



PLANTA DE PRODUCCIÓ D'UREA

PROJECTE DE FI DE GRAU
Enginyeria Química

Karla Maytte Benavides Guillen

Marc Boix Fonoll

Aleix Fernandez Parra

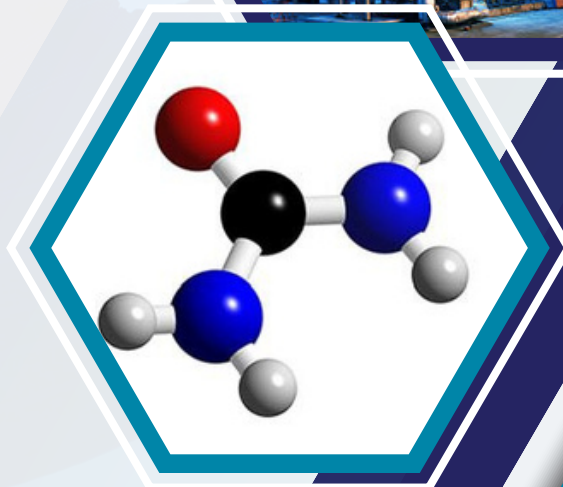
Lorena García Arnaiz

Sergi Gil Sorribes

Silvia Montseny Milan

Tutor: Rafael Bosch Palacios

Juny 2024



UAB

Universitat Autònoma de Barcelona

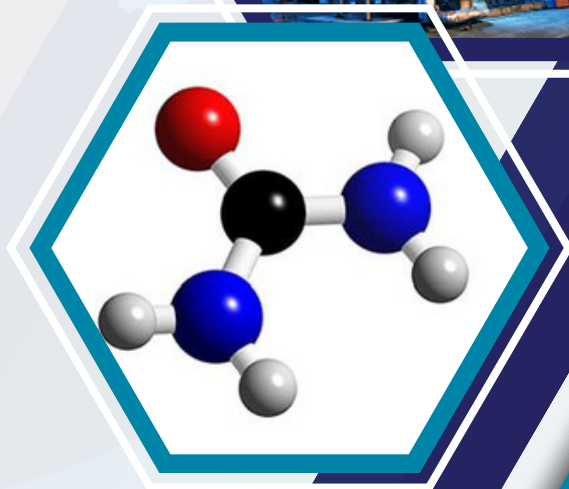
e escola
d'enginyeria



PLANTA DE PRODUCCIÓ D'UREA

PROJECTE DE FI DE GRAU
Enginyeria Química

CAPÍTOL 11.
MANUAL DE
CÀLCULS



Contenido

11	Manual de càlculs.....	2
11.1	Introducció	2
11.2	Disseny dels diferents equips	3
11.2.1	Disseny dels bescanviadors de calor	3
11.2.1.2	Disseny del reactor	12
11.1.1	Balanç d'energia del reactor	20
	Càlcul del caudal de refrigeració	20
11.2	Tancs d'emmagatzematge	21
11.2.1	Tancs d'emmagatzematge segons normativa ASME	21
11.1.2	Tanc d'emmagatzematge de CO ₂	30
11.1.3	Tanc d'emmagatzematge NH ₃	34
11.1.4	Tanc d'emmagatzematge solució urea	38
11.1.5	Tancs d'emmagatzematge solució NH ₃	42
11.1.6	Tanc d'emmagatzematge urea granulada	47
11.2	Tancs Flash	49
11.3	Disseny del stripper	50
11.4	Disseny del Pool Condenser	58
11.5	Disseny del separador	64
	Disseny del scrubber	70
11.6	Disseny del granulador i dels compressors	76
11.7	Disseny de bombes	77
11.8	Disseny de canonades	82
11.9	Bibliografia	89

11 Manual de càlculs

11.1 Introducció

En aquest capítol es presenta una recopilació de metodologies i detalls dels càlculs utilitzats per al disseny de les diverses seccions de la planta Ureka. S'hi detalla el càlcul del disseny de cadascun dels equips principals de la planta, així com els càlculs necessaris per avaluar les necessitats de canonades, vàlvules, seguretat, i finalment l'estimació dels costos de cada equip.

Abans de dissenyar els equips, és essencial conèixer en detall el procés i certs paràmetres inherents a la planta, com ara les reaccions químiques i la seva estequiometria, els balanços de matèria i energia, la producció estimada que es vol aconseguir i els equips necessaris per al procés en qüestió.

L'objectiu de Ureka és assolir una producció de 1200 Tn/dia d'urea granulada en grau fertilitzant, operant durant 300 dies/any, el que es tradueix en una producció d'unes 360000 Tn any. A partir d'aquestes necessitats, s'han realitzat tots els càlculs pertinents. El disseny del procés i d'alguns equips s'ha realitzat amb el simulador de processos Aspen Hysys, tot i que també s'ha complementat amb altres metodologies. A continuació, es detalla aquest disseny.

Els balanços de matèria i energia i els detalls de la cinètica de les reaccions s'exposen en el disseny de cadascun dels equips.

11.2 Disseny dels diferents equips

11.2.1 Disseny dels bescanviadors de calor

11.2.1.1 Explicació teòrica del disseny

Els bescanviadors de calor són elements indispensables per escalfar, refredar, evaporar o condensar qualsevol corrent del circuit. A Ureka tots els bescanviadors de calor que s'utilitzen són de carcassa i tubs; s'ha decidit així ja que aquests són relativament fàcils de dissenyar, netejar un cop estiguin en funcionament, i econòmics comparats amb altres alternatives del mercat.

Per realitzar el disseny s'ha utilitzat el programa Apen Exchanger Desing and Rating. El programa en qüestió segueix la normativa TEMA (Tubular Exchanger Manufacturers Association) i el codi ASME (American Society of Mechanical Engineers). El programa és d'alta utilitat, ja que adverteix dels errors que impossibiliten el disseny o bé de possibles incoherències en aquest. A continuació s'adjunta la figura [1], on es pot veure l'esquema del funcionament d'un bescanviador de carcassa i tubs, el model que s'utilitzarà a Ureka. ^[1]

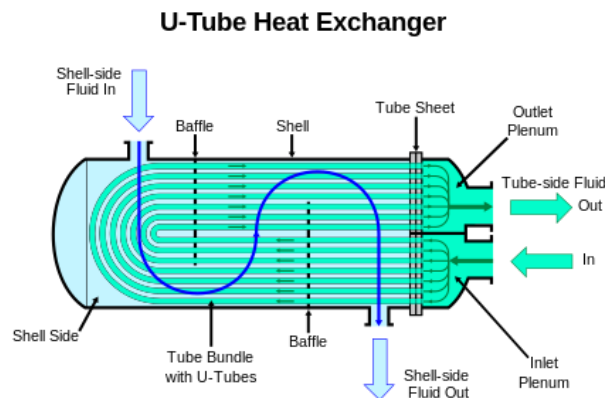


Figura 1: Esquema del funcionament d'un bescanviador de carcassa i tubs

A continuació es fa un llistat dels diferents paràmetres fonamentals que s'han de tenir en compte per tal que el disseny del bescanviador sigui coherent i viable:

1. Circulació del fluid

A l'hora de realitzar el disseny el programa Apen Exchanger Desing and Rating V10 permet fer circular la solució per tubs o per carcassa. Per decidir per on fer circular la solució i per on fer circular el fluid refrigerant s'han de tenir en compte els següents paràmetres:

El fluid que circularà per carcasses acostumarà a ser el més viscos i el que tingui un factor d'embrutiment més elevat; a causa de la major facilitat de netejar que es té en la carcassa respecte els tubs.

Per tubs circularà el fluid que es troba a major temperatura, el més corrosiu, el que tingui un cabal volumètric més elevat, el menys viscos i el que tingui un coeficient d'embrutiment més petit.

Cal remarcar que aquests paràmetres són importants per tal que el bescanviador resultant sigui el més útil possible; però no són paràmetres imprescindibles a l'hora que el programa consideri viable un disseny d'un bescanviador determinat.^[1]

2. Característiques i distribució dels tubs

Com més petit sigui el diàmetre del tub utilitzat més petit serà el bescanviador en qüestió, i en conseqüència més econòmic; no obstant, també s'ha de tenir en compte que un diàmetre de tubs major pot facilitar la neteja de l'equip, i acabar reduint costos en aquest àmbit. Generalment, el diàmetre extern dels tubs d'un bescanviador de carcassa i tubs sol prendre valors compresos entre els 16 i els 50 mm; no obstant això, aquests poden variar en funció de les necessitats de refrigeració, caiguda de pressió, neteja, etc.

La distribució dels tubs dins de la carcassa pot ser del tipus romboidal, triangular, o quadrat. A continuació s'adjunta la figura [3], on es poden veure les distribucions mencionades.

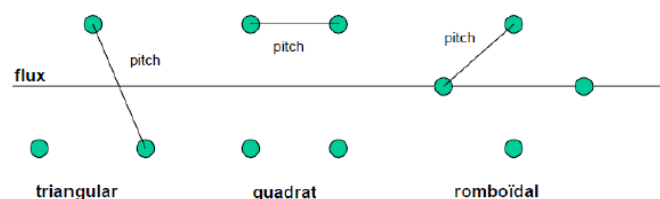


Figura 3: Tipus de pitch

A Ureka, tots els bescanviadors tenen una distribució dels tubs que segueixen la forma del pitch triangular. El pitch triangular, juntament amb el pitch romboidal, ofereix una alta velocitat de transferència de calor; no obstant, el triangular pot ser utilitzat en qualsevol règim de circulació, i té factors d'embrutiment més baixos. Per altra banda, el pitch quadrat s'utilitza per quan es vol una neteja més fàcil a l'interior de la carcassa. Cal mencionar que el pitch quadrat pot ser de 90°

o

45°.

Es defineix pitch com la distància entre dos tubs consecutius. Es recomana un pitch sigui de 1.25 vegades el diàmetre extern del tub.^[1]

3. Velocitat de circulació

La velocitat de circulació és un paràmetre a controlar per tal de garantir un correcte funcionament i bescanvi de calor. La velocitat de circulació dependrà de si es mira la circulació del corrent de carcasses o tubs.

A continuació es mostren les velocitats típiques de circulació per el cas dels tubs:

- Líquids: La velocitat de circulació sol ser de l'ordre dels 0.5 a 3 m/s.
- Gasos: poden arribar a circular fins a 30 m/s, però depenen de paràmetres com la pressió, densitat, etc.

Seguidament es tracta sobre les velocitats típiques de circulació per carcasses:

- Líquids: la velocitat de circulació sol oscil·lar entre els 0.3-1 m/s.
- Gasos: També depèn de la densitat i pressió d'operació; en el cas que la circulació sigui al buit pot arribar a prendre valors de fins a 50-70 m/s.^[1]

4. Configuració de la carcassa

Les carcasses poden ser de diverses maneres. Quan es parla de configuracions de la carcassa s'engloba el tipus de capçal del bescanviador, el cos, i el fons d'aquest. A continuació s'adjunta la figura [4], on es poden veure els diferents tipus de configuracions que es poden dur a terme.

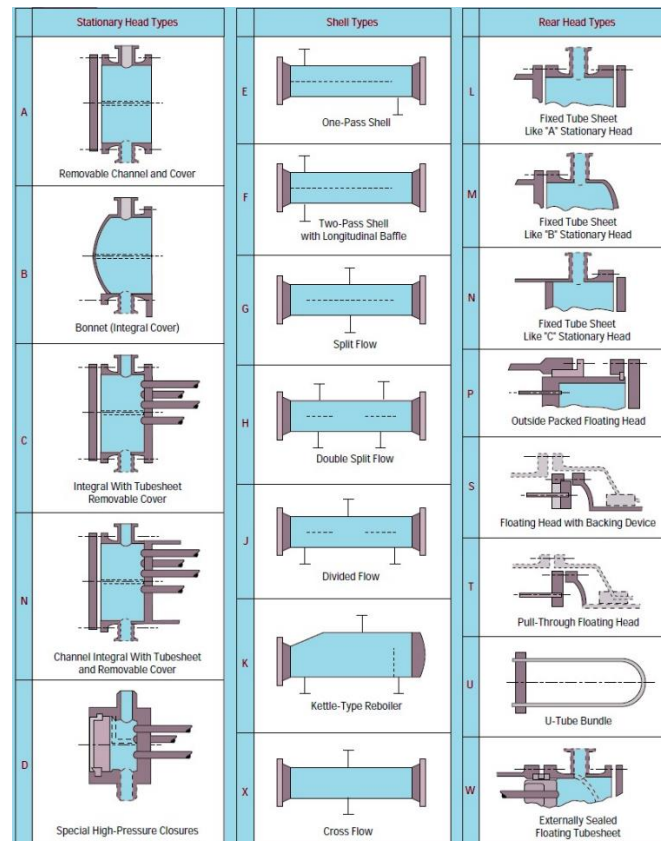


Figura 4: Configuració de la carcassa

A la nostra empresa tots els bescanviadors de calor que s'ha decidit utilitzar segueixen la nomenclatura BEM, independentment de si es tracten d'evaporadors, calefactores, refrigeradors o condensadors. ^[1]

5. Pantalles deflectores

A l'hora de dissenyar les pantalles deflectores s'ha de tenir dos paràmetres en compte:

1. El baffle cut o altura lliure de la pantalla és l'espai que queda entre la carcassa i el baffle en qüestió. Aquest valor s'expressa com un percentatge que representa el % del diàmetre de la carcassa. Els valors típics es troben entre el 25 i el 35%, tot i que el 25% acostuma a ser el nombre més usual.

2. La distància entre les pantalles deflectores és l'altre paràmetre a tenir en compte a l'hora de considerar el disseny dels baffle cuts. Aquesta distància acostuma a prendre valors entre 0.4 i 0.6 vegades el diàmetre de la carcassa.

A més a més, cal mencionar que actualment es disposa de diversos tipus de pantalles deflectores en el mercat; el deflector segmental simple, el deflector segmental doble, i el deflector segmental triple. A continuació s'adjunta la figura [5], per tal que es pugui comprendre millor en què consisteix cada un d'aquests. A Ureka els deflectors utilitzats són del tipus segmental simple.^[2]

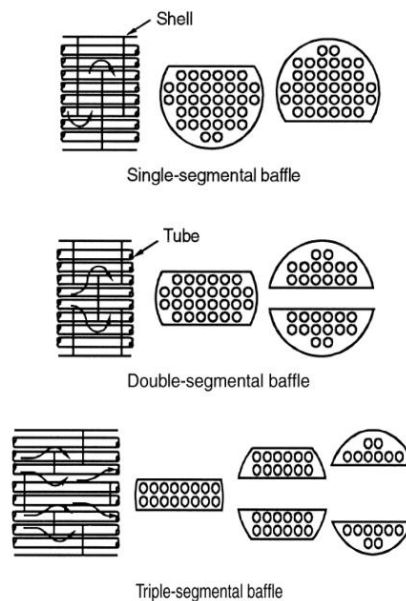


Figura 5: Tipus de deflectors disponibles

6. Caiguda de pressió

Les caigudes de pressió són un altre element a tenir en compte de cara al correcte funcionament del bescanviador de calor. S'ha de considerar que com més elevada sigui la circulació del corrent major serà la caiguda de pressió que provocarà. Les pèrdues de pressió, si no es calculen amb el Apen Exchanger Desing and Rating, es calculen a través de mètodes correlatius. A continuació s'adjunta la Taula [1], on es pot observar la pèrdua de pressió en funció de la viscositat del corrent.^[1]

Taula 1: Viscositat i caiguda de pressió associada

Gasos		Líquids	
Pressió (bar)	Pressió (kN/m ²)	Viscositat (cp)	Pèrdua de pressió (Kn/m ²)
>10 bar	$0,1 \cdot P_{\text{man}}$	$1 < \mu < 10$	<70
1 a 2	$0,5 \cdot P_{\text{man}}$	$\mu < 1$	35
Buit mig	$0,1 \cdot P_{\text{abs}}$		
Buit elevat	0,4-0,5		

7. Coeficients d'embrutiment

Els coeficients d'embrutiment són un nombre o coeficient que indiquen amb quina mesura s'embruta el tub pel qual circula el fluid en qüestió. Aquest coeficient depèn del fluid en qüestió, i és de gran importància ja que un embrutiment elevat fa que el bescanvi de calor sigui menor. A continuació s'adjunta la Taula [2], on es pot veure els coeficients d'embrutiment per diversos fluids comunament utilitzats en l'àmbit industrial. ^[3]

Taula 2: Coeficient d'embrutiment en funció de la substància

Substància	Coeficient embrutiment(m ² K/W)
Vapors d'alcohol	0,00009
Aigua d'alimentació de calderes tractada per sobre de 325 K	0,0002
Oli combustible	0,0009
Aire industrial	0,0004
Oli de temprar	0,0007
Líquid refrigerant	0,0002
Aigua de mar per sota de 325 K	0,00009
Aigua de mar per sobre de 325 K	0,0002
Vapor	0,00009

11.2.1.2 Dimensionament del bescanviador

Tot seguit s'explica el disseny d'un bescanviador de calor amb el programa Apen Exchanger Design and Rating. En obrir el programa primer de tot s'ha de seleccionar el tipus de bescanviador que es vol dissenyar, veure la Figura [6].

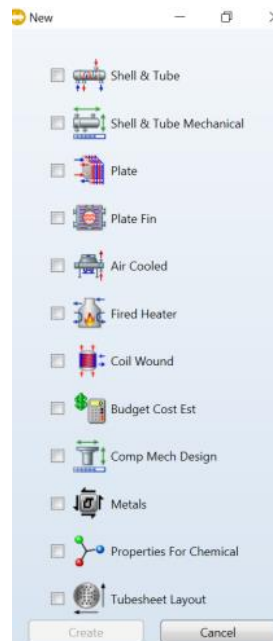


Figura 6: Possibles bescanviadors a dissenyar

Tal com s'ha mencionat anteriorment tots els bescanviadors dissenyats són del tipus carcassa i tubs. El següent pas és configurar per on circula el fluid calent dins del reactor, per fer-ho s'ha d'anar a la pestanya "geometry", que es troba dins de la carpeta "console". Veure la Figura [7].

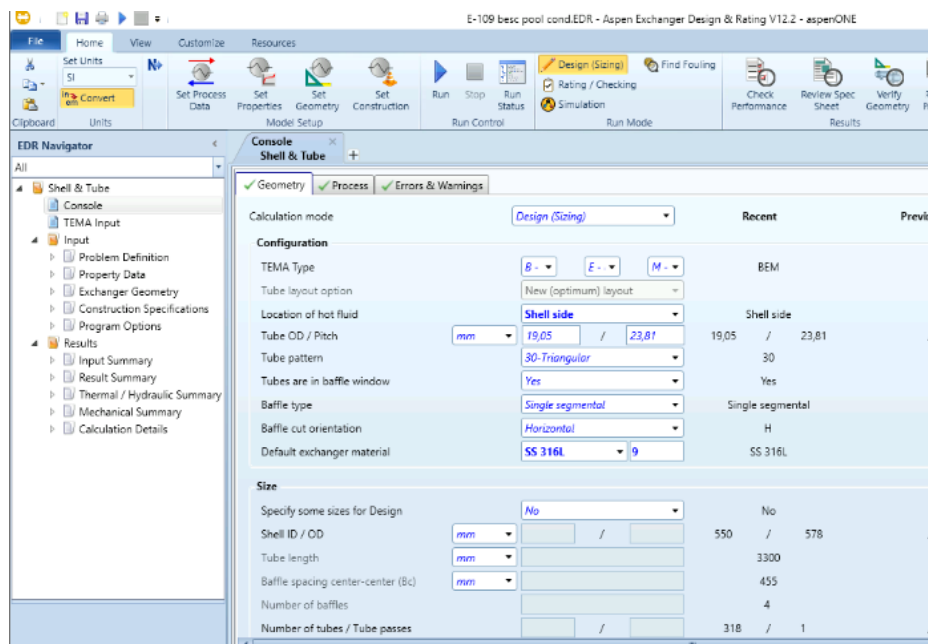


Figura 7: Circulació del fluid calent

S'ha definit també la carcassa del bescanviador, observar la Figura [8] adjunta a continuació. En tots els bescanviadors d'Ureka s'ha utilitzat la configuració BEM. Per poder definir aquest aspecte s'ha hagut d'accedir a la pestanya "exchanger geometry" dins de la carpeta "input".

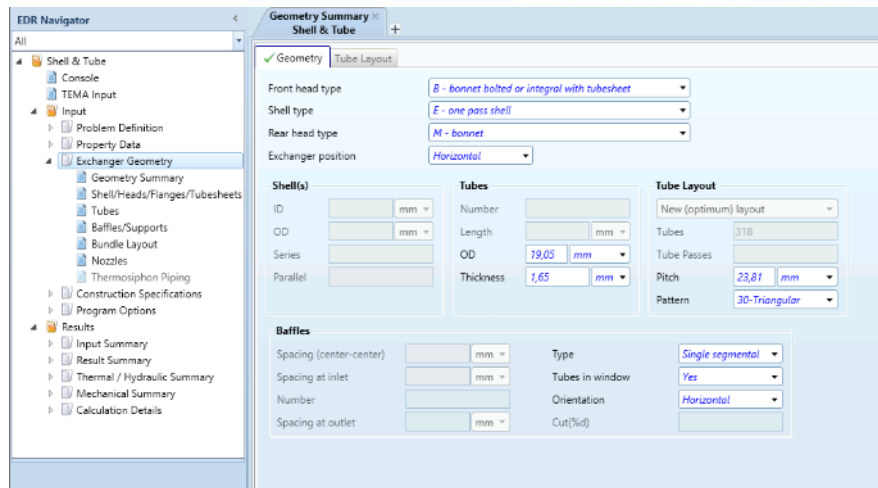


Figura 8: Disseny i orientació de la carcassa del bescanviador

També s'ha de determinar la composició del fluid refrigerant i la composició del corrent del procés que passa pel bescanviador en qüestió. En tots els casos la composició del fluid refrigerant ha estat únicament aigua. En la Figura [9] es pot veure la pantalla on es modifiquen els paràmetres referits a fluid calent; per accedir-hi s'ha d'anar a la carpeta "property data" i seleccionar "hot stream (1) compositions".

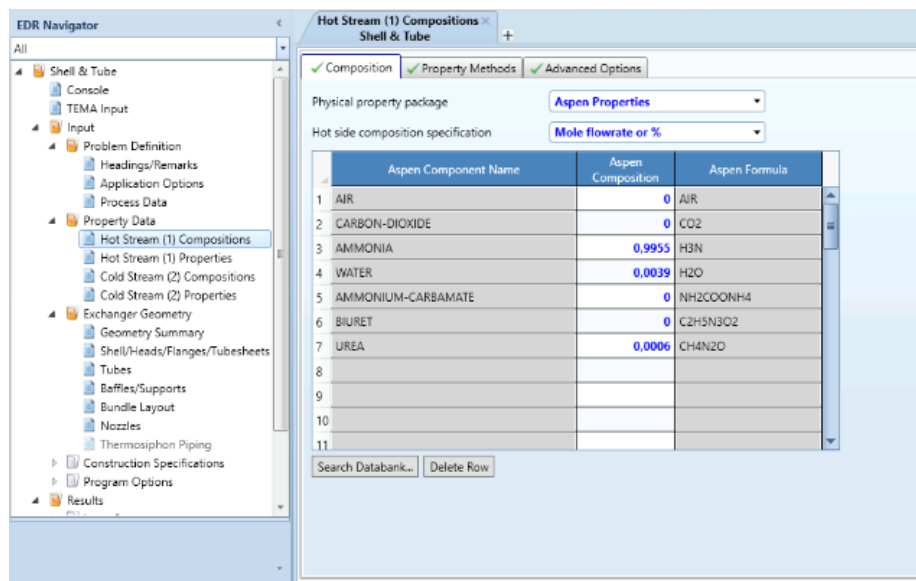


Figura 9: Exemple de composició del fluid calent

També s'ha d'introduir el material del qual estan formats els respectius bescanviadors, veure figura [10]. Tots els bescanviadors a Ureka són de SS 316L. Per poder accedir a aquesta opció dins del programa s'ha hagut d'accedir a la carpeta "exchanger geometry" i clicar a "construction specifications".

Component	Material	Designator
Cylinder - hot side	SS 316L	9
Cylinder - cold side	SS 316L	9
Tubesheet	SS 316L	9
Double tubesheet (inner)	Set Default	0
Baffles	SS 316L	9
Tube material	SS 316L	9
Fin material	Set Default	0

Figura 10: Material dels bescanviadors

Per realitzar el disseny del reactor, s'ha hagut de determinar les condicions del procés. S'ha d'introduir el cabal del corrent calent, i la pressió i temperatura d'entrades tant del fluid calent com del fred. , observar la Figura 11. Per poder introduir totes aquestes variables s'ha d'anar a la carpeta "input" i clicar sobre l'opció "process data".

	Hot Stream (1) Tube Side		Cold Stream (2) Shell Side	
	In	Out	In	Out
Fluid name				
Mass flow rate	kg/h	309		
Mass flow rate multiplier		1		1
Temperature	°C	140	23.52	100
Vapor mass fraction			1	1
Pressure (absolute)	bar	40	140	138.5
Pressure at liquid surface in column				
Heat exchanged	kW			
Heat exchanged multiplier		1		
Exchanger effectiveness				
Adjust if over-specified		Outlet temperature		Outlet temperature
Estimated pressure drop	bar	0.5		1.5
Allowable pressure drop	bar	0.5		1.5
Fouling resistance	m ² -K/W	0.0001		0.0002

Figura 11 Determinació condicions del procés

Els resultats del disseny mencionat es poden veure en el document d'equips; en format de fitxes d'especificacions de bescanviadors.

11.2.1.2 Disseny del reactor

Per realitzar el disseny del reactor el primer que s'ha fet ha estat dur a terme un primer esbós inicial a través del programa Aspen HYSYS. L'objectiu d'aquesta primera fase és obtenir la longitud, diàmetre i en conseqüència el volum de la carcassa del reactor. A continuació s'explica com s'ha realitzat aquest dimensionament inicial.

Dins del HYSYS, primer de tot el que s'ha fet ha estat definir un "reaction set" de la reacció de formació d'urea i biuret que es dona en l'interior d'aquest, així com definir l'estequiometria de la reacció per tal que el programa pugui estimar els corrents de sortida del reactor acuradament. A continuació, en la Figura [12] s'observen els paràmetres mencionats.

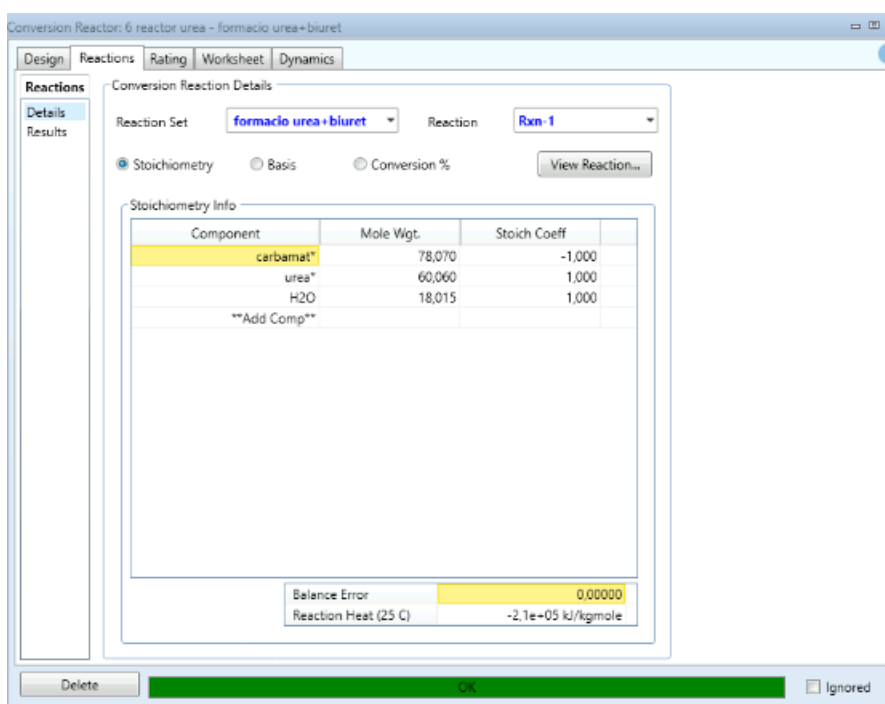


Figura 12: Definició del "reaction set" i estequiometria

Per tal de calcular el volum i diàmetre del reactor s'han especificat les condicions a les quals operen els corrents d'entrada i sortida del reactor. Dels corrents d'entrada s'ha especificat la composició, pressió i temperatura; i dels de sortida únicament la temperatura del corrent que surt per cues. Amb aquests valors d'entrada el mateix programa és capaç de calcular la resta. A continuació en les Figures [13] i [14] es poden veure les composicions dels corrents i les condicions a les quals operen. Mencionar que tots els valors d'entrada introduïts han estat extrets a partir de balanços propis o valors bibliogràfics. [4]

Conversion Reactor: 6 reactor urea - formacio urea+biuret

Design Reactions Rating Worksheet Dynamics

Worksheet

	entrada gasR	entrada liquid R	11	10
Air	0,5874	0,0000	0,0000	0,0833
CO2	0,4126	0,0000	0,0000	0,0585
Ammonia	0,0000	0,4425	0,2765	0,8264
H2O	0,0000	0,1401	0,3666	0,0294
carbamat*	0,0000	0,4174	0,1073	0,0000
biuret*	0,0000	0,0000	0,0004	0,0000
urea*	0,0000	0,0000	0,2493	0,0024

Delete OK Ignored

Figura 13: Composicions dels corrents d'entrada i sortida obtinguts

Conversion Reactor: 6 reactor urea - formacio urea+biuret

Design Reactions Rating Worksheet Dynamics

Worksheet

Name	entrada gasR	entrada liquid R	11	10
Vapour	1,0000	0,3794	0,0000	1,0000
Temperature [C]	175,0	175,0	190,0	190,0
Pressure [bar]	140,0	140,0	140,0	140,0
Molar Flow [kgmole/h]	68,59	3325	3881	483,8
Mass Flow [tonne/h]	2,412	141,8	134,6	9,547
Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	2,835	147,6	132,3	14,20
Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-1,574e+005	-1,816e+005	-1,915e+005	-6,203e+004
Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	157,4	-15,21	-48,76	182,5
Heat Flow [kJ/h]	-1,080e+007	-6,036e+008	-7,433e+008	-3,001e+007

Delete OK Ignored

Figura 14 Condicions dels corrents

Un cop definits tots aquests paràmetres, a través del Hysys s'han obtingut els paràmetres buscats, veure la Taula 3 .

Taula 3 Longitud, diàmetre intern i radi del reactor

L reactor (m)	19,280
Diàmetre intern carcassa (m)	3,505
radi(m)	1,753

A partir d'aquests valors s'ha calculat l'àrea de la base i el volum del reactor; veure les equacions [1] i [2]. Destacar que el volum calculat seria només de la part cilíndrica del reactor, sense tenir en compte el capçal de caps ni de cues. El valor de l'àrea de la base d'aquest cilindre ha estat de 9.649 m², i el del volum del cilindre de 186,026 m³.

$$A_b = \pi \cdot r^2 \quad [1]$$

On:

- A_b és l'àrea de la base (m²)
- r és el radi (m)

$$V = A_b \cdot L \quad [2]$$

On :

- V és el volum (m³)
- A_b és l'àrea de la base (m²)
- L és la longitud del reactor (m)

Altres paràmetres interessants que s'han calculat a través del HYSYS són els que es mostren a continuació en la taula 4. S'ha de tenir en compte que el reactor és d'acer inoxidable 316.

Taula 4 Densitats del reactor, aigua i de la mescla.

Densitat SS316 (kg/m ³)	8027
Densitat aigua(kg/m ³)	1000
Densitat mescla (kg/m ³)	482,9

Seguidament s'ha procedit amb els càlculs dels capçals del reactor; per dissenyar-los s'ha fet ús de la normativa ASME. A continuació s'adjunta la Taula 5. En aquesta es pot veure un seguit de paràmetres extrets directament del Hysys, juntament amb altres que s'han calculat per altres mètodes alternatius. El valor de l'eficiència s'ha extret directament de la secció 8 de la normativa ASME, més concretament de la taula UW-12. En canvi, el valor dels esforços admissibles s'ha tret de la mateixa normativa però de la secció II, part D. Tal com s'ha mencionat anteriorment a continuació s'adjunta la Taula 5. També s'adjunta la Figura 15, on es pot veure una captura de pantalla de la Taula UW-12 mencionada.

Tipo	Descripción	Eficiencia de la junta, E		
		(a)	(b)	(c)
		Radiografiada totalmente	Examinada por zonas	No examinada
1	Junta a tope con doble cordón de soldadura, o por otro medio con el que se obtenga la misma calidad de soldadura depositada sobre la superficie interior y exterior de la pieza	1	0,85	0,7
2	Junta a tope con un solo cordón de soldadura, con tira de respaldo, que queda en su lugar despues de soldar	0,9	0,8	0,65
3	Junta a tope con un solo cordón de soldadura, sin tira de respaldo	-	-	0,6
4	Junta a traslape de doble filete completo	-	-	0,55
5	Junta a traslape de un solo filete completo	-	-	0,5

Figura 15: Eficiència de les juntes, ASME SECT 8, Taula UW-12

Taula 5 Valors del HYSYS i normativa ASME

P (Kpa)	14264
R (m)	1,7525
S (Kpa)	137900
E	0,8
D (m)	3,505

On:

- P és la pressió de disseny (Kpa)
- S és l'esforç admissible (Kpa)
- E l'eficiència de la junta
- R és el radi interior (m)
- D és el diàmetre interior (m)

A partir d'aquests valors s'ha procedit a calcular l'espessor mínim del cilindre (t) amb l'equació 3.

$$t = \frac{P \cdot R}{((S-E)-(0,6 \cdot P))} \quad [3]$$

El valor obtingut ha estat de 0,1935 metres, que per seguretat s'ha decidit sobredimensionar un 20%, prenent així un valor final de 0,2322 metres. Amb aquest valor i el diàmetre intern de la carcassa, calculat a través del HYSYS, s'ha calculat el diàmetre extern de la carcassa fent us de l'equació [4] que s'adjunta a continuació.

$$D_{\text{ext}} = D_{\text{int}} + (t_{20}) \cdot 2 \quad [4]$$

On:

- D_{ext} és el diàmetre extern de la carcassa
- D_{int} és el valor del diàmetre intern calculat amb el HYSYS
- t_{20} és l'espessor mínim del cilindre sobredimensionat un 20%

El valor del diàmetre extern calculat ha estat de 3,9693 metres.

També s'ha calculat l'espessor mínim del capçal (t_c) amb l'equació 5, destacar que l'equació en qüestió és per capçals el·lipsoidals.

$$t_c = \frac{P \cdot R}{((S-E)-(0,6 \cdot P))} \quad [5]$$

L'espessor mínim del capçal ha estat de 0,1833 metres, que al sobredimensionar-lo un 20% (t_{c20}) ha resultat en 0,2200 metres. Destacar que la resta del dimensionament dels capçals el·líptics s'ha fet utilitzant la referència X de la bibliografia, on s'ha introduït el diàmetre del cilindre i l'espessor del capçal per tal d'obtenir els paràmetres que s'adjunten a continuació en la Taula 6.

Taula 6 Dimensionament dels capçals el·líptics

Diàmetre del disc(m)	4,622
Espessor (m)	0,220
R (m)	3,572
r (m)	0,675
h2 (m)	$0,876 \cdot 10^{-3}$
h1 (m)	0,050

H (m)	1,426
V	0,006

On:

- R és el radi de bombeig (m)
- r és el radi de pestanya (m)
- h1 i h2 són plans de pestanya (m)
- H és l'altura del fons (m)
- V és el volum (m³)

Altres paràmetres que s'han calculat seguint la normativa ASME han estat el pes del reactor, el pes de les substàncies del seu interior, el pes del reactor quan està buit, el pes si s'omple amb aigua i el pes del reactor amb aigua.

El pes del reactor buit s'ha calculat fent ús de l'equació (6). El valor obtingut ha estat de 463655.704 kg.

$$W_E = 1,2 \cdot \rho_{ac} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot L \cdot [(D_i + 2 \cdot t)^2 - D_i^2] + 2W_H \quad [6]$$

On:

- W_E és el pes del reactor buit (kg)
- ρ_{ac} és el pes del reactor utilitzat (kg/m³)
- W_H és el pes d'un capçal (kg)
- D_i és el diàmetre intern (m)
- L és la longitud del reactor (m)
- t és l'espessor (m)

El pes estimat de l'aigua s'ha calculat mitjançant l'equació (7). El valor obtingut en utilitzar aquesta equació ha estat de 186025.7035 kg.

$$W_w = \rho_w \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D_i \cdot L \quad [7]$$

On:

- W_w és el pes de l'aigua (kg)
- ρ_w és la densitat de l'aigua (kg/m³)
- D_i és el diàmetre intern (m)

- L és la longitud del reactor (m)

El pes de les substàncies que contindrà el reactor en el seu interior s'ha calculat amb la mateixa equació (7), l'únic que utilitzant el valor de la densitat referit a les substàncies que circularan per l'interior del reactor, aquest valor ha estat exposat anteriorment en la Taula 4. El pes de les substàncies obtingut en aplicar l'equació és de 89.831,81 kg.

Finalment, el pes del reactor amb aigua o el pes d'operació del reactor amb les substàncies s'ha calculat fent ús de l'equació 8. Els valors obtinguts han estat de 649.680,86 kg quan està ple d'aigua i 89831.81 kg quan està operant per produir urea.

$$W_X = W_Y + W_E \quad [8]$$

On:

- W_W és el pes del reactor plè, ja sigui d'aigua o bé amb el corrent de treball (kg)
- W_Y és el pes de l'aigua o del corrent (kg)
- W_E és el pes del reactor buit (kg)

Uns altres paràmetres de disseny que s'han calculat han estat el volum extern de la carcassa o virolai, i el dels capçals. El volum extern de la carcassa s'ha fet seguint l'equació 9. El volum extern de la carcassa calculat en aplicar l'equació és de 238.578 m³.

$$V_{ec} = \frac{\pi}{4} \cdot D_e^2 \cdot L \quad [9]$$

On:

- V_{ec} és el volum extern de la carcassa en m³.
- D_e és el diàmetre extern de la carcassa (m).
- L és la longitud del reactor (m)

El volum extern dels capçals s'ha fet seguint l'equació 9, adjuntada a continuació. Cal recordar el fet que el reactor consta de capçals, i que per tant el volum d'aquests serà el doble del d'un capçal.

$$V_{\text{capçal}} = M_g \cdot (D_e + 2 \cdot t_{c20})^3 \quad [9]$$

On:

- $V_{\text{capçal}}$ és el volum extern del capçal (m^3)
- M_g és el marge de corrosió (m)
- t_{c20} és l'espessor dels capçals sobredimensionats un 20% (m)
- D_e és el diàmetre extern de la carcassa (m)

El valor del volum extern de cada cap és de $0,0171 \text{ m}^3$. Amb aquest valor i multiplicant-lo per dos ja es pot calcular el volum extern del reactor, que és de $238,6124 \text{ m}^3$.

El volum intern total del reactor també ha estat un valor calculat; per obtenir-lo simplement s'ha sumat el volum intern de la carcassa calculat anteriorment amb el volum intern dels dos capçals, obtinguts en la taula 6. El valor resultant ha estat de $223,2420$ metres.

S'ha determinat també la pressió de disseny seguint l'equació (10) que s'adjunta a continuació. El valor obtingut ha estat de $15690,4 \text{ Kpa}$

$$P_d = P_o \cdot 1,1 \quad [10]$$

On:

- P_d és la pressió de disseny (Kpa)
- P_o és la pressió d'operació (Kpa)

Altres paràmetres també interessants cara el dimensionament com el factor de resistència a la corrosió o el grossor han estat extrets directament de la pàgina web d'stamicarbon, veure la bibliografia corresponent. A continuació s'exposen els paràmetres en qüestió:

- Factor de resistència a la corrosió = 0.01 mm/any
- Grossor = 5 mm

11.1.1 Balanç d'energia del reactor

Un cop dut a terme el disseny del reactor s'ha volgut realitzar el balanç d'energia del mateix per tal de quantificar la calor que es genera en l'interior d'aquest a mesura que es dona la reacció. A través d'aquest valor es pretén calcular el caudal d'aigua que s'ha de fer circular per l'exterior del bescanviador per tal de poder bescanviar el calor generat en aquest en aquest.

El fluid refrigerant seleccionat ha estat l'aigua. S'ha decidit utilitzar l'aigua ja que és un fluid amb alta capacitat calorífica, és abundant i té un cost baix comparat amb altres líquids refrigerants; és una substància segura davant de possibles fugues i no és tòxica. A més a més, el fet d'utilitzar aigua permet reaprofitar els corrents resultants d'aquesta en altres parts del procés.

Cal remarcar que el l'interior del reactor es donen dues reaccions, la composició de la urea i la composició del biuret. Per quantificar l'energia associada a les reaccions s'ha utilitzat l'equació 11:

$$Q_R = F_{YR} \cdot \Delta H \quad [11]$$

On:

- Q_R : Energia associada a la reacció (Kj/h)
- F_{YR} : Cabal del reactiu Y que reacciona per donar el producte (kg/h)
- ΔH : Entalpia de la reacció (Kj/kg)

Els resultats obtinguts d'aplicar l'equació (11) han estat de 18.935.112 Kj/h per el cas de la síntesis de l'urea, i de -159.327,6 kj/h per la síntesi del biuret; obtenint un bescanvi de calor global de 18775784 Kj/h. Aquesta energia és l'energia que haurà de subministrar l'aigua per tal que es disposi del calor necessari per poder fer la reacció.

Càlcul del caudal de refrigeració

Per calcular el caudal d'aigua necessari per poder subministrat aquest calor s'ha de considerar que aquesta entrarà al reactor a 150 °C, i que i sortirà a 25°C, per tant l'aigua patirà un canvi de fase. A continuació es mostra l'equació (12), utilitzada per calcular el caudal d'aigua calefactora, tenint en compte els dos estats de l'aigua durant el procés i el canvi d'estat que es produeix.

$$Q_{aigua} = m \cdot C_{pI} \cdot \Delta T_{liq} + m \cdot C_{pV} \cdot \Delta T_{vap} + Y \cdot m \quad [12]$$

On:

- Q_{aigua} és la calor que ha de subministrar l'aigua al sistema (Kj/h)

- C_{p_l} és la calor específica de l'aigua en estat líquid
- C_{p_v} és la calor específica de l'aigua en estat vapor
- ΔT_{liq} és el gradient de temperatura de l'aigua en estat líquid (K)
- ΔT_{vap} és el gradient de temperatura de l'aigua en estat vapor (K)
- m és el caudal de vapor que s'ha de subministrar (kg/h)

En aplicar l'equació X i calcular el valor de m fent ús del solver s'ha obtingut un caudal d'aigua de 7037.40 kg/h, que s'ha aproximat com a 7.05 m³/h.

11.2 Tancs d'emmagatzematge

11.2.1 Tancs d'emmagatzematge segons normativa ASME

Els tancs d'emmagatzematge dissenyats segons la normativa ASME són destinats a emmagatzemar les matèries primeres, alguns fluids produïts a la planta de producció i el producte final. Aquests tancs es dissenyen d'acord amb aquesta normativa perquè han de suportar una pressió superior a la pressió atmosfèrica, i per això, aquesta normativa és la més adequada per al seu disseny.

Càlcul del volum del cos

Abans de dimensionar els tancs, és necessari conèixer el volum de producte que caldrà emmagatzemar. Per això, s'utilitzarà la següent Equació 13:

$$V_{liquid} = \frac{Q_m \cdot PM \cdot t_{stock}}{\rho} \quad [13]$$

On:

- Q_m : Cabal molar del producte a emmagatzemar $\left[\frac{Kmol}{h}\right]$
- PM : Pes molecular del producte a emmagatzemar $\left[\frac{Kg}{Kmol}\right]$
- τ_{stock} : temps de estoc del producte [h]
- ρ : Densitat del producte a emmagatzemar $\left[\frac{Kg}{m^3}\right]$

Després d'obtenir el volum de producte que caldrà emmagatzemar, es decideix dividir aquest volum en tanc d'emmagatzematge més petits utilitzant l'Equació 14:

$$V_N = \frac{V_{liquid}}{n^0 \tan cs} \quad [14]$$

A continuació, es sobredimensionarà un 20% el volum del tanc individual obtingut per temes de seguretat utilitzant l'Equació 15:

$$V_D = V_N \cdot 1,2 \quad [15]$$

On:

- V_D : volum del cos del tanc sobredimensionat (m^3)
- H : alçada del cos del tanc (m)
- D : diàmetre intern del cos del tanc (m)

A partir del volum dels tancs individuals sobredimensionats obtingut i una relació altura/diàmetre (H/D) d'1,5 respecte el cilindre utilitzarem les següents Equacions [16] i [17] per obtenir el diàmetre intern i l'alçada del cos del tanc.

$$D = \sqrt[3]{\frac{V_s \cdot 4}{1,5 \cdot \pi}} \quad [16]$$

$$H = 1,5 \cdot D \quad [17]$$

Un cop obtingut el valor del diàmetre intern del cos del tanc podrem calcular el nivell d'altura del líquid amb la següent Equació 18:

$$H_l = \frac{4 \cdot V_N}{\pi \cdot D^2} \quad [18]$$

On:

- H_l : nivell d'altura del líquid (m)

Un cop es té el volum total del tanc utilitzant la següent Equació (19), es calcula el % d'ocupació del fluid en el tanc.

$$\%ocupació = \frac{V_N}{V_T} \quad [19]$$

11.1.1.1 Temperatura de disseny

A la temperatura d'operació se li afegirà un marge de $\pm 15^\circ\text{C}$, depenent de si el tanc emmagatzema a temperatures per sota de 0°C o per sobre utilitzant la següent Equació (20):

$$T_d = T_{op} \pm 15^\circ\text{C} \quad [20]$$

On:

- T_d : temperatura de disseny ($^\circ\text{C}$)
- T_{op} : temperatura d'operació ($^\circ\text{C}$)

11.1.1.2 Pressió de disseny

S'ha aplicat un sobredimensionament del 15% per garantir que el tanc tingui la resistència adequada. A continuació, s'utilitzarà l'Equació 21 per calcular la pressió de disseny:

$$P_d = 1,15 \cdot (P_{op} + P_h) \quad [21]$$

On:

- P_d : pressió de disseny (atm)
- P_{op} : pressió d'operació (atm)
- P_h : pressió hidrostàtica (atm)

A continuació, utilitzem l'Equació (22) per calcular la pressió hidrostàtica:

$$P_h = (\rho \cdot g \cdot H) \cdot \left(\frac{1}{101325} \right) \quad [22]$$

On:

ρ : densitat del fluid (kg/m³)

g : força de la gravetat (m/s²)

H : altura del fluid (m)

11.1.1.3 Espessor del cos

El material utilitzat per al disseny dels tancs d'emmagatzematge regits per la normativa ASME serà l'acer inoxidable AISI 304, les especificacions del qual es poden trobar a la Taula 7.

Taula 7 Propietats de l'acer AISI 304

Acer AISI 304	
Densitat (Kg/m ³)	7900
Tensió de ruptura (MPa)	540
Límit elàstic (MPa)	193
Sobreessessor per corrosió (mm)	2,5
Eficiència de soldadura	0,85

Conegut el material de construcció, podem calcular l'espessor del cos del tanc mitjançant l'Equació 23:

$$t_{cos} = \frac{P \cdot R}{S \cdot E - 0,6 \cdot P} + CA \quad [23]$$

On:

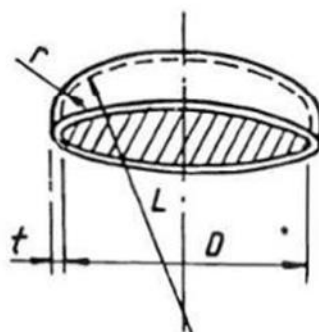
- t_{cos} : Espessor cos del tanc [mm]

- P: Pressió de disseny [atm]
- R: Radi interior del tanc [mm]
- S: Esforç màxim admissible del material [atm]
- E: Eficiència de soldadura
- CA: Sobreessessor per corrosió [mm]

S'aplicarà un sobredimensionament del 10% a l'espessor del cos del tanc obtingut.

11.1.1.4 . Espessor capçal toriesfèric

En aquest cas, els tancs dissenyats per la normativa ASME tindran els dos extrems en forma toriesfèrica idèntica. Abans de calcular l'espessor dels capçals, és necessari conèixer el factor M, que serà essencial més endavant. Aquest factor es calcula mitjançant dues equacions que es mostren en la següent Figura 16, que representa la forma d'aquests extrems.



$$L = 0,9 \cdot D$$

$$r = 0,085 \cdot L$$

Figura 16 Equacions superfície toriesfèrica

Un cop calculat el factor M en funció de la relació dels dos paràmetres, podrem conèixer el seu valor observant la següent Taula 8:

Taula 8: Factor M en funció de L/r

L/r	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5	2,75	3	3,25	3,5
M	1	1,03	1,06	1,08	1,1	1,13	1,15	1,17	1,18	1,2	1,22
L/r	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9
M	1,25	1,28	1,31	1,34	1,36	1,39	1,41	1,44	1,46	1,48	1,5
L/r	9,5	10	10,5	11	11,5	12	13	14	15	16	16 ^{2/3}
M	1,52	1,54	1,56	1,58	1,6	1,62	1,65	1,69	1,72	1,75	1,77

Per calcular l'espessor dels extrems toriesfèrics, s'utilitzarà l'Equació 24:

$$t_{\text{capçal}} = \frac{P \cdot L \cdot M}{2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P} + CA \quad [24]$$

On:

- $t_{\text{capçal}}$: Espessor capçal toriesfèric [mm]
- P: Pressió de disseny [atm]
- L: Longitud del capçal [mma]
- S: Esforç màxim admissible del material [atm]
- E: Eficiència de soldadura
- CA: Sobreessessor per corrosió [mm]
- M: Factor M

Es sobredimensiona un 10%.

11.1.1.5 Càlcul de l'altura del capçal toriesfèric

Pel càlcul de l'alçada del capçal toriesfèric, s'han utilitzat les equacions que es mostren en la següent Figura 17:

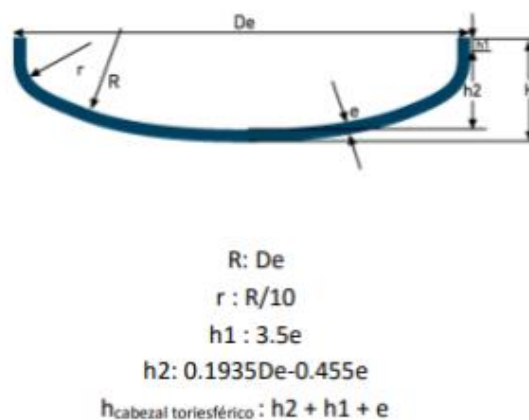


Figura 17: Equacions pel càlcul de l'alçada del capçal toriesfèric

11.1.1.1 Espessor del capçal cònic

En aquest cas, el tanc amb capçal cònic dissenyat segons la normativa ASME, estan dissenyats i calculats per a tancs que tenen un diàmetre màxim de 18 m.

Els sostres cònics autosoportats tenen un angle màxim de pendent de 37° i un angle mínim de 9,5° respecte a l'horitzontal. L'espessor d'aquests sostres es determina per la següent Equació 25, però ha de ser d'almenys 4,76 mm i no pot excedir els 12,7 mm.

$$t_c = \frac{P \cdot D}{2 \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot (S \cdot E - 0,6 \cdot P)} + CA \quad [25]$$

On:

- T_c : Espessor capçal cònic [m]
- P : Pressió de disseny [atm]
- D : diàmetre del tanc [m]
- α : angle del con [°]
- S : Esforç màxim admissible del material [atm]
- E : Eficiència de soldadura
- CA : Sobreesspessor per corrosió [m]

És sobredimensionarà un 20%.

11.1.1.6 Altura capçal cònic

Per calcular l'altura del capçal cònic s'utilitza les següents Equacions (26) i (27):

$$hipotenusa = \frac{\left(\frac{D_i}{2}\right) + t_c}{\cos(\alpha)} \quad [26]$$

$$h_{con} = hipotenusa \cdot \sin(\alpha) \quad [27]$$

On:

- h_{con} : alçada capçal cònic (m)
- D_i : diàmetre intern (m)
- t_c : Espessor capçal cònic (m)

Una vegada coneguda l'alçada de les tres parts que conformen el tanc, podem calcular l'alçada total de l'equip utilitzant la següent Equació 28:

$$h_{tanc} = h_{cilindre} + h_{capçal superior} + h_{capçal inferior} \quad [28]$$

11.1.1.7 Pes capçal cònic

El càlcul del pes del capçal cònic del tanc es calcula utilitzant la següent Equació 29:

Capçal cònic:

$$M_{cònic} = \frac{\pi}{3} \cdot (D_e^2 - D_i^2) \cdot h_{con} \cdot \rho_{metall} \quad [29]$$

On:

- D_e : diàmetre extern (m)

- D_i : diàmetre intern (m)
- h_{con} : alçada del capçal (m)
- ρ_{metall} : densitat del metall de construcció (Kg/m^3)

11.1.1.8 Espessor aïllant del tanc

Els tancs d'emmagatzematge dissenyats amb la normativa ASME, s'han utilitzat per emmagatzemar matèries primeres a temperatures molt baixes. En canvi, els tancs d'emmagatzematge utilitzats durant el procés de producció són utilitzats ha temperatures altes i per aquest motiu s'aplicarà un aïllant per mantenir la temperatura interior constant i per seguretat per al personal de la planta.

Ureka utilitzarà en els tancs d'emmagatzematge un aïllament anomenat Foamglas per aïllar el cos i els capçals superior i inferior del tanc d'emmagatzematge.

Els tancs tindran un espessor d'aïllament de 100 mm amb una densitat de 120 Kg/m^3 .

11.1.1.9 Espessor capa exterior del tanc d'emmagatzematge

Al tractar-se de tancs d'emmagatzematge amb aïllant per mantenir la temperatura interior del tanc constant, aquest es recobreix amb una capa de acer inoxidable AISI 304 d'un espessor de 6 mm.

11.1.1.10 Pes de l'equip

El càlcul del pes de l'equip es dividirà en dues parts: el cos i els extrems toricsfèrics. En tots dos casos, es calcularà primer el volum que ocupen i després es multiplicarà per la densitat del material corresponent. A més, com s'ha mencionat anteriorment, el tanc tindrà tres capes: dues de metall i una d'aïllament.

Utilitzant les Equacions (31), (32), (33) i (34) es calcularà el pes de les tres capes per al cos del tanc:

$$M_{cos} = \frac{\pi}{4} \cdot ((D_e)^2 - (D_i)^2) \cdot h_{cos} \cdot \rho_{metall} \quad [30]$$

$$M_{capa interior} = \frac{\pi}{4} \cdot ((D_e)^2 - (D_i)^2) \cdot h_{cos} \cdot \rho_{metall} \quad [31]$$

$$M_{aïllant} = \frac{\pi}{4} \cdot ((D_e)^2 - (D_i)^2) \cdot h_{cos} \cdot \rho_{aïllant} \quad [32]$$

$$M_{capa exterior} = \frac{\pi}{4} \cdot ((D_e)^2 - (D_i)^2) \cdot h_{cos} \cdot \rho_{metall} \quad [33]$$

Un cop calculat el pes de la capa interior, el pes de l'aïllant i el pes de la capa exterior es podria calcular el pes total del cos del tanc utilitzant la següent Equació 34:

$$M_{total\ cos} = M_{capa\ interior} + M_{aïllant} + M_{capa\ exterior} \quad [34]$$

Per als extrems, s'utilitzarà les següents equacions 35,36 i 37 proporcionades per l'empresa Fondeyur, S.L., que és específica per calcular el volum de superfícies toriesfèriques.

$$M_{capa\ interna} = 0,1 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D_e^3 - D_i^3) \cdot \rho_{metall} \quad [35]$$

$$M_{capa\ aïllant} = 0,1 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D_e^3 - D_i^3) \cdot \rho_{aïllant} \quad [36]$$

$$M_{capa\ externa} = 0,1 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D_e^3 - D_i^3) \cdot \rho_{metall} \quad [37]$$

Un cop calculat el pes de la capa interior, el pes de l'aïllant i el pes de la capa exterior es podria calcular el pes total del cos del tanc utilitzant la següent Equació 38:

$$M_{total\ extrem} = M_{capa\ interior} + M_{capa\ aïllant} + M_{capa\ exterior} \quad [38]$$

Després de calcular el pes del cos del tanc i els pesos dels dos extrems toriesfèrics, es sumen per obtenir el pes total del tanc buit utilitzant la següent Equació 39:

$$M_{total\ buit} = M_{total\ cos} + (M_{total\ extrem} \cdot 2) \quad [39]$$

Un cop hem calculat el pes total buit de l'equip podem calcular el pes total de l'equip ple utilitzant la següent Equació 40:

$$M_{total\ ple} = M_{total\ buit} + (V_N \cdot \rho_{fluid}) \quad [40]$$

11.1.1.11. Venteig

11.1.1.12. Venteig normal

Tots els tancs d'emmagatzematge han de tenir un sistema de ventilació per evitar que es deformin a causa dels processos d'omplir-los o buidar-los, o per canvis en la temperatura ambient.

A Ureka, les obertures de ventilació han de ser almenys de la mateixa mida que la canonada més gran d'ompliment o buidatge, i en cap cas han de tenir un diàmetre interior a 35 mm.

11.1.1.1 Venteig d'emergència

Per calcular la capacitat de venteig cal aplicar l'Equació 41:

$$C_v = \frac{Q}{L} \quad [41]$$

On:

- C_v : capacitat de venteig (Kg/h)

- Q: calor rebuda per recipient (KJ/h)
- L: calor latent de vaporització del fluid (KJ/Kg)

La capacitat de venteig depèn de la calor rebuda pel recipient, la qual es calcula amb l'Equació 42:

$$Q = 139,7 \cdot F \cdot A^{0,82} \cdot 1000 \quad [42]$$

On:

- A: Superfície humida (m²)
- F: Factor sense dimensions, en aquest cas es pren el valor de 0,5 degut a que és un drenatge allunyat o cubeta separada i superfície humida superior a 20m².
- La calor rebuda depèn de l'àrea de venteig, la qual es calcula amb l'Equació 43:

$$A = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot H_l \quad [43]$$

On:

- H_l: nivell líquid del tanc (m)
- R: Radi del tanc (m)

11.1.1.2 Cubeta de retenció

1. Per a un sol tanc:

El volum de la cubeta ha de ser, com a mínim, igual al volum total del tanc.

A més, segons la normativa, és recomanable afegir un marge de seguretat del 10%.

$$V_c = V_{d1} \cdot 1,1$$

2. Per múltiples tancs dins d'una mateixa cubeta:

El volum de la cubeta ha de ser, com a mínim, igual al volum del tanc més gran, més el 10% de la suma dels volums dels altres tancs.

$$V_c = V_{d1} + 0,1 \cdot (V_{d2} + V_{d3} + \dots + V_{dn})$$

Per calcular les dimensions de la cubeta de retenció un cop sabem el volum de la cubeta utilitzem la següent Equació 44, tenint en compte que l'altura de la cubeta serà de 1,5 m.

$$A_b = \frac{V_c}{H} \quad [44]$$

Un cop és sap l'àrea de la base de la cubeta de retenció, necessitem conèixer les dimensions de la base, que es poden ajustar segons l'espai disponible i els requisits de disseny. Al conèixer l'àrea de la base, podem assignar unes dimensions de llargada i amplada que, multiplicades, donin com a resultat l'àrea de la base.

$$A_b = L_c \cdot W_c$$

On:

- A_b : àrea de la base de la cubeta (m^2)
- L_c : longitud de la cubeta (m)
- W_c : amplada de la cubeta (m)
- H_c : alçada de la cubeta (m)
- V_c : volum cubeta (m^3)

11.1.2 Tanc d'emmagatzematge de CO_2

A continuació es seguirà el procediment explicat en l'apartat 11.7.1. per al dimensionament del tanc d'emmagatzematge de CO_2 .

Càlcul del volum del cos

$$V_{liquid} = \frac{1007,35 \cdot 44,01 \cdot 72}{811} = 3935,9 m^3$$

A continuació, dividim el volum total obtingut entre 4 tancs.

$$V_N = \frac{3935,9}{4} = 984 m^3$$

Després per temes de seguretat sobredimensionem el volum de cada tanc individual en un 20%.

$$V_D = 1,2 \cdot 984 = 1180,8 m^3$$

Volum capçals toriesfèrics

$$V_{capçals} = \left(0,1 \cdot \left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot 10,008^3\right) \cdot 2 = 157,4 m^3$$

Volum total del tanc

$$V_{total} = 1180,8 + 157,4 = 1338,2 m^3$$

A partir del volum dels tancs individuals sobredimensionats calculem el diàmetre intern i l'alçada del cos del tanc tenint en compte la relació altura/diàmetre (H/D) d'1,5 respecte el cilindre.

$$D = \sqrt[3]{\frac{1180,8 \cdot 4}{1,5 \cdot \pi}} = 10,008 \text{ m}$$

$$H = 1,5 \cdot 10,008 = 15 \text{ m}$$

Amb el valor del diàmetre intern del cos del tanc es pot calcular l'altura del fluid.

$$H_l = \frac{4 \cdot 984}{\pi \cdot 10,008^2} = 12,51 \text{ m}$$

Ocupació del fluid dins el tanc

$$\%_{ocupació} = \frac{1338,2}{984} \cdot 100 = 73,5$$

Temperatura de disseny

$$T_d = -40 - 15 = -55^\circ\text{C}$$

Pressió de disseny

Per calcular la pressió de disseny amb un sobredimensionament del 15% primer es calcula la pressió hidrostàtica.

$$P_h = (811 \cdot 9,8 \cdot 12,51) \cdot \left(\frac{1}{101325}\right) = 0,98 \text{ atm}$$

$$P_d = 1,15 \cdot (10 + 0,98) = 12,6 \text{ atm}$$

Espressor del cos del tanc sobredimensionat en un 10%.

$$t_{cos} = \left(\left(\frac{12,6 \cdot \left(\frac{10,008}{2} \cdot 1000 \right)}{5329 \cdot 0,85 - 0,6 \cdot 12,6} \right) + 2,5 \right) \cdot 1,1 = 18,12 \text{ mm}$$

Espressor dels capçals torisfèrics

Per poder saber l'espessor dels capçals primer es calcula el Factor M.

$$L = 0,9 \cdot 10,008 = 9,007 \text{ m}$$

$$r = 0,085 \cdot 9,007 = 0,77$$

$$\frac{L}{r} = 11,76$$

Amb el valor obtingut de L/r i utilitzant la Taula 8 es troba el valor del Factor M .

$$M = 1,62$$

Ara ja podem calcular l'espessor dels capçals sobredimensionats un 10%

$$t_{capçal} = \left(\left(\frac{12,6 \cdot 9007 \cdot 1,62}{2 \cdot 5329 \cdot 0,85 - 0,2 \cdot 12,6} \right) + 2,5 \right) \cdot 1,1 = 25,13 \text{ mm}$$

Un cop obtinguts els valors dels espessor del cos i dels capçals s'utilitzarà l'espessor amb un valor més elevat entre els dos espessors. En aquest cas l'espessor del capçal és 25,13 mm.

Altura dels capçals

Utilitzant les Equacions de la Figura 17:

$$R = 10,008 \text{ m}$$

$$r = \frac{10,008}{10} = 1,0008 \text{ m}$$

$$e = \frac{25,13}{1000} = 0,025 \text{ m}$$

$$h_1 = 3,5 \cdot 0,025 = 0,088 \text{ m}$$

$$h_2 = 0,1935 \cdot 10,008 - 0,455 \cdot 0,025 = 1,93 \text{ m}$$

$$h_{capçal} = 0,088 + 1,93 + 0,025 = 2,04 \text{ m}$$

Altura total del tanc

$$h_{tanc} = (2 \cdot 2,04) + 15 = 19 \text{ m}$$

Espessor aïllant

S'ha decidit utilitzar 100 mm d'aïllant Foamglas en els capçals i cos del tanc.

Espessor capa exterior del tanc

Al tractar-se d'un tanc amb aïllament és necessari utilitzar una capa exterior en aquest cas de 6 mm.

Pes del cos del tanc

- Pes capa interior:

$$M_{capa \text{ interior}} = \frac{\pi}{4} \cdot (10,03^2 - 10,008^2) \cdot 15 \cdot 7900 = 39287,9 \text{ Kg}$$

- Pes aïllant:

$$M_{aïllant} = \frac{\pi}{4} \cdot (10,13^2 - 10,03^2) \cdot 15 \cdot 120 = 2851,8 \text{ Kg}$$

- Pes capa exterior:

$$M_{capa \text{ exterior}} = \frac{\pi}{4} \cdot (10,135^2 - 10,13^2) \cdot 15 \cdot 7900 = 11323,9 \text{ Kg}$$

Pes total cos del tanc

$$M_{total \text{ cos}} = 39287,9 + 2851,8 + 11323,9 = 53463,6 \text{ Kg}$$

Pes capçal

- Pes capa interior:

$$M_{capa \text{ interior}} = 0,1 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (10,03^3 - 10,008^3) \cdot 7900 = 3932,9 \text{ Kg}$$

- Pes aïllant:

$$M_{aïllant} = 0,1 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (10,13^3 - 10,03^3) \cdot 120 = 287,2 \text{ Kg}$$

- Pes capa exterior:

$$M_{capa \text{ exterior}} = 0,1 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (10,135^3 - 10,13^3) \cdot 7900 = 1146,4 \text{ Kg}$$

Pes total capçal

$$M_{total \text{ capçal}} = 3932,9 + 287,2 + 1146,4 = 5366,6 \text{ Kg}$$

Pes total buit del tanc

$$M_{total \text{ buit}} = 53463,6 + (2 \cdot 5366,6) = 64196,7 \text{ Kg}$$

Pes total ple del tanc

$$M_{total \text{ ple}} = 64196,7 + (984 \cdot 811) = 862199,2 \text{ Kg}$$

Venteig d'emergència

Comencem calculant l'àrea de venteig:

$$A = 2 \cdot \pi \cdot 5 \cdot 12,5 = 393 \text{ m}^2$$

Un cop es té el valor de l'àrea, podem calcular la calor rebuda pel recipient:

$$Q = 139,7 \cdot 0,5 \cdot 393^{0,82} \cdot 1000 = 9372019 \frac{Kj}{h}$$

Calculem la capacitat de venteig:

$$C_v = \frac{9372019}{210} = 44629 \frac{Kg}{h}$$

Cubeta de retenció

A continuació, es realitzen certs càlculs par calcular el volum de la cubeta de retenció:

$$V_c = \frac{(1338 + 0,1 \cdot (1338 + 1338 + 1338))}{2} = 870 m^3$$

$$A_b = \frac{870}{0,5} = 1740 m^2$$

$$L_c = 58 m$$

$$W_c = 30 m$$

Comprovem si és compleixen les dimensions de la cubeta de retenció segons el volum requerit:

$$V_c = 58 \cdot 30 \cdot 0,5 = 870 m^3$$

11.1.3 Tanc d'emmagatzematge NH₃

A continuació es seguirà el procediment explicat en l'apartat 11.7.1. per al dimensionament del tanc d'emmagatzematge de NH₃.

Càlcul del volum del cos

$$V_{liquid} = \frac{1829 \cdot 17,03 \cdot 48}{682} = 2192 m^3$$

A continuació, dividim el volum total obtingut entre 4 tancs.

$$V_N = \frac{2192}{4} = 548 m^3$$

Després per temes de seguretat sobredimensionem el volum de cada tanc individual en un 40%.

$$V_D = 548 \cdot 1,4 = 767 m^3$$

Volum capçals toriesfèrics

$$V_{capçals} = \left(0,1 \cdot \left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot 8,7^3\right) \cdot 2 = 102,3 m^3$$

Volum total del tanc

$$V_{total} = 767 + 102,3 = 870 \text{ m}^3$$

A partir del volum dels tancs individuals sobredimensionats calculem el diàmetre intern i l'alçada del cos del tanc tenint en conté la relació altura/diàmetre (H/D) d'1,5 respecte el cilindre.

$$D = \sqrt[3]{\frac{767 \cdot 4}{1,5 \cdot \pi}} = 8,7 \text{ m}$$

$$H = 1,5 \cdot 8,7 = 13 \text{ m}$$

Amb el valor del diàmetre intern del cos del tanc es pot calcular l'altura del fluid.

$$H_l = \frac{4 \cdot 548}{\pi \cdot 8,7^2} = 9,3 \text{ m}$$

Ocupació del fluid dins el tanc

$$\%_{ocupació} = \frac{870}{548} \cdot 100 = 63$$

Temperatura de disseny

$$T_d = -33 - 15 = -48^\circ\text{C}$$

Pressió de disseny

Per calcular la pressió de disseny amb un sobredimensionament del 15% primer es calcula la pressió hidrostàtica.

$$P_h = (682 \cdot 9,8 \cdot 9,3) \cdot \left(\frac{1}{101325}\right) = 0,61 \text{ atm}$$

$$P_d = 1,15 \cdot (8 + 0,61) = 9,9 \text{ atm}$$

Espessor del cos del tanc sobredimensionat en un 10%.

$$t_{cos} = \left(\left(\frac{9,9 \cdot \left(\frac{8,7}{2}\right) \cdot 1000}{5329 \cdot 0,85 - 0,6 \cdot 9,9} \right) + 2,5 \right) \cdot 1,1 = 13,2 \text{ mm}$$

Espessor dels capçals toriesfèrics

Per poder saber l'espessor dels capçals primer es calcula el Factor M.

$$L = 0,9 \cdot 8,7 = 7,8$$

$$r = 0,085 \cdot 7,8 = 0,67$$

$$\frac{L}{r} = 11,76$$

Amb el valor obtingut de L/r i utilitzant la Taula X es troba el valor del Factor M.

$$M = 1,62$$

Ara ja podem calcular l'espessor dels capçals sobredimensionats un 10%

$$t_{\text{capçal}} = \left(\left(\frac{9,9 \cdot 7801 \cdot 1,62}{2 \cdot 5329 \cdot 0,85 - 0,2 \cdot 9,9} \right) + 2,5 \right) \cdot 1,1 = 17,95 \text{ mm}$$

Un cop obtinguts els valors dels espessor del cos i dels capçals s'utilitzarà l'espessor amb un valor més elevat entre els dos espessors. En aquest cas l'espessor del capçal és 19,95 mm.

Altura dels capçals

Utilitzant les Equacions de la Figura 17:

$$R = 8,7 \text{ m}$$

$$r = \frac{8,7}{10} = 0,87 \text{ m}$$

$$e = \frac{17,95}{1000} = 0,018 \text{ m}$$

$$h_1 = 3,5 \cdot 0,018 = 0,063 \text{ m}$$

$$h_2 = 0,1935 \cdot 8,7 - 0,455 \cdot 0,018 = 1,67 \text{ m}$$

$$h_{\text{capçal}} = 1,67 + 0,063 + 0,018 = 1,75 \text{ m}$$

Altura total del tanc

$$h_{\text{tanc}} = (2 \cdot 1,75) + 13 = 16,5 \text{ m}$$

Espessor aïllant

S'ha decidit utilitzar 100 mm d'aïllant Foamglas en els capçals i cos del tanc.

Espessor capa exterior del tanc

Al tractar-se d'un tanc amb aïllament és necessari utilitzar una capa exterior en aquest cas de 6 mm.

Pes del cos del tanc

- Pes capa interior:

$$M_{capa\ interior} = \frac{\pi}{4} \cdot (8,69^2 - 8,67^2) \cdot 13 \cdot 7900 = 25133,6\ Kg$$

- Pes aïllant:

$$M_{aïllant} = \frac{\pi}{4} \cdot (8,79^2 - 8,69^2) \cdot 13 \cdot 120 = 2141,1\ Kg$$

- Pes capa exterior:

$$M_{capa\ exterior} = \frac{\pi}{4} \cdot (8,79^2 - 8,69^2) \cdot 13 \cdot 7900 = 8508,6\ Kg$$

Pes total cos del tanc

$$M_{total\ cos} = 25133,6 + 2141,1 + 8508,6 = 35783,2\ Kg$$

Pes capçal

- Pes capa interior:

$$M_{capa\ interior} = 0,1 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (8,69^3 - 8,67^3) \cdot 7900 = 2516\ Kg$$

- Pes aïllant:

$$M_{aïllant} = 0,1 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (8,79^3 - 8,69^3) \cdot 120 = 215,8\ Kg$$

- Pes capa exterior:

$$M_{capa\ exterior} = 0,1 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (8,79^3 - 8,69^3) \cdot 7900 = 862,7\ Kg$$

Pes total capçal

$$M_{total\ capçal} = 2516 + 215,8 + 862,7 = 3594,5\ Kg$$

Pes total buit del tanc

$$M_{total\ buit} = 35783,2 + (2 \cdot 3594,5) = 42972,1\ Kg$$

Pes total ple del tanc

$$M_{total\ ple} = 42972,1 + (548 \cdot 682) = 416746,6\ Kg$$

Venteig d'emergència

Comencem calculant l'àrea de venteig:

$$A = 2 \cdot \pi \cdot 4,3 \cdot 9,3 = 253 \text{ m}^2$$

Un cop es té el valor de l'àrea, podem calcular la calor rebuda pel recipient:

$$Q = 139,7 \cdot 0,5 \cdot 253^{0,82} \cdot 1000 = 6525211 \frac{\text{Kj}}{\text{h}}$$

Calculem la capacitat de venteig:

$$C_v = \frac{6525211}{1370} = 4763 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$$

Cubeta de retenció

A continuació, es realitzen certs càlculs per calcular el volum de la cubeta de retenció:

$$V_c = 870 + 0,1 \cdot (870 + 870 + 870) = 1130 \text{ m}^3$$

$$A_b = \frac{1130}{0,5} = 2261 \text{ m}^2$$

$$L_c = 50 \text{ m}$$

$$W_c = 45,2 \text{ m}$$

Comprovem si és compleixen les dimensions de la cubeta de retenció segons el volum requerit:

$$V_c = 50 \cdot 45,2 \cdot 0,5 = 1130 \text{ m}^3$$

11.1.4 Tanc d'emmagatzematge solució urea

A continuació es seguirà el procediment explicat en l'apartat 11.7.1. per al dimensionament del tanc d'emmagatzematge de solució d'urea.

En aquest cas a l'emmagatzemar més d'un component dins el tanc s'ha realitzat certs càlculs per saber la densitat de la mescla, utilitzant les dades recollides en la següent **Taula 9**:

Taula 9: Dades tancs d'emmagatzematge d'urea

Component	PM (kg/kmol)	Densitat (kg/m3)	Cabal molar (kmol/h)	Cabal màssic (kg/h)	Cabal volumètric (m3/h)
Urea	60,1	1320	971,336	58377,276	44,225
Aigua	18,01	944	67,079	1208,101	1,280
Carbamat	78,1	1300	0,003	0,260	0,000
Biuret	103,1	1350	1,457	150,217	0,111
TOTAL			1039,875	59735,854	45,616

S'ha calculat la composició de cada component dins el tanc, obtenint les següents proporcions recollides en la Taula 10:

Taula 10 Composicions dins dels tancs d'urea

Component	Composició
Urea	0,970
Aigua	0,028
Carbamat	4,39E-06
Biuret	0,002

Amb la densitat i composició de cada component s'ha obtingut una densitat de la mescla del fluid de 1309,5 Kg/m₃ utilitzada per calcular el volum del tanc.

Càlcul del volum del cos

$$V_{líquid} = 45,6 \cdot 1 = 45,6 \text{ m}^3$$

Després per temes de seguretat sobredimensionem el volum del tanc en un 20%.

$$V_D = 1,2 \cdot 45,6 = 54,7 \text{ m}^3$$

Volum capçals toriesfèrics

$$V_{capçals} = \left(0,1 \cdot \left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot 3,6^3\right) \cdot 2 = 7,3 \text{ m}^3$$

Volum total del tanc

$$V_{total} = 54,7 + 7,3 = 62 \text{ m}^3$$

A partir del volum dels tancs individuals sobredimensionats calculem el diàmetre intern i l'alçada del cos del tanc tenint en conté la relació altura/diàmetre (H/D) d'1,5 respecte el cilindre.

$$D = \sqrt[3]{\frac{54,7 \cdot 4}{1,5 \cdot \pi}} = 3,6 \text{ m}$$

$$H = 1,5 \cdot 3,6 = 5,4 \text{ m}$$

Amb el valor del diàmetre intern del cos del tanc es pot calcular l'altura del fluid.

$$H_l = \frac{4 \cdot 45,6}{\pi \cdot 3,6^2} = 4,5 \text{ m}$$

Ocupació del fluid dins el tanc

$$\%_{ocupació} = \frac{62}{45,6} \cdot 100 = 73,5$$

Temperatura de disseny

$$T_d = 180 + 15 = 195^{\circ}C$$

Pressió de disseny

Per calcular la pressió de disseny amb un sobredimensionament del 15% primer es calcula la pressió hidrostàtica.

$$P_h = (1309,5 \cdot 9,8 \cdot 4,5) \cdot \left(\frac{1}{101325} \right) = 0,57 \text{ atm}$$

$$P_d = 1,15 \cdot (4 + 0,57) = 5,25 \text{ atm}$$

Espessor del cos del tanc sobredimensionat en un 10%.

$$t_{cos} = \left(\left(\frac{5,25 \cdot \left(\frac{3,6}{2} \cdot 1000 \right)}{5329 \cdot 0,85 - 0,6 \cdot 5,25} \right) + 2,5 \right) \cdot 1,1 = 5,05 \text{ mm}$$

Espessor dels capçals toriesfèrics

Per poder saber l'espessor dels capçals primer es calcula el Factor M.

$$L = 0,9 \cdot 3,6 = 3,24 \text{ m}$$

$$r = 0,085 \cdot 3,24 = 0,28 \text{ m}$$

$$\frac{L}{r} = \frac{3,24}{0,28} = 11,76$$

Amb el valor obtingut de L/r i utilitzant la Taula X es troba el valor del Factor M.

$$M = 1,62$$

Ara ja podem calcular l'espessor dels capçals sobredimensionats un 10%

$$t_{capçal} = \left(\left(\frac{5,25 \cdot 3236 \cdot 1,62}{2 \cdot 5329 \cdot 0,85 - 0,2 \cdot 5,25} \right) + 2,5 \right) \cdot 1,1 = 6,095 \text{ mm}$$

Un cop obtinguts els valors dels espessor del cos i dels capçals s'utilitzarà l'espessor amb un valor més elevat entre els dos espessors. En aquest cas l'espessor del capçal és 6,095 mm.

Altura dels capçals

Utilitzant les Equacions de la Figura 17:

$$R = 3,6 \text{ m}$$

$$r = \frac{3,6}{10} = 0,36 \text{ m}$$

$$e = \frac{6,095}{1000} = 0,006 \text{ m}$$

$$h_1 = 3,5 \cdot 0,006 = 0,021 \text{ m}$$

$$h_2 = 0,1935 \cdot 3,6 - 0,455 \cdot 0,006 = 0,693 \text{ m}$$

$$h_{\text{capçal}} = 0,693 + 0,021 + 0,006 = 0,72 \text{ m}$$

Altura total del tanc

$$h_{\text{tanc}} = (2 \cdot 0,72) + 5,4 = 6,8 \text{ m}$$

Espessor aïllant

S'ha decidit utilitzar 100 mm d'aïllant Foamglas en els capçals i cos del tanc.

Espessor capa exterior del tanc

Al tractar-se d'un tanc amb aïllament és necessari utilitzar una capa exterior en aquest cas de 6 mm.

Pes del cos del tanc

- Pes capa interior:

$$M_{\text{capa interior}} = \frac{\pi}{4} \cdot (3,6^2 - 3,595^2) \cdot 5,4 \cdot 7900 = 1467,5 \text{ Kg}$$

- Pes aïllant:

$$M_{\text{aïllant}} = \frac{\pi}{4} \cdot (3,7^2 - 3,6^2) \cdot 5,4 \cdot 120 = 371,1 \text{ Kg}$$

- Pes capa exterior:

$$M_{capa\ exterior} = \frac{\pi}{4} \cdot (3,707^2 - 3,7^2) \cdot 5,4 \cdot 7900 = 1487,3\ Kg$$

Pes total cos del tanc

$$M_{total\ cos} = 1467,5 + 371,1 + 1487,3 = 3325,9\ Kg$$

Pes capçal

- Pes capa interior:

$$M_{capa\ interior} = 0,1 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (3,6^3 - 3,595^3) \cdot 7900 = 146,9\ Kg$$

- Pes aïllant:

$$M_{aïllant} = 0,1 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (3,7^3 - 3,6^3) \cdot 120 = 37,7\ Kg$$

- Pes capa exterior:

$$M_{capa\ exterior} = 0,1 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (3,707^3 - 3,7^3) \cdot 7900 = 153,2\ Kg$$

Pes total capçal

$$M_{total\ capçal} = 146,9 + 37,7 + 153,2 = 337,8\ Kg$$

Pes total buit del tanc

$$M_{total\ buit} = 3325,9 + (2 \cdot 337,8) = 4001,5\ Kg$$

Pes total ple del tanc

$$M_{total\ ple} = 4001,5 + (45,6 \cdot 1309,5) = 63737,3\ Kg$$

11.1.5 Tanques d'emmagatzematge solució NH₃

A continuació es seguirà el procediment explicat en l'apartat 11.7.1. per al dimensionament del tanc d'emmagatzematge de la solució de NH₃.

En aquest cas a l'emmagatzemar més d'un component dins el tanc s'ha realitzat certs càlculs per saber la densitat de la mescla, utilitzant les dades recollides en la següent Taula 11:

Taula 11 Dades tanques emmagatzematge solució NH₃

Component	PM (kg/kmol)	Densitat (kg/m ³)	Cabal molar (kmol/h)	Cabal màssic (kg/h)	Cabal volumètric (m ³ /h)
NH ₃	17,03	684	88,8299	1512,7737	2,2117
Aigua	18,01	965	851,3034	15331,9742	15,8881
Carbamat	78,1	1030	0,0330	2,5750	0,0025

CO ₂	44,01	1150	1,2694	55,8670	0,0486
TOTAL			941,4357	16903,1899	18,1508

S'ha calculat la composició de cada component dins el tanc, obtenint les següents proporcions recollides en la Taula 12:

Taula 12 Composicions tancs emmagatzematge solució NH₃

Component	Composició
Urea	0,121849
Aigua	0,875337
Carbamat	0,000138
Biuret	0,002676

Amb la densitat i composició de cada component s'ha obtingut una densitat de la mescla del fluid de 844,84 Kg/m₃ utilitzada per calcular el volum del tanc.

Càlcul del volum del cos

$$V_{líquid} = 18,15 \cdot 1 = 18,15 \text{ m}^3$$

Després per temes de seguretat sobredimensionem el volum del tanc en un 25%.

$$V_D = 1,25 \cdot 18,15 = 22,7 \text{ m}^3$$

Volum capçals toricsfèrics

$$V_{capçals} = \left(0,1 \cdot \left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot 2,68^3\right) \cdot 2 = 3,03 \text{ m}^3$$

Volum total del tanc

$$V_{total} = 22,7 + 3,03 = 25,7 \text{ m}^3$$

A partir del volum dels tancs individuals sobredimensionats calculem el diàmetre intern i l'alçada del cos del tanc tenint en conté la relació altura/diàmetre (H/D) d'1,5 respecte el cilindre.

$$D = \sqrt[3]{\frac{22,7 \cdot 4}{1,5 \cdot \pi}} = 2,68 \text{ m}$$

$$H = 1,5 \cdot 2,68 = 4,02 \text{ m}$$

Amb el valor del diàmetre intern del cos del tanc es pot calcular l'altura del fluid.

$$H_l = \frac{4 \cdot 18,15}{\pi \cdot 2,68^2} = 3,22 \text{ m}$$

Ocupació del fluid dins el tanc

$$\%_{ocupació} = \frac{18,15}{25,7} \cdot 100 = 70,6$$

Temperatura de disseny

$$T_d = 70 + 15 = 85^\circ\text{C}$$

Pressió de disseny

Per calcular la pressió de disseny amb un sobredimensionament del 15% primer es calcula la pressió hidrostàtica.

$$P_h = (844,84 \cdot 9,8 \cdot 3,22) \cdot \left(\frac{1}{101325}\right) = 0,26 \text{ atm}$$

$$P_d = 1,15 \cdot (10 + 0,26) = 11,8 \text{ atm}$$

Espessor del cos del tanc sobredimensionat en un 10%.

$$t_{cos} = \left(\left(\frac{11,8 \cdot \left(\frac{2,68}{2} \cdot 1000 \right)}{5329 \cdot 0,85 - 0,6 \cdot 11,8} \right) + 2,5 \right) \cdot 1,1 = 6,6 \text{ mm}$$

Espessor dels capçals toriesfèrics

Per poder saber l'espessor dels capçals primer es calcula el Factor M.

$$L = 0,9 \cdot 2,68 = 2,4 \text{ m}$$

$$r = 0,085 \cdot 2,4 = 0,21 \text{ m}$$

$$\frac{L}{r} = \frac{2,4}{0,21} = 11,76$$

Amb el valor obtingut de L/r i utilitzant la Taula X es troba el valor del Factor M.

$$M = 1,62$$

Ara ja podem calcular l'espessor dels capçals sobredimensionats un 10%

$$t_{capçal} = \left(\left(\frac{11,8 \cdot \left(\frac{2,68}{2} \cdot 1000 \right)}{2 \cdot 5329 \cdot 0,85 - 0,6 \cdot 11,8} \right) + 2,5 \right) \cdot 1,1 = 8,35 \text{ mm}$$

Un cop obtinguts els valors dels espessor del cos i dels capçals s'utilitzarà l'espessor amb un valor més elevat entre els dos espessors. En aquest cas l'espessor del capçal és 21,05 mm.

Altura dels capçals

Utilitzant les Equacions de la Figura 17:

$$R = 2,68 \text{ m}$$

$$r = \frac{2,68}{10} = 0,268 \text{ m}$$

$$e = \frac{8,35}{1000} = 0,0084 \text{ m}$$

$$h_1 = 3,5 \cdot 0,0084 = 0,03 \text{ m}$$

$$h_2 = 0,1935 \cdot 2,68 - 0,455 \cdot 0,0084 = 0,5 \text{ m}$$

$$h_{\text{capçal}} = 0,5 \cdot 0,03 \cdot 0,0084 = 0,55 \text{ m}$$

Altura total del tanc

$$h_{\text{tanc}} = (2 \cdot 0,55) + 4,02 = 5,13 \text{ m}$$

Espessor aïllant

S'ha decidit utilitzar 100 mm d'aïllant Foamglas en els capçals i cos del tanc.

Espessor capa exterior del tanc

Al tractar-se d'un tanc amb aïllament és necessari utilitzar una capa exterior en aquest cas de 6 mm.

Pes del cos del tanc

- Pes capa interior:

$$M_{\text{capa interior}} = \frac{\pi}{4} \cdot (2,689^2 - 2,68^2) \cdot 4,02 \cdot 7900 = 1118,7 \text{ Kg}$$

- Pes aïllant:

$$M_{\text{aïllant}} = \frac{\pi}{4} \cdot (2,789^2 - 2,689^2) \cdot 4,02 \cdot 120 = 207,6 \text{ Kg}$$

- Pes capa exterior:

$$M_{capa\ exterior} = \frac{\pi}{4} \cdot (2,795^2 - 2,789^2) \cdot 4,02 \cdot 7900 = 835,8\ Kg$$

Pes total cos del tanc

$$M_{total\ cos} = 1118,7 + 207,6 + 835,8 = 2162\ Kg$$

Pes capçal

- Pes capa interior:

$$M_{capa\ interior} = 0,1 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (2,689^3 - 2,68^3) \cdot 7900 = 112\ Kg$$

- Pes aïllant:

$$M_{aïllant} = 0,1 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (2,789^3 - 2,689^3) \cdot 120 = 21,2\ Kg$$

- Pes capa exterior:

$$M_{capa\ exterior} = 0,1 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (2,795^3 - 2,789^3) \cdot 7900 = 87\ Kg$$

Pes total capçal

$$M_{total\ capçal} = 112 + 21,2 + 87 = 220,3\ Kg$$

Pes total buit del tanc

$$M_{total\ buit} = 2162 + (2 \cdot 220,3) = 2602,7\ Kg$$

Pes total ple del tanc

$$M_{total\ ple} = 2602,7 + (18,15 \cdot 844,84) = 17937,2\ Kg$$

Cubeta de retenció

A continuació, es realitzen certs càlculs par calcular el volum de la cubeta de retenció:

$$V_c = 25,7 \cdot 1,1 = 28\ m^3$$

$$A_b = \frac{28}{0,5} = 57\ m^2$$

$$L_c = 7,5\ m$$

$$W_c = 7,5\ m$$

Comprovem si és compleixen les dimensions de la cubeta de retenció segons el volum requerit:

$$V_c = 7,5 \cdot 7,5 \cdot 0,5 = 28 \text{ m}^3$$

11.1.6 Tanc d'emmagatzematge urea granulada

A continuació es seguirà el procediment explicat en l'apartat 11.7.1. per al dimensionament del tanc d'emmagatzematge d'urea granulada.

Càlcul del volum del cos

$$V_{líquid} = \frac{929,7 \cdot 60,06 \cdot 72}{740} = 5433 \text{ m}^3$$

A continuació, dividim el volum total obtingut entre 4 tancs.

$$V_N = \frac{5433}{4} = 1358 \text{ m}^3$$

Després per temes de seguretat sobredimensionem el volum de cada tanc individual en un 20%.

$$V_N = 1358 \cdot 1,2 = 1630 \text{ m}^3$$

Volum capçals cònics

$$V_{capçal superior} = \left(\frac{\pi}{3}\right) \cdot \frac{11,14}{2} \cdot 1,5 = 97,2 \text{ m}^3$$

$$V_{capçal inferior} = \left(\frac{\pi}{3}\right) \cdot \frac{11,14}{2} \cdot 4,7 = 304,5 \text{ m}^3$$

Volum total del tanc

$$V_{total} = 1630 + 97,2 + 304,3 = 2031 \text{ m}^3$$

A partir del volum dels tancs individuals sobredimensionats calculem el diàmetre intern i l'alçada del cos del tanc tenint en conté la relació altura/diàmetre (H/D) d'1,5 respecte el cilindre.

$$D = \sqrt[3]{\frac{1630 \cdot 4}{1,5 \cdot \pi}} = 11,14 \text{ m}$$

$$H = 1,5 \cdot 11,14 = 16,7 \text{ m}$$

Amb el valor del diàmetre intern del cos del tanc es pot calcular l'altura del fluid.

$$H_l = \frac{4 \cdot 1358}{\pi \cdot 11,14^2} = 13,9 \text{ m}$$

Ocupació del fluid dins el tanc

$$\%ocupació = \frac{1358}{2031} \cdot 100 = 66,9$$

Temperatura de disseny

$$T_d = 25 + 15 = 40^\circ C$$

Pressió de disseny

Per calcular la pressió de disseny amb un sobredimensionament del 15% primer es calcula la pressió hidrostàtica.

$$P_h = (740 \cdot 9,8 \cdot 13,9) \cdot \left(\frac{1}{101325} \right) = 0,997 \text{ atm}$$

$$P_d = 1,15 \cdot (1 + 0,997) = 2,3 \text{ atm}$$

Espessor del cos del tanc sobredimensionat en un 10%.

$$t_{cos} = \left(\left(\frac{2,3 \cdot \left(\frac{11,14}{2} \cdot 1000 \right)}{5329 \cdot 0,85 - 0,6 \cdot 2,3} \right) + 2,5 \right) \cdot 1,1 = 6,4 \text{ mm}$$

Espessor dels capçals cònics

$$t_{c \text{ superior}} = \left(\left(\frac{2,3 \cdot 11,14}{2 \cdot \cos\left(\frac{15}{2}\right) \cdot (5329 \cdot 0,85 - 0,6 \cdot 2,3)} \right) + 2,5 \right) \cdot 1,1 = 0,006 \text{ m}$$

$$t_{c \text{ inferior}} = \left(\left(\frac{2,3 \cdot 11,14}{2 \cdot \cos\left(\frac{40}{2}\right) \cdot (5329 \cdot 0,85 - 0,6 \cdot 2,3)} \right) + 2,5 \right) \cdot 1,1 = 0,008 \text{ m}$$

Altura capçal cònic

- Capçal superior

$$\text{hipotenusa} = \frac{\left(\frac{11,14}{2} \right) + 0,006}{\cos(15)} = 5,8 \text{ m}$$

$$h_{con} = 5,8 \cdot \sin(15) = 1,5 \text{ m}$$

- Capçal inferior

$$\text{hipotenusa} = \frac{\left(\frac{11,14}{2} \right) + 0,008}{\cos(40)} = 7,3 \text{ m}$$

$$h_{con} = 7,3 \cdot \sin(40) = 4,7 \text{ m}$$

Altura total del tanc

$$h_{tanc} = 1,5 + 4,7 + 16,7 = 23 \text{ m}$$

Pes del cos del tanc

$$M_{cos} = \frac{\pi}{4} \cdot (11,149^2 - 11,143^2) \cdot 16,7 \cdot 7900 = 14773,1 \text{ Kg}$$

Pes capçal superior

$$M_{cònic} = \frac{\pi}{3} \cdot (11,1^2 - 11,143^2) \cdot 1,5 \cdot 7900 = 1621,8 \text{ Kg}$$

Pes capçal inferior

$$M_{cònic} = \frac{\pi}{3} \cdot (11,15^2 - 11,143^2) \cdot 4,7 \cdot 7900 = 6657,5 \text{ Kg}$$

Pes total buit del tanc

$$M_{total \text{ buit}} = 14773,1 + 1621,8 + 6657,5 = 23052,3 \text{ Kg}$$

Pes total ple del tanc

$$M_{total \text{ ple}} = 23052,3 + (740 \cdot 1358) = 1028127 \text{ Kg}$$

11.2 Tancs Flash

Tal com s'ha explicat en l'apartat d'equips l'objectiu dels tanc flash és aconseguir fer una separació vapor-líquid entre els corrents d'entrada. El dissenys dels 3 tancs flash dels que es disposa a Ureka s'ha fet també a través de l'Aspen Hysys V12.1. Per realitzar el disseny primer de tot s'ha hagut de definir els corrents que entren i surten d'aquest tanc, i adjuntar-los com a sortides o entrades del respectiu tanc, veure Figura 18.

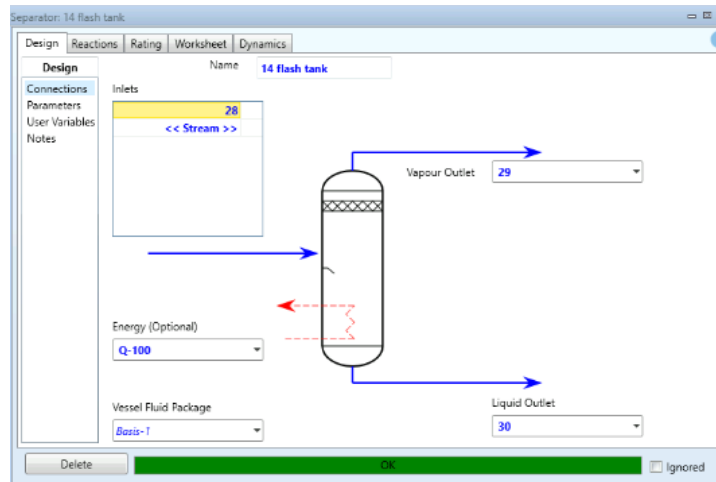


Figura 18: Disseny del Tanc Flash

El propi programa és capaç de calcular-nos el dimensionament de l'equip, anant a la pestanya de rating i seleccionant l'opció "quick size", veure Figura 19.

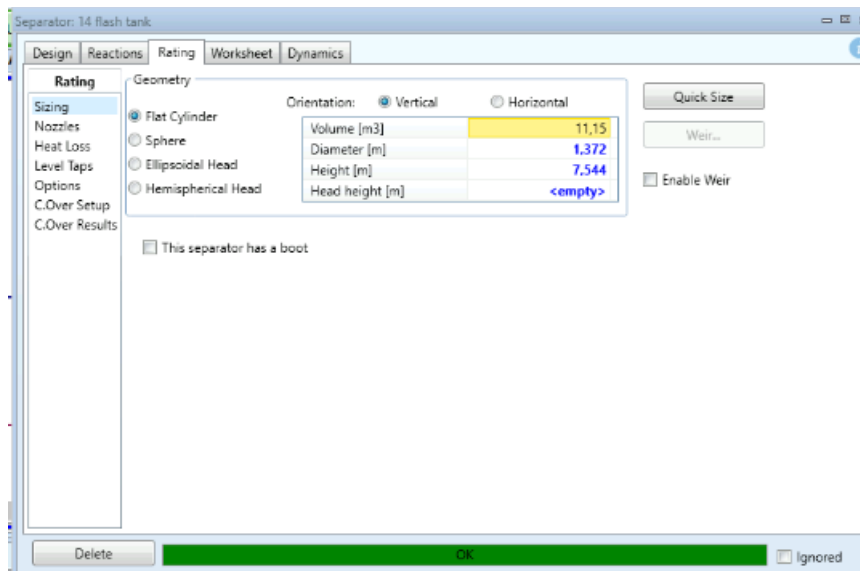


Figura 19: Dimensionament del tanc flash

En el cas del tanc flash no s'ha considerat necessari realitzar cap tipus de disseny posterior al Hysys per complementar els paràmetres que s'obtenen amb aquest. Tot seguit s'adjunta una fitxa de disseny d'un tanc flash per poder visualitzar-ne el resultat.

11.3 Disseny del stripper

Per fer el disseny del stripper s'ha considerat que el seu funcionament és el d'un bescanviador de carcassa i tubs posicionat verticalment. Bàsicament, el que succeeix és que el CO₂ que entra en format gas per canonada arrossega el CO₂ i NH₃ que provenen de la sortida del reactor en estat líquid; així doncs, per entendre-ho, el que es fa és creuar en els tubs la fase gasosa provinent

de l'entrada per canonada de la planta amb la fase líquida que surt del reactor. Per la part de la carcassa el que es fa és circular aigua calenta, la qual cedeix part del calor que conté als tubs. Aquest calor que arriba en els tubs el que fa és facilitar la descomposició del carbamat en amoníac i diòxid de carboni, amb l'objectiu principal d'acabar reaprofitant la major quantitat possible d'aquests dos compostos químics. Aquesta reacció mencionada és una reacció endotèrmica; així doncs, com major sigui la calor cedida per part de l'aigua refrigerant major serà la descomposició del carbamat. L' stripper dissenyat ha de tenir dues sortides; una per caps en estat gasós per l'amoníac i diòxid de carboni; i un altra sortida en estat líquid que principalment hauria de contenir urea, però que també pot contenir petites quantitats de biuret, carbamat no separat, etc.

A través del disseny del stripper es pretén quantificar el nombre de tubs necessaris, el volum intern i extern d'aquests tubs, comprovar que la velocitat de circulació per tubs sigui típica, que la relació entre la longitud i diàmetre de la carcassa prengui valors típics, el nombre de buffles en la part de la carcassa, definir els capçals de l'equip i la pressió de disseny entre altres paràmetres que s'aniran exposant a continuació.

La primera part del disseny s'ha fet a través del programa Aspen HYSYS. Cal mencionar però que aquest no disposa d'un equip que pugui operar com un bescanviador de calor de carcassa i tubs, i que a la vegada en el seu interior es dongui una reacció de descomposició. Així doncs, el que s'ha fet ha estat realitzar el disseny utilitzant múltiples equips, veure Figura 20.

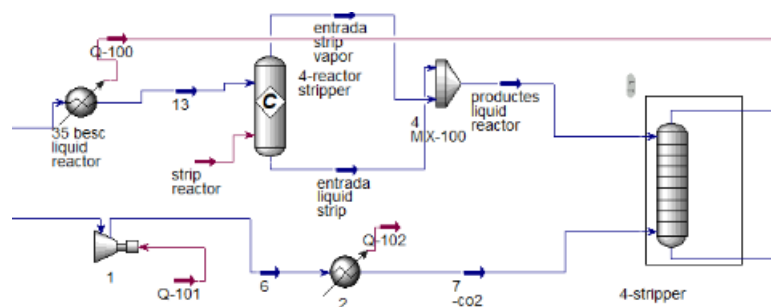


Figura 20: Disseny stripper en l'Aspen HYSYS

Com es pot observar en la Figura 20, el que s'ha fet ha estat separar l' stripper en dues grans seccions; una on es dona la reacció de descomposició, equip 4-reactor stripper, i l'altre on es dona la separació entre el corrent resultant de la reacció i el caudal de diòxid de carboni que entra a la planta. Ambdues seccions operen a les pressions i temperatures requerides respectivament.

El primer que s'ha calculat ha estat l'àrea requerida per dur a terme el bescanvi de calor desitjat entre les carcasses i els tubs. Per fer-ho s'ha utilitzat l'Equació 45.

$$A = \frac{Q}{u \cdot \Delta T_{ml}} \quad [45]$$

On:

- A és l'àrea requerida per dur a terme el bescanvi de calor (m²)
- Q és la calor total transferida entre la carcassa i els tubs (W)
- U és la calor de transferència (W/(m²·°C)), valor bibliogràfic
- AT_{ml} és l'increment de temperatures mitjà logarítmic, calculat amb l'equació 46

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right)} \quad [46]$$

El valor obtingut de l'àrea de bescanvi necessària ha estat de 1.025,546 m². Seguidament s'han dissenyat els tubs, per tal de poder acabar sabent l'àrea d'un dels tubs del stripper i acabar calculant el nombre de tubs necessaris. A continuació s'adjunta la Taula 13, on es poden veure diversos paràmetres de disseny que s'han escollit prèviament i que determinen part de la resta del disseny.

Taula 13: Paràmetres escollits dels tubs

Di (m)	0.0254
Ax(m)	0.0125
De (m)	0.0279
L(m)	7,000

On:

- Di és el diàmetre intern dels tubs (m)
- Ax és el gruix del tub (m)
- De és el diàmetre extern del tub(m)
- L és la longitud del tub (m)

La longitud dels tubs s'ha escollit de 7 metres per tal que la relació entre la longitud de la carcassa i el diàmetre d'aquesta es trobés compresa entre 4 i 6. El diàmetre de la carcassa intern s'ha calculat fent ús de la Figura 21 adjuntada a continuació.

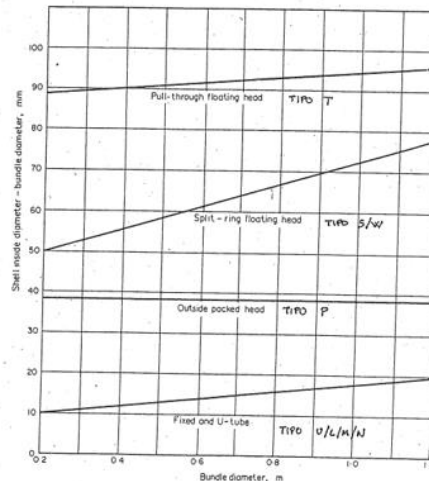


Figura 21: Diàmetre de la carcassa en funció dels tipus de bescanviador

En funció del tipus de bescanviador que es té s'ha de fer ús d'un rang de la Figura 21 o un altre. En el cas de l'stripper s'ha suposat que és del tipus "Split-ring floating head". El diàmetre intern de la carcassa (D_{ci}) obtingut ha estat de 1,628 metres, i la relació L/D_s de 4,301.

El volum intern i extern dels tubs s'ha calculat fent ús de l'equació 9, l'únic que modificant el diàmetre d'aquesta equació per l'intern o l'extern segons convingui. El valor del volum d'un tub intern és de 0,00355 m³. El valor del volum extern d'un tub ha estat de 0,00428 m³. Utilitzant també el diàmetre extern s'ha calculat el pitch dels tubs, fent ús de l'equació 47 adjuntada a continuació.

$$\text{Pitch} = 1.25 \cdot D_e \quad [47]$$

On:

- D_e és el diàmetre extern del tub (m)

El valor obtingut de pitch, és a dir de la distància que separa els diferents tubs, és de 0,0349 m. El següent paràmetre que s'ha calculat amb els valors prèviament calculats han estat el nombre de tubs necessaris. Per fer-ho primer s'ha calculat l'àrea d'un tub, amb l'Equació 48.

$$\text{Àrea tub} = \pi \cdot D_e \cdot L \quad [48]$$

On:

- D_e és el diàmetre extern d'un tub
- L és la longitud del tub

L'àrea obtinguda per un tub ha estat de 0,6134 metre, i a través de l'equació [49] adjuntada a continuació, s'ha calculat el nombre de tubs necessaris.

$$N^{\circ} \text{ tubs} = \text{Àrea Total} / \text{Àrea tub} \quad [49]$$

El número de tubs obtingut i que en conseqüència ha de tenir el stripper d'Ureka és de 1.671,48 tubs. Un cop calculat el nombre de tubs s'ha pogut procedir amb el càlcul del diàmetre del feix de tubs (Df), Equació 50, per posteriorment calcular l'espai que hi ha entre la paret exterior de la carcassa i el feix de tubs en qüestió, Equació 51.

$$Df = De \cdot ((N^{\circ} \text{ tubs} / 0.0365)^{(1/2.675)}) \quad [50]$$

$$\text{Espaiat} = (D_{ci} - Df) \quad (51)$$

El valor del diàmetre del feix de tubs obtingut ha estat de 1,5415 metres, i l'espai que hi ha entre aquest i la part interior de la carcassa de 0,08612 metres.

S'ha comprovat també que la velocitat del fluid que circula per tubs sigui típica; per fer-ho s'ha fet ús de les dades i equació adjuntes a continuació en forma de Taula 14 i Equació 52.

Taula 14: Dades tubs

mt	180200
pt	332,5
A pas 1 tub	0,000506707
Ntp	208,9359767

On:

- mt és la massa del fluid que circula per tubs (kg)
- Pt és la densitat del fluid de tubs (kg/m³)
- A pas 1 tub és l'àrea de pas d'un tub (m²)
- Ntp és el nombre passos per tub, tenint en compte que cada tub passa 8 cops per la carcassa

$$v_t = mt / (pt \cdot A_{pas1tub} \cdot N_{tp}) \quad [52]$$

On:

- vt és la velocitat del fluid que circula per tubs (m/s)

La velocitat del fluid que circula per tubs és de 5119.08 m/h; és a dir de 1.42 m/s. Aquesta velocitat entre dins del rang típic de valors esperable per les condicions de pressió i temperatura a les que s'opera; per tant es pot deduir que el nombre de tubs calculat és correcte. Un cop calculada la velocitat del corrent per tubs s'ha procedit a calcular el temps de residència que està aquest dins del stripper, per fer-ho s'ha utilitzat l'Equació 53, recordar també que el nombre de passos per tub (N_p) és de 8.

$$\text{Temps residència} = (L \cdot N_p) / v_t \quad [53]$$

On:

- L és la longitud del tub (m)
- N_p és el nombre de passos que fa cada tubs per la carcassa (8)
- V_t és la velocitat del fluid que circula per tubs (m/s)

El temps de residència calculat ha estat de 39,38 segons.

Tot seguit es calculen diversos paràmetres referits a la carcassa, com el baffle cut, l'espai entre baffles i el número de pantalles. Aquests paràmetres segueixen les següents relacions:

$$\text{Baffle cut} = 0.25 \cdot D_{ci} \quad [53]$$

$$\text{Espai entre baffles} = 0.4 \cdot D_{ci} \quad [54]$$

$$N^{\circ} \text{ baffles} = (L / \text{Espai entre baffles}) - 1 \quad [55]$$

On:

- D_{ci} és el diàmetre de la carcassa interior (m)

Els valors obtinguts dels respectius paràmetres ha estat de 0,4069 m pel baffle cut, 0,6510 m d'espai entre baffles i 9,7514 pantalles.

Altres paràmetres a calcular són la pressió de tubs i carcassa, els respectius radis, l'esforç admissible i l'eficàcia de la junta. A continuació s'adjunten els paràmetres mencionats, en la Taula 15, tenint en compte que per la carcassa la pressió d'operació és de 140 bars, i que per tubs és de 20 bars. En tots dos casos s'ha considerat un marge del 10% per calcular la pressió de disseny.

Taula 15: Paràmetres de disseny de tubs i carcassa

P tubs	2206
P carcassa	15400
R carcassa	0,813844934
R tubs	0,0127
S	137931
E	0,8

On:

- P tubs és la pressió disseny dels tubs (Kpa)
- P carcassa és la pressió de disseny de la carcassa (Kpa)
- R carcassa és el radi de la carcassa (m)
- R tubs és el radi de tubs (m)
- S és l'esforç admissible en Kpa

Amb aquests paràmetres s'ha pogut calcular els espessors de la carcassa, de tubs, i del capçal. Tots tres valors s'han calculat amb l'Equació 3, situada i utilitzada anteriorment en l'apartat del disseny del reactor. A continuació s'adjunten els resultats obtinguts en forma de la Taula 16.

Taula 16: Espessors del stripper

t_c (espessor carcassa) (m)	0,1239
t_t espessor tubs (m)	0,0003
t capçal (m)	0,0018

Amb el diàmetre intern de la carcassa i l'espessor s'ha calculat el diàmetre exterior de la carcassa, fent ús de l'Equació 4 utilitzada anteriorment. El valor obtingut s'adjunta a continuació:

$$De_{carcassa} = 3,9693 \text{ m}$$

També s'ha realitzat el dimensionament el·líptic dels capçals a través del mètode de Koopler, utilitzant el mateix enllaç que s'ha mencionat anteriorment també en el disseny del Reactor. Tot seguit s'adjunten els resultats d'aquest dimensionament en la Taula 17. La definició del que és cada paràmetre de la Taula 17 es pot veure en l'apartat del reactor.

Taula 17: Dimensionament del capçal per Koopler

Diàmetre disc (m)	2.028
R (m)	1.83
r (m)	0.183

h (m)	0,0008
f (m)	0.354
H (m)	0.355
V (m ³)	0.6124
Pes capçal (kg)	6

Un cop es té l'altura d'un dels capçals es pot calcular l'alçada total de l'stripper, tenint en compte que en total està format per dos capçals, fent ús de l'equació (56). L'altura obtinguda de l'stripper és de 7,71 m.

$$H_{\text{stripper}} = L \cdot 2 \cdot H \quad [56]$$

On:

- L és la longitud dels tubs, que és la mateixa que la de la carcassa (m)
- H és l'altura dels capçals

Tot seguit es procedeix a mostrar els càlculs referits al pes de l'equip; s'ha calculat el pes de la carcassa, d'un tub, el pes del conjunt de tubs i el pes total del stripper. Per fer-ho les Equacions utilitzades han estat la 6, 7 i 8.

$$\text{Pes}_{\text{carcassa}} = 50.530,07 \text{ kg}$$

$$\text{Pes}_{1\text{tub}} = 1,392 \text{ kg}$$

$$\text{Pes}_{\text{tubs}} = 2326.624 \text{ kg}$$

$$\text{Pes}_{\text{stripper}} = 52829.631 \text{ kg}$$

Finalment per acabar el dimensionament del stripper s'ha realitzat els càlculs referits als volums interns, externs i els de l'àrea. Primerament s'ha calculat el volum intern i extern del virolai i els capçals; posteriorment s'han sumat per obtenir els volums externs i interns totals. El procediment ha estat el mateix que la realitzada en els càlculs del volum del reactor. En el procés s'han utilitzat les equacions (9) i (10) tal com s'ha fet anteriorment.

$$V_{\text{externvirolai}} = 19.340 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{externcapçal}} = 0.612 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{externtotal}} = 20.566 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{internvirolai}} = 14.565 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{interncapçal}}=0.608 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{interrtotal}}=15.783 \text{ m}^3$$

$$A_{\text{stripper}}=50,956 \text{ m}^2$$

Per el cas de l'stripper també s'ha realitzat el balanç d'energia; amb la mateixa metodologia amb la qual s'ha realitzat el balanç d'energia del reactor. El bescanvi de calor per el cas del Stripper és de 27874,3 kw.

11.4 Disseny del Pool Condenser

En el cas del Pool Condenser succeeix com l'stripper; és un equip on succeeix la reacció de formació del carbamat, però a la vegada funciona com un bescanviador de calor, ja que al ser una reacció exotèrmica requereix d'un sistema de refrigeració de carcassa i tubs per tal de poder extreure la calor generada i operar a condicions controlades i adequades. El primer pas del disseny s'ha fet a través del Hysys, i a partir d'aquest posteriorment s'han anat calculant la resta de paràmetres ja analitzats anteriorment pel reactor i l'stripper. A continuació en la Figura 22 es mostra la representació del pool condenser en el Hysys.

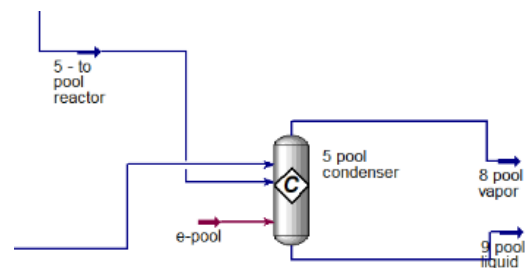


Figura 22: Representació del pool condenser en el Hysys.

Com en el cas del reactor i del stripper, s'ha definit la reacció i l'estequiometria del reactor, en aquest cas la de la formació del carbamat. La definició d'aquests paràmetres dins del programa es poden observar en la Figura 23.

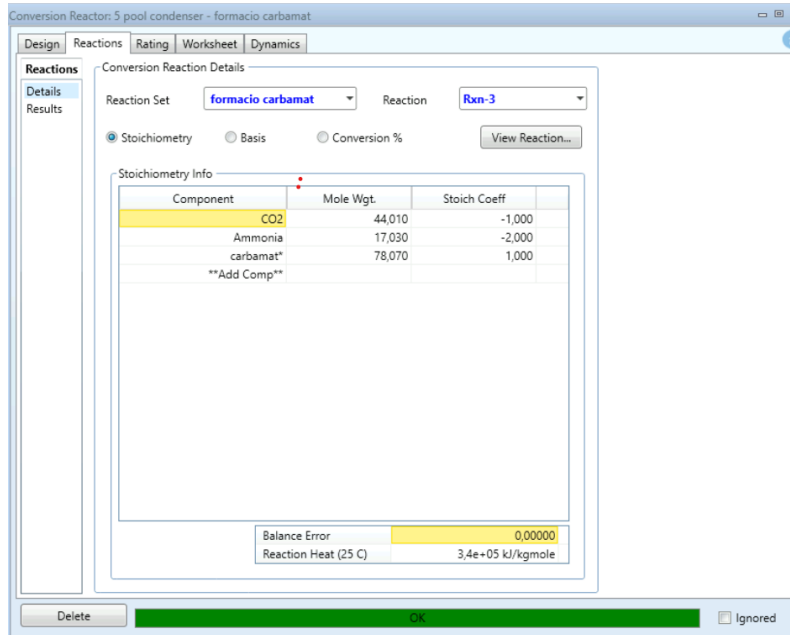


Figura 23: Definició de la reacció i estequiometria del pool condenser

Finalment, referit al Hysys també s'adjunta la Figura 24, on es poden veure les composicions obtingudes en l'entrada i sortida de l'equip.

Conversion Reactor: 5 pool condenser - formacio carbamat

DesignReactionsRatingWorksheetDynamics

Worksheet

	AL POOL	5 - to pool reactor	9 pool liquid	8 pool vapor	
Conditions	Air	0,0139	0,0000	0,0000	0,0819
Properties	CO2	0,4898	0,0000	0,0000	0,0575
Composition	Ammonia	0,4759	0,9955	0,0122	0,8582
PF Specs	H2O	0,0200	0,0039	0,0434	0,0024
	carbamat*	0,0000	0,0000	0,9429	0,0000
	biuret*	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	urea*	0,0004	0,0006	0,0015	0,0000

DeleteOKIgnored

Figura 24: Composicions d'entrada i sortida del pool condenser

En aquest cas primerament també s'ha calculat l'àrea necessari per dur a terme el bescanvi de calor requerit. La fórmula per calcular l'àrea en qüestió ha estat la mateixa que la vista

anteriorment, és a dir l'Equació 45. Per el càlcul del valor de AT_{ml} s'ha utilitzat l'Equació 46. Seguidament s'adjunta la Taula 18, on es pot veure els valors utilitzats i obtinguts al fer els càlculs.

Taula 18: Àrea requerida per fer el bescanvi de calor

A (m ²)	2.027,774
Q (W)	165.697.596,1
U (W/(°C·m ²))	600
AT_{ml}	136,19

Com es pot observar en la Taula 18 el valor de l'àrea requerida per fer el bescanvi és de 2.027,774 m². A continuació s'ha procedit amb el disseny dels tubs, per acabar sabent l'àrea d'un dels tubs del pool condenser i acabar calculant el nombre de tubs necessaris. A continuació s'adjunta la Taula 19, on es pot veure diversos paràmetres de disseny dels tubs que s'han escollit i que determinen la resta del disseny.

Taula 19: Paràmetres escollits dels tubs

Di (m)	0,0254
Ax(m)	0,00125
De (m)	0,0279
L(m)	8,0000

En aquest cas la longitud de tubs escollides ha estat de 8 metres per tal que la divisió entre la longitud de la carcassa i el diàmetre d'aquesta es trobés entre 4 i 6. Tal com també s'ha fet anteriorment el diàmetre intern de la carcassa (D_{ci}) s'ha calculat amb la Figura 21. A continuació s'adjunta el resultat:

$$D_{ci}=1,6262 \text{ m}$$

Amb la longitud de la carcassa i el diàmetre intern d'aquesta ja es pot calcular que realment es compleixi la relació entre els dos factors. En aquest cas $L/D_{ci}=4,9194$, per tant es pot deduir que la longitud de la carcassa s'ha aproximat correctament. També s'ha calculat el volum intern i extern dels tubs (V_{it} i V_{et}); fent ús de l'equació 9 i les mateixes consideracions que s'han fet anteriorment. Aprofitant el valor del diàmetre extern també s'ha calculat el pitch dels tubs, amb l'Equació 47. A continuació s'adjunten els resultats mencionats:

$$V_{it}=0,00405 \text{ m}^3$$

$$V_{et}=0,00489 \text{ m}^3$$

$$\text{Pitch}=0.03488 \text{ m}$$

Seguidament s'ha procedit amb el càlcul del àrea d'un tub i amb el nombre de tubs que requereix el pool condenser; per fer-ho s'ha utilitzat l'Equació 48 i 49

$$\text{Àrea tub}=0,7012 \text{ m}^2$$

$$N^{\circ}\text{tubs}=2.891,85$$

Repetint els processos anteriors en aquest instant s'ha procedit amb el càlcul del diàmetre del feix de tubs (D_f), Equació 50, i l'espaiat que hi ha entre aquest i la paret exterior de la carcassa, Equació 51.

$$D_f=1,6041\text{m}$$

$$\text{Espaiat}=0,02215 \text{ m}^2$$

Pel pool condenser també s'ha comprovat que la velocitat del corrent que circula per tubs sigui la correcta, per fer-ho s'ha utilitzat l'equació 52 i les dades que s'adjunten a continuació en la Taula 20.

Taula 20: Valors per calcular la velocitat de tubs

mt (kg/h)	7135303,18
Ppt (kg/m ³)	997
A pas 1 tub (m ²)	0,000506707
Ntp	2891,849415

Cal remarcar que per el càlcul del Ntp s'ha considerat que cada tub passa un únic cop per la carcassa. El valor de la velocitat del fluid per tubs (v_t) és el següent:

$$v_t=4.884,0970 \text{ m/h}=1,3567 \text{ m/s}$$

Un cop obtinguda la velocitat típica del fluid s'ha calculat el temps de residència, és a dir el temps que es troba el fluid en qüestió dins del pool condenser; l'equació utilitzada ha estat la 53.

$$\text{Temps residència}=5.8967 \text{ s}$$

També s'ha calculat els diversos paràmetres referits a la carcassa; com el baffle cut, Equació 53; l'espai entre baffles, Equació 54; i el N° de baffles, equació 55.

$$\text{Baffle cut} = 0.4066 \text{ m}$$

$$\text{Espai entre baffles} = 0.6505 \text{ m}$$

$$\text{N}^\circ \text{ baffles} = 11.2984$$

Altres paràmetres que també s'han dimensionat són la pressió de tubs i carcassa, els respectius radis, l'esforç admissible i l'eficàcia de la junta. A continuació s'adjunta la Taula 21, on es poden veure els paràmetres mencionats. Cal destacar que la pressió d'operació de la carcassa és de 135 bars, i per tubs de 4 bars. En tots dos casos per calcular la pressió d'operació també s'ha considerat un marge del 10%.

Taula 21: Paràmetres de disseny de tubs i la carcassa

P tubs (Kpa)	606
P carcassa (Kpa)	14850
R carcassa (m)	0,813111319
R tubs (m)	0,0127
S (Kpa)	137931
E	0,8

Amb aquests paràmetres s'ha pogut calcular els espessors de la carcassa, de tubs, i del capçal. Tots tres valors s'han calculat amb l'Equació 3. A continuació s'adjunten els resultats obtinguts en forma de la Taula 22, considerant ja el 20% de sobredimensionament dels espessors.

Taula 22: Espessors del pool condenser

t espessor carcassa (m)	0,1428
t espessor tubs (m)	$8,3972 \cdot 10^{-5}$
t capçal (m)	0,07824

Amb el diàmetre intern de la carcassa i l'espessor observat en la Taula 22 s'ha calculat el diàmetre exterior de la carcassa, fent ús també de l'Equació 4. El valor obtingut s'adjunta a continuació:

$$D_{\text{carcassa}} = 1,9119 \text{ m}$$

També s'ha realitzat el dimensionament semiesfèric dels capçals a través del mètode de Koopler, utilitzant el mateix enllaç que s'ha mencionat anteriorment també en el disseny del reactor i del

stripper, tot i que per aquests dos el capçal era el·líptic. Tot seguit es mostren els resultats d'aquest dimensionament en la Taula 23.

Taula 23: Dimensionament del capçal del pool condenser per Koopler

Diàmetre disc (m)	1,9119
A (m ²)	8,11
R (m)	0.9559
H (m)	0.9559
V (m ³)	2.3765
Pes capçal (kg)	6033

Un cop calculada l'altura dels capçals es pot saber l'alçada total del pool condenser, utilitzant l'Equació 56, tenint en compte que l'stripper només té un capçal.

$$H_{\text{poolcondenser}} = 8.956 \text{ m}$$

Tot seguit es procedeix a mostrar els càlculs referits al pes de l'equip; s'ha calculat el pes de la carcassa, d'un tub, el pes del conjunt de tubs i el pes total del pool condenser. S'han utilitzat les Equacions 6,7 i 8.

$$P_{\text{escarassa}} = 62148.547 \text{ kg}$$

$$P_{\text{stut}} = 0.430 \text{ kg}$$

$$P_{\text{stubs}} = 1243.579 \text{ kg}$$

$$P_{\text{stripper}} = 63392.126 \text{ kg}$$

Finalment per acabar el dimensionament del pool condenser s'ha realitzat els càlculs referits als volums interns i externs i el de l'àrea. S'ha calculat el volum intern i extern del virolai i els capçals; posteriorment s'han sumat per obtenir els volums externs i interns totals. El procediment ha estat el mateix que la realitzada en els càlculs del volum del reactor i del stripper. Per fer-ho s'han utilitzat les fórmules 9 i 10.

$$V_{\text{externvirolai}} = 22.967 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{externcapçal}} = 2.377 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{externtotal}} = 25,344 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{internvirolai}} = 16,617 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{interncapçal}} = 2,220 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{interrtotal}}=18,837 \text{ m}^3$$

$$A_{\text{poolcondenser}}=17,123 \text{ m}^2$$

Per el cas del pool condenser també s'ha realitzat el balanç d'energia; amb la mateixa metodologia amb la qual s'ha realitzat el balanç d'energia del reactor. El bescanvi de calor per el cas del pool condenser és de 160697.5 Kw.

11.5 Disseny del separador

El disseny del separador també s'ha iniciat a partir del programari aspen Hysys, i posteriorment s'ha procedit amb el càlcul dels tubs. També s'han calculat altres paràmetres com l'àrea, volums i alçada de l'equip entre altres. Cal mencionar que a l'hora de realitzar el disseny del separador s'ha tingut en compte que aquest realitza dues funcionalitats diferents; la de "heater" i la de la separació física com a tal, ja que les característiques físiques d'aquest depenent de si la zona observada només pot realitzar la separació o si també pot realitzar el bescanvi de calor. No obstant, aquest tema dels equips s'ha tractat més a fons en el respectiu apartat d'equips.

A continuació, en la figura 25, s'adjunta el disseny del separador realitzat en l'Apen Hysys. El programa no té un equip que pugui realitzar una separació física a la vegada que un bescanvi de calor. Per aquest motiu en la Figura 25 es pot observar primerament un bescanviador de calor, que és l'encarregat de calentar el corrent a la temperatura òptima, i posteriorment l'equip que realitza la separació com a tal.

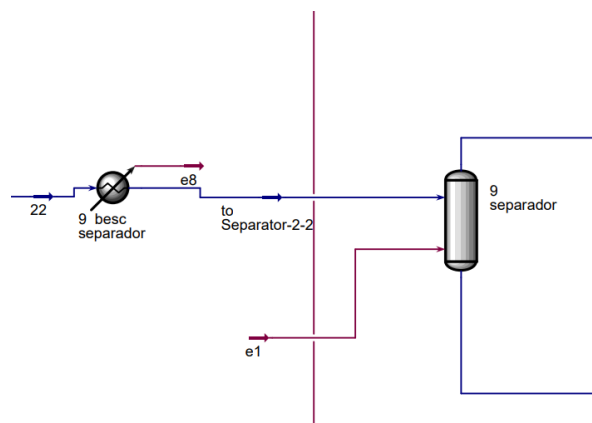


Figura 25: Disseny del separador amb el Hysys

El procés del dimensionament s'ha iniciat calculant l'àrea necessària que ha de tenir el separador per dur a terme el bescanvi de calor requerit. Pel càlcul de l'àrea s'ha utilitzat l'Equació 45, com en la resta d'equips. Per el càlcul del valor de AT_{ml} també s'ha utilitzat l'equació 46.

Seguidament s'adjunta la Taula 24, on es pot veure els valors utilitzats i obtinguts per fer els càlculs mencionats:

Taula 24: Àrea requerida per fer el bescanvi de calor

A (m ²)	181,39
Q (W)	7.288.608,16
U (W/(°C·m ²))	1200
AT _{ml}	33,48

En aquest cas el valor de l'àrea necessari per realitzar el bescanvi de calor, i en conseqüència fer el procés de separació a la temperatura adient, és de 181,39 m². Seguidament s'ha procedit amb el disseny dels tubs, per acabar sabent l'àrea referida a un dels tubs, i així acabar calculant el nombre de tubs totals. A continuació s'adjunta la Taula 25, on es poden veure els paràmetres escollits per els tubs i que determinen la resta del disseny.

Taula 25: Paràmetres escollits dels tubs pel stripper

Di (m)	0,0254
Ax(m)	0,00165
De (m)	0,0287
L(m)	5,000

En aquest cas la longitud de tubs escollides ha estat de 5 metres per tal que la divisió entre la longitud de la carcassa i el diàmetre d'aquesta es trobés entre 4 i 6. Tal com també s'ha fet anteriorment el diàmetre intern de la carcassa (Dci) s'ha calculat amb la Figura 21. A continuació s'adjunta el resultat:

$$D_{ci}=1,003m$$

Amb la longitud de la carcassa i el diàmetre intern d'aquesta ja es pot calcular que realment es compleixi la relació entre els dos factors. En aquest cas $L/D_{ci}=4,98418$, per tant es pot deduir que la longitud de la carcassa s'ha aproximat correctament. També s'ha calculat el volum intern i extern dels tubs (V_{it} i V_{et}); fent ús de l'equació 9; aprofitant el valor del diàmetre extern també s'ha calculat el pitch dels tubs, amb l'Equació 47 utilitzada prèviament. A continuació s'adjunten els resultats mencionats:

$$V_{it}=0,00254 \text{ m}^3$$

$$V_{et}=0,00323 \text{ m}^3$$

$$\text{Pitch}=0.0359 \text{ m}$$

Seguidament s'ha procedit amb el càlcul del àrea d'un tub i amb el nombre de tubs que requereix el separador; per fer-ho s'ha utilitzat l'equació 48 i 49.

$$\text{Àrea tub}=0,451 \text{ m}^2$$

$$\text{N}^{\circ}\text{tubs}=402,36$$

També s'ha realitzat el càlcul del diàmetre del feix de tubs (Df), Equació 50, i l'espaiat que hi ha entre aquest i la paret exterior de la carcassa, Equació 51.

$$\text{Df}=0,931\text{m}$$

$$\text{Espaiat}=0,072 \text{ m}$$

S'ha comprovat que la velocitat del corrent que circula per tubs sigui la correcta, per fer-ho s'ha utilitzat l'equació 52 i les dades que s'adjunten a continuació en la Taula 26 .

Taula 26: Valors per calcular la velocitat de tubs

mt (kg/h)	92170.85
Ppt (kg/m ³)	997
A pas 1 tub (m ²)	0,000507
Ntp	50.295

En el cas del separador cada tub passa 8 cops per la carcassa, amb aquesta consideració s'ha obtingut el valor exposat. A continuació s'exposa la velocitat del fluid per tubs (vt):

$$\text{vt}=4.232,15 \text{ m/h}=1,176 \text{ m/s}$$

Un cop obtinguda la velocitat típica del fluid s'ha calculat el temps de residència, és a dir el temps que es troba el fluid en qüestió dins del separador; l'equació utilitzada ha estat la 52.

$$\text{Temps residència}=34,0263\text{s}$$

També s'ha calculat els diversos paràmetres referits a la carcassa; com el baffle cut, equació 53; l'espai entre baffles, equació 54; i el N° de baffles, equació 55.

$$\text{Baffle cut}= 0,2508 \text{ m}$$

$$\text{Espai entre baffles}= 0,4012\text{m}$$

$$\text{N}^{\circ} \text{ baffles}= 11,4604$$

Altres paràmetres que també s'han dimensionat són la pressió de tubs i carcassa, els respectius radis, l'esforç admissible i l'eficàcia de la junta. A continuació s'adjunta la Taula 27, on es poden veure els paràmetres mencionats. Cal destacar que la pressió d'operació de la carcassa és de 10 bars, i per tubs de 50 bars. En tots dos casos per calcular la pressió d'operació també s'ha considerat un marge del 10%.

Taula 27: Paràmetres de disseny de tubs i la carcassa

P tubs (Kpa)	5500
P carcassa (Kpa)	1206
R carcassa (m)	0,5016
R tubs (m)	0,0127
S (Kpa)	137931
E	0,8

Amb aquests paràmetres s'ha pogut calcular els espessors de la carcassa, de tubs, i del capçal. Tots tres valors s'han calculat amb l'Equació 3, utilitzada anteriorment. A continuació s'adjunten els resultats obtinguts en forma de la taula 28, considerant ja el 20% de sobredimensionament dels espessors. Destacar que en la Taula 28 es poden veure els espessors de la part del separador on només es produeix el bescanvi de calor i de la zona on es produeix la separació. L'explicació de les zones es pot veure amb més profunditat en el document d'equips.

Taula 28: Espessors del separador

t carcassa zona bescanvi (m)	0,00662
t tubs zona bescanvi (m)	0,00078
t capçal zona bescanvi (m)	$9,42 \cdot 10^{-5}$
t cos separació (m)	0,0703
t capçal separació (m)	0,0685

Amb el diàmetre intern de la carcassa i l'espessor calculat amb la taula 28 s'ha calculat el diàmetre exterior de la carcassa, fent ús també de l'Equació 4 utilitzada anteriorment. El valor obtingut s'adjunta a continuació:

$$D_{e_{\text{carcassa}}} = 1,0164 \text{ m}$$

En el cas del separador a través del mètode Koopler s'ha dimensionat el capçal de zona del bescanvi de calor i el capçal de la zona on succeeix específicament la separació. Tot seguit s'adjunten les Taules 29 i 30, on es pot veure el resultat del dimensionament per tots dos casos.

Per realitzar el dimensionament pel mètode de Koppler s'ha utilitzat el mateix enllaç que en la resta de casos.

Taula 29: Dimensionament del capçal del de la zona de bescanvi

Diàmetre disc evaporador (m)	1,126
R(m)	1,016
r(m)	0,101
h(m)	0,000315
f(m)	0,197
H(m)	0,197
V(m ³)	0,1049
Pes(kg)	1

Taula 30: Dimensionament del capçal del de la zona de separació

Diàmetre disc evaporador (m)	1,896
R(m)	1,457
r(m)	0,146
h(m)	0,144
f(m)	0,263
H(m)	0,449
V(m ³)	0,2595
Pes(kg)	0,931

Un cop calculada l'altura del capçals es pot saber l'alçada total del separador referida a la zona del bescanvi de calor, és a dir de la zona on passen els tubs i del capçal corresponent. El càlcul de l'alçada s'ha fet amb l'Equació 56. En aquest valor de l'alçada no es té en compte l'altura del separador.

$$H_{\text{zonabescanvi}} = 5.197 \text{ m}$$

Tot seguit es procedeix a mostrar els càlculs referits al pes de l'equip; s'ha calculat el pes de la carcassa on es produeix el bescanvi de calor, el pes de la carcassa on es fa la separació, el pes d'un tub, el pes del feix de tubs i finalment el pes total del separador. S'han utilitzat les equacions 6,7 i 8.

$$Pe_{\text{carcassabescanvi}}=1049,063\text{kg}$$

$$Pe_{\text{carcassaseparador}}=38646,628\text{kg}$$

$$Pe_{\text{1tub}}=3,092\text{ kg}$$

$$Pe_{\text{tubs}}=1243,968\text{ kg}$$

$$Pe_{\text{totalseparador}}=43232,6906\text{ kg}$$

Un altre paràmetre que també s'ha procedit a calcular ha estat l'alçada total del separador, on s'inclou tant la zona de bescanvi com la zona on es produeix la separació com a tal. El valor obtingut ha estat de 12,57 metres.

S'ha finalitzat el dimensionament del separador calculant el volum intern i extern; cada un d'ells per la virola, el capçal, la zona de separació del separador i la zona del bescanvi del separador. També s'ha calculat l'àrea referida a la zona de separació, l'àrea de la zona de bescanvi i l'àrea total. Les equacions requerides per fer-ho són la 9 i la 10.

$$V_{\text{externvirola}}=4,0569\text{ m}^3$$

$$V_{\text{externcapçal}}=0,1049\text{m}^3$$

$$V_{\text{externseparació}}=34,8356\text{m}^3$$

$$V_{\text{externbescanvi}}=0,2595\text{m}^3$$

$$V_{\text{externtotal}}=39,257\text{ m}^3$$

$$V_{\text{internvirola}}=3,952\text{m}^3$$

$$V_{\text{interncapçal}}=0,1015\text{ m}^3$$

$$V_{\text{internseparació}}=4,9365\text{m}^3$$

$$V_{\text{internbescanvi}}=0,12224\text{m}^3$$

$$V_{\text{interntotal}}=35,083\text{ m}^3$$

$$A_{\text{bescanviador}}=17,589\text{m}^2$$

$$A_{\text{separació}}=66,7694\text{ m}^2$$

$$A_{\text{total}}=66,7694\text{ m}^2$$

Disseny del scrubber

Com en la resta d'equips el disseny del scrubber s'ha iniciat a partir del Hysys, i posteriorment s'ha anat calculant la resta de paràmetres requerits. L'scrubber també segueix un disseny de carcassa i tubs; per tubs es fa passar l'absorbidor i la corrent que teòricament hauria de ser absorbida parcialment. Per carcasses el que circula és aigua per fer que aquest procés d'absorció succeeixi a la temperatura òptima. A part d'aquesta zona de bescanvi de calor l'scrubber també té una esfera que s'ha de calcular i dimensionar; la utilitat d'aquesta esfera s'explica en el document d'equips. La part de la carcassa i tubs seguirà els mateixos càlculs que fets en la resta d'equips, però aquesta nova esfera no s'inclourà en aquests càlculs i s'haurà de calcular posteriorment.

A continuació s'adjunta el disseny del scrubber fet en el Hysys, veure Figura 26.

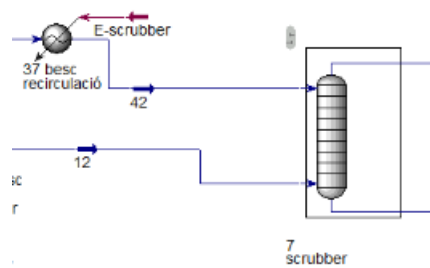


Figura 26: Disseny del scrubber en el hysys

El disseny s'ha procedit calculant l'àrea necessària per dur a terme el bescanvi de calor requerit. Per fer-ho s'ha utilitzat l'Equació 45, com en la resta d'equips dissenyats anteriorment. Per el càlcul del valor de AT_{ml} també s'ha utilitzat l'Equació 46. Seguidament s'adjunta la Taula 31, on es pot veure els valors utilitzats i obtinguts per fer els càlculs mencionats:

Taula 31: Àrea requerida per fer el bescanvi de calor

A (m ²)	118,422
Q (W)	16633571
U (W/(°C·m ²))	1200
AT _{ml}	117,05

En aquest cas el valor de l'àrea necessari per realitzar el bescanvi de calor és de 118,422 m². Seguidament s'ha procedit amb el disseny dels tubs, per acabar sabent l'àrea referida a un dels tubs del scrubber, i així acabar el nombre de tubs totals. A continuació s'adjunta la Taula 32, on es poden veure els paràmetres escollits per els tubs i que determinen la resta del disseny.

Taula 32: Paràmetres escollits dels tubs pel scrubber

Di (m)	0.03801
Ax(m)	0.00211
De (m)	0.04223
L(m)	4

En aquest cas la longitud de tubs escollides ha estat de 4 metres per tal que la divisió entre la longitud de la carcassa i el diàmetre d'aquesta es trobés entre 4 i 6. Tal com també s'ha fet anteriorment el diàmetre intern de la carcassa (Dci) s'ha calculat amb la Figura 21. A continuació s'adjunta el resultat:

$$D_{ci}=0.9659 \text{ m}$$

Amb la longitud de la carcassa i el diàmetre intern d'aquesta ja es pot calcular que realment es compleixi la relació entre els dos factors. En aquest cas $L/D_{ci}=4.1410$, per tant es pot deduir que la longitud de la carcassa s'ha aproximat correctament. També s'ha calculat el volum intern i extern dels tubs (V_{it} i V_{et}); fent ús de l'Equació 9 i les mateixes consideracions que s'han fet anteriorment; aprofitant el valor del diàmetre extern també s'ha calculat el pitch dels tubs, amb l'Equació 47 utilitzada anteriorment. A continuació s'adjunten els resultats mencionats:

$$V_{it}=0,00454 \text{ m}^3$$

$$V_{et}=0,00560 \text{ m}^3$$

$$\text{Pitch}=0,05279 \text{ m}$$

Seguidament s'ha procedit amb el càlcul del àrea d'un tub i amb el nombre de tubs que requereix el pool condenser; per fer-ho s'ha utilitzat l'Equació 48 i 49.

$$\text{Àrea tub}=0,5307 \text{ m}^2$$

$$N^{\circ}\text{tubs}=223,15$$

Repetint els processos anteriors en aquest instant s'ha procedit amb el càlcul del diàmetre del feix de tubs (D_f), Equació 50, i l'espaiat que hi ha entre aquest i la paret exterior de la carcassa, equació 51.

$D_f=0,89894\text{m}$

$\text{Espaiat}=0,067\text{ m}$

Pel scrubber també s'ha comprovat que la velocitat del corrent que circula per tubs sigui la correcta, per fer-ho s'ha utilitzat l'Equació 50 i les dades que s'adjunten a continuació en la Taula 33.

Taula 33: Valors per calcular la velocitat de tubs

mt (kg/h)	142556.37
Ppt (kg/m ³)	997
A pas 1 tub (m ²)	0,00113472
Ntp	4,14104

Cal remarcar que per el càlcul del Ntp s'ha considerat que cada tub passa un únic cop per la carcassa. El valor de la velocitat del fluid per tubs (v_t) és el següent:

$$v_t=5674.519\text{ m/h}=1.5762\text{ m/s}$$

Un cop obtinguda la velocitat típica del fluid s'ha calculat el temps de residència, és ha dir el temps que es troba el fluid en qüestió dins del pool condenser; l'equació utilitzada ha estat la 52.

$\text{Temps residència}=2.5377\text{ s}$

També s'ha calculat els diversos paràmetres referits a la carcassa; com el baffle cut, Equació 53; l'espai entre baffles, Equació 54; i el N° de baffles, Equació 55.

$\text{Baffle cut}= 0.2415\text{ m}$

$\text{Espai entre baffles}= 0.3864\text{m}$

$\text{N}^\circ\text{ baffles}= 9.3526$

Altres paràmetres que també s'han dimensionat són la pressió de tubs i carcassa, els respectius radis, l'esforç admissible i l'eficàcia de la junta. A continuació s'adjunta la Taula 34, on es poden veure els paràmetres mencionats. Cal destacar que la pressió d'operació de la carcassa és de 100 bars, i per tubs de 135 bars. En tots dos casos per calcular la pressió d'operació també s'ha considerat un marge del 10%.

Taula 34: Paràmetres de disseny de tubs i la carcassa

P tubs (Kpa)	14850
P carcassa (Kpa)	11000
R carcassa (m)	0,4829
R tubs (m)	0,0190
S (Kpa)	137931
E	0,8

Amb aquests paràmetres s'ha pogut calcular els espessors de la carcassa, de tubs, i del capçal. Tots tres valors s'han calculat amb l'equació 3, utilitzada anteriorment. A continuació s'adjunten els resultats obtinguts en forma de la Taula 35, considerant ja el 20% de sobredimensionament dels espessors.

Taula 35: Espessors del scrubber

t espessor carcassa (m)	0,051209
t espessor tubs (m)	0.002782
t capçal (m)	0,005344

Amb el diàmetre intern de la carcassa i l'espessor exposada en la Taula 35 s'ha calculat el diàmetre exterior de la carcassa, fent ús també de l'Equació 4. El valor obtingut s'adjunta a continuació:

$$De_{\text{carcassa}} = 1,0884 \text{ m}$$

També s'ha realitzat el dimensionament el·líptic dels capçals a través del mètode de Koopler, utilitzant el mateix enllaç utilitzat anteriorment per la resta d'equips. Tot seguit s'adjunten els resultats d'aquest dimensionament en la Taula 36. El capçal dissenyat en qüestió segueix una forma el·líptica.

Taula 36: Dimensionament del capçal del scrubber per Koopler

Diàmetre disc(m)	1.518
Volum(m ³)	0.0889
Pes(kg)	723
H(m)	0.408
r (m)	0.106152
H(m)	0.17472
F(m)	0.183

Un cop calculada l'altura del capçal es pot saber l'alçada total del scrubber referida a la zona del bescanvi de calor, sense tenir en compte l'alçada de l'esfera que es calcularà potseriorment. Per realitzar el càlcul s'ha utilitzat l'equació 56.

$$H_{\text{scrubberbescanvi}} = 4.408 \text{ m}$$

Seguidament es procedeix a mostrar els càlculs referits al pes de l'equip; s'ha calculat el pes de la carcassa, d'un tub, el pes del conjunt de tubs i el pes referit a la zona de bescanvi de calor del scrubber. Per fer-ho s'ha utilitzat l'equació 6, 7 i 8.

$$\text{Pes}_{\text{carcassa}} = 7647.591 \text{ kg}$$

$$\text{Pes}_{1\text{tub}} = 13.691 \text{ kg}$$

$$\text{Pes}_{\text{tubs}} = 3055.405 \text{ kg}$$

$$\text{Pes}_{\text{scrubber}} = 10702.996 \text{ kg}$$

A partir d'aquest punt es realitza el càlcul de l'esfera de l'scrubber, en primera instància es calcula el volum intern. Per fer-ho s'utilitza el caudal volumètric d'entrada del gas i el líquid en l'entrada d'aquesta. S'ha suposat un temps de residència de 0.3 h. A continuació s'adjunta l'equació 57, utilitzada per el càlcul del volum intern; i la Taula 37, on es pot veure els paràmetres utilitzats i el volum intern obtingut.

$$V_{\text{iesfera}} = Q_v \cdot \tau_{ao} + Q_l \cdot \tau_{ao} \quad [57]$$

On:

- V_{iesfera} és el volum intern de l'esfera (m^3)
- Q_v és el caudal de vapor que circula per l'esfera (m^3/h)
- Q_l és el caudal de líquid que circula per l'esfera (m^3/h)

Taula 37: Volum intern de l'esfera i paràmetres utilitzats

$V_{\text{iesfera}} (\text{m}^3)$	3,79731
$Q_{ve} (\text{m}^3/\text{h})$	12,2
$Q_{le} (\text{m}^3/\text{h})$	0,4577
$\tau_{ao} (\text{h})$	0,3

On:

$V_{iesfera}$ és el volum intern de l'esfera (m^3)

Q_{ve} és el caudal de vapor a l'entrada (m^3/h)

Q_{le} és el caudal de líquid a l'entrada (m^3/h)

Tao és el temps de residència (h)

Un cop calculat el volum el que s'ha fet ha estat sobredimensionar un 30 % el volum de l'esfera ($V_{iesfera30\%}$), i calcular el radi (r) i diàmetre (d) pertinents. A continuació s'adjunta la Taula 38 on es poden veure els resultats.

Taula 38: Volum intern de l'esfera sobredimensionada un 30%

$V_{iesfera30\%}$ (m^3)	4,936503
r(m)	1,056274832
d(m)	2,112549664

Per calcular l'espessor de l'esfera s'ha utilitzat l'equació X; per poder realitzar el càlcul s'ha hagut de calcular la pressió de disseny de l'esfera. Sabent que aquesta és 135 bars s'ha calculat un 10% de marge. A continuació s'adjunta la Taula 39, on es pot observar el valor dels paràmetres utilitzats i el valor de l'espessor calculat. També es pot veure el valor de l'espessor sobredimensionat un 20%.

Taula 39: Espessor sobredimensionada un 20%

P (Kpa)	14850
r (m)	1,056274832
S(psi)	137931
E	0,8
T(m)	0,072045334
$t_{20\%}$ (m)	0,086454401

Amb el valor de l'espessor s'ha pogut calcular els valors del diàmetre extern, radi extern i volum extern. . En la Taula 40 es mostren els resultats.

Taula 40: Valors externs

Vextern (m ³)	6.2506
reextern (m)	1,1427
dextern (m)	2,2855

L'alçada total de l'scrubber és la calculada anteriorment referida a la part del bescanviador i el capçal sumant-li el valor del diàmetre extern de l'esfera. El valor total de l'alçada és de 6,6935 m.

S'ha finalitzat el dimensionament del scrubber calculant el volum intern, extern i l'àrea total del scrubber. Per calcular els volums s'ha utilitzat l'Equació 9 i les consideracions fetes anteriorment.

$$V_{\text{externvirola}} = 3.7246 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{externesfera}} = 6.2506 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{externcapçal}} = 0.0889 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{externtotal}} = 10.0640 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{internvirola}} = 2.9312 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{internesfera}} = 4.9365 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{interncapçal}} = 0.0761 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{interntotal}} = 7.9438 \text{ m}^3$$

$$A_{\text{bescanviador}} = 4.7996 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{esfera}} = 16.4095 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{total}} = 21.2092 \text{ m}^2$$

11.6 Disseny del granulador i dels compressors

No s'ha pogut realitzar un dimensionament complet del granulador i dels compressors a través del Hysys. La planta Ureka operarà a partir de la compra de dos compressors i un granulador industrial. No obstant, a través del Hysys s'ha pogut obtenir els cabals d'aire comprimit que han de poder circular a través d'aquests equips i que en conseqüència s'han de considerar cara la compra dels mateixos. A continuació s'adjunten els resultats obtinguts.

$$\text{Flux}_{\text{aire compressor1}} = 15366,20$$

Flux_{aire compressor2}=7684,10 kmols/h

Flux_{aire granulador}= 33314,4 kmols/h

11.7 Disseny de bombes

Per tal d'assegurar un flux continu al llarg de la instal·lació s'utilitzen bombes, les quals es dissenyaran de la següent manera. Per dissenyar aquestes bombes, cal determinar la potència teòrica necessària perquè la bomba funcioni, equació 58.

$$P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot h \quad [58]$$

On:

- P=Potència teòrica de la bomba (W)
- ρ =Densitat del fluid(Kg/m³)
- g=Acceleració de la gravetat (m/s²)
- Q=Caball volumètric (m³/s)
- H=Càrrega total de la bomba (m)

El terme de càrrega total es mesura fent un balanç d'energia mecànica entre els punts d'estudi, el primer punt correspon a la sortida de la bomba, i el segon punt és fins on es vol impulsar el fluid. A continuació es mostra l'equació amb la qual es mesurarà la càrrega total, aquesta és essencial mesurar-la per escollir un proveïdor que s'adapti a les necessitats d'operació.

$$h = (z_2 - z_1) + \frac{1}{g} \cdot \left(\frac{P_2 - P_1}{\rho} + \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{v_2^2}{\alpha} - \frac{v_1^2}{\alpha} \right) + e_v \right) \quad [59]$$

on:

h= càrrega total de la bomba (m)

P=Pressió a cada punt d'estudi (Pa)

Z=Alçada al punt d'estudi (m)

V=Velocitat de circulació del fluïd al punt d'estudi (m/s)

α = coeficient de correcció de l'energia cinètica. 1 per turbulent. 0,5 per laminar.

e_v =Pèrdua de càrrega que pateix el fluid a causa de la circulació d'un tram recte i d'accidents (m2/s2)

Els paràmetres que es troben a L'59 han estat prèviament calculats, excepte certs termes com el coeficient de correlació de l'energia cinètica o la pèrdua de càrrega que pateix el fluid. Per determinar el coeficient de correlació de l'energia cinètica és necessari calcular el Reynolds, per determinar el règim de circulació del fluid. Aquest es mesura de la següent manera.

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} \quad [60]$$

On:

ρ =Densitat (Kg/m3)

v =velocitat de circulació del fluid (m/s)

D = Diàmetre intern de la canonada (m)

μ =Viscositat (Kg/m·s)

Un cop mesurat el Reynolds, ja es pot categoritzar el règim de circulació del fluid, aquest es divideix en tres grups; grup laminar (el qual li correspon un coeficient igual a 0,5), règim turbulent (al qual li correspon un valor del coeficient igual a 1) i un règim que es troba entremig dels dos esmentats anteriorment, que vindria a ser la zona de transició.

$Re < 2000$; Règim laminar

$2000 < Re < 4000$; Zona de transició

$Re > 4000$; Règim turbulent

Per determinar el valor de les pèrdues de càrrega que pateix el fluid al circular al llarg de la instal·lació, s'ha de definir el tram d'aspiració i el tram d'impulsió. El terme de les pèrdues és el sumatori de les pèrdues de càrrega del tram recte i dels accidents existents en el sistema de canonades. Per tant, el càlcul de les pèrdues de càrrega s'obté amb l'Equació 61.

$$e_v = e_{vtram recte(aspiració+impulsió)} + e_{v tram accidents(aspiració+impulsió)} \quad [61]$$

Les pèrdues de càrrega dels trams rectes es mesura amb les equacions 62 i 63.

$$e_{vtram recte(aspiració)} = 4f_{aspiració} \cdot \frac{L_{aspiració}}{D_{aspiració}} \cdot \frac{v_{aspiració}^2}{2} \quad [62]$$

$$e_{vtram recte(impulsió)} = 4f_{impulsió} \cdot \frac{L_{impulsió}}{D_{impulsió}} \cdot \frac{v_{impulsió}^2}{2} \quad [63]$$

On:

L=Longitud de la canonada (m)

D=Diàmetre intern de la canonada (m)

V=Velocitat de circulació del fluid (m/s)

4f=Factor de fricció de Fanning

Per determinar aquests termes primer de tot s'ha de determinar la rugositat relativa, per tal de calcular el número de Reynolds, car aquest depèn de les característiques del fluid i de les canonades. La rugositat relativa depèn del diàmetre intern de la canonada, el qual ja ha estat determinat anteriorment, i de la rugositat del material, valor que s'ha obtingut de la taula 41.

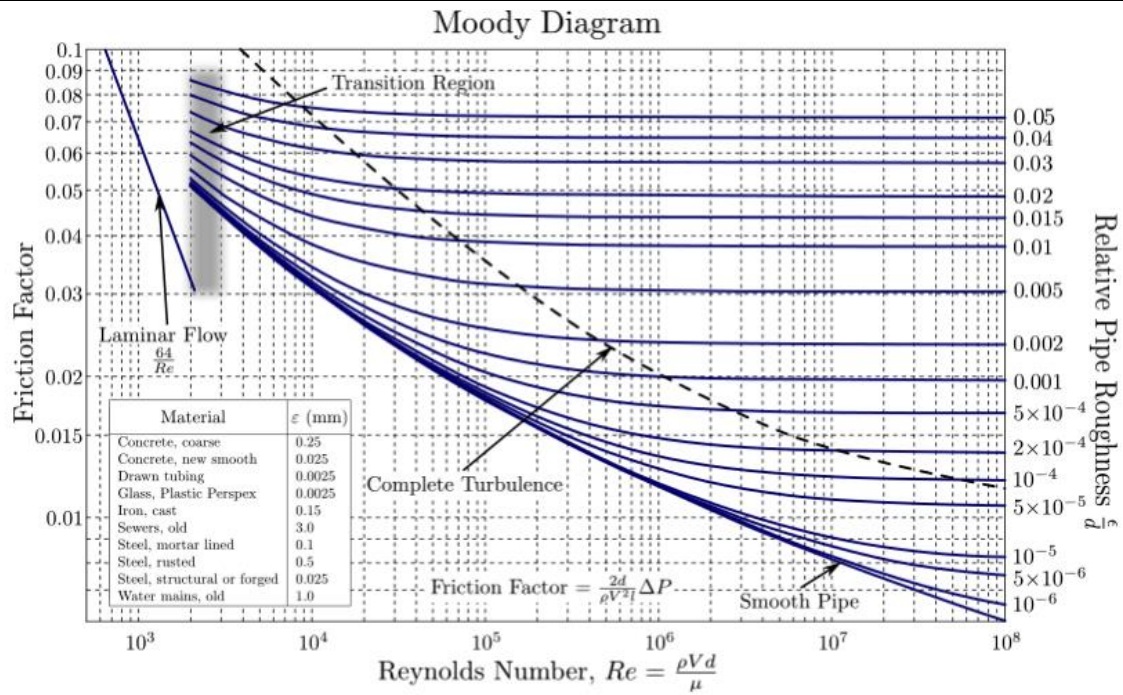
Taula 41 Taula rugositats

Material	Rugosidad (m)
Vidrio	Liso
Plástico	$3,0 \times 10^{-7}$
Tubo extruido, cobre, latón y acero	$1,5 \times 10^{-6}$
Acero comercial o soldado	$4,6 \times 10^{-5}$
Hierro galvanizado	$1,5 \times 10^{-4}$
Hierro dúctil recubierto	$1,2 \times 10^{-4}$
Hierro dúctil no recubierto	$2,4 \times 10^{-4}$
Concreto, bien fabricado	$1,2 \times 10^{-4}$
Acero Remachado	$1,8 \times 10^{-4}$

Pel fet que les canonades instal·lades a la planta Ureka són d'acer inoxidable, el valor de la rugositat d'aquest material és de $4,5 \cdot 10^{-5}$. Aleshores, la rugositat relativa es mesura a partir de l'Equació 64.

$$Rugositat\ relativa = \frac{\varepsilon}{D} \quad [64]$$

Un cop determinada la rugositat relativa es procedeix a determinar el factor de fricció de Fanning, el qual depèn del número de Reynolds i la rugositat relativa. Aquest factor s'extraurà del àbac de Moody.



Seguidament es procedeix a calcular les pèrdues de càrrega del fluid pels trams d'accidents, aquest es mesura amb les següents equacions 65 i 66.

$$e_{v \text{ accidents (aspiració)}} = \sum K \cdot \frac{v_{\text{aspiració}}^2}{2} \quad [65]$$

$$e_{v \text{ accidents (impulsió)}} = \sum K \cdot \frac{v_{\text{impulsió}}^2}{2} \quad [66]$$

On:

K=Coefficient que varia en funció de l'accident

V=Velocitat de circulació del fluid (m/s)

Pel càlcul de les pèrdues de càrrega del fluid que circula per la instal·lació es necessita el coeficient que varia en funció del accident, aquest consisteix en la suma de tots els accidents que es troben en el sistema de canonades, aquests poden ser extrets de la Taula X.

Taula 42 Valor dels accidents

ACCIDENT	K	ACCIDENT	K
Entrada/sortida circuit		Vàlvula de diafragma	
Entrada encanonada	0,78	oberta	2,3
Entrada cantells vius	0,50	¾ oberta	2,6
Entrada arrodonida	0,04	½ oberta	4,3
Sortida encanonada	1,00	¼ oberta	21,0
Sortida cantells vius	1,00	Vàlvula de seient	
Sortida arrodonida	1,00	oberta	9,0
Colzes/ Unions		¾ oberta	13,0
Colze de 45° standard	0,35	½ oberta	36,0
Colze de 45° gran curvatura	0,20	¼ oberta	112,0
Colze de 90° standard	0,75	Vàlvula angular oberta	2,0
Colze de 90° gran curvatura	0,45	Vàlvula de bola	
Colze de 90° petita curvatura	1,3	oberta	0,05
Corba de 180°	1,5	20°	1,56
T standard ús com a colze	1,0	40°	17,3
T standard amb bifurcació tancada	0,4	60°	206,0
T standard amb divisió de cabal	1,0 (a)	Vàlvula de papallona	
Unió roscada	0,04	oberta	0,24
Maneguet d'unió	0,04	20°	1,54
Vàlvula comporta		40°	10,8
oberta	0,17	60°	118,0
¾ oberta	0,90	Vàlvula de retenció (oberta)	
½ oberta	4,5	de frontissa (columpio, chamera)	2,0
¼ oberta	24,0	de bola	70,0
Cabalímetres mecànics		de disc	10,0
de disc	7,0	Canvi de diàmetre	
de pistó	15,0	Estretament/	** (b)
rotatori	10,0	Eixamplament	** (b)
de turbina	6,0		

Cal tenir en compte que la potència teòrica de la bomba correspon aproximadament a un 75% de la potència real de la bomba, degut al rendiment d'aquesta, per tant, la potència real de la bomba es mesura amb l'equació 67.

$$Potència\ real = \frac{P}{0.75} \quad [67]$$

Per preveure tots els problemes de cavitació i assegurar un bon funcionament de la bomba, s'ha de tenir en compte que el NPSH disponible ha de ser superior al NPSH requerit. Per tant, s'ha de mesurar el NPSH disponible per tal de comparar amb el requerit, el qual ve donat pel proveïdor.

$$NPSH_{disp} = (\Delta z) + \frac{1}{g} \cdot \left(\frac{P_1 - P_v}{\rho} + \frac{v_1^2}{2 \cdot \alpha} - e_{v(aspirció)} \right) \quad [68]$$

On:

Δz =Diferència d'alçada del tram d'aspirció

G =Acceleració de la gravetat (m/s²)

P_1 =Pressió del fluid al tra d'aspiració (Pa)

P_v =Pressió de vapor del fluid a les condicions de treball (Pa)

V_1 =Velocitat de circulació al tra d'aspiració (m/s)

α =Coeficient de correcció de l'energia cinètica

$e_{v(asp)}=$ Pèrdua de càrrega total en el tram d'aspiració

Per tal de calcular la pressió de vapor en les condicions de treball s'utilitzarà l'equació d'Antoine, equació 69.

$$\log_{10}(P_v) = A - \frac{B}{T(^{\circ}C) + C}$$

11.8 Disseny de canonades

El dimensionament correcte de les canonades és fonamental per garantir la seguretat, l'eficiència i la fiabilitat de la planta. Una canonada subdimensionada pot generar caigudes de pressió excessives, velocitats de flux elevades que poden erosionar la canonada o afectar el funcionament de la planta. Aquest procés involucra la selecció del diàmetre adequat per la canonada, el gruix de la paret, el material de construcció, considerant diversos factors com el cabal del fluid, la pressió la temperatura, les característiques del fluid i normes aplicables.

Per començar el dimensionament cal saber quin tipus de fluid està circulant per la canonada, aquest està associat a unes velocitats típiques, les quals es mostren a la Taula 41. Amb l'ajut de la taula i l'estudi previ del fluid, se suposa una velocitat típica.

Taula 43 Velocitats típiques en funció de les propietats del fluid

Tipus de corrent	Propietats del fluid	Velocitats típiques (m/s)
Líquids	Viscós	0.1 - 0.5
	Poc viscós	0.5 - 1
	En aspiració per bomba	0.8 - 2
	Sent impulsat per bomba	1.5 - 3
Gasos	Pressió normal	2 - 4
	Baixa pressió	4 - 15
	Alta pressió	15 - 25
Vapors	Sobreescalfat	30 - 50
	Saturació a pressió (>105Pa)	15 - 25
	Saturació a pressió ([1-0.5]·105Pa)	20 - 40
	Saturació a pressió ([0.5-0.2]·105Pa)	40 - 60
	Saturació a pressió ([0.2-0.05]·105Pa)	60 - 75

Seguidament, un cop ja es tenen totes les velocitats dels corrents suposats, es realitza el càlcul del diàmetre intern de la canonada amb l'equació 70, el qual combina la velocitat típica amb el cabal volumètric per realitzar aquest càlcul.

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} \cdot Di^2} \quad [70]$$

On:

- Q: Caudal volumètric que circula per la canonada (m³/s)
- v: Velocitat típica de circulació del fluid a través de la canonada (m/s)
- A: Àrea de la secció de la canonada (m²)
- Di: Diàmetre intern de la canonada (m)

Un cop es tenen tots els diàmetres interns corresponents a cada corrent, es procedeix a establir el diàmetre extern en funció del Schedule, el que definirà el gruix de les parets de les canonades, amb l'ajut de la taula 43. Aquesta taula dona dades corresponents a les canonades d'acer inoxidable 316L, ja que s'ha establert usar aquest material per les condicions d'operació.

Taula 44: Dades cannonades d'acer inoxidable

Tamaño Nominal del Tubo (NPS)		Diámetro Exterior (pulgada)	Tubos Cédula / Pipe Schedule																
NPS	DN	OD	SCH 5s	SCH 10s	SCH 10	SCH 20	SCH 30	SCH 40s	SCH STD	SCH 40	SCH 60	SCH 80s	SCH XS	SCH 80	SCH 100	SCH 120	SCH 140	SCH 160	SCH XXS
1/8	6	0.405		1.240				0.068	0.068	0.068		0.095	0.095	0.095					
1/4	8	0.540		1.650				0.088	0.088	0.088		0.119	0.119	0.119					
3/8	10	0.675		1.650				0.091	0.091	0.091		0.126	0.126	0.126					
1/2	15	0.840	0.065	2.110				0.109	0.109	0.109		0.147	0.147	0.147				0.188	0.294
3/4	20	1.050	0.065	2.110				0.113	0.113	0.113		0.154	0.154	0.154				0.219	0.308
1	25	1.315	0.065	2.770				0.133	0.133	0.133		0.179	0.179	0.179				0.250	0.358
1 1/4	32	1.660	0.065	2.770				0.140	0.140	0.140		0.191	0.191	0.191				0.250	0.382
1 1/2	40	1.900	0.065	2.770				0.145	0.145	0.145		0.200	0.200	0.200				0.281	0.400
2	50	2.375	0.065	2.770				0.154	0.154	0.154		0.218	0.218	0.218				0.344	0.436
2 1/2	65	2.875	0.083	3.050				0.203	0.203	0.203		0.276	0.276	0.276				0.375	0.552
3	80	3.500	0.083	3.050				0.216	0.216	0.216		0.300	0.300	0.300				0.438	0.600
3 1/2	90	4.000	0.083	3.050				0.226	0.226	0.226		0.318	0.318	0.318					
4	100	4.500	0.083	3.050				0.237	0.237	0.237		0.337	0.337	0.337		0.438		0.531	0.674
5	125	5.563	0.109	3.400				0.258	0.258	0.258		0.375	0.375	0.375		0.500		0.625	0.750
6	150	6.625	0.109	3.400				0.280	0.280	0.280		0.432	0.432	0.432		0.562		0.719	0.864
8	200	8.625	0.109	3.760		0.250	0.277	0.322	0.322	0.322	0.406	0.500	0.500	0.500	0.594	0.719	0.812	0.906	0.875
10	250	10.750	0.134	4.190		0.250	0.307	0.365	0.365	0.365	0.500	0.500	0.500	0.594	0.719	0.844	1.000	1.125	1.000
12	300	12.750	0.156	4.570		0.250	0.330	0.375	0.375	0.406	0.562	0.500	0.500	0.688	0.844	1.000	1.125	1.312	1.000
14	350	14.000	0.156	4.780	0.250	0.312	0.375		0.375	0.438	0.594		0.500	0.750	0.938	1.094	1.250	1.406	
16	400	16.000	0.165	4.780	0.250	0.312	0.375		0.375	0.500	0.656		0.500	0.844	1.031	1.219	1.438	1.594	
18	450	18.000	0.165	4.780	0.250	0.312	0.438		0.375	0.562	0.750		0.500	0.938	1.156	1.375	1.562	1.781	
20	500	20.000	0.188	5.540	0.250	0.375	0.500		0.375	0.594	0.812		0.500	1.031	1.281	1.500	1.750	1.969	
22		22.000	0.188	5.540	0.250	0.375	0.500		0.375		0.875		0.500	1.125	1.375	1.625	1.875	2.125	
24	600	24.000	0.218	6.350	0.250	0.375	0.562		0.375	0.688	0.969		0.500	1.219	1.531	1.812	2.062	2.344	
26		26.000			0.312	0.500	0.000		0.375				0.500						
28	700	28.000			0.312	0.500	0.625		0.375				0.500						
30		30.000	0.250	7.920	0.312	0.500	0.625		0.375				0.500						
32	800	32.000			0.312	0.500	0.625		0.375	0.688			0.500						
34		34.000			0.312	0.500	0.625		0.375	0.688			0.500						
36	900	36.000			0.312	0.500	0.625		0.375	0.750			0.500						
38		38.000							0.375				0.500						
40	1000	40.000						0.375											
42		42.000				0.500			0.375	0.750			0.500						
44	1100	44.000							0.375				0.500						
46		46.000							0.375				0.500						
48	1200	48.000							0.375			0.500							

El diàmetre nominal seleccionat correspon a aquell que és lleugerament més gran que el diàmetre intern calculat. Tanmateix, aquest també ha estat seleccionat en funció del Schedule i la pressió, ja que a partir d'aquests paràmetres es pot determinar la pressió màxima admissible de la canonada, la qual s'ha establert que ha de ser superior al 20% per tenir un marge de seguretat.

La pressió de disseny, també coneguda com a pressió màxima de treball, és un valor crucial que es defineix durant el procés de disseny d'un sistema de canonades. Aquest paràmetre representa la pressió màxima a la qual la canonada pot ser sotmesa de manera contínua sense posar en risc

la seva integritat estructural ni la seva capacitat de funcionament segur. A la planta Ureka s'ha decidit establir una pressió de disseny un 20% superior a la de treball.

Un cop es tenen els diàmetres nominals suposats a partir del diàmetre intern, s'ha procedit a estimar la màxima pressió admissible a partir de l'Equació 71, la qual ha estat obtinguda de la normativa ASME B31.3.

$$P = \frac{2 \cdot t \cdot S \cdot E}{D - 2 \cdot t \cdot Y} \quad [71]$$

On:

P: Pressió màxima admissible (psi)

t: Gruix de les parets de la canonada (in)

D: Diàmetre extern de la canonada (in)

S: Tensió de tracció permesa pel material de la canonada a la temperatura de disseny (psi)

Y: Coeficient del gruix de la paret

E: Factor de qualitat de la canonada (E=1)

Els valors de la tensió de tracció permesa pel material de canonada, s'ha utilitzat la Taula 45, en la qual es mostra aquests valors en funció de la temperatura i del material seleccionat, en el cas d'Ureka TP316L.

Taula 45: Valors de la tensió de tracció

Type/Grade	F321	F316L	TP316L
-30 to 40°C [MPa]	138	115	97.9
≤ 65°C [MPa]	130	106	97.9
≤ 100°C [MPa]	123	96.3	97.9
≤ 125°C [MPa]	118	91.3	97.9
≤ 150°C [MPa]	114	87.4	97.9
≤ 200°C [MPa]	106	81.2	93.0
≤ 250°C [MPa]	99.7	76.0	87.2
≤ 300°C [MPa]	94.5	72.5	82.9
≤ 325°C [MPa]	92.3	71.2	81.6
≤ 350°C [MPa]	90.7	70.0	80.2
≤ 375°C [MPa]	89.4	68.8	78.4
≤ 400°C [MPa]	87.5	67.5	77.2
≤ 425°C [MPa]	86.9	66.3	75.9
≤ 450°C [MPa]	85.7	65.0	74.7
≤ 475°C [MPa]	85.0	63.8	73.4

Els valors de S han estat seleccionats segons la temperatura de disseny, que tal com s'ha comentat al Capítol 4, aquesta correspon a un 20% més de la de treball, aquest marge de seguretat ajuda a tenir en compte l'efecte de la temperatura a la canonada, la qual pot generar sobrepressió.

Per l'obtenció del coeficient del gruix de la paret, el que representa la suma de les toleràncies mecàniques, de corrosió, s'ha utilitzat la Taula 46, la qual ha estat extreta de la normativa ASME B31.3.

Taula 46 Toleràncies mecàniques

Materiales	Temperatura, °C (°F)					
	≤ 482 (900 y menores)	510 (950)	538 (1.000)	566 (1.050)	593 (1.100)	≤ 621 (1.150 y mayores)
Aceros Ferriticos	0,4	0,5	0,7	0,7	0,7	0,7
Aceros Austeniticos	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,7
Otros metales ductiles	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Hierro Fundido	0,0	...	...	...	...	...

Pel fet que en cap moment se superarà la temperatura de 566 °C i tenint en compte que les canonades instal·lades són d'acer inoxidable 316L, el valor de la Y que s'utilitzarà és de 0,4 pel disseny de totes les canonades.

Un cop s'ha calculat la màxima pressió admissible per cada corrent, s'aplica un altre marge de seguretat del 20%, per tant, el valor de la màxima pressió admissible serà multiplicat per 0,8.

Seguidament, s'ha procedit a calcular el percentatge de sobrepressió de la màxima pressió admissible respecte a la pressió de disseny. Com ja s'ha esmentat, per estar segurs d'un correcte funcionament, aquest valor ha de ser superior al 20%. Si en calcular aquest percentatge s'obté un valor inferior, s'haurà de triar un valor més alt del Schedule i tornar a repetir el procediment, fins a obtenir un percentatge igual o superior al 20%.

Un cop s'ha dimensionat la canonada, s'ha procedit a mesurar la velocitat real del fluid que hi circula, a partir de l'Equació 70. S'ha de comprovar que la velocitat real estigui dins del rang de velocitat típiques per estar segurs que la canonada ha estat dimensionada correctament.

Exemple de càlcul de disseny de canonades

A continuació es precedeix a mostrar un exemple dels càlculs realitzat pel dimensionament de les canonades, en concret es realitzarà l'exemple amb la canonada DN50-M6-316L-212, en la qual circula un cabal gasos de 115,9 m³/h a 140 bar de pressió i 163,2 °C de temperatura. Pel fet que el fluid que circula per aquesta canonada es troba en estat gasos i a alta pressió, s'ha suposat una velocitat típica de 20 m/s.

Primerament, es realitzarà el càlcul de diàmetre intern amb la velocitat típica suposada:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,032194}{\pi \cdot 20}} = 45,27 \text{ mm}$$

Un cop mesurat el diàmetre intern que hauria de tenir la canonada, es procedeix seleccionar un diàmetre nominal per aquesta amb la Taula 46. En aquest cas s'ha triat DN50 al qual li correspon un diàmetre extern de 60,3 mm.

Seguidament, per seleccionar el Schedule d'aquesta canonada s'ha procedit a calcular la pressió màxima admissible, suposant un SCH160, al qual li correspon un gruix de paret de 8,74 mm.

$$P = \frac{2 \cdot 0,344 \cdot 13488,53 \cdot 1}{2,372 - 2 \cdot 0,344 \cdot 0,4} = 304,95 \text{ bar}$$

A continuació, s'ha procedit a calcular el 80% del valor obtingut, per tal d'aplicar un marge de seguretat del 20%.

$$304,95 \cdot 0,8 = 243,96$$

$$P_{disseny} = 1,2 \cdot 140 = 168 \text{ bar}$$

$$\frac{243,96}{168} = 45\% \text{ de sobrepressió}$$

Al obtenir un percentatge de sobrepressió superior al 20%, es dona per ben dimensionada aquesta canonada, amb un SCH160 i DN50.

Finalment, un cop es coneix el diàmetre extern i el gruix de la canonada, es calcula la velocitat real del fluid que hi circula, aquest ha d'estar dins del rang de la velocitat típica.

$$v = \frac{0,032194}{\frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{60,3 - 2 \cdot 8,74}{1000} \right)^2} = 22,36 \frac{m}{s}$$

Com que la velocitat del fluid obtinguda està dins del rang es ratifica que la canonada ha estat dimensionada correctament.

11.9 Bibliografia

1. Silverio, Y. A. C. (2017, 25 abril). *Dimensionamiento de intercambiadores de calor tubulares*. Monografias.com.
<https://www.monografias.com/docs113/dimensionamiento-intercambiadores-calor-tubulares/dimensionamiento-intercambiadores-calor-tubulares>
2. *Baffle Desing of Shell And Tube Heat Exchanger*. (2019, junio). Recuperado 1 de junio de 2024, de <https://ijsetr.com/uploads/214536IJSETR17552-89.pdf>
3. Editor Engineeringtoolbox. (2023, 9 noviembre). *Heat Exchangers - Fouling and Reduced Heat Transfer*. https://www.engineeringtoolbox.com/fouling-heat-transfer-d_1661.html
4. Miguel, J. F. (2017, 4 septiembre). *Ingenieria básica de una planta de producción de urea de 80000 tn/año*. <https://repositorio.upct.es/entities/publication/868fe17c-f062-4b9d-8303-389c19e6d284>
5. Webadmin, U. (2022, 10 febrero). HP scrubber - UreaKnowHow.
UreaKnowHow. <https://ureaknowhow.com/hp-scrubber/>
6. *intercambiadores-de-calor-1*. (2012, 19 julio). [Diapositivas]. SlideShare.
<https://es.slideshare.net/maurochacon1987/intercambiadoresdecalor1>
7. *Tubería Intercambiadores de calor A213 - Tubos, Bridas, Accesorios y Válvulas Inoxidables*. (s. f.). <https://www.tubinox.com/productos/tuberias/tuberia-intercambiadores>
8. Informatics, N. o. o. D. A. (s. f.). *Ammonia*.
<https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?Name=ammonia&Units=SI&cTG=on&cTC=on&cTP=on&cTR=on&cIE=on&cIC=on>
9. *Evaporadores*. (2015, 29 abril). [Diapositivas]. SlideShare.
<https://es.slideshare.net/slideshow/evaporadores-47584450/47584450>
10. Editor Engineeringtoolbox. (2023, 20 septiembre). *Heat exchangers - overall heat transfer coefficients*. https://www.engineeringtoolbox.com/heat-transfer-coefficients-exchangers-d_450.html

-
11. *TABLA DE CALOR LATENTE*. (2015, 11 abril). FISICA DE FLUIDOS y
TERMODINAMICA. [https://mauriciomedinasierra.wordpress.com/segundo-
corte/conceptos/calor/calor-latente/tabla-de-calor-latente/](https://mauriciomedinasierra.wordpress.com/segundo-corte/conceptos/calor/calor-latente/tabla-de-calor-latente/)