 10^{-5}$ | 3×10^{-4} |
| Coefficient de transferència de calor h ($\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$) | 3132 | 7438 |
| Coefficient global de transferència de calor U ($\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$) | | 1225 |
| Temperatura entrada HE ($^{\circ}\text{C}$) | 34 | 9 |
| Temperatura sortida HE ($^{\circ}\text{C}$) | 30 | 12 |
| Temperatura logarítmica mitjana ΔT_{LM} ($^{\circ}\text{C}$) | | 21,50 |
| Calor bescanviada Q (kW) | | 1418 |

A.1.5 Càlcul de la pèrdua de càrrega del bescanviador W-6130

A.1.5.1 Costat Acrilat 2-Etil-Hexil

Per a calcular la pèrdua de càrrega dintre dels canals, es comença buscant el factor de fricció de Fanning en funció del número de Reynolds de cada fluid al diagrama de la figura A.1.5.1.1.

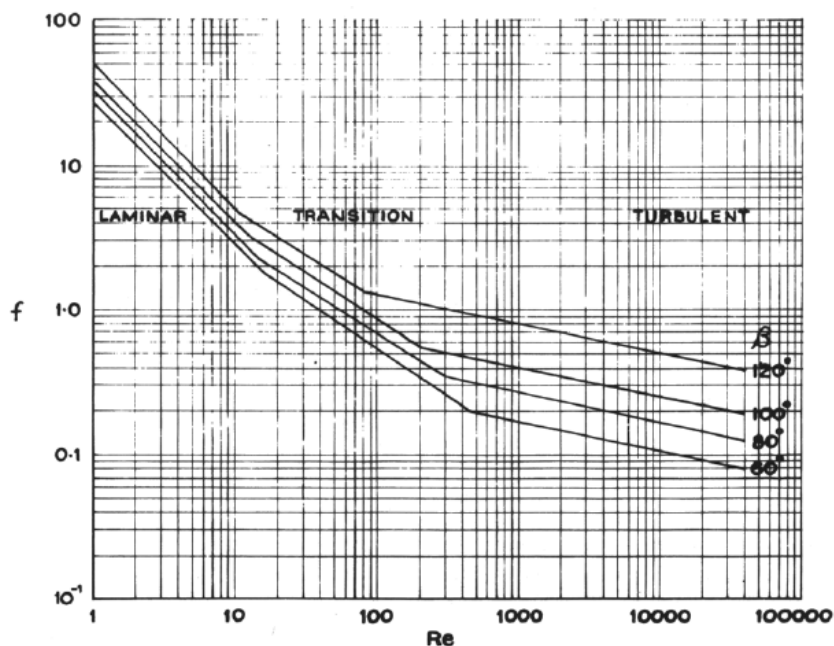


Figura A.1.5.1.1. Factor de fricció de Fanning en funció del número de Reynolds per a plaques amb corrugació Chevron.

$$\Delta P_C \text{ Acrilat} = \frac{2 \cdot 0,13 \cdot \left(962,8 \frac{\text{kg}}{\text{s m}^2}\right)^2 \cdot 0,968 \text{ m}^2 \cdot 1}{945 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 6,452 \times 10^{-3} \text{ m}} \cdot \left(\frac{1,502 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}}{1,002 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}}\right)^{-0,17} \quad (\text{A.1.5.1.1})$$

$$\Delta P_C = 3,572 \times 10^4 \text{ Pa}$$

$$S_p = \frac{\pi \cdot 0,163^2 \text{ m}^2}{4} = 2,090 \times 10^{-2} \text{ m}^2 \quad (\text{A.1.5.1.2})$$

$$V_p = \frac{42,68 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{945 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 2,090 \times 10^{-2} \text{ m}} = 2,162 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (\text{A.1.5.1.3})$$

$$\Delta P_P \text{ Acrilat} = 1,5 \cdot \frac{\left(2,162 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 \cdot 945 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{2} = 3312 \text{ Pa} \quad (\text{A.1.5.1.4})$$

$$\Delta P_{\text{Total acrilat}} = 3,572 \times 10^4 \text{ Pa} + 3312 \text{ Pa} = 3,903 \times 10^4 \text{ Pa} \quad (\text{A.1.5.1.5})$$

A.1.5.2 Costat aigua de mar

$$\Delta P_C \text{ Aigua} = \frac{2 \cdot 0,14 \cdot \left(659,3 \frac{\text{kg}}{\text{s m}^2}\right)^2 \cdot 0,968 \text{ m}^2 \cdot 1}{1027 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 6,452 \times 10^{-3} \text{ m}} \cdot \left(\frac{1,307 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}}{1,002 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}}\right)^{-0,17} \quad (\text{A.1.5.2.1})$$

$$\Delta P_C = 1,700 \times 10^4 \text{ Pa}$$

$$S_p = \frac{\pi \cdot 0,163^2 \text{ m}^2}{4} = 2,090 \times 10^{-2} \text{ m}^2 \quad (\text{A.1.5.2.2})$$

$$V_p = \frac{29,22 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{1027 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 2,090 \times 10^{-2} \text{ m}} = 1,363 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (\text{A.1.5.2.3})$$

$$\Delta P_P \text{ Aigua} = 1,5 \cdot \frac{\left(1,362 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 \cdot 1027 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{2} = 1429 \text{ Pa} \quad (\text{A.1.5.2.4})$$

$$\Delta P_{\text{Total aigua}} = 1,700 \times 10^4 \text{ Pa} + 1429 \text{ Pa} = 1,843 \times 10^4 \text{ Pa} \quad (\text{A.1.5.2.5})$$

Taula A.1.5.2.1. Valors dels paràmetres per a la pèrdua de càrrega del bescanviador W-6130

| Paràmetres per a la pèrdua de càrrega | Costat Acrilat 2 Etil hexil | Costat aigua de mar |
|--|-----------------------------|---------------------|
| Factor de fricció de Fanning f | 0,13 | 0,14 |
| Pèrdua de càrrega als canals ΔP_C (Pa) | $3,572 \times 10^4$ | $1,700 \times 10^4$ |
| Area de pas pel port S_p (m ²) | $2,090 \times 10^{-2}$ | |
| Velocitat del fluid pel port V_p (m/s) | 2,162 | 1,363 |
| Pèrdua de càrrega al port ΔP_P (Pa) | 3312 | 1429 |
| Pèrdua de càrrega total ΔP (Pa) | $3,903 \times 10^4$ | $1,843 \times 10^4$ |
| Pèrdua de càrrega total ΔP (bar) | 0,400 | 0,184 |

A.1.6 Càlcul de la pèrdua de càrrega del bescanviador W-6030

A.1.6.1 Costat Acrilat 2-Etil-Hexil

$$\Delta P_C \text{ Acrilat} = \frac{2 \cdot f \cdot m^2 \cdot L_e N_p}{\rho \cdot D_e} \cdot \left(\frac{\eta}{\eta_w}\right)^{-0,17} \quad (\text{A.1.6.1.1})$$

$$\Delta P_{C \text{ Acrilat}} = \frac{2 \cdot 0,13 \cdot \left(1135 \frac{\text{kg}}{\text{s m}^2}\right)^2 \cdot 1,063 \text{ m}^2 \cdot 1 \cdot \left(\frac{1,502 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}}{1,002 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}}\right)^{-0,17}}{945 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 6,713 \times 10^{-3} \text{ m}}$$

$$\Delta P_C = 5,239 \times 10^4 \text{ Pa}$$

$$S_p = \frac{\pi \cdot 0,207^2 \text{ m}^2}{4} = 3,375 \times 10^{-2} \text{ m}^2 \quad (\text{A.1.6.1.2})$$

$$V_p = \frac{114,8 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{945 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 3,375 \times 10^{-2} \text{ m}} = 3,600 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (\text{A.1.6.1.3})$$

$$\Delta P_P \text{ Acrilat} = 1,5 \cdot \frac{\left(3,600 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 \cdot 945 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{2} = 9174 \text{ Pa} \quad (\text{A.1.6.1.4})$$

$$\Delta P_{\text{Total acrilat}} = 5,239 \times 10^4 \text{ Pa} + 9174 \text{ Pa} = 6,156 \times 10^4 \text{ Pa} \quad (\text{A.1.6.1.5})$$

A.1.6.2 Costat aigua de mar

$$\Delta P_{C \text{ Aigua}} = \frac{2 \cdot 0,14 \cdot \left(777,0 \frac{\text{kg}}{\text{s m}^2}\right)^2 \cdot 1,063 \text{ m}^2 \cdot 1 \cdot \left(\frac{1,307 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}}{1,002 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}}\right)^{-0,17}}{1027 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 6,713 \times 10^{-3} \text{ m}} \quad (\text{A.1.6.2.1})$$

$$\Delta P_C = 2,493 \times 10^4 \text{ Pa}$$

$$S_p = \frac{\pi \cdot 0,207^2 \text{ m}^2}{4} = 3,375 \times 10^{-2} \text{ m}^2 \quad (\text{A.1.6.2.2})$$

$$V_p = \frac{78,57 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{1027 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 3,375 \times 10^{-2} \text{ m}} = 2,268 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (\text{A.1.6.2.3})$$

$$\Delta P_P \text{ aigua} = 1,5 \cdot \frac{\left(2,268 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 \cdot 1027 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{2} = 3959 \text{ Pa} \quad (\text{A.1.6.2.4})$$

$$\Delta P_{\text{Total aigua}} = 2,493 \times 10^4 \text{ Pa} + 3959 \text{ Pa} = 2,890 \times 10^4 \text{ Pa} \quad (\text{A.1.6.2.5})$$

Taula A.1.6.2.1. Valors dels paràmetres per a la pèrdua de càrrega del bescanviador W-6030

| Paràmetres per a la pèrdua de càrrega | Costat Acrilat 2 Etil hexil | Costat aigua de mar |
|--|-----------------------------|------------------------|
| Factor de fricció de Fanning f | 0,13 | 0,14 |
| Pèrdua de càrrega als canals ΔP_C (Pa) | $5,239 \times 10^4$ | $2,493 \times 10^4$ |
| Àrea de pas pel port S_p (m ²) | | $3,375 \times 10^{-2}$ |
| Velocitat del fluid pel port V_p ($\frac{\text{m}}{\text{s}}$) | 3,600 | 2,268 |
| Pèrdua de càrrega al port ΔP_P (Pa) | 9174 | 3959 |
| Pèrdua de càrrega total ΔP (Pa) | $6,156 \times 10^4$ | $2,890 \times 10^4$ |
| Pèrdua de càrrega total ΔP (bar) | 0,616 | 0,290 |

A.1.7 Comprovació del millor angle de corrugació de la placa

Els paràmetres mes importants on afecta l'angle de corrugació de la placa es al numero de Nusselt i a la pèrdua de càrrega generada. El número de Nusselt es pot trobar de la figura A.1.3.2.1.1 i amb l'equació A.1.3.2.1.5. S'ha pres l'exemple de la part de l'acrilat del W-6130.

$$Nu_{120^\circ} = C_{120^\circ} \cdot Re \cdot Pr^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{\eta}{\eta_w}\right)^{0,17} = 90 \cdot 4136 \cdot 18,53^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{1,502 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}}{1,002 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}}\right)^{0,17} \quad (\text{A.1.7.1})$$

$$Nu_{120^\circ} = 208,1$$

$$h_{C\ 120^\circ} = \frac{Nu_{60^\circ} \cdot k}{D_e} = \frac{208,1 \cdot 0,158 \frac{W}{mK}}{6,452 \times 10^{-3} m^2} = 5090 \frac{W}{m^2K} \quad (A.1.7.2)$$

Com es pot veure a l'equació A.1.7.2 hi ha un increment substancial del coeficient de transferència de calor. En canvi, quan es calcula la pèrdua de càrrega amb ajuda de la figura A.1.5.1.1:

$$\Delta P_C \text{ (Pa)} = \frac{2 \cdot f_{120^\circ} \cdot m^2 \cdot L_e N_p}{\rho \cdot D_e} \cdot \left(\frac{\eta}{\eta_w}\right)^{-0.17} \quad (A.1.7.3)$$

$$\Delta P_{C\ Acrilat} = \frac{2 \cdot 0,55 \cdot \left(962,8 \frac{kg}{s m^2}\right)^2 \cdot 0,968 m^2 \cdot 1}{945 \frac{kg}{m^3} \cdot 6,452 \times 10^{-3} m} \cdot \left(\frac{1,502 \times 10^{-3} Pa \cdot s}{1,002 \times 10^{-3} Pa \cdot s}\right)^{-0.17} = 1,853 \times 10^5 \quad (A.1.7.4)$$

Com es pot veure, amb la placa de 120° la pèrdua de càrrega es dispara a casi el doble límit de 1 bar, fent-lo inviable i sent les plaques de 60° mes adients.

A.1.8 Pas simple o 2 passos

L'àrea de transferència de calor ve donat per l'equació X:

$$A \text{ (m}^2\text{)} = L_e \cdot W \cdot (n - 2) = \left(\frac{L_e}{b}\right) \cdot W \cdot b \cdot (n - 2) \quad (A.1.8.1)$$

El nombre de canals per a cada fluid i l'àrea de pas per a cada canal s'obtenen de les equacions X i X

$$S_C \text{ (m}^2\text{)} = W \cdot b \quad (A.1.8.2)$$

$$N_c = \frac{n-1}{2} \quad (A.1.8.3)$$

Donant l'àrea total de pas per cadascun dels fluids:

$$S \text{ (m}^2\text{)} = W \cdot b \cdot \left(\frac{n-1}{2}\right) \quad (A.1.8.4)$$

De manera que es pot calcular l'àrea d'intercanvi a partir de l'àrea total de pas encara que sigui d'una manera aproximada amb l'equació següent:

$$A \text{ (m}^2\text{)} \approx 2 \cdot S \cdot \left(\frac{L_e}{b}\right) \quad (A.1.8.5)$$

En el cas d'un pas, si s'augmenta l'àrea de pas afegint mes plaques, baixa la velocitat del fluid i el coeficient de transferència de calor. En el cas dels dos passos, per a un mateix nombre de plaques al passar a dos passos, l'àrea d'intercanvi es la mateixa però la velocitat i la longitud de pas es el doble. El coeficient de transferència de calor augmenta però amb ell també la pèrdua de càrrega que, com s'ha vist a les equacions, té una relació quadràtica amb la velocitat disparant-se la baixada de pressió.

Considerant que el factor de fricció per a una placa amb un angle de corrugació de 60° es pot estimar amb la correlació següent:

$$f = 2,78 \cdot Re^{-0,18} \quad (A.1.8.6)$$

Al final es dedueix que la pèrdua de càrrega es proporcional a la longitud de la planta i la seva velocitat:

$$\Delta P \propto L \cdot V^{1,82} \quad (A.1.8.7)$$

Com s'ha suposat abans, per al mateix nombre de plaques la relació de la pèrdua de càrrega serà igual a:

$$\frac{\Delta P\ 2\ passos}{\Delta P\ 1\ pas} = 2 \cdot 2^{1,82} = 7,06 \quad (A.1.8.8)$$

Això ens diu que per a un mateix nombre de plaques, utilitzar una configuració de 2 passos suposa una pèrdua de càrrega 7 vegades major que la de 1 pas però augmentant la transferència de calor. En el cas que s'estudia, no es necessari els dos passos i a mes a mes es superaria per molt la pèrdua de pressió de 1 bar fet que no interessa.

A.2 Càlcul de les bombes

Es parteix de la equació de Bernouilli:

$$\frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} + Z_1 = \frac{P_A}{\rho \cdot g} + \frac{v_A^2}{2 \cdot g} + Z_A \quad (\text{A.2.1})$$

Ara apliquem fregament, suposem que les velocitats als dos punts es igual, la pressió al punt 1 suposem $P_1 = 0$ Pa i agafem $Z_A = 0$ m:

$$\Delta h_p(\text{m}) = \frac{P_A}{\rho \cdot g} + \Delta h_f - Z_1 \quad (\text{A.2.2})$$

Si suposem que $\Delta h_p = 0$ ja que la bomba no dona energia en el tram 1-A i sabent que el NSPH es:

$$NSPH_{dis} = \frac{P_1 - P_{vap}}{\rho \cdot g} \quad (\text{A.2.3})$$

$$P_{vap}(\text{bar}) = 10^{A - \frac{B}{T}} \quad (\text{A.2.4})$$

Troblem al final, reorganitzant:

$$NSPH_{dis} = \frac{-P_{vap}}{\rho \cdot g} - \Delta h_f + Z_1 > 0 \quad (\text{A.2.5})$$

Per a resoldre el fregament amb la canonada es poden utilitzar les equacions A.2.6, A.2.7 i A.2.8:

$$\Delta h_f(\text{m}) = \Delta h_{f \text{ recte}} + \Delta h_{f \text{ locali}} \quad (\text{A.2.6})$$

$$\Delta h_{f \text{ recte}}(\text{m}) = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (\text{A.2.7})$$

$$\Delta h_{f \text{ locali}}(\text{m}) = K \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (\text{A.2.8})$$

$$v \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right) = \frac{M}{\rho \cdot \pi \cdot \frac{D^2}{4}} \quad (\text{A.2.9})$$

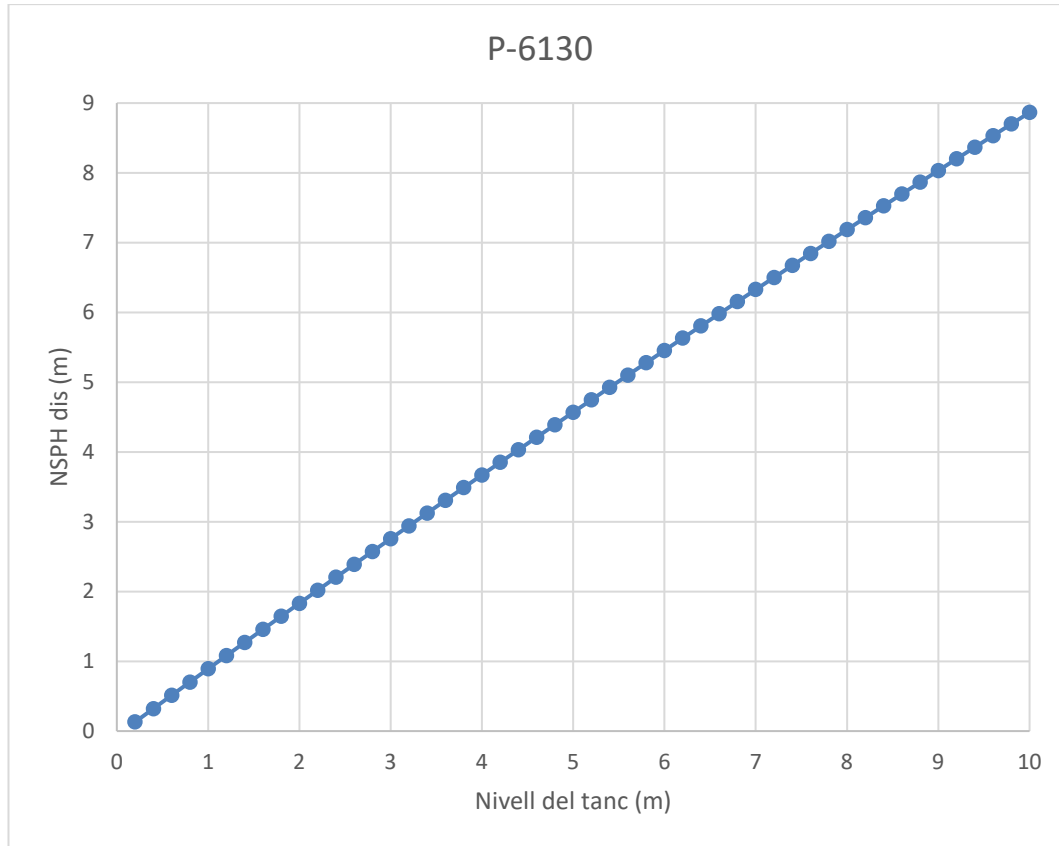
$$f = \frac{0,25}{\left[\log_{10} \left(\frac{k}{3,7} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2} \quad (\text{A.2.10})$$

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\eta} \quad (\text{A.2.11})$$

A.2.1 Disseny de la bomba P-6130

Es fa l'estudi sabent que el cabal màxim es quan tenim el tanc ple a l'estiu i màxima irradiància, es a dir, el cabal que podem extreure de les dades dels bescanviadors. També s'ha observat que el cabal per a refrigerar l'interior del tanc es directament proporcional al nivell actual del tanc però on radica el problema es que la calor de la radiació solar es sempre la mateixa independentment del nivell donant un resultat no lineal però que es pot representar fàcilment mes endavant amb la figura A.2.1.1.

Per a calcular el cabal en funció del nivell i la radiació, s'utilitzen les formules de l'apartat A.1.1 i A.1.2. El resultat del estudi es pot veure a la següent gràfica:


 Figura A.2.1.1. $NSPH_{dis}$ en funció de l'altura del tanc

Com es pot veure a la gràfica, el valor del $NSPH_{dis}$ sempre es positiu però va baixant a mesura que l'altura del líquid al tanc disminueix. El punt amb el que es realitzen totes les equacions es quan el nivell del líquid es de 1 metre i es poden veure tots els resultats a continuació:

$$Q_{eliminar} = Q_{acrilat z=1} + Q_{radiació} = 7,634 \times 10^5 \text{ kJ} + 2,121 \times 10^6 \text{ kJ} \quad (\text{A.2.1.1})$$

$$Q_{eliminar} = 2,884 \times 10^6 \text{ kJ}$$

$$Q_{acrilat z=1m} = \frac{1 \text{ m}}{10 \text{ m}} \cdot Q_{acrilat max} = \frac{1 \text{ m}}{10 \text{ m}} \cdot 7,634 \times 10^6 \text{ kJ} = 7,634 \times 10^5 \text{ kJ} \quad (\text{A.2.1.2})$$

$$Q_{radiació} = I \cdot A \cdot t = 1116 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}} \cdot 237,5 \text{ m}^2 \cdot 8 \text{ h} = 2,121 \times 10^6 \text{ kJ} \quad (\text{A.2.1.3})$$

$$P_{vap} = 10^{A-\frac{B}{T}} = 10^{4,935-\frac{2220}{307}} = 4,536 \times 10^{-4} \text{ bar} = 45,35 \text{ Pa} \quad (\text{A.2.1.4})$$

$$M = \frac{Q_{eliminar}}{3600 \text{ s} \cdot 8 \text{ h} \cdot C_p \cdot \Delta T} = \frac{2,884 \times 10^6 \text{ kJ}}{3600 \text{ s} \cdot 8 \text{ h} \cdot 1,964 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (307 - 303) \text{ K}} = 12,62 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad (\text{A.2.1.5})$$

$$NSPH_{dis} = \frac{-P_{vap}}{\rho \cdot g} - \Delta h_f + Z_1 = \frac{-45,35 \text{ Pa}}{945 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} - 0,104 \text{ m} + 1 \text{ m} \quad (\text{A.2.1.6})$$

$$NSPH_{dis} = 0,892$$

$$\Delta h_f = \Delta h_{f \text{ recte}} + \Delta h_{f \text{ locali}} = 2,251 \times 10^{-2} \text{ m} + 8,118 \times 10^{-2} \text{ m} = 0,104 \text{ m} \quad (\text{A.2.1.7})$$

$$\Delta h_{f \text{ recte}} = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = 1,960 \times 10^{-2} \cdot \frac{9 \text{ m}}{0,163 \text{ m}} \cdot \frac{(0,640 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 2,251 \times 10^{-2} \text{ m} \quad (\text{A.2.1.8})$$

$$\Delta h_{f \text{ locali}} = \Sigma K \cdot \Sigma n \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (\text{A.2.1.9})$$

$$\Delta h_{f \text{ locali}} = K_{open} \cdot 5 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} + K_{colz 90^\circ} \cdot 2 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} + K_{entr} \cdot 1 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} + K_{sort} \cdot 1 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (\text{A.2.1.10})$$

$$\Delta h_{f \text{ locali}} = 0,08 \cdot 5 \cdot \frac{(0,640 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} + 1 \cdot 2 \cdot \frac{(0,640 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} + 0,5 \cdot \frac{(0,640 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} + 1 \cdot \frac{(0,640 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$\Delta h_{f \text{ locali}} = 8,118 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$v = \frac{M}{\rho \cdot \pi \cdot \frac{D^2}{4}} = \frac{12,62 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{945 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \pi \cdot \frac{(0,163 \text{ m})^2}{4}} = 0,640 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (\text{A.2.1.11})$$

$$f = \frac{0,25}{[\log_{10} \left(\frac{k}{3,7} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right)]^2} = \frac{0,25}{[\log_{10} \left(\frac{1,5 \times 10^{-6} \text{ m}}{0,163 \text{ m}} + \frac{5,74}{(6,558 \times 10^4)^{0,9}} \right)]^2} = 1,956 \times 10^{-2} \quad (\text{A.2.1.12})$$

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\eta} = \frac{945 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,640 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,163 \text{ m}}{1,502 \times 10^{-3}} = 6,558 \times 10^4 \quad (\text{A.2.1.13})$$

Ara es procedeix a fer el dimensionament de la bomba. Per a poder realitzar-ho, es suposa que la referència d'alçada es la sortida de la impulsió i $Z_2 = 1 \text{ m}$ ja que el GIN no hi pot arribar la fase gas i a màxim rendiment.

$$\Delta h_{pump} = \Delta h_f + Z_2 = 11,00 \text{ m} + 1 \text{ m} = 12 \text{ m} \quad (\text{A.2.1.14})$$

$$\Delta h_f = \Delta h_{f \text{ recte}} + \Delta h_{f \text{ locali}} + \Delta h_{f \text{ bescanviador}} + \Delta h_{f \text{ GIN}} \quad (\text{A.2.1.15})$$

$$\Delta h_f = 0,447 \text{ m} + 0,948 \text{ m} + 4,210 \text{ m} + 5,394 \text{ m} = 11,00 \text{ m}$$

$$\Delta h_{f \text{ recte}} = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = 1,532 \times 10^{-2} \cdot \frac{20 \text{ m}}{0,163 \text{ m}} \cdot \frac{(2,162 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 0,447 \text{ m} \quad (\text{A.2.1.16})$$

$$\Delta h_{f \text{ locali}} = \Sigma K \cdot \Sigma n \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (\text{A.2.1.17})$$

$$\Delta h_{f \text{ locali}} = K_{open} \cdot 6 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} + K_{colz 90^\circ} \cdot 2 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} + K_{entr} \cdot 1 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} + K_{sort} \cdot 1 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (\text{A.2.1.18})$$

$$\Delta h_{f \text{ locali}} = 0,08 \cdot 6 \cdot \frac{(2,162 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} + 1 \cdot 2 \cdot \frac{(2,162 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} + 0,5 \cdot \frac{(2,162 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} + 1 \cdot \frac{(2,162 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$\Delta h_{f \text{ locali}} = 0,948 \text{ m}$$

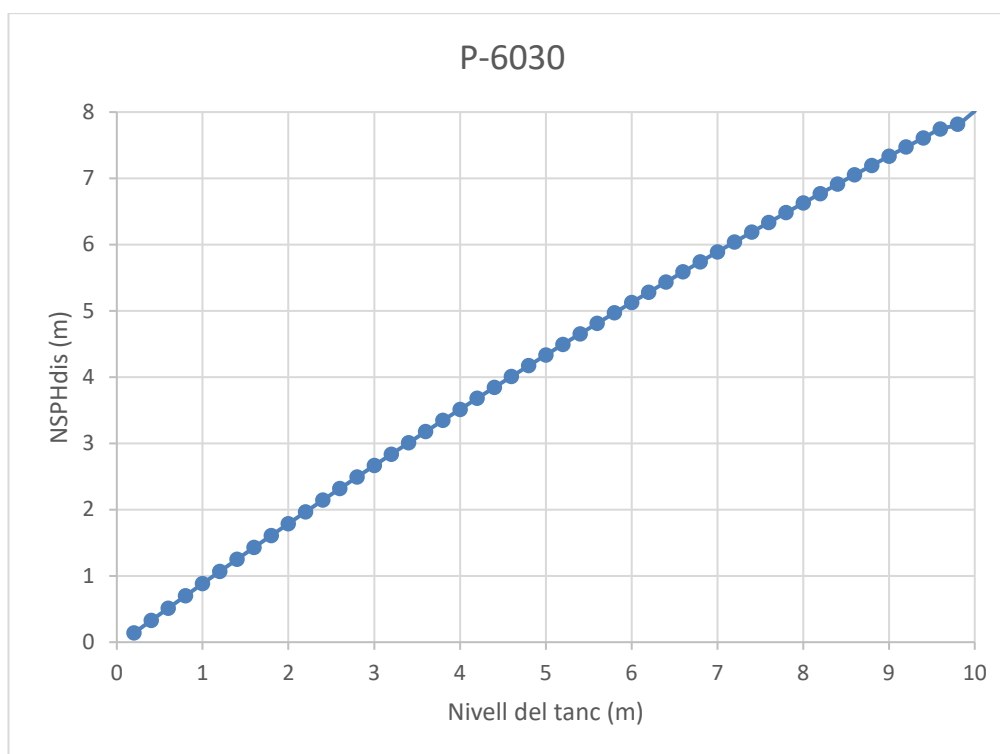
$$v = \frac{M}{\rho \cdot \pi \cdot \frac{D^2}{4}} = \frac{42,68 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{945 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \pi \cdot \frac{(0,163 \text{ m})^2}{4}} = 2,162 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (\text{A.2.1.19})$$

$$f = \frac{0,25}{[\log_{10} \left(\frac{k}{3,7} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right)]^2} = \frac{0,25}{[\log_{10} \left(\frac{1,5 \times 10^{-6} \text{ m}}{0,163 \text{ m}} + \frac{5,74}{(2,218 \times 10^5)^{0,9}} \right)]^2} = 1,532 \times 10^{-2} \quad (\text{A.2.1.20})$$

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\eta} = \frac{945 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 2,162 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,163 \text{ m}}{1,502 \times 10^{-3}} = 2,218 \times 10^5 \quad (\text{A.2.1.21})$$

A.2.2 Disseny de la bomba P-6030

Es realitza els mateixos càlculs i suposicions que a l'apartat anterior però aplicant els valors i paràmetres del sistema del W-6030.

Figura A.2.2.1. $NSPH_{dis}$ en funció de l'altura del tanc

El comportament del sistema de la P-6030 es igual que el de la P-6130 però amb la diferència que l'afecta més la calor al ser un tanc més gran i provoca una mica me de pèrdua de càrrega encara que sempre es positiva.

$$Q_{eliminar} = Q_{acrilat Z=1} + Q_{radiació} = 2,240 \times 10^6 \text{ kJ} + 3,829 \times 10^6 \text{ kJ} \quad (\text{A.2.2.1})$$

$$Q_{eliminar} = 6,068 \times 10^6 \text{ kJ}$$

$$Q_{acrilat Z=1m} = \frac{1 \text{ m}}{10 \text{ m}} \cdot Q_{acrilat max} = \frac{1 \text{ m}}{10 \text{ m}} \cdot 2,240 \times 10^7 \text{ kJ} = 2,240 \times 10^6 \text{ kJ} \quad (\text{A.2.2.2})$$

$$Q_{radiació} = I \cdot A \cdot t = 1116 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}} \cdot 429 \text{ m}^2 \cdot 8 \text{ h} = 3,829 \times 10^6 \text{ kJ} \quad (\text{A.2.2.3})$$

$$M = \frac{Q_{eliminar}}{3600s \cdot 8h \cdot Cp \cdot \Delta T} = \frac{6,068 \times 10^6 \text{ kJ}}{3600s \cdot 8h \cdot 1,964 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (307 - 303)\text{K}} = 26,55 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad (\text{A.2.2.4})$$

$$P_{vap} = 10^{A - \frac{B}{T}} = 10^{4,935 - \frac{2220}{307}} = 4,536 \times 10^{-4} \text{ bar} = 45,35 \text{ Pa} \quad (\text{A.2.2.5})$$

$$NSPH_{dis} = \frac{-P_{vap}}{\rho \cdot g} - \Delta h_f + Z_1 = \frac{-45,35 \text{ Pa}}{945 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} - 0,118 \text{ m} + 1 \text{ m} \quad (\text{A.2.2.6})$$

$$NSPH_{dis} = 0,884$$

$$\Delta h_f = \Delta h_{f \text{ recte}} + \Delta h_{f \text{ locali}} = 2,355 \times 10^{-2} \text{ m} + 8,823 \times 10^{-2} \text{ m} = 0,118 \text{ m} \quad (\text{A.2.2.7})$$

$$\Delta h_{f \text{ recte}} = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = 1,771 \times 10^{-2} \cdot \frac{9 \text{ m}}{0,214 \text{ m}} \cdot \frac{(0,786 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 2,355 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$\Delta h_{f \text{ locali}} = \Sigma K \cdot \Sigma n \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (\text{A.2.2.8})$$

$$\Delta h_{f \text{ locali}} = K_{open} \cdot 4 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} + K_{colz 90^\circ} \cdot 2 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} + K_{entr} \cdot 1 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} + K_{sort} \cdot 1 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (\text{A.2.2.9})$$

$$\Delta h_{f \text{ locali}} = 0,07 \cdot 4 \cdot \frac{(0,786 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} + 1,01 \cdot \frac{(0,786 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} + 0,5 \cdot \frac{(0,786 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} + 1 \cdot \frac{(0,786 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$\Delta h_f \text{ locali} = 8,823 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$v = \frac{M}{\rho \cdot \pi \cdot \frac{D^2}{4}} = \frac{26,55 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{945 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \pi \cdot \frac{(0,214 \text{ m})^2}{4}} = 0,786 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (\text{A.2.2.10})$$

$$f = \frac{0,25}{\left[\log_{10} \left(\frac{k}{3,7} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2} = \frac{0,25}{\left[\log_{10} \left(\frac{1,5 \times 10^{-6} \text{ m}}{0,214 \text{ m}} + \frac{5,74}{(1,055 \times 10^5)^{0,9}} \right) \right]^2} = 1,771 \times 10^{-2} \text{ m} \quad (\text{A.2.2.11})$$

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\eta} = \frac{945 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,786 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,214 \text{ m}}{1,502 \times 10^{-3}} = 1,055 \times 10^5 \quad (\text{A.2.2.12})$$

Ara es procedeix a fer el dimensionament de la bomba. Per a poder realitzar-ho, es suposa que la referència d'alçada es la sortida de la impulsió i $Z_2 = 1 \text{ m}$ ja que el GIN no hi pot arribar la fase gas i a màxim rendiment.

$$\Delta h_{pump} = \Delta h_f + Z_2 = 14,51 \text{ m} + 1 \text{ m} = 15,51 \text{ m} \quad (\text{A.2.2.13})$$

$$\Delta h_f = \Delta h_f \text{ recte} + \Delta h_f \text{ locali} + \Delta h_f \text{ bescanviador} + \Delta h_f \text{ GIN} \quad (\text{A.2.2.14})$$

$$\Delta h_f = 0,741 \text{ m} + 1,731 \text{ m} + 6,641 \text{ m} + 5,394 \text{ m} = 14,43 \text{ m} \quad (\text{A.2.2.15})$$

$$\Delta h_f \text{ recte} = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = 1,342 \times 10^{-2} \cdot \frac{20 \text{ m}}{0,213 \text{ m}} \cdot \frac{(3,400 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 0,741 \text{ m} \quad (\text{A.2.2.16})$$

$$\Delta h_f \text{ locali} = \Sigma K \cdot \Sigma n \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (\text{A.2.2.17})$$

$$\Delta h_f \text{ locali} = K_{open} \cdot 6 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} + K_{colz 90^\circ} \cdot 2 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} + K_{entr} \cdot 1 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} + K_{sort} \cdot 1 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (\text{A.2.2.18})$$

$$\Delta h_f \text{ locali} = 0,07 \cdot 6 \cdot \frac{(3,400 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} + 1,01 \cdot \frac{(3,400 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} + 0,5 \cdot \frac{(3,400 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} + 1 \cdot \frac{(3,400 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$\Delta h_f \text{ locali} = 1,731 \text{ m}$$

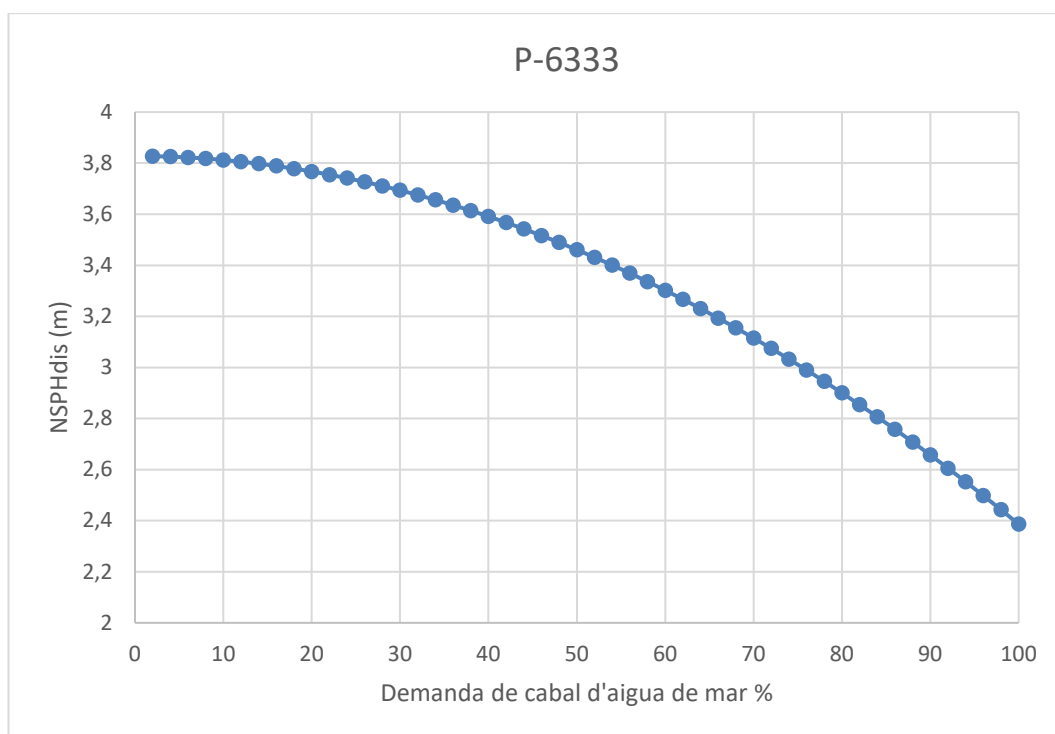
$$v = \frac{M}{\rho \cdot \pi \cdot \frac{D^2}{4}} = \frac{114,8 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{945 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \pi \cdot \frac{(0,213 \text{ m})^2}{4}} = 3,400 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (\text{A.2.2.19})$$

$$f = \frac{0,25}{\left[\log_{10} \left(\frac{k}{3,7} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2} = \frac{0,25}{\left[\log_{10} \left(\frac{1,5 \times 10^{-6} \text{ m}}{0,213 \text{ m}} + \frac{5,74}{(4,560 \times 10^5)^{0,9}} \right) \right]^2} = 1,532 \times 10^{-2} \quad (\text{A.2.2.20})$$

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\eta} = \frac{945 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 3,400 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,213 \text{ m}}{1,502 \times 10^{-3}} = 4,560 \times 10^5 \quad (\text{A.2.2.21})$$

A.2.3 Disseny de la bomba P-6333

En el cas de la bomba d'aigua es suposa que el nivell dels dos tancs influeix sobre aquesta i varia el cabal que es necessari per a refrigerar. Com es sap dels càlculs dels bescanviadors quina es la demanda màxima d'aigua dels dos equips, es fa el mateix estudi que en les altres bombes amb el canvi de que aquí Z_1 es sempre igual ja que l'aigua s'obté del rack situat a 4 metres i l'únic que varia es la pèrdua de càrrega amb el cabal.


 Figura A.2.3.1. $NSPH_{dis}$ en funció de la demanda de cabal d'aigua de mar

En aquest exemple es pot veure com a mesura que la demanda de cabal es va fent més elevada també augmenta la pèrdua de càrrega disminuint a la par el $NSPH_{dis}$. Per sort, a màxim cabal, el $NSPH_{dis}$ es positiu fent viable aquesta configuració. A continuació es mostren les equacions utilitzades:

$$M = M_{MAXW-6130} + M_{MAXW-6030} = 29,22 \frac{\text{kg}}{\text{s}} + 78,57 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 107,8 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad (\text{A.2.3.1})$$

$$P_{vap} = 10^{A-\frac{B}{T}} = 10^{5,402-\frac{1839}{288}} = 1,688 \times 10^{-2} \text{ bar} = 1688 \text{ Pa} \quad (\text{A.2.3.2})$$

$$NSPH_{dis} = \frac{-P_{vap}}{\rho \cdot g} - \Delta h_f + Z_1 = \frac{-1688 \text{ Pa}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} - 1,442 \text{ m} + 4 \text{ m} \quad (\text{A.2.3.3})$$

$$NSPH_{dis} = 2,386 \quad (\text{A.2.3.4})$$

$$\Delta h_f = \Delta h_{f \text{ recte}} + \Delta h_{f \text{ locali}} = 0,241 \text{ m} + 1,201 \text{ m} = 1,442 \text{ m} \quad (\text{A.2.3.5})$$

$$\Delta h_{f \text{ recte}} = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = 1,383 \times 10^{-2} \cdot \frac{9 \text{ m}}{0,214 \text{ m}} \cdot \frac{(3,017 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 0,241 \text{ m} \quad (\text{A.2.3.6})$$

$$\Delta h_{f \text{ locali}} = \Sigma K \cdot \Sigma n \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (\text{A.2.3.7})$$

$$\Delta h_{f \text{ locali}} = K_{open} \cdot 1 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} + K_{colz 90^\circ} \cdot 2 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} + K_{entr} \cdot 1 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} + K_{sort} \cdot 1 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (\text{A.2.3.8})$$

$$\Delta h_{f \text{ locali}} = 0,07 \cdot 1 \cdot \frac{(3,017 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} + 0,51 \cdot 2 \cdot \frac{(3,017 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} + 0,5 \cdot \frac{(3,017 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} + 1 \cdot \frac{(3,017 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$\Delta h_{f \text{ locali}} = 1,201 \text{ m}$$

$$v = \frac{M}{\rho \cdot \pi \cdot \frac{D^2}{4}} = \frac{107,8 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \pi \cdot \frac{(0,214 \text{ m})^2}{4}} = 3,017 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (\text{A.2.3.9})$$

$$f = \frac{0,25}{\left[\log_{10}\left(\frac{k}{3,7} + \frac{5,74}{Re^{0,9}}\right)\right]^2} = \frac{0,25}{\left[\log_{10}\left(\frac{1,0 \times 10^{-6} \text{ m}}{0,214 \text{ m}} + \frac{5,74}{(4,923 \times 10^5)^{0,9}}\right)\right]^2} = 1,383 \times 10^{-2} \quad (\text{A.2.3.10})$$

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\eta} = \frac{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 3,017 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,214 \text{ m}}{1,307 \times 10^{-3}} = 4,923 \times 10^5 \quad (\text{A.2.3.11})$$

Ara es procedeix a fer el dimensionament de la bomba. Per a poder realitzar-ho, es suposa que la referència d'alçada es la sortida de la impulsió i $Z_2 = 0 \text{ m}$ ja que la canonada a on va l'aigua de mar està a la mateixa altura que la bomba.

$$\Delta h_{pump} = \Delta h_f = 26,00 \text{ m} \quad (\text{A.2.3.12})$$

$$\Delta h_f = \Delta h_{f \text{ recte}} + \Delta h_{f \text{ locali}} + \Delta h_{f W6130} + \Delta h_{f W6030} \quad (\text{A.2.3.13})$$

$$\Delta h_f = 10,91 \text{ m} + 10,21 \text{ m} + 1,878 \text{ m} + 2,945 \text{ m} = 26,00 \text{ m}$$

$$\Delta h_{f \text{ recte}} = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = 1,320 \times 10^{-2} \cdot \frac{380 \text{ m}}{0,213 \text{ m}} \cdot \frac{(3,017 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 10,91 \text{ m} \quad (\text{A.2.3.14})$$

$$\Delta h_{f \text{ loc}} = \Sigma K \cdot \Sigma n \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (\text{A.2.3.15})$$

$$\Delta h_{f \text{ loc}} = K_{open} \cdot 10 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} + K_{colz 90^\circ} \cdot 30 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} + K_{entr} \cdot 4 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} + K_{sort} \cdot 4 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (\text{A.2.3.16})$$

$$\Delta h_{f \text{ loc}} = 0,07 \cdot 10 \cdot \frac{(3,017 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} + 0,51 \cdot 30 \cdot \frac{(3,017 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} + 0,5 \cdot 4 \cdot \frac{(3,017 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} + 4 \cdot \frac{(3,017 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$\Delta h_{f \text{ locali}} = 10,21 \text{ m} \quad (\text{A.2.3.17})$$

$$v = \frac{M}{\rho \cdot \pi \cdot \frac{D^2}{4}} = \frac{107,8 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \pi \cdot \frac{(0,213 \text{ m})^2}{4}} = 3,017 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (\text{A.2.3.18})$$

$$f = \frac{0,25}{\left[\log_{10}\left(\frac{k}{3,7} + \frac{5,74}{Re^{0,9}}\right)\right]^2} = \frac{0,25}{\left[\log_{10}\left(\frac{1,0 \times 10^{-6} \text{ m}}{0,213 \text{ m}} + \frac{5,74}{(4,923 \times 10^5)^{0,9}}\right)\right]^2} = 1,320 \times 10^{-2} \quad (\text{A.2.3.19})$$

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\eta} = \frac{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 3,017 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,213 \text{ m}}{1,307 \times 10^{-3}} = 4,923 \times 10^5 \quad (\text{A.2.3.20})$$

A.3 Càlcul de l'equip a pressió

El cos del dipòsit es pot separar en un cilindre i els capçals en una el·lipsoide 2:1 (una meitat cada capçal):

$$V_{total} (\text{m}^3) = V_{cilindre} + V_{elipsoide 2:1} \quad (\text{A.3.1})$$

$$V_{cilindre} (\text{m}^3) = \pi \cdot R^2 \cdot H \quad (\text{A.3.2})$$

$$D (\text{m}) = 2 \cdot R \quad (\text{A.3.3})$$

$$V_{elipsoide 2:1} (\text{m}^3) = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot \text{altura} \cdot \text{llargada} \cdot \text{amplada} \quad (\text{A.3.4})$$

Imposem que l'altura de la el·lipsoide es:

$$h (\text{m}) = \frac{D}{4} = \frac{R}{2} \quad (\text{A.3.5})$$

I que l'altura del dipòsit es:

$$H (\text{m}) = 2,5 \cdot D = 5 \cdot R \quad (\text{A.3.6})$$

Les equacions quedarien:

$$V_{\text{elipsoide } 2:1} \text{ (m}^3\text{)} = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot \frac{R}{2} \cdot R \cdot R = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot R \quad (\text{A.3.7})$$

$$V_{\text{total}} \text{ (m}^3\text{)} = \pi \cdot R^2 \cdot H + \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot R \cdot R = \pi \cdot R^2 \cdot 5 \cdot R + \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot R \cdot R = (5\pi + \frac{2}{3}\pi) \cdot R^3 \quad (\text{A.3.8})$$

$$R = \sqrt[3]{\frac{V_{\text{total}}}{(5\pi + \frac{2}{3}\pi)}} = \sqrt[3]{\frac{4 \text{ m}^3}{(5\pi + \frac{2}{3}\pi)}} = 0,608 \text{ m} \quad (\text{A.3.9})$$

$$D = 2 \cdot R = 2 \cdot 0,608 \text{ m} = 1,216 \text{ m} \quad (\text{A.3.10})$$

$$H = 5 \cdot R = 5 \cdot 0,608 \text{ m} = 3,040 \text{ m} \quad (\text{A.3.11})$$

Una vegada es saben els paràmetres geomètrics es calculen els espessors longitudinals, circumferencials i dels capçals per a veure quin es mes restrictiu:

$$S = \frac{\sigma_e}{1,5} = \frac{5,700 \times 10^4 \text{ psi}}{1,5} = 3,800 \times 10^4 \text{ psi} \quad (\text{A.3.12})$$

$$e_{\text{cir}} = \frac{P \cdot R}{S \cdot E - 0,6 \cdot P} = \frac{145 \text{ psig} \cdot 23,94 \text{ in}}{3,800 \times 10^4 \cdot 1 - 0,6 \cdot 145 \text{ psig}} = 9,154 \times 10^{-2} \text{ in} = 2,406 \times 10^{-3} \text{ m} \quad (\text{A.3.13})$$

$$e_{\text{lon}} = \frac{P \cdot R}{2 \cdot S \cdot E + 0,4 \cdot P} = \frac{145 \text{ psig} \cdot 23,94 \text{ in}}{2 \cdot 3,800 \times 10^4 \cdot 1 + 0,4 \cdot 145 \text{ psig}} = 4,563 \times 10^{-2} \text{ in} = 1,159 \times 10^{-3} \text{ m} \quad (\text{A.3.14})$$

$$e_{\text{cap}} = \frac{P \cdot D}{2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P} = \frac{145 \text{ psig} \cdot 47,87 \text{ in}}{2 \cdot 3,800 \times 10^4 \cdot 1 - 0,2 \cdot 145 \text{ psig}} = 9,137 \times 10^{-2} \text{ in} = 2,401 \times 10^{-3} \text{ m} \quad (\text{A.3.15})$$

Com es pot veure a les equacions, l'espessor mes restrictiu es el circumferencial. A aquest, se li ha d'afegir la contribució de la corrosió que serà un altre espessor addicional:

$$e = e_{\text{restrictiu}} + e_{\text{corrosió}} = 9,154 \times 10^{-2} \text{ in} + 6,250 \times 10^{-2} \text{ in} \quad (\text{A.3.16})$$

$$e = 0,154 \text{ in} = 3,908 \times 10^{-3} \text{ m}$$

I així obtenim l'espessor mínim necessari per a la pressió de disseny de 10 bar. L'espessor comercial que s'escollirà es el de 0,25 in que es 6,35 mm.

Tot seguit es calcula el pes del dipòsit buit i ple d'aigua.

$$W_{\text{buit}} \text{ (kg)} = 1,2 \cdot \rho_{\text{acer}} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot H \cdot [(D + 2 \cdot e_{\text{final}})^2 - (D)^2] + W_{\text{capçals}} \quad (\text{A.3.17})$$

$$W_{\text{buit}} = 1,2 \cdot 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 3,040 \text{ m} \cdot [(1,216 \text{ m} + 2 \cdot 6,250 \times 10^{-3} \text{ m})^2 - (1,216 \text{ m})^2] + 234,0 \text{ kg} = 932,1 \text{ kg}$$

$$W_{\text{capçals}} \text{ (kg)} = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot [(R + e_{\text{final}})^3 - (R)^3] \cdot \rho_{\text{acer}} \quad (\text{A.3.18})$$

$$W_{\text{capçals}} \text{ (kg)} = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot [(0,608 \text{ m} + 6,250 \times 10^{-3} \text{ m})^3 - (0,608 \text{ m})^3] \cdot 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 234,0 \text{ kg}$$

$$W_{\text{aigua}} \text{ (kg)} = \rho_{\text{aigua}} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot H \cdot (D)^2 \quad (\text{A.3.19})$$

$$W_{\text{aigua}} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 3,040 \text{ m} \cdot (1,216 \text{ m})^2 = 4000 \text{ kg}$$

$$W_{\text{total}} \text{ (kg)} = W_{\text{buit}} + W_{\text{aigua}} = 932,1 \text{ kg} + 4000 \text{ kg} = 4932 \text{ kg} \quad (\text{A.3.20})$$