

Grau en Enginyeria Química

Treball Final de Grau



DISSENY D'UNA PLANTA DE PRODUCCIÓ DE MONOETILENGLICOL

Febrer 2021

Marina Martínez Moreno
Albert Muñoz Palenciano
Clàudia Prieto Ribera
Albert Ramos Verdugo
Rafael Rodríguez Jorge

Tutora: María Eugenia Suárez Ojeda

Grau en Enginyeria Química

Treball Final de Grau



**DISSENY D'UNA PLANTA
DE PRODUCCIÓ DE
MONOETILENGLICOL**

Capítol **11.**

Manual de càlculs

UAB

Universitat Autònoma de Barcelona
Escola d'Enginyeria

11.	Manual de càlculs.....	4
11.1.	Tancs d'emmagatzematge	4
11.1.1.	Disseny de tancs a pressió atmosfèrica.....	4
11.1.1.1	Disseny del cos.....	4
11.1.1.2	Disseny del fons	5
11.1.1.3	Disseny del capçal.....	6
11.1.1.4	Alçada total del tanc	6
11.1.1.5	Pes del tanc buit.....	7
11.1.1.6	Pes d'operació.....	7
11.1.1.7	Vàlvules de sobrepressió	8
11.1.1.8	Disseny de les cubetes de retenció.....	8
11.1.2.	Disseny dels tancs d'emmagatzematge d'aigua.....	9
11.1.2.1	Disseny mecànic extern	9
11.1.3.	Disseny dels tancs d'emmagatzematge de monoetilenglicol	11
11.1.3.1	Disseny mecànic extern	11
11.1.3.2	Disseny aïllament.....	13
11.1.4.	Disseny dels tancs d'emmagatzematge de residus.....	13
11.1.4.1	Disseny mecànic extern	13
11.1.5.	Disseny de tanc a pressió	14
11.3.1.1	Pressió hidrostàtica.....	15
11.3.1.2	Pressió de disseny	15
11.3.1.3	Temperatura de disseny	16
11.3.1.4	Disseny del cos.....	16
11.3.1.5	Disseny dels capçals.....	16
11.3.1.6	Alçada total del tanc	18
11.3.1.7	Pes del tanc buit.....	18
11.3.1.8	Pes d'operació.....	18
11.1.6.	Disseny dels tancs d'emmagatzematge d'òxid d'etilè	19
11.1.6.1	Disseny mecànic extern	19
11.1.6.2	Aïllament i Refrigeració.....	21
11.1.6.3	Cubetes	22
11.1.7.	Disseny agitació.....	23
11.1.8.	Disseny dels tancs mescladors i homogeneïtzadors	24
11.1.8.1	Tanc mesclador T-007.....	24
11.1.8.2	Tanc mesclador T-101	26
11.1.8.3	Tanc homogeneïtzador T-501.....	27
11.2.	Reactor	29
11.2.1	Disseny del reactor R-201	29
11.2.2	Agitació.....	30
11.2.3	Aïllament	31
11.2.4	Refrigeració	31
11.3.	Separacions flash	33

11.3.1	Separador flash D-301	33
11.3.1.1	Disseny aspen hysys	33
11.3.1.2	Disseny mecànic extern	34
11.3.1.3	Disseny de l' aïllament	35
11.3.2	Separador flash D-302	35
11.3.2.1	Disseny aspen hysys	36
11.3.2.2	disseny mecànic extern	36
11.3.2.3	disseny aïllament	36
11.3.3	Separador flash D-303	37
11.3.3.1	Disseny aspen hysys	37
11.3.3.2	Disseny mecànic extern	37
11.3.3.3	Disseny de l'aïllament	38
11.3.4	Separador flash D-304	38
11.3.4.1	Disseny aspen hysys	38
11.3.4.2	Disseny mecànic extern	38
11.3.4.3	Disseny aïllament	39
11.4.	Columnes de Destil·lació	39
11.4.1.	Disseny general	39
11.4.2	Columna de destil·lació D-401	42
11.4.2.1	Disseny Aspen Hysys	43
11.4.2.2	Disseny mecànic intern	47
11.4.2.3	Disseny mecànic extern	51
11.4.2.4	Disseny aïllament	51
11.4.2	Columna de destil·lació C-402	52
11.4.2.1	Disseny mecànic intern	52
11.4.2.2	Disseny mecànic extern	53
11.4.2.3	Disseny aïllament	53
11.5.	Bescanviadors de calor	53
11.5.1	Disseny General	54
11.5.1.1	Classificació TEMA	54
11.5.1.2	Distribució dels tubs	55
11.5.1.3	Localització dels fluids	56
11.5.1.4	Factor d'embrutiment	57
11.5.1.5	Pantalles deflectores (baffles)	58
11.5.2	Exemple de càlcul : Bescanviador de calor E-302	58
11.5.2.1	Disseny Aspen hysys exchange design & rating V10	59
11.6.	Serveis de planta	62
11.6.1	Aigua de planta	62
11.6.2	Gas natural	63
11.6.3	Nitrogen	63
11.6.4	Chillers	64
11.6.5	Caldera d'aigua sobreescalfada	65
11.6.6	Torres de Refrigeració	65
11.6.7	Descalcificador	66

11.6.8	Desionitzador	67
11.6.9	Estació transformadora.....	67
11.6.10	Generador Auxiliar	68
11.7.	Disseny de canonades	68
11.7.1	Exemple de càlcul canonada 1-M1-SS304-501	69
11.8.	Disseny de bombes.....	70
11.8.1	Disseny de la bomba P-101	73
11.9.	Càlcul densitat de càrrega de foc d'un sector o àrea d'incendi	75
11.9.1.	Exemple de càlcul de la densitat de càrrega de foc a l'àrea A-200.....	76
11.10.	Càlculs medi ambient	76
11.10.1	DQO	76
11.10.2	TOC.....	76
11.10.3	DBO5	77
11.10.4	Biodegradabilitat.....	77
11.11.	Referències bibliogràfiques	78

11. MANUAL DE CÀLCULS

11.1. TANCS D'EMMAGATZEMATGE

Es dissenyen tancs d'emmagatzematge per als reactius (òxid d'etilè i aigua) i productes (monoetilenglicol, dietilenglicol i trietilenglicol).

Segons les condicions d'emmagatzematge dels productes, es dissenyen dos tipus de tancs: atmosfèrics i a pressió.

El material escollit per al disseny de tots els tancs és l'acer inoxidable AISI 304 i segons el tipus de tanc es consideraran diferents paràmetres de disseny.

11.1.1. DISSENY DE TANCS A PRESSIÓ ATMOSFÈRICA

Per al disseny de tancs a pressió atmosfèrica, es segueix el codi API 650 (*American Petroleum Institute*)^[1] i es tenen en compte diferents paràmetres segons els materials de disseny escollit.

Taula 11.1 Paràmetres per al disseny de tanc a pressió atmosfèrica.

Material	Densitat (kg/m3)	E	CA (mm)	Sd (MPa)	St (MPa)
AISI 304	7930	0,85	1	186	140

El disseny d'aquest tipus de tancs es divideix en tres parts, el cos, el fons i el capçal.

11.1.1.1 DISSENY DEL COS

S'utilitza el mètode "1-foot Method" per calcular el gruix del cos del tanc (cilíndric), ja que el diàmetre no superarà el valor límit de 61 que dictamina aquest mètode.

El gruix mínim es calcula a partir de les següents equacions:

$$t_{t \text{ cos}} = \frac{4,9 \cdot D \cdot (H_{\text{liquid}} - 0,3)}{S_t \cdot E} + C_A \quad \text{Equació 11.1}$$

$$t_{d \text{ cos}} = \frac{4,9 \cdot D \cdot (H_{\text{liquid}} - 0,3) \cdot G}{S_d \cdot E} + C_A \quad \text{Equació 11.2}$$

$$G = \frac{\rho_{\text{liquid}}}{\rho_{\text{aigua a } 4^\circ\text{C}}} \quad \text{Equació 11.3}$$

On:

- $t_{t\ cos}$ (mm) = gruix mínim per prova hidrostàtica
- $t_{d\ cos}$ (mm) = gruix mínim per condicions de disseny
- D (m) = diàmetre del tanc
- $H_{líquid}$ (m) = nivell del líquid
- G = densitat relativa de fluid
- S_t (MPa) = màxima tensió admissible per prova hidrostàtica
- S_d (MPa) = màxima tensió admissible en condicions de disseny
- C_A (mm) = tolerància de corrosió

Dels dos gruixos calculats amb les **Equacions 11.1** i **11.2**, s'escull el valor més gran d'entre aquests dos i el valor de gruix de la **Figura 11.1**, que en aquest cas és un gruix mínim de 5 mm. ^[2]

Diàmetre nominal del tanque, D (m)	Espesor nominal de virola (mm)
$D < 15$	5
$15 < D \leq 36$	6
$36 < D \leq 60$	8
$D > 60$	10

Figura 11.1 Gruixos mínims del cos del tanc en funció del diàmetre.

Un cop determinat el gruix del cos, es calcula el diàmetre extern a partir de la següent equació:

$$D_{ext\ cos} = D_{int\ cos} + 2 \cdot \text{Gruix escollit} \quad \text{Equació 11.4}$$

11.1.1.2 DISSENY DEL FONDS

El tanc d'emmagatzemat d'aigua serà un amb fons pla i capçal cònic autosuportat. S'escull un fons pla, ja que la normativa API 650 especifica que la resistència permissibile del sòl del terreny ha de ser com a mínim $1,465\text{ Kg/cm}^2$, i el terreny en el que se situa la planta té una resistència de 2 kg/cm^2 .

El fons ha de tenir un gruix de corrosió mínim de 6 mm i el diàmetre ha de ser 50 mm més gran que el diàmetre extern del cilindre, **Equació 11.5**:

$$D_{fons} = D_{exter\ cos} + 0,05 \quad \text{Equació 11.5}$$

11.1.1.3 DISSENY DEL CAPÇAL

El capçal escollit per aquest tipus de tanc és un capçal cònic autosuportat. Aquest tipus de capçal és dels més utilitzats i econòmics i es pot aplicar en cas de tenir un diàmetre del cos del tanc menor o igual a 16-18 m. [1]

Si no fos el cas i el diàmetre estigués entre 16 i 22 m, s'utilitzaria un capçal amb estructura o marc. El capçal cònic auto suportat té un angle d'inclinació d'entre 9,5 – 37 °, i el valor del gruix del capçal ha de tenir un valor entre 5 i 12,5 mm

$$t_{\text{capçal}} = \frac{D}{4800 \cdot \sin \theta} + C_A \quad \text{Equació 11.6}$$

On:

- D (mm) = diàmetre el cos del tanc.
- θ (°) = angle del capçal respecte l'horitzontal.
- C_A (mm) = tolerància de corrosió.

Un cop determinat el gruix, es calcula el diàmetre extern a partir de la següent equació:

$$D_{\text{ext cos}} = D_{\text{int cos}} + 2 \cdot t_{\text{capçal}} \quad \text{Equació 11.7}$$

El disseny de l'alçada del capçal cònic es calcula en funció de l'angle escollit, **Figura 11.2**, utilitzant les següents equacions:

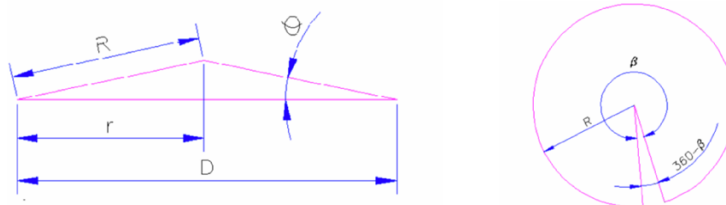


Figura 11.2 Característiques sostre cònic

$$\frac{D}{2} = R \cdot \cos \theta \quad \text{Equació 11.8}$$

$$H_{\text{capçal cònic}} = R \cdot \sin \theta \quad \text{Equació 11.9}$$

11.1.1.4 ALÇADA TOTAL DEL TANC

Un cop determinada l'alçada del capçal es calcula l'alçada total del tanc.

$$H_T = H_C + H_{\text{capçal cònic}} + 0,006 \quad \text{Equació 11.10}$$

On:

- H_T (m) = alçada total del tanc
- H_C (m) = alçada del cos
- $H_{\text{capçal cònic}}$ (m) = alçada del capçal cònic

11.1.1.5 PES DEL TANC BUIT

Per calcular el pes del tanc buit, s'ha de calcular el pes de les tres parts del tanc buides, com mostra l'**Equació 11.11**.

$$M_{\text{tanc buit}} = M_{\text{cos}} + M_{\text{fons}} + M_{\text{capçal}} \quad \text{Equació 11.11}$$

$$M_{\text{cos}} = \frac{\pi}{4} \cdot H \cdot (D_{\text{ext cos}}^2 - D_{\text{int cos}}^2) \cdot \rho_{\text{material}} \quad \text{Equació 11.12}$$

$$M_{\text{fons}} = \frac{\pi}{4} \cdot D_{\text{fons}}^2 \cdot t_{\text{fons}} \cdot \rho_{\text{material}} \quad \text{Equació 11.13}$$

$$M_{\text{capçal}} = \frac{\pi}{12} \cdot H \cdot (D_{\text{ext capçal}}^3 - D_{\text{int capçal}}^3) \cdot \rho_{\text{material}} \quad \text{Equació 11.14}$$

On:

- $M_{\text{tanc buit}}$ (kg) = pes del tanc buit
- M_{cos} (kg) = pes del cos cilíndric
- M_{fons} (kg) = pes del fons
- $M_{\text{capçal}}$ (kg) = pes del capçal cònic
- H (m) = alçada cos cilíndric
- ρ_{material} (kg/m³) = densitat de l'acer inoxidable AISI 304

11.1.1.6 PES D'OPERACIÓ

Un cop calculat el pes del tanc buit, es calcula el pes d'operació tenint en compte el volum de producte emmagatzemat.

$$M_{\text{op}} = M_{\text{tanc buit}} + (V_{\text{fluid}} \cdot \rho_{\text{fluid}}) \quad \text{Equació 11.15}$$

On:

- M_{op} (kg) = pes d'operació
- $M_{\text{tanc buit}}$ (kg) = pes del tanc buit
- V_{fluid} (m³) = volum del fluid emmagatzemat
- ρ_{fluid} (kg/m³) = densitat del fluid emmagatzemat

11.1.1.7 VÀLVULES DE SOBREPRESSIÓ

Els sistemes de la vàlvula de sobrepressió s'utilitzen per prevenir els efectes de la variació de pressió interna o buit, i així evitar la deformació del tanc, segons la normativa ITC-MIE-APQ1 ("Almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles").

La sortida de sistema de la vàlvula de sobrepressió estarà separada dels punts d'operació i circulació del tanc.

Les vàlvules de sobrepressió normals d'un tanc a pressió atmosfèrica, tindrà com a mínim una mida igual a la major canonada tant de càrrega com descarrega del tanc, i mai un diàmetre intern inferior a 35 mm ^[3].

La sortida dels gasos de les vàlvules de sobrepressió es porta a l'àrea de tractament de gasos per tractar posteriorment.

11.1.1.8 DISSENY DE LES CUBETES DE RETENCIÓ

Primerament es calcularan les distàncies dels costats de la cubeta.

$$L_c = N_{tc} \cdot D_{ext} + (N_{tc} - 1) \cdot D_{tmin} + 2 \cdot D_{tp} \quad \text{Equació 11.16}$$

On:

- L_c (m) = Longitud d'un costat de la cubeta de retenció
- N_{tc} = Número de tancs del costat
- D_{ext} (m) = Diàmetre exterior d'un tanc
- D_{tmin} (m) = Distància mínima entre tancs
- D_{tp} (m) = Distància entre tanc i paret de la cubeta

Per calcular el volum de la cubeta es tindrà en compte l'espai ocupat pels tancs.

$$V_c = (L_{c1} \cdot L_{c2} - At) \cdot H_c \quad \text{Equació 11.17}$$

On:

- V_c (m³) = Volum de la cubeta de retenció
- At (m²) = Àrea dels tancs
- H_c (m) = Alçada de les parets de la cubeta

Per comprovar que el volum de la cubeta compleix les regulacions s'ha de complir que aquest sigui superior al 100% del volum del tanc més gran i al 10% del volum de tots els tancs. Si no es compleix, s'hauran de modificar les distàncies dels costats i/o l'alçada de la paret.

11.1.2. DISSENY DELS TANCS D'EMMAGATZEMATGE D'AIGUA

11.1.2.1 DISSENY MECÀNIC EXTERN

L'aigua s'emmagatzema a temperatura ambient i a pressió atmosfèrica i a l'hora de realitzar el disseny es tindrà en compte el codi API 650, tal com es menciona a l'apartat del disseny de tancs a pressió atmosfèrica.

Els tancs estaran dissenyats per emmagatzemar un stock d'1 dia d'aigua per anticipar el cas que hi hagués algun problema amb el subministrament d'aigua per xarxa.

Primer de tot, es calcula el volum de líquid per tal de poder determinar les dimensions finals dels tancs d'emmagatzematge d'aigua.

$$Cabal\ anual = 70,4 \frac{m^3}{h} \cdot \frac{24\ h}{1\ dia} \cdot 320 \frac{dies}{any} = 540672 \frac{m^3}{anys}$$

$$V_{líquid} = 540672 \frac{m^3}{anys} \cdot \frac{1\ anys}{320\ dies} \cdot 1\ dies = 1689,6\ m^3$$

$$V_{líquid\ per\ tanc} = \frac{V_{líquid}}{n^{\circ}\ tancs} = \frac{1689,6\ m^3}{2} = 844,8\ m^3$$

Tenint en compte que la relació alçada diàmetre és H/D=1,5, es calcula l'alçada i el diàmetre dels tancs, tenint en compte que se sobredimensionarà el volum per seguretat un 15%.

$$V_{líquid} = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot H$$

$$D_{int\ cos} = \sqrt[3]{\frac{V_{líquid}}{\frac{\pi}{4} \cdot \frac{H}{D}}} = \sqrt[3]{\frac{844,8\ m^3 \cdot 1,15}{\frac{\pi}{4} \cdot 1,5}} = 9,378\ m$$

$$H_c = 1,5 \cdot D = 1,5 \cdot 9,378 = 14,07\ m$$

Un cop conegudes les dimensions del tanc i tenint en compte els paràmetres d'emmagatzematge del fluid, es passa a realitzar el disseny mecànic del tanc d'emmagatzematge d'aigua.

Taula 11. 2 Paràmetres d'emmagatzematge d'aigua

P (atm)	T (°C)	Densitat fluid (kg/m3)
1	25	1000

Disseny del cos

A partir de les **Equacions 11.1, 11.2 i 11.3** es calcula el gruix del cos cilíndric, tenint en compte que el gruix mínim ha de ser de 5mm, tal i com indica la **Figura 11.1**.

$$t_{t\ cos} = \frac{4,9 \cdot 9,378 \cdot (14,07 - 0,3)}{140 \cdot 0,85} = 5,32\ mm$$

$$t_{d\ cos} = \frac{4,9 \cdot 9,378 \cdot (14,07 - 0,3) \cdot 1}{186 \cdot 0,85} + 1 = 5\ mm$$

$$G = \frac{1000}{1000} = 1$$

Un cop escollit el gruix més gran, es determina el diàmetre extern del cos amb l'**Equació 11.4**.

$$D_{ext\ cos} = 9,38 + 2 \cdot 0,00532 = 9,39\ m$$

Disseny del fons

Tenint en compte que el gruix mínim de corrosió és de 5 mm i que el diàmetre ha de ser 50 mm més gran que el del tanc, es determina el diàmetre extern del fons.

$$D_{fons} = 9,378 + 0,05 = 9,428\ m$$

Disseny del capçal

Pel disseny del capçal cònic s'escull un angle del capçal de 15 °, i tal com es menciona al codi API 650, el gruix del capçal ha d'estar entre els 5 i 12 mm.

$$t_{capçal} = \frac{9378}{4800 \cdot \sin(15)} + 1 = 8,55\ mm$$

$$D_{ext\ capçal} = 9,378 + 2 \cdot 0,00855 = 9,39\ m$$

Un cop determinat el diàmetre extern, es calcula l'alçada del capçal tal i comes mostra a la **Figura 11.2**.

$$R = \frac{\frac{9,39}{2}}{\cos(15)} = 4,86\ m$$

$$H_{capçal\ cònic} = 4,86 \cdot \sin(15) = 1,258\ m$$

Les especificacions del capçal del tanc d'emmagatzematge d'aigua queden recollides en la **Taula 11.3**.

Taula 11.3 Dimensions del capçal el tanc d'emmagatzematge d'aigua

$t_{\text{capçal cònic}} \text{ (mm)}$	$\theta \text{ (}^\circ\text{)}$	$D_{\text{int}} \text{ (m)}$	$D_{\text{ext}} \text{ (m)}$	$H_{\text{capçal cònic}} \text{ (m)}$
8,55	15	9,378	9,39	1,258

Pes del tanc buit

$$M_{\text{cilindre buit}} = \frac{\pi}{4} \cdot 14,07 \cdot (9,39^2 - 9,378^2) \cdot 7930 = 17478,29 \text{ kg}$$

$$M_{\text{fons buit}} = \frac{\pi}{4} \cdot 9,44^2 \cdot 0,006 \cdot 7930 = 3328,84 \text{ kg}$$

$$M_{\text{capçal buit}} = \frac{\pi}{12} \cdot 1,258 \cdot (9,39^2 - 9,378^2) \cdot 7930 = 11799,2 \text{ kg}$$

$$M_{\text{tanc buit}} = 17478,29 + 3328,84 + 11799,2 = 32606,33 \text{ kg}$$

Pes d'operació

$$M_{\text{op}} = 23756,93 + (844,8 \cdot 1000) = 877406 \text{ kg}$$

11.1.3. DISSENY DELS TANCS D'EMMAGATZEMATGE DE MONOETILENGLICOL

11.1.3.1 DISSENY MECÀNIC EXTERN

El disseny dels tanc d'emmagatzematge de monoetilenfglicol es realitza de la mateixa forma que el de l'aigua i tenint sempre en compte que es vol emmagatzemant un stock de 3 dies de MEG, per tal de garantir que hi hagi suficient producte emmagatzemat en cas que hi hagi algun problema de subministrament o d'equips a planta.

$$\text{Cabal anual} = 19,37 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ dia}} \cdot 320 \frac{\text{dies}}{\text{any}} = 148761,6 \frac{\text{m}^3}{\text{anys}}$$

$$V_{\text{liquid}} = 148761,6 \frac{\text{m}^3}{\text{anys}} \cdot \frac{1 \text{ any}}{320 \text{ dies}} \cdot 3 \text{ dies} = 1394,64 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{liquid per tanc}} = \frac{V_{\text{liquid}}}{n^\circ \text{ tancs}} = \frac{1394,64 \text{ m}^3}{6} = 232,44 \text{ m}^3$$

Tenint en compte que la relació alçada diàmetre és $H/D=1,5$, es calcula l'alçada i el diàmetre dels tancs, sobredimensionant el volum per seguretat un 15%.

$$D_{i \text{ cilindre}} = \sqrt[3]{\frac{V_{\text{líquid}}}{\frac{\pi}{4} \cdot \frac{H}{D}}} = \sqrt[3]{\frac{232,44 \text{ m}^3 \cdot 1,15}{\frac{\pi}{4} \cdot 1,5}} = 6,10 \text{ m}$$


$$H_c = 1,5 \cdot D = 1,5 \cdot 6,10 = 9,15 \text{ m}$$

Un cop conegudes les condicions i el volum d'emmagatzematge, es realitza el disseny mecànic dels dos tancs. Les dades de disseny mecànic es troben recollides a la **Taula 11.5**.

Taula 11. 4 Condicions d'emmagatzematge d'etilenglicol.

P (atm)	T (°C)	Densitat fluid (kg/m3)
1	25	1110,5

Taula 11.5 Paràmetres de disseny dels tancs d'emmagatzematge de MEG.

 GLICAT	Paràmetres de disseny de tanc d'emmagatzematge de MEG
Volum del líquid (m ³)	1394,64
Numero de tancs	6
Volum de líquid per tanc (m ³)	232,44
Alçada cos (m)	9,15
Gruix cos (m)	0,005
D extern cos (m)	6,11
Gruix capçal cònic (m)	0,006
D extern capçal cònic (m)	6,11
H capçals cònic (m)	0,82
H capçal fons (m)	0,006
D capçal de fons (m)	6,16
H total (m)	9,97
Pes cos buit (kg)	7583,43
Pes fons buit (kg)	1417,65
Pes capçal cònic buit (kg)	2245,68
Pes tanc buit (kg)	11246,76
Pes d'operació (kg)	269371,38

11.1.3.2 DISSENY AÏLLAMENT

Per tal d'assegurar un bon emmagatzematge del producte en cas d'haver-hi problemes de subministrament o producció, s'escull implementar llana de roca com a aïllant, amb un gruix de 12cm^[6], per evitar que el monoetilenglicol es pugui desnaturalitzar o fer malbé amb canvis de temperatura exteriors.

11.1.4. DISSENY DELS TANCOS D'EMMAGATZEMATGE DE RESIDUS

11.1.4.1 DISSENY MECÀNIC EXTERN

El disseny dels tancos d'emmagatzematge de residus, una mescla de dietilenglicol i trietilenglicol, es realitza de la mateixa forma que els anteriors, tenint en compte que es vol emmagatzemar un stock de 3 dies de residu.

$$Cabal\ anual = 1,002 \frac{m^3}{h} \cdot \frac{24\ h}{1\ dia} \cdot 320 \frac{dies}{any} = 7695,36 \frac{m^3}{anys}$$

$$V_{liquid} = 7695,36 \frac{m^3}{anys} \cdot \frac{1\ any}{320\ dies} \cdot 3\ dies = 72,14\ m^3$$

Escollint com a relació alçada-diàmetre un valor d'1,5, es calcula l'alçada i el diàmetre del tanc, sobredimensionant el volum un 15% per seguretat.

$$D_{int\ cos} = \sqrt[3]{\frac{V_{liquid}}{\frac{\pi}{4} \cdot \frac{H}{D}}} = \sqrt[3]{\frac{72,14\ m^3 \cdot 1,15}{\frac{\pi}{4} \cdot 1,5}} = 4,13\ m$$

$$H_c = 1,5 \cdot D = 1,5 \cdot 4,13 = 6,19\ m$$

Taula 11. 6 Condicions d'emmagatzematge de dietilenglicol i trietilenglicol.

P (atm)	T (°C)	Densitat fluid (kg/m3)
1	25	1126,75

A partir de les condicions d'emmagatzematge dels residus, es calculen les dimensions dels tancs. Resum dels valors obtinguts de disseny mecànic extern a la **Taula 11.7**.

Taula 11.7 Paràmetres de disseny mecànic dels tancs d'emmagatzematge de DEG i TEG.

 GLICAT	Paràmetres de disseny de tanc d'emmagatzematge del residu
Volum del líquid (m ³)	72,14
Numero de tancs	1
Volum de líquid per tanc (m ³)	72,14
Alçada cos (m)	6,19
Gruix cos (m)	0,005
D extern cos (m)	4,14
Gruix capçal cònic (m)	0,004
D extern capçal cònic (m)	4,14
H capçals cònic (m)	0,56
H capçal fons (m)	0,006
D capçal de fons (m)	4,19
H total (m)	6,76
Pes cos buit (kg)	3190,22
Pes fons buit (kg)	655,93
Pes capçal cònic buit (kg)	590,48
Pes tanc buit (kg)	4436,63
Pes d'operació (kg)	85724,88

11.1.5. DISSENY DE TANC A PRESSIÓ

En el cas del disseny de tancs a pressió, s'ha seguit el codi ASME (American Society of Mechanical Engineers) ^[4]. A continuació en la **Taula 11.8** es presenten els diferents paràmetres de disseny per a l'acer inoxidable AISI 304.

Taula 11.8 Paràmetres per al disseny de tanc a pressió.

Material	Densitat (kg/m ³)	E	CA (mm)	S (atm)
AISI 304	7930	0,85	1	1085,61 – 1628,42

El valor de S pot variar segons el tanc a dissenyar, ja que depèn de la temperatura a la qual es treballa, tal com mostra la **Figura 11.3**.

Material	Tensile strength (N/mm ²)	Design stress at temperature °C (N/mm ²)								
		0 to 50	100	150	200	250	300	350	400	450
Carbon steel (semi-killed or silicon killed)	360	135	125	115	105	95	85	80	70	
Carbon-manganese steel (semi-killed or silicon killed)	460	180	170	150	140	130	115	105	100	
Carbon-molybdenum steel, 0.5 per cent Mo	450	180	170	145	140	130	120	110	110	
Low alloy steel (Ni, Cr, Mo, V)	550	240	240	240	240	240	235	230	220	190
Stainless steel 18Cr/8Ni unstabilised (304)	510	165	145	130	115	110	105	100	100	95
Stainless steel 18Cr/8Ni Ti stabilised (321)	540	165	150	140	135	130	130	125	120	120
Stainless steel 18Cr/8Ni Mo 2½ per cent (316)	520	175	150	135	120	115	110	105	105	100

Figura 11.3 Valors de S en funció de la temperatura, per diferents materials de construcció.

Com es pot observar en el disseny de tancs a pressió atmosfèrica, el disseny del tanc es dividirà en tres parts: cos, capçal superior i capçal inferior, en aquest cas iguals.

11.3.1.1 PRESSIÓ HIDROSTÀTICA

La pressió hidrostàtica és la que exerceix els fluids en repòs sobre el cos.

$$P_h = \rho \cdot h \cdot g \quad \text{Equació 11.18}$$

On:

- ρ (kg/m³) = densitat del fluid
- g (m/s²) = gravetat
- h (m) = alçada del fluid

11.3.1.2 PRESSIÓ DE DISSENY

Pressió de disseny és utilitzada per al disseny mecànic del tanc, i és la màxima pressió a la qual està sotmès. Es dimensiona per seguretat un 15 %.

$$P = 1,15 \cdot (P_o + P_h) \quad \text{Equació 11.19}$$

On:

- P_o (Pa) = pressió d'operació
- P_h (Pa) = pressió hidrostàtica

11.3.1.3 TEMPERATURA DE DISSENY

Temperatura utilitzada per al disseny del tanc. Es sobredimensiona per seguretat un ± 15 °C

$$T = T_o + 15 \quad \text{Equació 11.20}$$

On:

- T (°C) = temperatura de disseny
- T_o (°C) = temperatura d'operació

11.3.1.4 DISSENY DEL COS

Primer de tot, es calcula el gruix del cos cilíndric segons el codi ASME, amb l'equació següent:

$$t_{cos} = \frac{P \cdot R}{S \cdot E - 0,6 \cdot P} + C_A \quad \text{Equació 11.21}$$

On:

- t_{cos} (mm) = gruix requerit per al cos
- S (atm) = Tensió màxima admissible
- E = eficiència de soldadura
- R (mm) = radi intern
- P (atm) = pressió de disseny
- C_A (mm) = gruix de corrosió

Un cop calculat el gruix, es passa a determinar el diàmetre extern del cos.

$$D_{ext\ cos} = D_{int\ cos} + 2 \cdot t_{cos} \quad \text{Equació 11.22}$$

11.3.1.5 DISSENY DELS CAPÇALS

En aquest cas el disseny de capçals serà igual per als dos capçals. S'ha escollit un capçal toriesfèric tipus Klopper.

$$t_{capçal} = \frac{P \cdot L \cdot M}{2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P} + C_A \quad \text{Equació 11.23}$$

On:

- P (atm) = Pressió de disseny
- L (mm) = radi de bombat
- M = Factor adimensional en funció de la relació L/r
- r (mm) = radi de cantonada
- S (atm) = Tensió màxima admissible
- t_{capçal} (mm) = gruix mínim requerit en la tapa
- E = eficiència de soldadura

Per escollir el valor del factor M, s'escull un valor de L/r de 10, de tal manera que a partir de la **Figura 11.4**, es determina un valor de M d'1,54.

VALORES DEL FACTOR "M"

L/r	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75
M	1.00	1.03	1.06	1.08	1.10	1.13	1.15	1.17
L/r	3.00	3.25	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
M	1.18	1.20	1.22	1.25	1.28	1.31	1.34	1.36
L/r	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50	9.00	9.50	10.0
M	1.39	1.41	1.44	1.46	1.48	1.50	1.52	1.54
L/r	10.5	11.0	11.5	12.0	13.0	14.0	15.00	16.0
M	1.56	1.58	1.60	1.62	1.65	1.69	1.72	1.75
L/r	16.666							
M	1.77							

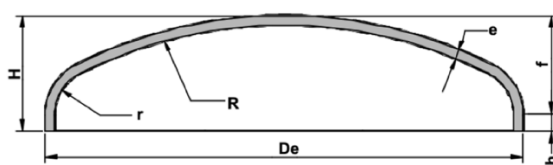
Figura 11.4 Taula de valors del factor M.

Un cop determinat el gruix, es calcula el diàmetre extern del capçal a partir de la següent equació:

$$D_{ext \text{ capçal}} = D_{int} + 2 \cdot t_{\text{capçal}} \quad \text{Equació 11.24}$$

L'alçada dels capçals toriesfèrics es calcula a partir de l'**Equació 11.25** i els paràmetres mostrats en la **Figura 11.5**.^[5]

$$H = f + h + e \quad \text{Equació 11.25}$$



$$\begin{aligned} R &= D_e \\ r &= 0,1 \cdot D_e = 0,1 \cdot R \\ f &= 0,1935 \cdot D_e - 0,455 \cdot e \\ h &= 3,5 \cdot e \\ H &= f + h + e \\ e &= t_{\text{capçal}} \end{aligned}$$

Figura 11.5 Diagrama i paràmetres del capçal toriesfèric tipus Klopper.

On:

- H (mm) = alçada capçal toriesfèric tipus Klopper.
- D_i (mm) = diàmetre interior.
- D_e (mm) = diàmetre extern.
- e (mm) = espessor superior
- h (mm) = espessor de seguretat

11.3.1.6 ALÇADA TOTAL DEL TANC

Un cop calculada l'alçada del capçal es calcula l'alçada total del tanc.

$$H_T = H_C + 2 \cdot H \quad \text{Equació 11.26}$$

On:

- H_T (m) = alçada total del tanc
- H_C (m) = alçada del cos
- H (m) = alçada del capçal toriesfèric tipus Klopper

11.3.1.7 PES DEL TANC BUIT

Per calcular el pes del tanc buit, es calcularan per separat el pes del cos i els capçals, en aquets cas iguals.

$$M_{tanc\ buit} = M_{cos\ buit} + 2 \cdot M_{capçal\ buit} \quad \text{Equació 11.27}$$

$$M_{cos\ buit} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_{ext\ cos}^2 - D_{int\ cos}^2) \cdot H_C \cdot \rho_{material} \quad \text{Equació 11.28}$$

$$M_{capçal\ buit} = 0,1 \cdot (D_{ext\ capçal}^3 - D_{int\ capçal}^3) \cdot \rho_{material} \quad \text{Equació 11.29}$$

On:

- $M_{tanc\ buit}$ (kg) = pes del tanc buit
- $M_{cos\ buit}$ (kg) = pes del cos cilíndric
- $M_{capçal\ buit}$ (kg) = pes del capçal cònic
- H_C (m) = alçada cos cilíndric
- $\rho_{material}$ (kg/m³) = densitat de l'acer inoxidable AISI 304

11.3.1.8 PES D'OPERACIÓ

Un cop calculat el pes del tanc buit, es calcula el pes d'operació tenint en compte el volum de producte emmagatzemat.

$$M_{op} = M_{tanc\ buit} + (V_{fluid} \cdot \rho_{fluid}) \quad \text{Equació 11.30}$$

On:

- M_{op} (kg) = pes d'operació
- $M_{tanc\ buit}$ (kg) = pes del tanc buit
- V_{fluid} (m³) = volum del fluid emmagatzemat
- ρ_{fluid} (kg/m³) = densitat del fluid emmagatzemat

11.1.6. DISSENY DELS TANCOS D'EMMAGATZEMATGE D'ÒXID D'ETILÈ

11.1.6.1 DISSENY MECÀNIC EXTERN

En el cas d'òxid d'etilè, es mantindrà un stock d'1 dia, ja que en cas de problemes de subministrament, és molt poc probable que es tardi més d'un dia a recuperar el subministrament normal. A més, per qüestions de control, emmagatzemar OE surt més car que emmagatzemar els productes de la planta. L'òxid d'etilè s'emmagatzemarà en 4 trancs a una pressió de 4 bars i una temperatura de 10 °C.

$$Cabals\ anual = 18,98 \frac{m^3}{h} \cdot \frac{24\ h}{1\ dia} \cdot 320 \frac{dies}{any} = 145766,4 \frac{m^3}{anys}$$

$$V_{líquid} = 145766,4 \frac{m^3}{anys} \cdot \frac{1\ any}{320\ dies} \cdot 1\ dies = 455,52\ m^3$$

$$V_{líquid\ per\ tanc} = \frac{V_{líquid}}{n^{\circ}\ tancs} = \frac{455,52\ m^3}{4} = 113,88\ m^3$$

Utilitzant una relació alçada-diàmetre de H/D=1,5, es calcula l'alçada i el diàmetre dels 4 tancs, sobredimensionant el volum un 15% per seguretat.

$$D_{int\ cos} = \sqrt[3]{\frac{V_{líquid}}{\frac{\pi}{4} \cdot H}} = \sqrt[3]{\frac{113,88\ m^3 \cdot 1,15}{\frac{\pi}{4} \cdot 1,5}} = 4,808\ m$$

$$H_c = 1,5 \cdot D = 1,5 \cdot 6,10 = 7,21\ m$$

Un cop determinats el diàmetre i l'alçada, es calculen la resta de paràmetres per al disseny dels tancs seguint el codi ASME, tal com s'explica al disseny de tancs a pressió i utilitzant els paràmetres obtinguts del Aspen Hysys V10.

Taula 11.9 Paràmetres de disseny del Aspen Hysys.

P _o (Pa)	T _o (°C)	ρ _{fluid} (kg/m ³)
4050300	10	881,98

Pressió de disseny

$$P_h = 881,98 \cdot 7,21 \cdot 9,81 = 62403,23\ Pa$$

$$P = 1,15 \cdot (405300 + 62403,23) = 537858,71\ Pa = 5,31\ atm$$

Temperatura de disseny

$$T = 10 + 15 = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Disseny del cos

Un cop conegudes la temperatura i pressió de disseny, es calcula el gruix del cos cilíndric, per tal de determinar posteriorment el diàmetre extern del cos dels tancs.

$$t_{cos} = \frac{5,31 \cdot \frac{4808,26}{2}}{1628,42 \cdot 0,85 - 0,6 \cdot 5,31} + 1 = 10,24 \text{ mm}$$

$$D_{ext\ cos} = 4808,26 + 2 \cdot 10,24 = 4828,74 \text{ mm} = 4,83 \text{ m}$$

Disseny dels capçals

El capçal escollit a dissenyar és un de toriesfèric, tipus KLOPPER, tal i com s'esmenta a l'apartat de disseny de tancs a pressió.

$$t_{capçal} = \frac{5,31 \cdot 4808,26 \cdot 1,54}{2 \cdot 1628,42 \cdot 0,85 - 0,2 \cdot 5,31} + 1 = 15,2 \text{ mm}$$

$$D_{ext\ capçal} = 4808,26 + 2 \cdot 15,2 = 4838,67 \text{ mm} = 4,84 \text{ m}$$

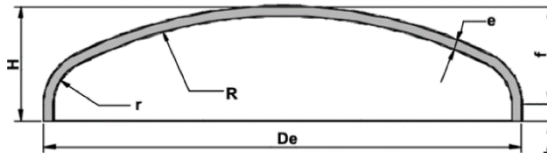


Figura 11.6 Diagrama i paràmetres del capçal toriesfèric tipus Klopper.

$$R = D_e = 4808,26 \text{ mm}$$

$$r = 0,1 \cdot 4808,26 = 480,83 \text{ mm}$$

$$f = 0,1935 \cdot 4808,26 - 0,455 \cdot 15,2 = 926,94 \text{ mm}$$

$$h = 3,5 \cdot 15,2 = 53,21 \text{ mm}$$

$$H = 926,94 + 53,21 + 15,2 = 995,36 \text{ mm} = 0,995 \text{ m}$$

Un cop determinades l'alçada dels capçals i la del cos cilíndric, es determina l'alçada total dels 4 tancs.

$$H_T = H_C + 2 \cdot H = 7,21 + 2 \cdot 0,995 = 9,203 \text{ m}$$

Pes dels tancs buits

Per últim, es calcularan el pes de l'equip buit i posteriorment el pes d'operació.

$$M_{cos\ buit} = \frac{\pi}{4} \cdot (4,829^2 + 4,808^2) \cdot 7,21 \cdot 7930 = 8866,70\ kg$$

$$M_{capçal\ torisfèric\ buit} = 0,1 \cdot (4,84^3 - 4,808^3) \cdot 7930 = 1683,07\ kg$$

$$M_{tanc\ buit} = 8866,70 + 2 \cdot 1683,07 = 12232,85\ kg$$

Pes d'operació

$$M_{operació} = 12232,85 + (113,88 \cdot 881,98) = 112672,73\ kg$$

11.1.6.2 AÏLLAMENT I REFRIGERACIÓ

Seguint la normativa ITC MIE APQ-2, l'òxid d'etilè s'emmagatzemarà amb nitrogen com a gas inert i es tindrà en compte que la temperatura als tancs no arribi als 40 °C, per evitar així la desnaturalització de l'òxid d'etilè.

Per al càlcul de l'aïllament es tindrà en compte la normativa ITC MIE APQ-2 esmentada i com aïllant s'ha escollit llana de roca amb un gruix de 10 cm i una conductivitat tèrmica de $k=0,04\ W/m\cdot K$ [6].

$$A_{cos} = 2 \cdot \pi \cdot R_{ext\ cos} \cdot H_c = 2 \cdot \pi \cdot \frac{4,83}{2} \cdot 7,21 = 109,4\ m^2$$

$$A_{capçal\ torisfèric} = 1,2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D_{ext\ cos} = 1,2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 4,83 = 4,55\ m^2$$

$$A = 109,4 + 2 \cdot 4,55 = 118,5\ m^2$$

$$q = \frac{\Delta T}{\frac{\Delta X}{A_{tanc} \cdot k}} = \frac{40-10}{\frac{0,1}{118,5 \cdot 0,04}} = 1422\ W \quad \text{Equació 11.31}$$

On:

- ΔT (°C) = diferencia entre temperatura exterior i interior del tanc.
- ΔX (m) = gruix de l'aïllament.
- A_{tanc} (m²) = Àrea del tanc.
- k (W/m·K) = conductivitat tèrmica de l'aïllant.

Un cop determinat el cabal de calor no suportat per l'aïllant, es calcula el cabal de refrigerant per tal de controlar la temperatura a l'interior del tanc i evitar la producció d'una reacció "runaway".

El refrigerant escollit en aquest cas és aigua amb una temperatura d'entrada de 5°C i 10 °C de temperatura de sortida.

$$m = \frac{q}{C_p \cdot \Delta T} = \frac{1422}{4180 \cdot (10 - 5)} = 0,068 \frac{kg}{s}$$

On:

- m (kg/s) = cabal de refrigerant.
- CP (J/kg·k) = calor específic del refrigerant.
- ΔT (°C) = diferencia de temperatura del refrigerant.

Per al cabal de refrigerant obtingut, s'escull instal·lar un serpenti genèric a l'interior del tanc que serà regulat pel sistema de control de temperatura.

11.1.6.3 CUBETES

Els 4 tancs tindran les mateixes dimensions i estaran disposats en una quadrícula de 2 files i 2 columnes. Per aquest motiu les quatre parets tindran la mateixa llargada.

$$L_c = 2 \cdot 4.85 + (2 - 1) \cdot 5 + 2 \cdot 1 = 16.7 \text{ m}$$

$$V_c = (16.7^2 - 73.89) \cdot 0.75 = 153.75 \text{ m}^3$$

Finalment es pot comprovar com el valor obtingut és superior al volum d'un tanc (131 m³) i superior al 10% de tots els tancs (52.44 m³).

Aquest càlcul representa les dimensions mínimes de la cubeta de retenció d'òxid d'etilè. Al disseny real de la planta s'han escollit unes dimensions de 24,65x24,65 m amb una paret de 0,5 m (303,8 m³) per poder assegurar que en cas de fuga el fluid sigui contingut dins de la cubeta i pugui fluir adequadament cap a les xarxes de drenatge.

11.1.7. DISSENY AGITACIÓ

Pel disseny de l'agitació de tancs ^[7], s'utilitzen les següents correlacions mostrades a la **Taula 11.9**:

Taula 11. 10 Correlacions disseny agitació.

$\frac{D_a}{D_t} = 0,33$	$\frac{H}{D_t} = 1$	$\frac{C}{D_t} = 0,33$
$\frac{W}{D_a} = 0,2$	$\frac{L}{D_a} = 0,25$	$\frac{J}{D_t} = 0,083$

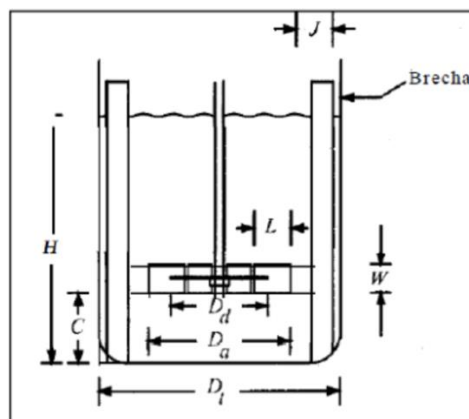


Figura 11. 7 Proporcions bàsiques disseny d'agitació

Per poder dissenyar correctament l'agitació és important determinar el número de revolucions a partir de la velocitat típica d'agitació (**Equació 11.32**) i el nombre de Reynolds (**Equació 11.33**).

La velocitat típica està entre 3-10 m/s.

$$N = \frac{v_{\text{típica}}}{\pi \cdot D_a} = \frac{\frac{m}{s}}{m} = \frac{1}{s} \quad \text{Equació 11.32}$$

On:

- N (s^{-1}) = numero de revolucions
- $v_{\text{típica}}$ (m/s) = velocitat típica d'agitació
- D_a (m) = diàmetre agitador

$$Re = \frac{D_a^2 \cdot N \cdot \rho}{\mu} \quad \text{Equació 11.33}$$

On:

- D_a (m) = diàmetre agitador
- N (s^{-1}) = numero de revolucions
- ρ (kg/m^3) = densitat del líquid agitat
- μ ($Pa \cdot s$) = viscositat líquid agitat

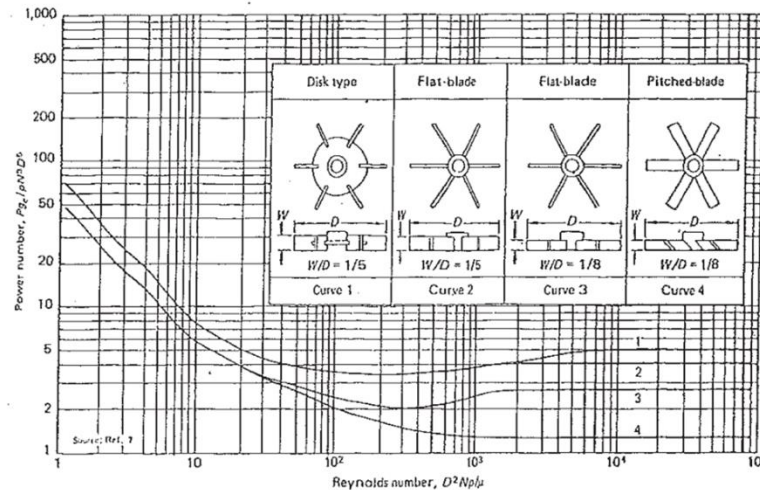


Figura 11. 8 Correlacions entre Reynolds i el número de potència.

A partir del valor obtingut de Reynolds i escollint com a agitador un amb turbina de 6 pales, a partir de la **Figura 11.8**, es troba el número de potència i posteriorment es calcula la potència de l'agitador.

$$P = N_p \cdot \rho \cdot N^3 \cdot D_a^5 \quad \text{Equació 11.34}$$

On:

- P (W) = Potència de l'agitador.
- N_p = numero de potència.

Per últim, un cop coneguda la potència, es calcula la potència consumida, utilitzant un rendiment del motor del 80%.

$$P_{consumida} = \frac{P}{\eta} \quad \text{Equació 11.35}$$

On:

- $P_{consumida}$ (W) = Potència de l'agitador.
- P (W) = Potència de l'agitador.
- η = rendiment del motor.

11.1.8. DISSENY DELS TANCS MESCLADORS I HOMOGENEÏZADORS

Els tancs mescladors són uns recipients utilitzats per homogeneïtzar diversos corrent i així evitar problemes com una mala transferència de matèria. El disseny d'aquest tipus de tanc seguirà el codi ASME i seran dissenyats com un recipient a pressió amb agitació.

11.1.8.1 TANC MESCLADOR T-007

L'equip T-007 és un tanc utilitzat per mesclar i homogeneïtzar l'aigua de xarxa ja tractada amb l'aigua recirculada de la zona de deshidratació. D'aquesta manera es redueix la quantitat d'aigua de xarxa necessària i amb l'agitació s'assegura una mescla homogènia abans d'entrar en contacte amb l'òxid d'etilè.

Per calcular les dimensions d'aquest tanc s'escull un temps de residència de 15 minuts per assegurar una bona mescla.

$$V_{liquid} = 135,5 \frac{m^3}{h} \cdot \frac{1h}{60 min} \cdot 15 min = 33,88 m^3$$

Un cop determinat el volum del cos cilíndric (volum del líquid sobredimensionat), utilitzant una relació H/D d'1,5, es determinen l'alçada i el diàmetre interns del cos, aplicant un sobredimensionament per seguretat d'un 15%.

$$D_{int cos} = \sqrt[3]{\frac{V_{liquid}}{\frac{\pi}{4} \cdot H}} = \sqrt[3]{\frac{33,88 m^3 \cdot 1,15}{\frac{\pi}{4} \cdot 1,5}} = 3,21 m$$


$$H_c = 1,5 \cdot D = 1,5 \cdot 3,21 = 4,82 m$$

A continuació es mostren a la **Taula 11.11** les dades obtingues del programa Aspen Hysys V10, del disseny mecànic i del disseny d'agitació per al tanc T-007.

Taula 11.11 Paràmetres de disseny del Aspen Hysys.

P _o (Pa)	T _o (°C)	ρ _{fluid} (kg/m ³)
101300	25	998,45

Taula 11. 12 Paràmetres pel disseny mecànic del tanc T-007

 GLICAT	Paràmetres de disseny de T-007
Volum del líquid (m ³)	33,88
Volum total (m ³)	45,58
Temps de residència (min)	15
Alçada cos (m)	4,82
Gruix cos (m)	0,003
D extern cos (m)	3,21
Gruix capçal torisefèric (m)	0,004
D extern capçal torisefèric (m)	3,22
H capçals (m)	0,64
H total (m)	6,09
Pes cos buit (kg)	1138,94
Pes capçals (kg)	197,04
Pes tanc buit (kg)	1533
Pes d'operació (kg)	35363

Taula 11. 13 Paràmetres disseny agitador del tanc T-007

D_t (m)	2,22
D_a (m)	0,73
H (m)	2,23
C (m)	0,73
W (m)	0,15
L (m)	0,18
J (m)	0,18
v típica (m/s)	5
rpm	130
P_{consumida} (kW)	13,57

11.1.8.2 TANC MESCLADOR T-101

El tanc mesclador T-101 s'utilitza per mesclar les matèries primeres del procés abans d'entrar al reactor com a primer pas del condicionament dels reactius.

Per calcular les dimensions d'aquest tanc també s'escull un temps de residència de 15 minuts per assegurar una bona mescla.

$$V_{líquid} = 154,5 \frac{m^3}{h} \cdot \frac{1h}{60 \text{ min}} \cdot 15 \text{ min} = 38,63 \text{ m}^3$$

Un cop determinat el volum del cos cilíndric (volum del líquid sobredimensionat), utilitzant una relació H/D d'1,5, es determinen l'alçada i el diàmetre interns del cos, aplicant un sobredimensionament per seguretat d'un 15%,

$$D_{int \text{ cos}} = \sqrt[3]{\frac{V_{líquid}}{\frac{\pi}{4} \cdot \frac{H}{D}}} = \sqrt[3]{\frac{38,63 \text{ m}^3 \cdot 1,15}{\frac{\pi}{4} \cdot 1,5}} = 3,359 \text{ m}$$


$$H_c = 1,5 \cdot D = 1,5 \cdot 3359 = 5,03 \text{ m}$$

A continuació es mostren les dades obtingues del programa Aspen Hysys V10 , del disseny mecànic i del disseny d'agitació per al tanc T-101, recollides en les **Taules 11.14, 11.15 i 11.16**.

Taula 11.14 Paràmetres de disseny del Aspen Hysys.

P_o (Pa)	T_o (°C)	ρ_{fluid} (kg/m³)
101300	25	998,5

Taula 11. 15 Paràmetres pel disseny mecànic del tanc T-101

 GLICAT	Paràmetres de disseny de MIX-101
Volum del líquid (m ³)	38,63
Volum total (m ³)	51,96
Temps de residència (min)	15
Alçada cos (m)	5,03
Gruix cos (m)	0,003
D extern cos (m)	3,36
Gruix capçal torisefèric (m)	0,0042
D extern capçal torisefèric (m)	3,36
H capçals (m)	0,67
H total (m)	6,36
Pes cos buit (kg)	1291,78
Pes capçals (kg)	224,62
Pes tanc buit (kg)	1741,03
Pes d'operació (kg)	40308,09

Taula 11. 16 Paràmetres disseny agitador del tanc T-101

D _t (m)	3,35
D _a (m)	1,11
H (m)	3,35
C (m)	1,11
W (m)	0,22
L (m)	0,28
J (m)	0,28
v típica (m/s)	6
rpm	103,56
P _{consumida} (kW)	52,48

11.1.8.3 TANC HOMOGENEÏZADOR T-501

El tanc T-501 s'utilitza per ajuntar els 6 corrents d'aigua provinents de l'àrea de deshidratació de la mescla de glicols obtinguda al reactor. En aquest tanc no és necessari un sistema d'agitació, ja que tots els corrents són aigua amb una petita proporció negligible de monoetilenglicol i són de composicions molt similars.

Aquest tanc es dissenyarà amb un temps de residència de 15 minuts, i serà suficient per assegurar una bona mescla.

$$V_{líquid} = 154,5 \frac{m^3}{h} \cdot \frac{1h}{60 \text{ min}} \cdot 15 \text{ min} = 38,63 \text{ m}^3$$

Un cop calculat el volum del cos cilíndric (volum del líquid sobredimensionat), utilitzant una relació H/D d'1,5, es determinen l'alçada i el diàmetre interns del cos, aplicant un sobredimensionament per seguretat d'un 15%,

$$D_{int \text{ cos}} = \sqrt[3]{\frac{V_{líquid}}{\frac{\pi}{4} \cdot \frac{H}{D}}} = \sqrt[3]{\frac{38,63 \text{ m}^3 \cdot 1,15}{\frac{\pi}{4} \cdot 1,5}} = 3,359 \text{ m}$$


$$H_c = 1,5 \cdot D = 1,5 \cdot 3,359 = 5,03 \text{ m}$$

A continuació es mostren les dades obtingues del programa Aspen Hysys V10 a la **Taula 11.17**, del disseny mecànic i del disseny d'agitació per al tanc T-501 a les **Taules 11.18 i 11.19**.

Taula 11.17 Paràmetres de disseny del Aspen Hysys.

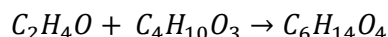
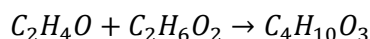
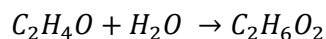
P _o (Pa)	T _o (°C)	ρ _{ftuid} (kg/m ³)
101300	25	999,23

Taula 11. 18 Paràmetres pel disseny mecànic del tanc T-501.

 GLICAT	Paràmetres de disseny de T-501
Volum del líquid (m ³)	32,37
Volum total (m ³)	43,55
Temps de residència (min)	15
Alçada cos (m)	4,742
Gruix cos (m)	0,0032
D extern cos (m)	3,168
Gruix capçal torisefèric (m)	0,00436
D extern capçal torisefèric (m)	3,17
H capçals (m)	0,63
H total (m)	6
Pes cos buit (kg)	1189,66
Pes capçals (kg)	207,81
Pes tanc buit (kg)	1605,28
Pes d'operació (kg)	33955,35

11.2. REACTOR

Aquest apartat correspon al disseny del reactor continu de tanc agitat utilitzat per a la producció de monoetilenglicol. En el reactor es produeixen 3 reaccions paral·leles de formació de monoetilenglicol, dietilenglicol i trietilenglicol. La reacció és dona amb un excés d'aigua d'un 20:1 respecte a l'òxid d'etilè, per tal d'evitar la formació de productes no desitjats i garantir un bon rendiment amb alta conversió.



Com les reaccions són exotèrmiques, el tanc es dissenya amb un sistema de refrigeració i agitació per tal de garantir les condicions de reacció. El tanc operarà a una temperatura de 200 °C i una pressió de 30 atmosferes.


11.2.1 DISSENY DEL REACTOR R-201

A partir del programa Aspen Hysys V10, es calculen les dimensions del tanc seguint el codi ASME per al disseny de tancs a pressió mencionats a l'**Apart 11.1.5** i els paràmetres d'operació obtinguts del Hysys.

Taula 11. 19 Paràmetres de disseny de Aspen Hysys

P_o (Pa)	T_o (°C)	ρ_{fluid} (kg/m ³)
3040000	200	832,6

Taula 11. 20 Paràmetres de disseny del reactor.

	Paràmetres de disseny del reactor R-201
Volum del líquid (m ³)	154,50
Volum total (m ³)	192,76
Temps de residència (min)	1
Alçada cos (m)	12,67
Gruix cos (m)	0,081
D extern cos (m)	4,39
Gruix capçal torisefèric (m)	0,12
D extern capçal torisefèric (m)	4,47
H capçals (m)	1,35
H total (m)	15,38
Pes cos buit (kg)	109979,64
Pes capçals (kg)	10947,40
Pes tanc buit (kg)	131874,43
Pes d'operació (kg)	260511,13

11.2.2 AGITACIÓ

Per al càlcul de l'agitació del reactor, s'utilitzen les equacions explicades en l'**Apartat 11.1.6** sobre el disseny d'agitadors.

Partint de les correlacions del disseny d'agitació de la **Taula 11.21**, es calculen les dimensions de l'agitador per al reactor.

Taula 11. 21 Correlacions disseny d'agitadors

Dt (m)	4,22
Da (m)	1,39
H (m)	4,22
C (m)	1,39
W (m)	0,28
L (m)	0,35
J (m)	0,35

A continuació es determina el número de revolucions utilitzant com a velocitat típica un valor de 7 m/s en el cas del reactor, i després es determina el nombre de Reynolds amb l'**Equació 11.33**.

$$N = \frac{7}{\pi \cdot 1,394} = 1,598 \text{ rps}$$

$$R_e = \frac{1,394^2 \cdot 1,598 \cdot 832,6}{0,000097} = 2,67 \cdot 10^7$$

Un cop determinat el nombre de Reynolds i escollint com a agitador un de turbina de 6 pales, es determina el valor de potència a partir de la **Figura 11.7** i posteriorment la potència de l'agitador.

$$P = 5 \cdot 832,6 \cdot 1,598^3 \cdot 1,394^5 = 89480,13 \text{ W}$$

Per acabar, es calcula la potència consumida tenint en compte que el rendiment del motor és d'un 80%.

$$P = \frac{89480,13}{0,8} = 111850,16 \text{ W} = 111,85 \text{ kW}$$

11.2.3 AÏLLAMENT

Per assegurar que mantinguin les temperatures d'operació al reactor, s'implementa també un aïllament, en concret llana de roca. A continuació es calcula el gruix de l'aïllament requerit.

$$t_{aïllant} = \frac{30}{3,6 \cdot \left(\frac{T_I - T_{amb}}{D_{ext}}\right)^{\frac{1}{4}}} \quad \text{Equació 11.36}$$

On:

- $t_{aïllant}$ (cm) = gruix de l'aïllant.
- T_I (°C) = temperatura a l'interior de l'equip.
- T_{amb} (°C) = temperatura ambient.
- D_{ext} (cm) = diàmetre extern de l'equip.

En el cas del reactor la temperatura a l'interior de reactor és de 200 °C i s'escull com a temperatura ambient una de 20 °C.

$$t_{aïllant} = \frac{30}{3,6 \cdot \left(\frac{200 - 20}{439 + 12,5}\right)^{\frac{1}{4}}} = 10,5 \text{ cm}$$

El gruix obtingut per al reactor és de 10,5 cm, però s'escull implementar un gruix d'11 cm, que és un valor típic del proveïdor. ^[6]

11.2.4 REFRIGERACIÓ

Com les reaccions de formació de glicols són exotèrmiques, és necessari un sistema de refrigeració del reactor, per tal de mantenir la temperatura de reacció de 200°C. Per determinar el cabal de refrigeració s'utilitza l'entalpia total de formació de les tres reaccions i el cabal de la mescla de glicols.

$$Q = -1589,08 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}} \cdot 7214 \frac{\text{kmol}}{\text{h}} \cdot \frac{1\text{h}}{3600\text{s}} = -3184,34 \text{ kW}$$

$$m = \frac{Q}{c_p \cdot (T_S - T_E)} = \frac{3184,34 \cdot 3600}{4,18 \cdot (65 - 15)} = 54850 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \quad \text{Equació 11.37}$$

On:

- m (kg/h) = cabal del refrigerant, aigua.
- Q (kJ/h) = calor generat per la reacció.
- c_p (kJ/kg K) = calor específic de l'aigua.
- T_E (°C) = temperatura d'entrada del refrigerant.
- T_S (°C) = temperatura de sortida del refrigerant.

A continuació es determina l'àrea de bescanvi, tenint en compte un coeficient global de transferència de calor de $850 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, a partir de l'**Equació 11.38**.

$$\Delta T_{ml} = \frac{(T_E - T_R) - (T_S - T_R)}{\ln\left(\frac{T_E - T_R}{T_S - T_R}\right)} = \frac{(15 - 200) - (65 - 200)}{\ln\left(\frac{15 - 200}{65 - 200}\right)} = 158,7$$

$$A = \frac{Q}{U \cdot \Delta T_{ml}} = \frac{3184340}{850 \cdot 158,7} = 23,6 \text{ m}^2 \quad \text{Equació 11.38}$$

On:

- $A \text{ (m}^2\text{)} =$ àrea de bescanvi.
- $U \text{ (W/m}^2\cdot\text{K)} =$ Coeficient global de transferència de calor.
- $T_R \text{ (}^\circ\text{C)} =$ temperatura del reactor.

Un cop determinada l'àrea de bescanvi de calor, es dissenya el sistema de refrigeració de mitja canya, utilitzant com a diàmetre de la mitja canya un valor de $0,125 \text{ m}$ i una velocitat típica del fluid de $2,4 \text{ m/s}$. Per seguretat s'utilitza una àrea de bescanvi sobredimensionada de 25 m^2 .

$$L_{mitja\ canya} = \frac{A}{\pi \cdot D_{mitja\ canya}} = \frac{25}{\pi \cdot 0,125} = 63,66 \text{ m}$$

$$Perimetre_{reactor} = \pi \cdot D_{ext\ reactor} = \pi \cdot 4,39 = 13,78 \text{ m}$$

$$N^\circ\ voltes = \frac{L_{mitja\ canya}}{Perimetre_{reactor}} = \frac{63,66}{13,78} \approx 5$$

Utilitzant una distància entre voltes de 2 m , l'alçada total de la mitja canya serà de $10,63 \text{ m}$, i estarà disposada sobre el cos del reactor, els valors obtinguts del disseny es recullen a la **Taula 11.22**.

Taula 11. 22 Resum disseny refrigeració reactor.

Tipus	Mitja canya
Fluid refrigerant	Aigua
T_E ($^\circ\text{C}$)	15
T_S ($^\circ\text{C}$)	65
Cabal (kg/h)	54850
$D_{mitja\ canya}$ (m)	0,125
N$^\circ$ voltes	5
Distància entre voltes (m)	2,5

11.3. SEPARACIONS FLASH

Les separacions flash s'utilitzen per separar un líquid d'un vapor generat a partir d'una expansió a l'interior de l'equip.

Les columnes de separació flash corresponen a l'àrea de deshidratació del procés, on s'extreu la major quantitat d'aigua possible de la mescla de glicols per poder destil·lar posteriorment el monoetilenglicol en major concentració.

En el cas de la planta Glicat, s'utilitzen 4 separadors flash o separadors gas-líquid.

11.3.1 SEPARADOR FLASH D-301

11.3.1.1 DISSENY ASPEN HYSYS

El disseny de les separacions flash es duu a terme a partir del programa Aspen Hysys V10 i el disseny mecànic utilitzant el codi ASME per al disseny de recipients a pressió. A partir del programa Hysys s'obté dades de volum, diàmetre i alçada per a cada tanc, tal com es mostra la **Figura 11.9**.

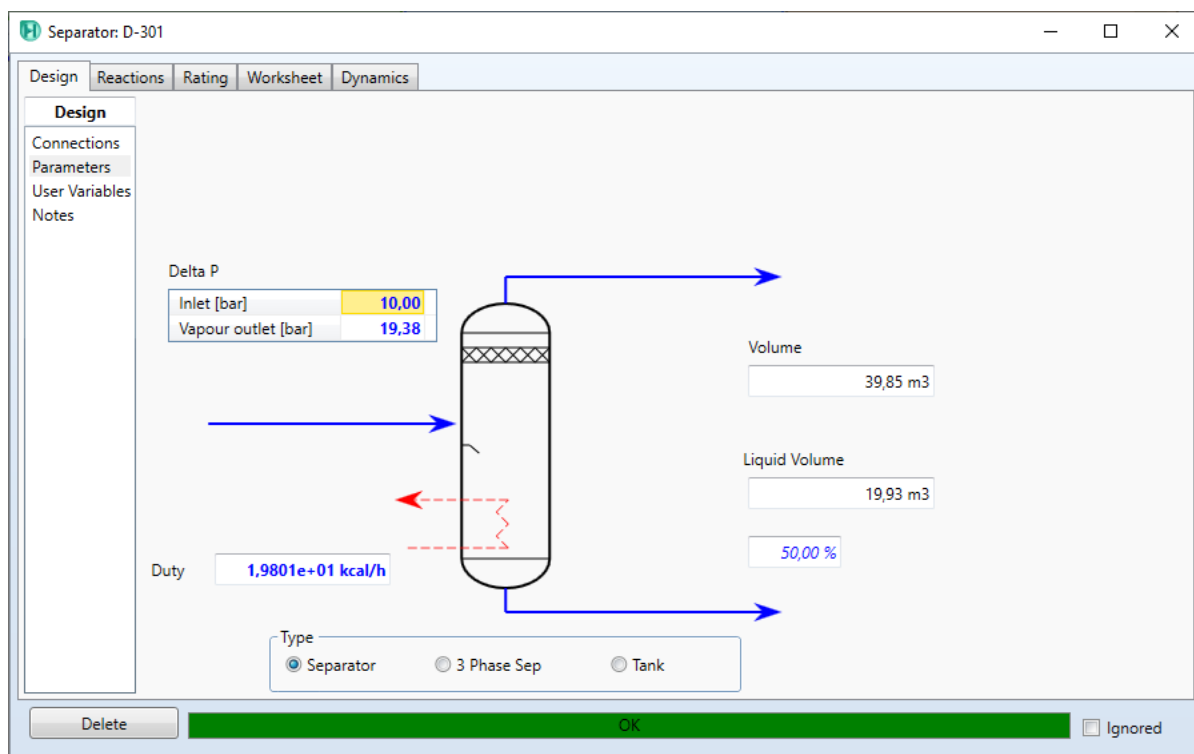


Figura 11. 9 Paràmetres de disseny del tanc de separació flash T-301 per Aspen Hysys.

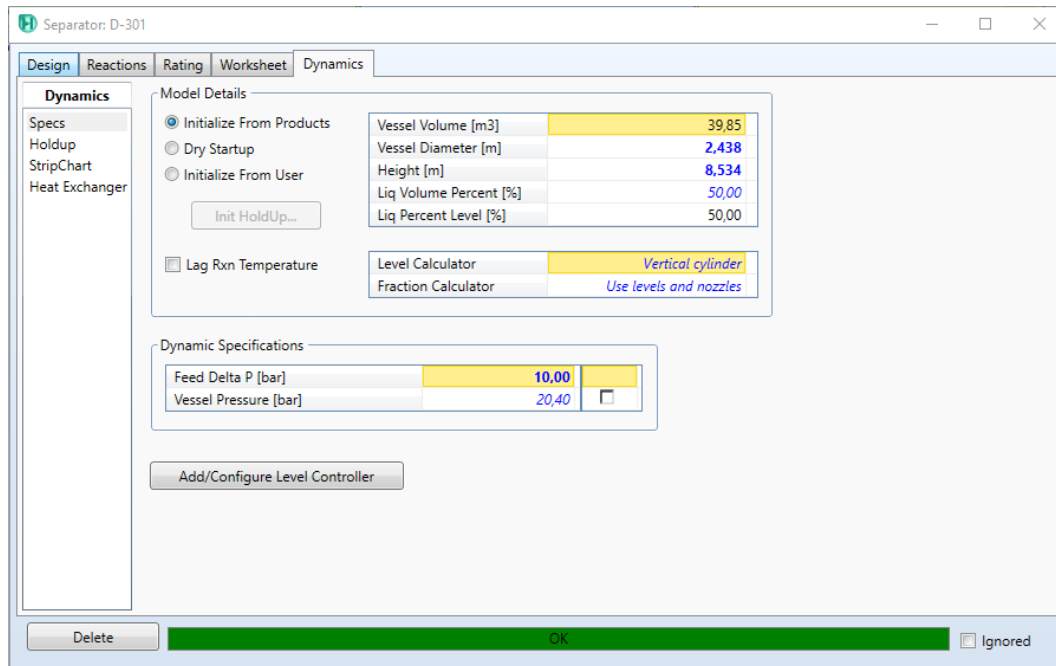


Figura 11. 10 Especificacions de disseny del tanc de separació flash T-301 per Aspen Hysys.

La primera columna de separació flash D-301, té un volum de 39,85 m³ amb un volum de líquid de 50%, un diàmetre de 2,44 m i una alçada de 8,53 m.

Un cop determinats els paràmetres de disseny del tanc, es calcula el gruix del tanc i dels capçals a partir del codi ASME de disseny de tancs a pressió, tal com es mostra al disseny de tanc a pressió.


Taula 11. 23 Paràmetres de disseny de la separació flash D-301 per Aspen Hysys.

Pressió (atm)	20,40
Temperatura (°C)	216
Volum (m³)	39,85
Diàmetre (m)	2,438
Alçada (m)	8,534
Relació H/D	3,5

11.3.1.2 DISSENY MECÀNIC EXTERN

Per realitzar el disseny mecànic extern de les separacions flash, es fa seguint el codi ASM de tanc a pressió, esmentat a l'**Apartat 11.15**. Les dimensions obtingudes per al separador flash D-301 són les recollides en la **Taula 11.25**.

Taula 11. 24 Paràmetres de disseny mecànic de la separació flash D-301.

 GLICAT	Paràmetres de disseny de separació flash D-301
Volum del líquid (m ³)	19,92
Volum total (m ³)	42,74
Alçada cos (m)	8,53
Gruix cos (m)	0,032
D extern cos (m)	2,50
Gruix capçal torisefèric (m)	0,049
D extern capçal torisefèric (m)	2,54
H capçals (m)	0,69
H total (m)	9,91
Pes cos buit (kg)	16982,26
Pes capçals (kg)	1431,27
Pes tanc buit (kg)	19844,81
Pes d'operació (kg)	40066,76

11.3.1.3 DISSENY DE L' AÏLLAMENT

Per garantir el funcionament correcte de les separacions flash, és necessari utilitzar un tipus d'aïllant. En aquest cas s'escull llana de roca, per mantenir les condicions d'operació.

Per determinar el gruix de l'aïllament, s'utilitza l'**Equació 11.36**:

$$t_{aïllant} = \frac{30}{3,6 \cdot \left(\frac{216 - 20}{250}\right)^{\frac{1}{4}}} = 8,86 \text{ cm}$$

En el cas de la separació D-301, el gruix de llana de roca requerit serà de 8,86, en concret s'escull un gruix d'aïllant de 9 cm ^[6].

11.3.2 SEPARADOR FLASH D-302

Tant el disseny amb el simulador com el disseny mecànic extern es realitzen igual que en el cas de la separació flash D-301 explicada anteriorment. A continuació es mostren les dades de disseny obtingudes.


11.3.2.1 DISSENY ASPEN HYSYS

Taula 11. 25 Paràmetres de disseny de la separació flash D-302 per Aspen Hysys.

Pressió (atm)	13,4
Temperatura (°C)	195,6
Volum (m³)	47,8
Diàmetre (m)	2,59
Alçada (m)	9,07
Relació H/D	3,5

11.3.2.2 DISSENY MECÀNIC EXTERN

Taula 11. 26 Paràmetres de disseny mecànic de la separació flash D-302.

 GLICAT	Paràmetres de disseny de separació flash D-302
Volum del líquid (m³)	23,91
Volum total (m³)	51,29
Alçada cos (m)	9,07
Gruix cos (m)	0,023
D extern cos (m)	2,64
Gruix capçal torisefèric (m)	0,034
D extern capçal torisefèric (m)	0,03
H capçals (m)	0,65
H total (m)	10,37
Pes cos buit (kg)	13358,02
Pes capçals (kg)	1115,61
Pes tanc buit (kg)	15589,25
Pes d'operació (kg)	39860,85

11.3.2.3 DISSENY AÏLLAMENT

Pel disseny de l'aïllament s'utilitzarà l'**Equació 11.36**, sabent la temperatura d'operació del separador i el diàmetre del cos.

$$t_{aïllant} = \frac{30}{3,6 \cdot \left(\frac{195,6 - 20}{264}\right)^{\frac{1}{4}}} = 9,23 \text{ cm}$$

En el cas de la separació D-301, el gruix de llana de roca requerit serà de 9,23 cm, en concret s'escull un gruix d'aïllant de 10 cm ^[6].

11.3.3 SEPARADOR FLASH D-303

Tant el disseny amb el simulador, com el disseny mecànic extern es realitzen igual que en el cas de la separació flash D-301 explicada anteriorment. A continuació es mostren les valors de disseny obtinguts.


11.3.3.1 DISSENY ASPEN HYSYS

Taula 11. 27 Paràmetres de disseny de la separació flash D-303 per Aspen Hysys.

Pressió (atm)	6,4
Temperatura (°C)	163,9
Volum (m³)	56,75
Diàmetre (m)	2,74
Alçada (m)	9,60
Relació H/D	3,5

11.3.3.2 DISSENY MECÀNIC EXTERN

Taula 11. 28 Paràmetres de disseny mecànic de la separació flash D-303.

 GLICAT	Paràmetres de disseny de separació flash D-303
Volum del líquid (m³)	28,37
Volum total (m³)	60,86
Alçada cos (m)	9,60
Gruix cos (m)	0,012
D extern cos (m)	2,77
Gruix capçal torisefèric (m)	0,018
D extern capçal torisefèric (m)	0,02
H capçals (m)	0,61
H total (m)	10,82
Pes cos buit (kg)	7997,37
Pes capçals (kg)	655,81
Pes tanc buit (kg)	9308,99
Pes d'operació (kg)	66065,23

11.3.3.3 DISSENY DE L'ÀILLAMENT

Pel disseny de l'aïllament s'utilitzarà l'**Equació 11.36**, sabent la temperatura d'operació del separador i el diàmetre del cos.

$$t_{aïllant} = \frac{30}{3,6 \cdot \left(\frac{163,9 - 20}{277}\right)^{\frac{1}{4}}} = 9,82 \text{ cm}$$

En el cas de la separació D-301, el gruix de llana de roca requerit serà de 9,82 cm. En concret s'escull un gruix d'aïllant de 10 cm ^[6].

11.3.4 SEPARADOR FLASH D-304

Tant el disseny amb el simulador com el disseny mecànic extern es realitzen igual que en el cas de la separació flash D-301 explicada anteriorment. A continuació es mostren les valors de disseny obtinguts.


11.3.4.1 DISSENY ASPEN HYSYS

Taula 11. 29 Paràmetres de disseny de la separació flash D-304 per Aspen Hysys.


Pressió (atm)	1,4
Temperatura (°C)	111,5
Volum (m³)	66,74
Diàmetre (m)	2,90
Alçada (m)	10,13
Relació H/D	3,5

11.3.4.2 DISSENY MECÀNIC EXTERN

Taula 11. 30 Paràmetres de disseny mecànic de la separació flash D-304.

 GLICAT	Paràmetres de disseny de separació flash D-304
Volum del líquid (m³)	33,36
Volum total (m³)	71,58
Alçada cos (m)	10,13
Gruix cos (m)	0,004
D extern cos (m)	2,90
Gruix capçal torisefèric (m)	0,006

Taula 11. 31 Continuació del la taula de paràmetres de disseny mecànic de la separació flash D-304.

 GLICAT	Paràmetres de disseny de separació flash D-304
D extern capçal torisefèric (m)	0,01
H capçals (m)	0,58
H total (m)	11,3
Pes cos buit (kg)	2902,58
Pes capçals (kg)	222,84
Pes tanc buit (kg)	3348,26
Pes d'operació (kg)	37306,56

11.3.4.3 DISSENY AÏLLAMENT

Pel disseny de l'aïllament s'utilitzarà l'**Equació 11.36**, sabent la temperatura d'operació del separador i el diàmetre extern de cos cilíndric.

$$t_{aïllant} = \frac{30}{3,6 \cdot \left(\frac{111,5 - 20}{290}\right)^{\frac{1}{4}}} = 11,12 \text{ cm}$$

En el cas de la separació flash D-304, el gruix de llana de roca requerit serà de 11,12 cm, en concret s'escull un gruix d'aïllant de 12 cm ^[6].

11.4. COLUMNES DE DESTIL·LACIÓ

El disseny de les columnes de destil·lació C-401 i C-402 es realitzen mitjançant el programa Aspen Hysys V10 i seguint el codi ASME pel disseny de recipients a pressió. Per una banda, el simulador permet dissenyar el funcionament i els paràmetres d'operació de les columnes de separació. Per altra banda, seguint el codi ASME, es realitzen els càlculs mecànics externs com les dimensions de les parets de les columnes o els capçals. Abans de presentar l'exemple de disseny de les columnes, s'estudien diferents opcions de disseny general.

11.4.1. DISSENY GENERAL

Es plantegen dues opcions de disseny de les columnes, les columnes de rebliment o empacades i les columnes de plats. En funció de les necessitats d'operació com la temperatura, la pressió o els cabals de matèria i en funció de les dimensions de les columnes.

En definitiva, escollir entre un tipus de columna o l'altre es pot dir que es realitza de manera dinàmica, és a dir, amb l'ajuda del simulador amb el qual es treballa s'itera amb les diferents opcions de disseny, s'observa el comportament de la columna i es decideix el disseny amb els millors resultats.

Tot i això, els coneixements previs, la recerca d'informació i les observacions a la indústria permeten prendre les millors decisions possibles a l'hora d'escollir el disseny de les columnes de destil·lació sense que existeixi una dependència al programa Aspen Hysys V10.

Les columnes de rebliment o empacades són generalment més eficients, ja que disposen d'una major superfície de contacte entre el vapor i el líquid que afavoreix la transferència d'energia. Aquestes columnes també estan indicades per aquelles operacions on la pèrdua de pressió és un paràmetre crític. En aquest tipus de columna es disposa de diferents materials de rebliment en funció de les característiques dels components i d'operació, per tant, s'entén que és un disseny indicat per treballar per exemple amb líquids corrosius. També són indicades per treballar amb líquids amb possibilitats de formar escumes, ja que l'agitació en les columnes de rebliment entre el líquid i el vapor és menor. Aquest disseny de columna s'utilitza per diàmetres de columna petits, generalment per sota del metre de diàmetre.

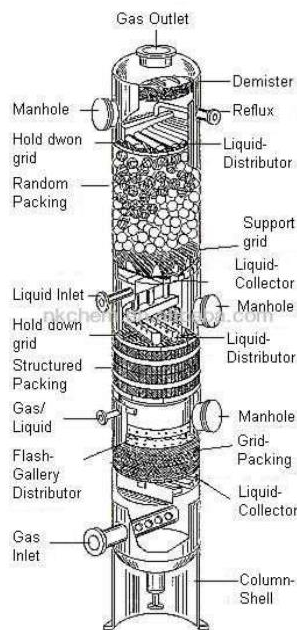


Figura 11. 11 Exemple d'una columna de rebliment o empacada

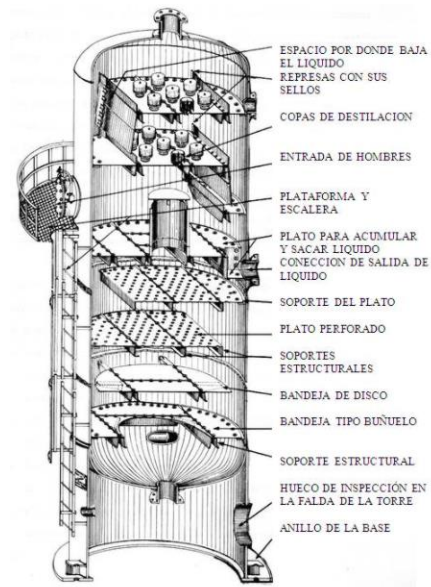


Figura 11. 12 Exemple d'una columna de plats

En aquest cas, les primeres iteracions de disseny s'aproximaven a diàmetres grans, majors cabals de vapor que de líquid, cabals sense compostos corrosius o amb possibilitat de formar escumes i on la pèrdua de pressió no és un paràmetre crític.

En definitiva, es decideix emprar un disseny de columna de plats per les columnes C-401 i C-402. Les diferències entre els costos operatius no són prou significatius entre les dues opcions de disseny, però si es pot reduir el cost del manteniment i la neteja escollint el disseny d'una columna de plats degut a la facilitat d'extreure aquests.

Per últim abans d'entrar en l'exemple de disseny, cal esmentar els diferents tipus de plats que es podran instal·lar a les columnes i els avantatges o inconvenients que ens aporta cadascun dels tipus. S'estudien 3 tipus de plats per instal·lar a les columnes de separació de la planta de Glicat.

Bubble caps (campanes) [8]

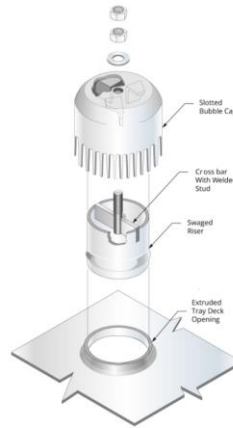


Figura 11. 13 Instal·lació de campanes o bubble caps als forats dels plats de la columna

Sieve (perforat o tamisat) [9]

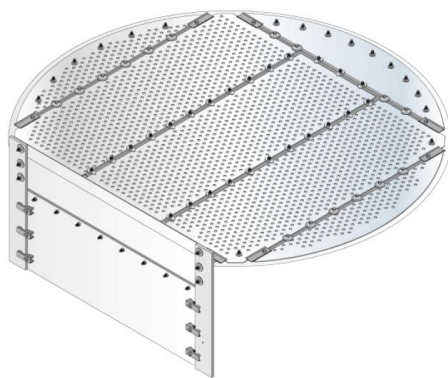


Figura 11. 14 Instal·lació perforada simple o sieve al plat de la columna

Valve (vàlvules)

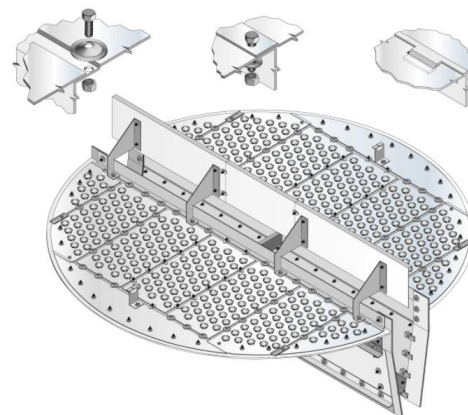


Figura 11. 15 Instal·lació d'una vàlvula o valve als forats dels plats de la columna

Quan la columna es troba operativa, el vapor circula en direcció ascendent de manera lliure en els plats *sieve* interaccionant amb el líquid que es troba acumulat al plat. En les mateixes perforacions dels plats *sieve* es pot instal·lar una campana o *bubble caps* sobre un petit tub per on circula el vapor de la mateixa manera que ho fa en les perforacions simples, per fer-lo sortir en direcció contrària i de manera descendent.

D'aquesta manera es provoca la sortida del vapor a través del líquid del plat provocant un bombolleig i una millor transferència d'energia. Els plats de vàlvules també es poden instal·lar en les mateixes perforacions simples. Aquestes, que poden ser fixes o mòbils en funció de les necessitats d'operació, provoquen una resistència al pas dels vapors que fan circular el vapor en direcció perpendicular a la

vertical. Aquest fet permet una millor interacció entre líquid i vapor. A la **Taula 11.32** es presenta una comparativa entre els diferents plats que es poden instal·lar.

Taula 11. 32 Comparativa dels tipus de plats estudiats

	Bubble cap	Sieve	Valve
Capacitat	Moderada	Alta	Molt alta
Caiguda de pressió	Alta	Baixa	Moderada
Eficàcia	Moderada	Alta	Alta
Embrutiment	Alt	Baix	Moderat
Manteniment	Alt	Baix	Moderat
Cost	Alt	Baix	Baix-Moderat

11.4.2 COLUMNA DE DESTIL·LACIÓ D-401

A la planta de Glicat, es troben dues columnes que es dissenyen seguint la mateixa metodologia en tots dos casos. En aquest apartat es presenta l'exemple de disseny de la columna C-401. La funció de la columna C-401 és separar tota l'aigua possible restant del corrent P-304 que prové de la zona de deshidratació (columnes de separació flash).

A la **Taula 11.33** s'observen les composicions del corrent d'entrada a la columna i l'objectiu d'aquesta és que el corrent P-401, la sortida per cues de la columna, només contingui MEG, DEG i TEG. A més, cal remarcar la importància d'aconseguir un equilibri entre l'absència d'aigua al corrent P-401 i la mínima quantitat possible del producte MEG al corrent A-401.

Taula 11. 33 Composició del corrent P-304 a l'entrada de la columna C-401

Component	Fracció Molar
Aigua	0.9272
MEG	0.0712
DEG	0.0004
TEG	0.0012

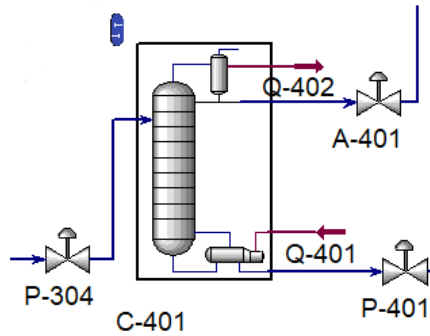


Figura 11. 16 Esquema bàsic de la columna C-401 a Aspen Hysys V10.

11.4.2.1 DISSENY ASPEN HYSYS

Abans de començar el disseny de la columna, s'han de conèixer les composicions d'entrada, les composicions desitjades a la sortida, les pressions al condensador i al reboiler i la relació de reflux. En aquest moment, es realitza al simulador una primera aproximació de les condicions d'operació de la columna amb l'eina Shortcut. Com es pot observar a la **Figura 11.17**, es desitja que la composició d'aigua al corrent P-401 sigui mínima o nul·la, al igual que la composició de MEG al corrent A-401. Les pressions al condensador i al reboiler i el reflux extern s'han obtingut iterant fins trobar el resultat òptim ^[30].

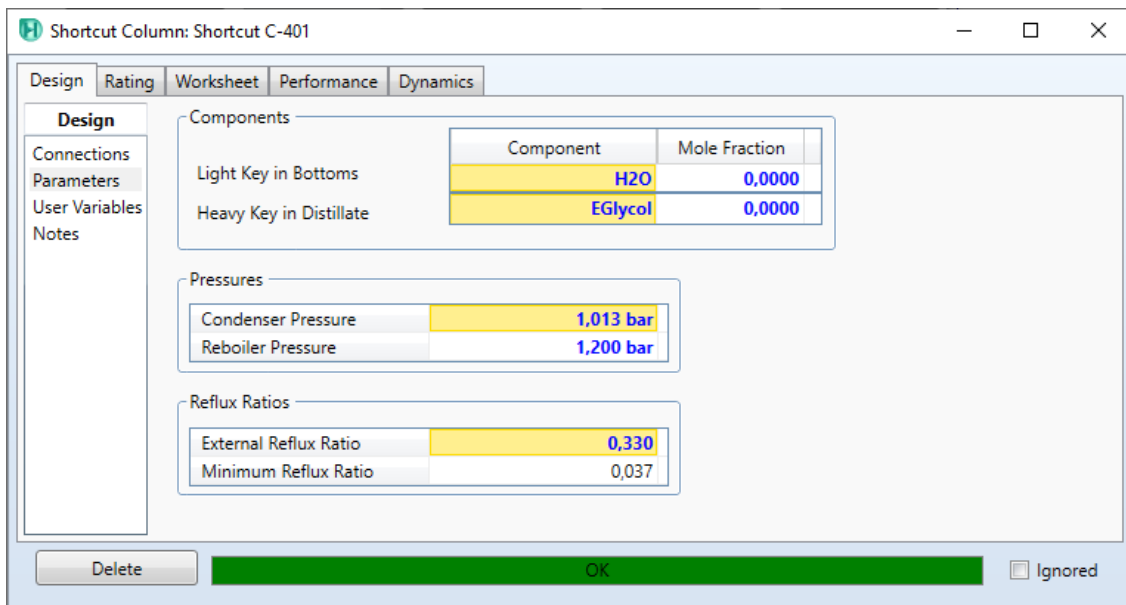


Figura 11. 17 Paràmetres necessaris introduïts a l'eina Shortcut.

Com s'observa a la **Figura 11.18** el simulador calcula unes condicions generals d'operació que s'hauran d'introduir al disseny de la columna de destil·lació. L'eina indica que el nombre de plats mínims per poder realitzar la separació desitjada és de 9 plats i que el plat número 4 és l'òptim per introduir l'aliment.

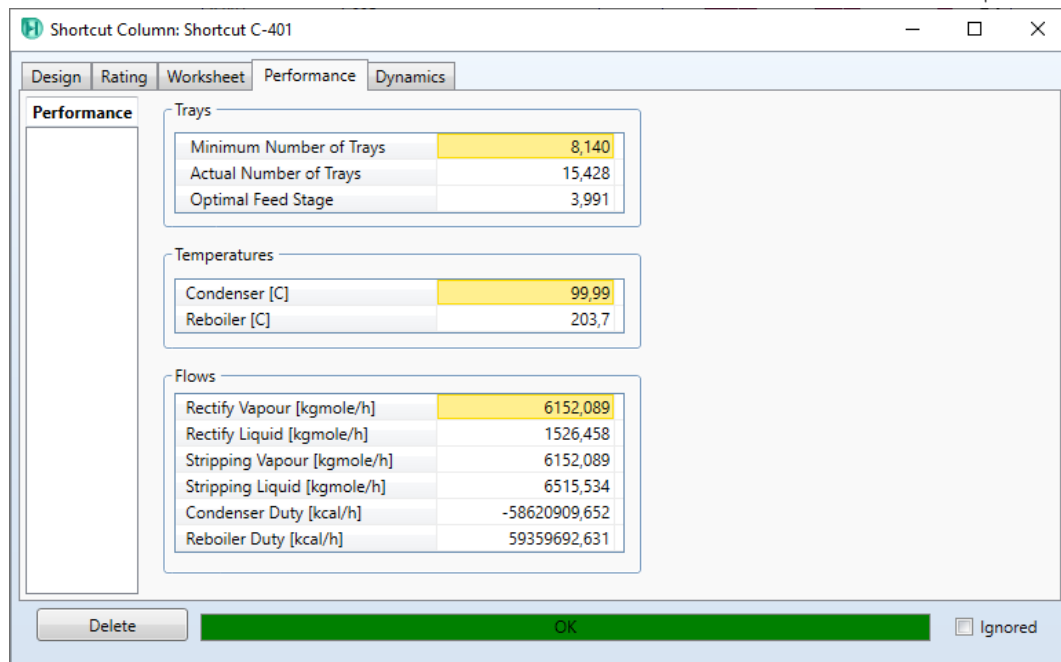


Figura 11. 18 Condicions de disseny obtinguts amb l'eina Shortcut.

En aquest moment es comença el disseny de la columna C-401 realitzant les connexions pertinents de corrents de matèria i energia com s'observa a la **Figura 11.19**. Un cop s'introdueixen tots els valors utilitzats i facilitats per l'eina *Shortcut* es decideix treballar amb un condensador total per tal d'obtenir en estat líquid el corrent A-401.

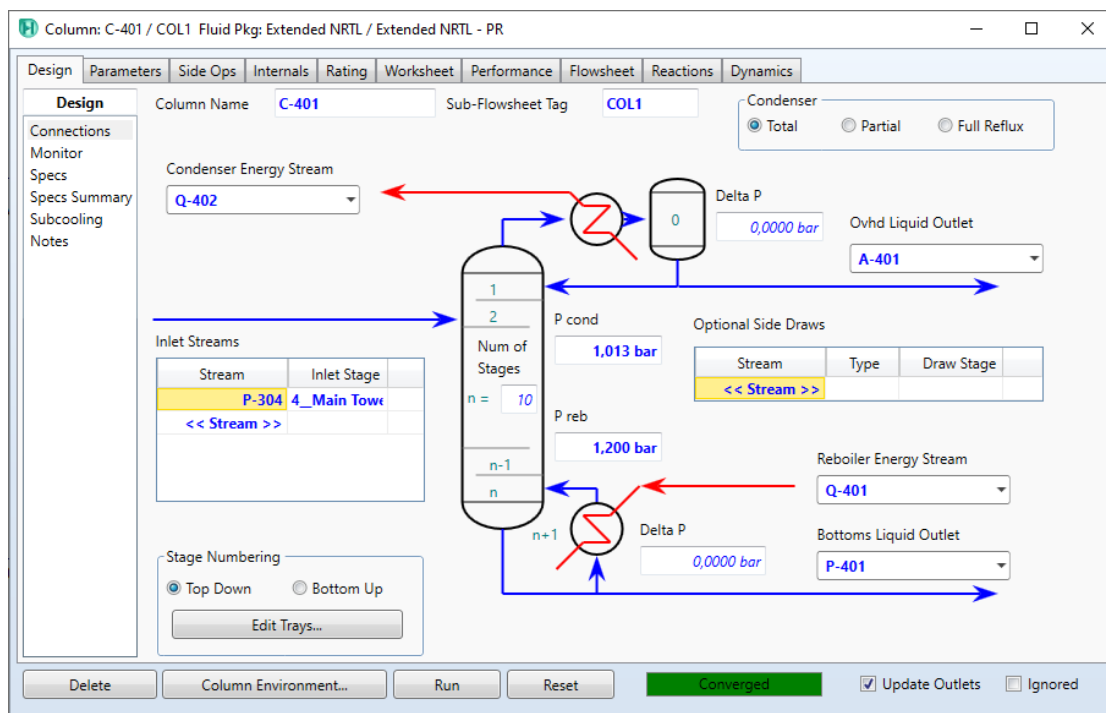


Figura 11. 19 Esquema general de la columna C-401.

En aquest punt del disseny s'especifica el cabal de destil·lat desitjat com es pot observar a la **Figura 11.20**. La simulació té lloc en aquest moment, els resultats s'obtenen en qüestió de segons. Es verifica l'absència d'aigua al corrent P-401 així com la validesa de tots els resultats obtinguts. A les següents figures es poden observar diferents paràmetres interessants que el simulador permet obtenir.

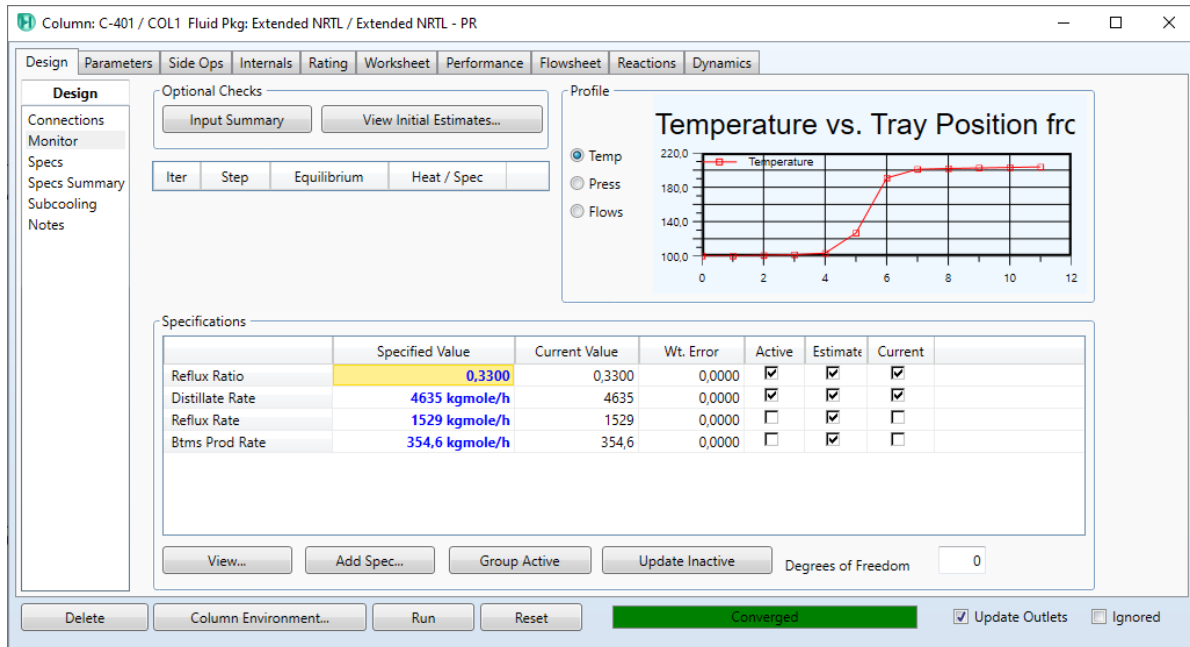


Figura 11. 20 Especificacions actives per afinar el disseny de la columna als resultats desitjats

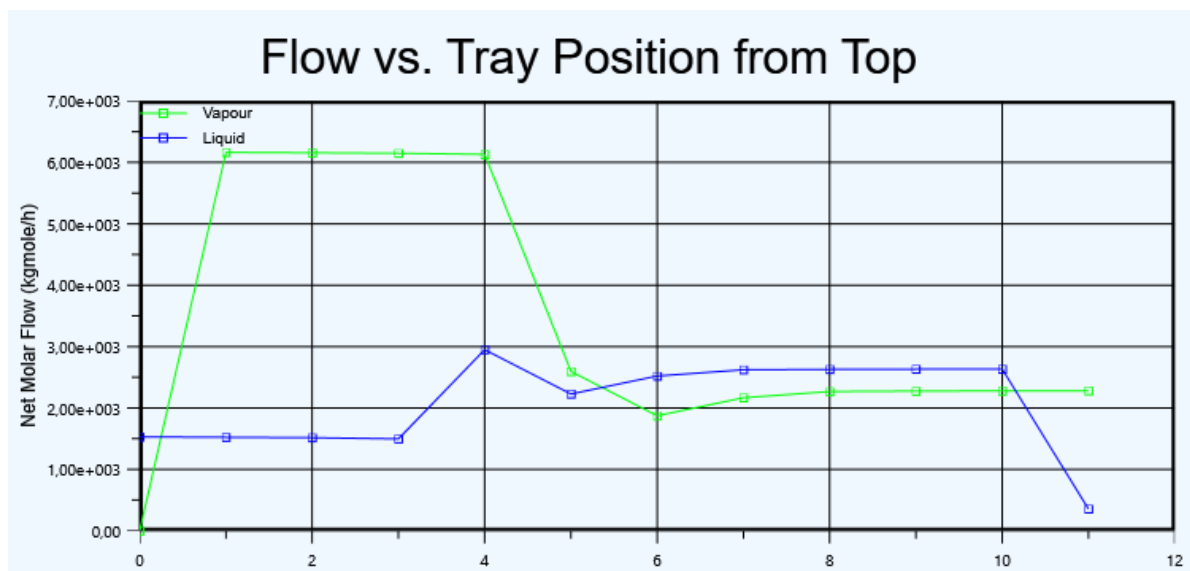


Figura 11. 21 Cabals de vapor i líquid des del plat 0 (condensador) fins al plat 11 (reboiler)

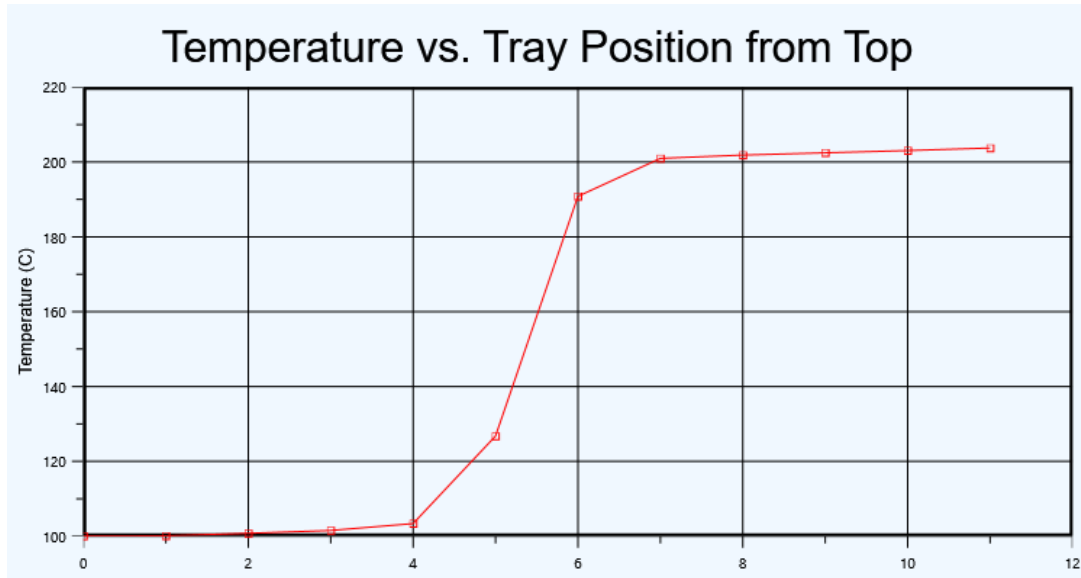


Figura 11. 22 Evolució de la temperatura des del plat 0 (condensador) fins al plat 11 (reboiler)

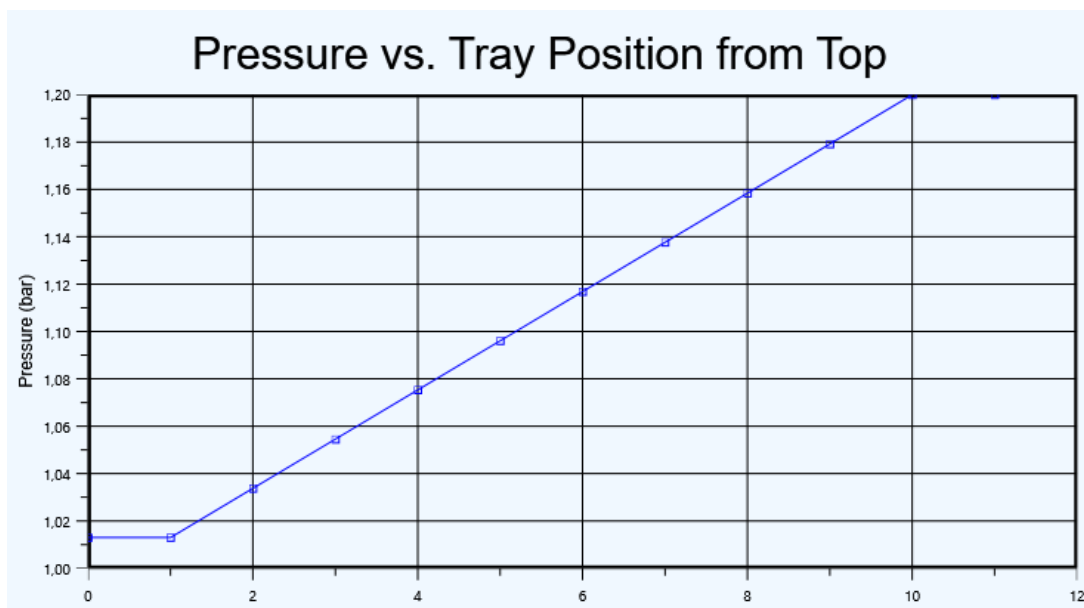




Figura 11. 23 Pressió d'operació des del plat 0 (condensador) fins al plat 11 (reboiler)

A la **Taula 11.34** es presenten els balanços de matèria obtinguts a la columna C-401 i a la **Taula 11.35** es presenta un resum de les característiques que es coneixen fins aquest punt de les columnes C-401 i C-402. La presentació dels resultats del disseny final es poden trobar al **Capítol 2. Equips**.

Taula 11. 34 Balanços de matèria de la columna C-401.

	P-304	A-401	P-401
Cabals màssics (kg/h)	106.521,4	83.881,7	22.639,7
Cabals molars (kgmols/h)	4989,1	4634,5	354,6
Fracció molar			
Aigua	0,9272	0,9981	0,0000
MEG	0,0712	0,0019	0,9770
DEG	0,0004	0,0000	0,0056
TEG	0,0012	0,0000	0,0174

Taula 11. 35 Paràmetres generals de disseny de les columnes de plats.

	Columna C-401
Número de plats	10
Plat de l'aliment	4
Relació de reflux	0,33
Cabal molar destil·lat (kmol/h)	4.634,5
Pressió al condensador (bar)	1,013
Temperatura al condensador (°C)	100,0
Pressió al reboiler (bar)	1,2
Temperatura al reboiler (°C)	203,7

11.4.2.2 DISSENY MECÀNIC INTERN

El simulador Aspen Hysys V10 permet dissenyar la mecànica interna de les columnes. La geometria dels plats, el tipus de plat, la distància entre ells, el diàmetre de les seccions i, indirectament, l'alçada de la columna que, entre d'altres, són algunes de les característiques que es defineixen en aquest apartat.

Es defineixen dues seccions de la columna dividint-la per la zona d'alimentació. D'aquesta manera, s'obté una secció del plat número 1 (primer plat per caps) fins al plat número 4 (plat d'alimentació). L'altre secció esta formada pels plats que van des del plat número 5 fins al plat número 10.

De la mateixa manera que el disseny funcional de la columna, es considera un disseny dinàmic. L'objectiu del disseny intern és aconseguir el màxim rendiment dels plats aconseguint un equilibri entre els diferents paràmetres que es troben al simulador. La determinació de tots els paràmetres que es presenten en aquest apartat i que han definit el disseny mecànic intern de les columnes de Glicat es realitza de manera iterativa estudiant el comportament de la columna davant un canvi amb l'ajuda del simulador i eines com la de la **Figura 11.24**.

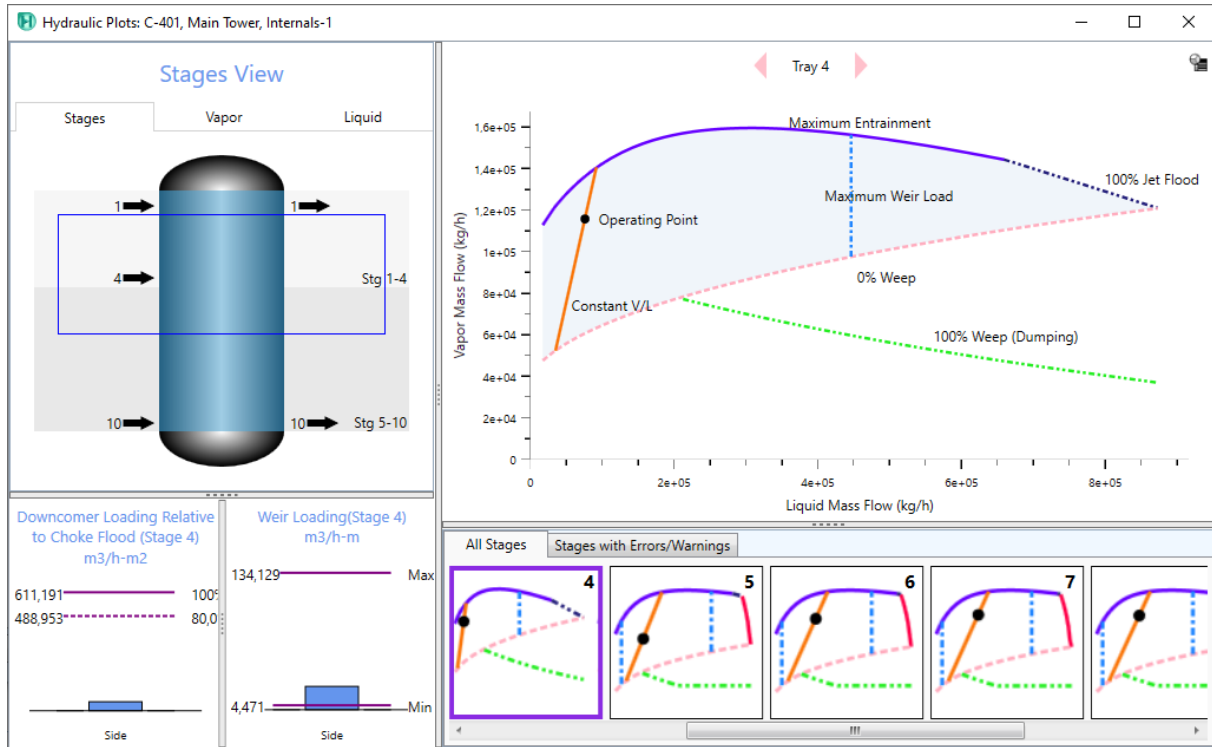


Figura 11. 24 Comportament intern de la columna C-401

Com es pot observar a la **Figura 11.24**, l'equilibri entre les cabals de líquid i vapor és crític per un bon funcionament de la mateixa. Per exemple, el *weeping*, que és la pluja de líquid per les perforacions del plat, fa disminuir l'eficiència dels plats. Per evitar aquest comportament s'ha de mantenir el suficient cabal de vapor per un determinat cabal d'aigua, o no augmentar en excés el cabal de líquid per un determinat cabal de vapor. La línia discontinua de color rosa de la figura indica per quins cabals la columna comença a operar amb *weeping*.

A la **Figura 11.25**, es presenta un resum del disseny intern de la columna C-401 realitzat amb el simulador Aspen Hysys V10. Es pot observar que l'alçada teòrica de la columna és de 14 metres i que la distància entre plats varia d'una secció a un altre. L'alçada és de 8 metres del plat número 1 al plat número 4 i de 6 metres del plat número 5 al plat número 10.

Com s'ha esmentat durant aquest apartat del disseny de les columnes, s'ha escollit instal·lar columnes de plats. La selecció del tipus de plat s'ha determinat pel seu baix cost tant d'instal·lació com de manteniment, per la seva ràpida instal·lació i retirada, per la seva capacitat i per la seva eficàcia. Es consideren els plats *sieve* els indicats per les seves característiques i el rendiment d'operació.

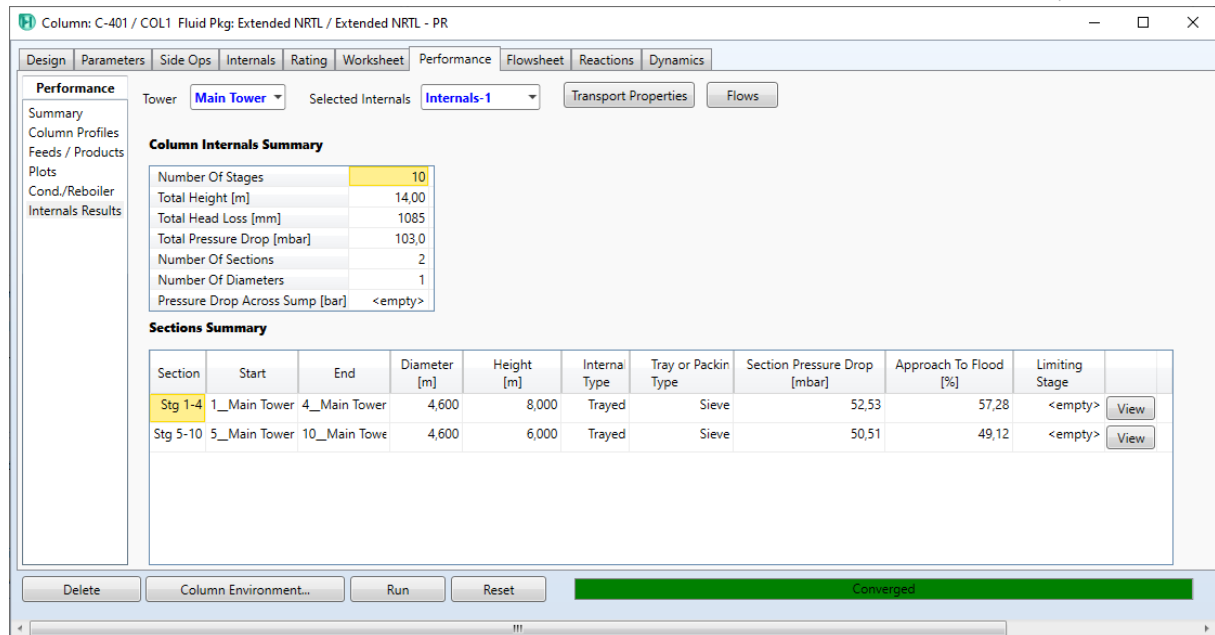



Figura 11. 25 Resum del disseny intern de la columna C-401

A la **Taula 11.36** es presenta un resum de les característiques que s’han definit en aquest apartat amb l’ajuda del simulador Aspen Hysys V10.

Taula 11. 36 Paràmetres generals del disseny mecànic intern de la columna de plats C-401.

	Columna C-401	
	Plats 1-4	Plats 5-10
Seccions		
Distància entre plats (m)	2	0,4
Alçada secció (m)	8	2,4
Alçada columna (m)	10,40	
Diàmetre (m)	4,6	
Tipus de plat	Sieve	
Passos per plat	1	2
Número d’orificis	10.495	10.495
Diàmetre d’orificis (mm)	12,7	12,7
Alçada safata (mm)	166,7	83,33

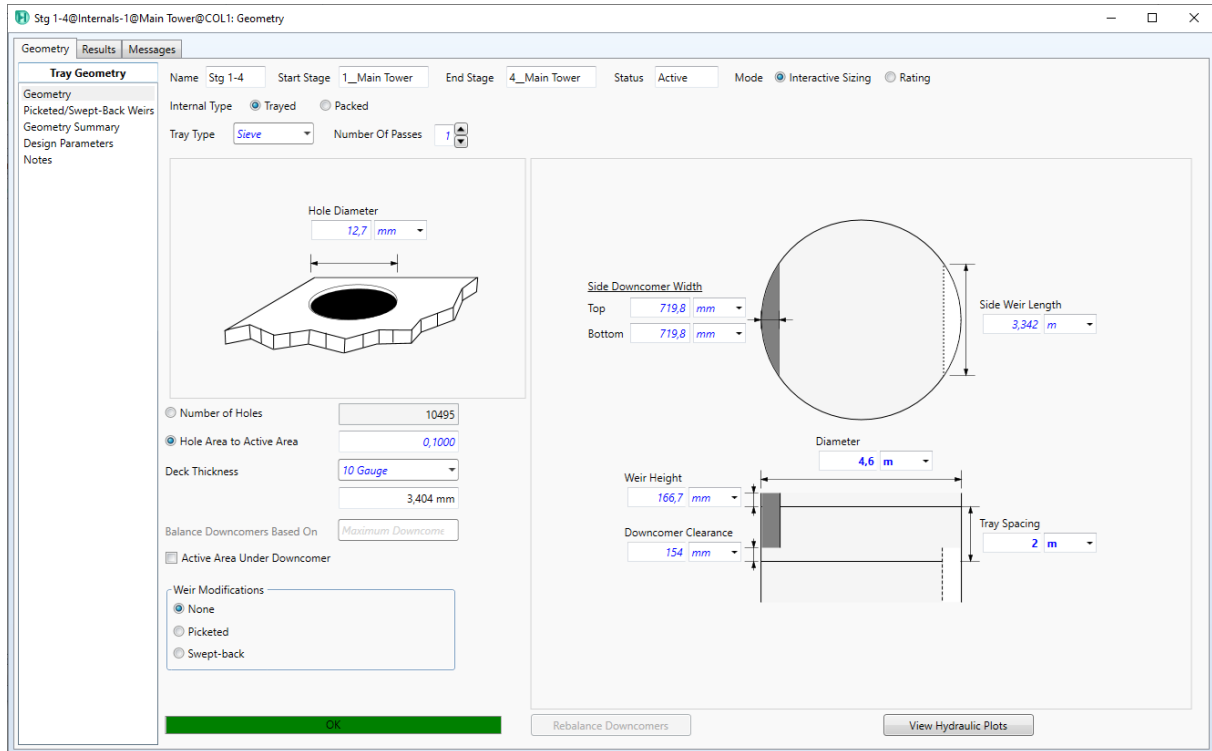


Figura 11. 26 Geometria dels plats sieve 1-4 de la columna C-401

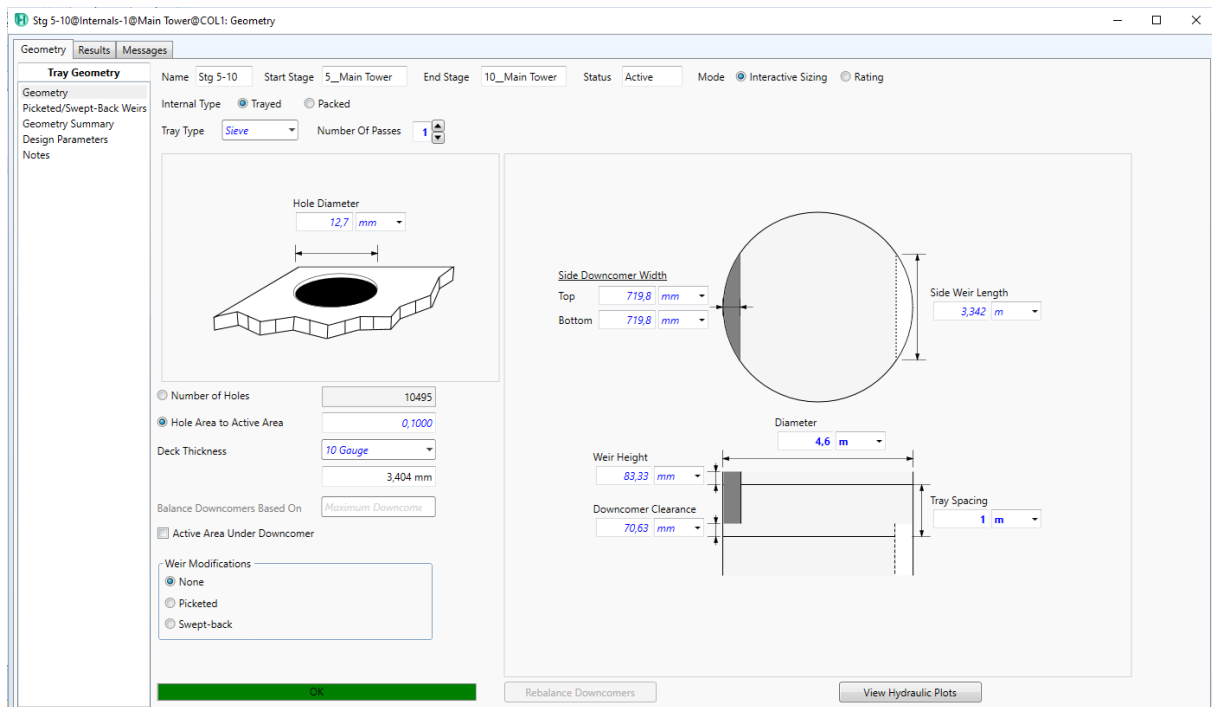



Figura 11. 27 Geometria dels plats sieve 5-10 de la columna C-401.

11.4.2.3 DISSENY MECÀNIC EXTERN

El disseny mecànic extern de la columna de destil·lació seguirà el codi ASME de tancs a pressió explicat a l'**Apartat 11.1.5**.

A continuació es mostren a la **Taula 11.37** les dades del disseny mecànic obtingudes.

Taula 11. 37 Paràmetres de disseny mecànic extern de la columna de destil·lació C-401.

 GLICAT	Paràmetres de disseny de la columna de destil·lació C-401
Volum total (m³)	252,13
Alçada cos (m)	14,00
Gruix cos (m)	0,004
D extern cos (m)	4,61
Gruix capçal torisefèric (m)	0,006
D extern capçal torisefèric (m)	4,61
H capçals (m)	0,91
H total (m)	15,83
Pes cos buit (kg)	6824,65
Pes capçals (kg)	605,77
Pes tanc buit (kg)	8036,19
Pes d'operació (kg)	260169,74

11.4.2.4 DISSENY AÏLLAMENT

Per calcular el gruix de l'aïllament s'utilitzarà l'**Equació 11.36**, sabent la temperatura d'operació del separador i el diàmetre extern de cos cilíndric, i escollint llana de roca com a material de disseny.

$$t_{aïllant} = \frac{30}{3,6 \cdot \left(\frac{200 - 20}{461}\right)^{\frac{1}{4}}} = 10,45cm$$


En el cas de la separació flash D-304, el gruix de llana de roca requerit serà de 10,45 cm, en concret s'escull un gruix d'aïllant de 11 cm, ja que és la mida estàndard més propera del proveïdor ^[6].

11.4.2 COLUMNA DE DESTIL·LACIÓ C-402

La columna de destil·lació C-402 es dissenya de la mateixa manera que la columna C-401 explicada a l'apartat anterior.


A continuació es mostren dues taules amb el resum de paràmetres obtinguts per al disseny mecànic intern, a partir del simulador Aspen Hysys V10. I per últim, a la **Taula 11.40**, es recullen els valor obtinguts del disseny de mecànic extern seguint la normativa del codi ASME esmentat anteriorment.

Taula 11. 38 Paràmetres generals del disseny mecànic intern de la columna de plats C-402.

 GLICAT	Columna C-402	
Número de plats	30	
Plat de l'aliment	3	
Relació de reflux	0,32	
Cabal molar destil·lat (kmol/h)	346,5	
Pressió al condensador (bar)	0,8	
Temperatura al condensador (°C)	189,8	
Pressió al reboiler (bar)	0,8	
Temperatura al reboiler (°C)	270,9	


11.4.2.1 DISSENY MECÀNIC INTERN

Taula 11. 39 Paràmetres generals del disseny mecànic intern de la columna de plats C-402.

 GLICAT	Columna C-402	
Seccions	Plats 1-3	Plats 4-30
Distància entre plats (m)	1,2	0,6
Alçada secció (m)	3,6	16,2
Alçada columna (m)	19,80	
Diàmetre (m)	2,1	
Tipus de plat	Sieve	
Passos per plat	1	1
Número d'orificis	2.187	2.187
Diàmetre d'orificis (mm)	12,7	12,7
Alçada safata (mm)	100	50

11.4.2.2 DISSENY MECÀNIC EXTERN

Taula 11. 40 Paràmetres de disseny mecànic extern de la columna de destil·lació C-402.

 GLICAT	Paràmetres de disseny de la columna de destil·lació C-402
Volum total (m ³)	70,43
Alçada cos (m)	19,8
Gruix cos (m)	0,002
D extern cos (m)	2,10
Gruix capçal torisefèric (m)	0,003
D extern capçal torisefèric (m)	2,11
H capçals (m)	0,42
H total (m)	20,63
Pes cos buit (kg)	2108,77
Pes capçals (kg)	54,51
Pes tanc buit (kg)	2217,78
Pes d'operació (kg)	72649,38

11.4.2.3 DISSENY AÏLLAMENT

Per calcular el gruix de l'aïllament s'utilitzarà l'**Equació 11.36**, sabent la temperatura d'operació del separador i el diàmetre extern de cos cilíndric, i escollint llana de roca com a material de disseny.

$$t_{aïllant} = \frac{30}{3,6 \cdot \left(\frac{253 - 20}{210,4}\right)^{\frac{1}{4}}} = 8,12 \text{ cm}$$

En el cas de la separació flash D-304, el gruix de llana de roca requerit serà de 8,12 cm, en concret s'escull un gruix d'aïllant de 9 cm, ja que és la mida estàndard més propera del proveïdor ^[6].

11.5. BESCANVIADORS DE CALOR

Els bescanviadors de calor que es troben a la planta de Glicat són equips imprescindibles que permeten escalfar o refredar els cabals de procés segons les necessitats d'aquest. Aquests equips es dissenyen amb una extensió del simulador Aspen Hysys V10, que permet dissenyar les columnes de destil·lació i, de fet, el procés de manera global.

L'extensió Aspen Exchanger Design & Rating V10 permet dissenyar rigorosament un bescanviador de calor. A la planta de Glicat, tots els bescanviadors que es dissenyen són bescanviadors de carcassa i tubs per necessitats del procés.

Aquest tipus de bescanviadors és un dels més utilitzats a la indústria química. Les seves característiques fan que sigui un bescanviador amb una gran capacitat d'adaptació a les diferents condicions d'operació que una planta química requereix.

Concretament es dissenyen 9 bescanviadors de carcassa i tubs a la planta de Glicat. En aquest manual de càlculs es presenta un exemple de disseny del bescanviador E-302. Abans, però, s'estudien diferents opcions de disseny.

11.5.1 DISSENY GENERAL

Segons la manera en la qual interactuen els dos corrents que realitzen el bescanvi de calor, hi ha dos tipus de bescanviadors: de contacte directe i de contacte indirecte. Els bescanviadors que es dissenyen en aquest cas, tenen la finalitat d'escalfar o refredar únicament corrents del procés i no corrents que pertanyen a l'àrea de serveis. Per la qual cosa es dissenyen bescanviadors de contacte indirecte. Dels tipus de bescanviadors indirectes, els de carcassa i tubs són els més versàtils i els més adequats per les condicions de la planta Glicat.

El disseny i la construcció de tots els bescanviadors segueixen el codi de disseny mecànic *ASME Sec VIII Div 1* [4]. Aquest codi regula com ha de ser el disseny i la construcció de calderes i recipients a pressió utilitzats a la indústria. L'aplicació d'aquests requeriments es troba de manera intrínseca al simulador amb el que es treballa.

11.5.1.1 CLASSIFICACIÓ TEMA

Per definir i classificar els bescanviadors de calor de carcassa i tubs, es segueixen les normes TEMA (Tubular Exchanger Manufacturers Association) [21]. TEMA és una institució mundialment reconeguda per la fabricació de bescanviadors de carcassa i tubs. La classificació TEMA divideix els bescanviadors en tres parts com es pot observar a la **Figura 11.24**. Cada part del bescanviador representa una lletra.

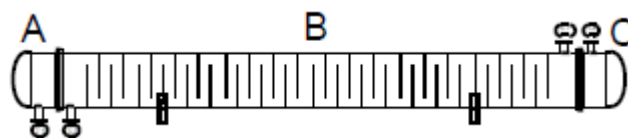


Figura 11. 24 Bescanviador de carcassa i tubs: A. Capçal anterior B. Carcassa C. Capçal posterior.

La primera lletra fa referència al capçal frontal o anterior. La segona lletra, indica el tipus de carcassa. La tercera lletra representa el tipus de capçal posterior instal·lat. En el cas de l'exemple suposat de la **Figura 11.18**, el tipus de bescanviador TEMA s'anomenaria ABC.

El disseny dels bescanviadors que s'instal·len a la planta de Glicat són de dos tipus TEMA diferents. Es dissenyen cinc bescanviadors BEM i quatre BEP. La primera lletra en comú "B" fa referència a un tipus de capçal integrat àmpliament utilitzat a la indústria pel seu baix cost.

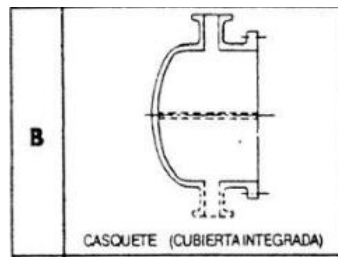


Figura 11. 25 Capçal anterior tipus B

La segona lletra en comú "E" fa referència al disseny de la carcassa, que en aquest cas, és d'un únic pas de carcassa. Aquest disseny de carcassa és òptim per la gran majoria d'aplicacions industrials i és el disseny més utilitzat a la indústria

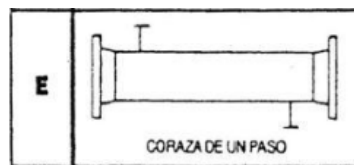


Figura 11. 26 Carcassa tipus E.

El capçal posterior de tipus "M" es representa amb la tercera lletra. És un capçal similar al frontal de tipus "B".

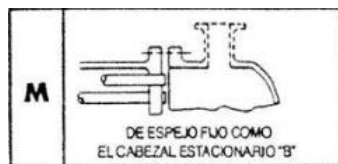


Figura 11. 27 Capçal posterior tipus M.

Els capçals posteriors flotants de tipus "P" també és un dels més utilitzats a la indústria per la seva versatilitat i la seva facilitat d'extreure el capçal per la neteja dels tubs i la carcassa.

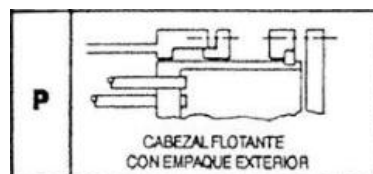


Figura 11. 28 Capçal posterior tipus P.

11.5.1.2 DISTRIBUCIÓ DELS TUBS

La distribució dels tubs dins de la carcassa és un altre factor de disseny general a un bescanviador de carcassa i tubs i es coneix amb el terme *pitch*. Quan es fa referència a aquest terme es vol indicar dos

conceptes sobre la disposició dels tubs dins la carcassa: la distància entre els centres dels tubs i la geometria de la distribució dels tubs.

A la planta de Glicat els tubs s'instal·len amb un *pitch* triangular rotat 30° respecte a la direcció del flux. Amb aquesta configuració s'obté el coeficient de transferència de calor més elevat. Malauradament, aquesta característica es paga amb un feix de tubs més compacte que complicarà les tasques de neteja i manteniment dels bescanviadors. Les geometries més utilitzades a la indústria són les següents:

- *Pitch* triangular rotat 30°



Figura 11. 29 *Pitch* triangular rotat 30° .

- *Pitch* quadrat

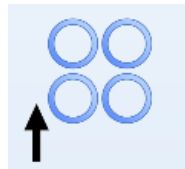


Figura 11. 30 *Pitch* quadrat

- *Pitch* quadrat rotat 45°

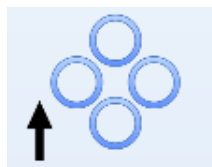


Figura 11. 31 *Pitch* quadrat rotat 45°

11.5.1.3 LOCALITZACIÓ DELS FLUIDS

La circulació dels fluids per la carcassa o pel feix dels tubs és un altre factor a l'hora de dissenyar els bescanviadors. Sempre que sigui possible, el fluid amb condicions de pressió i temperatura més elevada circularan per l'interior dels tubs. El disseny d'una carcassa que hagi de suportar condicions operatives extremes pot resultar en una construcció complicada i de costos molt elevats. Es recomana que en el cas de treballar amb líquids corrosius, aquests circulin pels tubs. L'extracció dels tubs i el seu recanvi és una tasca molt més senzilla que el canvi de la carcassa. Es recomana que en el cas de treballar amb líquids molt viscosos, aquests circulin per la carcassa.

11.5.1.4 FACTOR D'EMBRUTIMENT

El factor d'embrutiment és la resistència que es genera al flux de calor per la formació d'embrutiment, corrosió i altres desperfectes a les parets dels tubs dels bescanviadors. Cada fluid té un factor d'embrutiment característic.

Les resistències a l'embrutiment s'obtenen a partir de la bibliografia [20] i es fan servir tres valors de resistència diferents per dissenyar els bescanviadors de la planta de Glicat. Un valor de 0,00009 (m²·K)/W per aquells corrents on l'aigua és el corrent fred, un valor de 0,00035 (m²·K)/W per aquells corrents de solucions riques en glicols i un valor de 0,00018 (m²·K)/W pel corrent que conté el fluid de transferència de calor orgànic sintètic Dowtherm A.

COOLING WATER - Fouling Factors in [m ² K/W]				
Conditions	cooling water < 50 ° C cooled fluid < 120 ° C		cooling water > 50 ° C cooled fluid > 120 ° C	
	Water velocity v < 1 m/s	v > 1 m/s	v < 1 m/s	v > 1 m/s
Type of Water				
Sea	0.00009	0.00009	0.00018	0.00018
Brackish	0.00035	0.00018	0.00053	0.00035
Cooling tower with inhibitor	0.00018	0.00018	0.00035	0.00035
Cooling tower without inhibitor	0.00053	0.00053	0.00088	0.00070
City grid	0.00018	0.00018	0.00035	0.00035
River mimimum	0.00018	0.00018	0.00035	0.00035
River average	0.00053	0.00035	0.00070	0.00035
Engine jacket	0.00018	0.00018	0.00018	0.00018
Demineralized or distilled	0.00009	0.00009	0.00009	0.00009
Treated Boiler Feedwater	0.00018	0.00009	0.00018	0.00018
Boiler blowdown	0.00035	0.00035	0.00035	0.00035

Figura 11. 32 Factor d'embrutiment d'aigua de refrigeració.

SEVERAL FLUIDS - Fouling Factors in [m ² K/W]		
Group	Fluid	Fouling Factor
Oil	Gasoil	0.00009
	Transformer	0.00018
	Lubrication	0.00018
	Heat Transfer oil	0.00018
	Hydraulic	0.00018
Gas and Vapour	Hydrogen	0.00176
	Engine exhaust	0.00176
	Steam	0.00009
	Steam with oiltraces	0.00018
	Cooling fluid vapours with oil traces	0.00035
	Organic solvent vapours	0.00018
	Compressed air	0.00035
	Natural gas	0.00018
	Stable top products	0.00018
Liquid	Cooling Fluid	0.00018
	Organic heat transfer fluids	0.00018
	Salts	0.00009
	LPG, LNG	0.00018
	MEA and DEA (Amines) solutions	0.00035
	DEG and TEG (Glycols) solutions	0.00035
	Stable side products	0.00018
	Stable bottom products	0.00018
	Caustics	0.00035
	Vegetable Oils	0.00053

Figura 11. 33 Factor d'embrutiment per diferents fluids.

11.5.1.5 PANTALLES DEFLECTORES (BAFFLES)

Les pantalles deflectores que s'instal·len als bescanviadors de calor de carcassa i tubs és un altre factor de disseny general. La finalitat dels deflectors és la de donar punts de suport als tubs i prevenir les vibracions d'aquests, així com modificar la velocitat del fluid que circula per la carcassa segons el disseny. Les conseqüències són un flux creuat del fluid de la carcassa amb el feix de tubs, provocant velocitats i transferències de calor més altes degut a l'augment de la turbulència. ^[22]

La classificació dels deflectors es basa en el nombre de segments en el que es divideix la pantalla. Els més utilitzats són els de segment únic, segment doble i segment triple. A la planta de Glicat es dissenyen tots els deflectors amb un únic segment degut a que evidencien un millor comportament després de les iteracions de disseny realitzades.

L'orientació del tall a la pantalla pot ser vertical o horitzontal segons el fluid que circula per la carcassa. Pels fluids que condensen a la carcassa, es recomanen instal·lacions verticals. Per un fluid líquid normalment s'utilitzen els horitzontals.

Un tall del 20-25% del diàmetre és un valor típic. De totes maneres poden funcionar de manera òptima els talls d'un valor d'entre el 15% i el 45%.



Figura 11. 34 Deflectors de segment únic, doble segment i triple segment d'esquerra a dreta.

11.5.2 EXEMPLE DE CàLCUL : BESCOANVIADOR DE CALOR E-302

El bescanviador de calor E-302 es troba a l'àrea A-300. En aquesta zona es deshidrata el corrent P-201, que conté el producte d'interès, des de la sortida del reactor R-201 fins a l'entrada de la columna C-401 mitjançant 4 columnes flash successives amb una pressió descendent.

Concretament, el bescanviador E-302, condensa i refreda el corrent de vapor A-302 que surt de la columna flash D-302 amb l'objectiu de recircular l'aigua de procés que es troba en excés. El corrent 9999A-503 que surt del bescanviador ja condensat i refredat, es dirigeix cap al tanc d'aigua de recirculació T-501. A la **Figura 11.35** s'observa la situació del bescanviador E-302 i a la **Taula 11.41** es pot observar que la composició del corrent a refredar és majoritàriament aigua amb restes de tots els altres components al reactor.

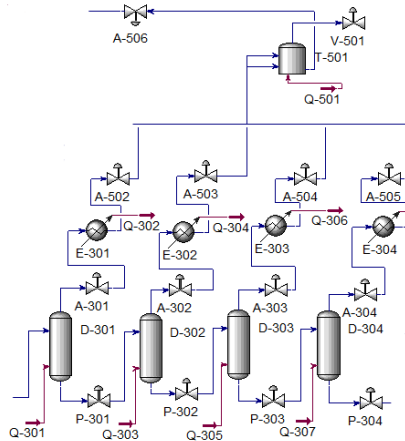


Figura 11. 35 Situació del bescanviador E-302.

Taula 11. 41 Composicions del corrent A-302.

Component	Fracció Molar
Aigua	0,9794
Òxid d'etilè	0,0000
MEG	0,0199
DEG	0,0005
TEG	0,0002


11.5.2.1 DISSENY ASPEN HYSYS EXCHANGE DESIGN & RATING V10

Per realitzar el disseny rigorós dels bescanviadors es va seguir el navegador del simulador. De la mateixa manera que es dissenyen les columnes, el mètode de disseny dels bescanviadors també és un procés dinàmic. D'aquesta manera, iterant diferents opcions de disseny, es coneix en profunditat totes les possibilitats de disseny que ofereix el simulador i com poden afectar al rendiment del bescanvi de calor. Com s'ha esmentat en altres apartats, el simulador requereix d'uns coneixements per part de l'enginyer que realitza el disseny per poder estudiar, escollir, analitzar i decidir el disseny amb criteri.

Per començar, s'introdueixen les dades dels corrents fred i calent. En aquest cas, com es pot observar a la **Taula 11.42**, el corrent calent es correspon amb el corrent de procés A-302 i el corrent fred es correspon a l'aigua provinent de la zona de serveis A-800 a una temperatura de 5°C.

Les dades del corrent calent s'obtenen de la simulació del procés al programa Aspen Hysys V10 i les dades del corrent fred s'obtenen iterant fins a trobar una solució òptima.

Taula 11. 42 Dades de procés dels corrents al bescanviador E-302

	Dades dels corrents al bescanviador E-302	
	Corrent calent	Corrent fred
Denominació del fluid	A-302	Aigua
Cabal màssic (kg/h)	8.846	-
Pressió d'entrada (bar)	1,013	3
Temperatura d'entrada (°C)	177	5
Temperatura de sortida (°C)	87,04	65
Resistència d'embrutiment ((m ² ·K)/W)	0,00009	0,00009

Es procedeix a introduir les composicions dels dos corrents i a seleccionar el paquet de propietats físiques *B-JAC*. En aquest moment, el simulador calcularà les propietats dels corrents a les condicions introduïdes.

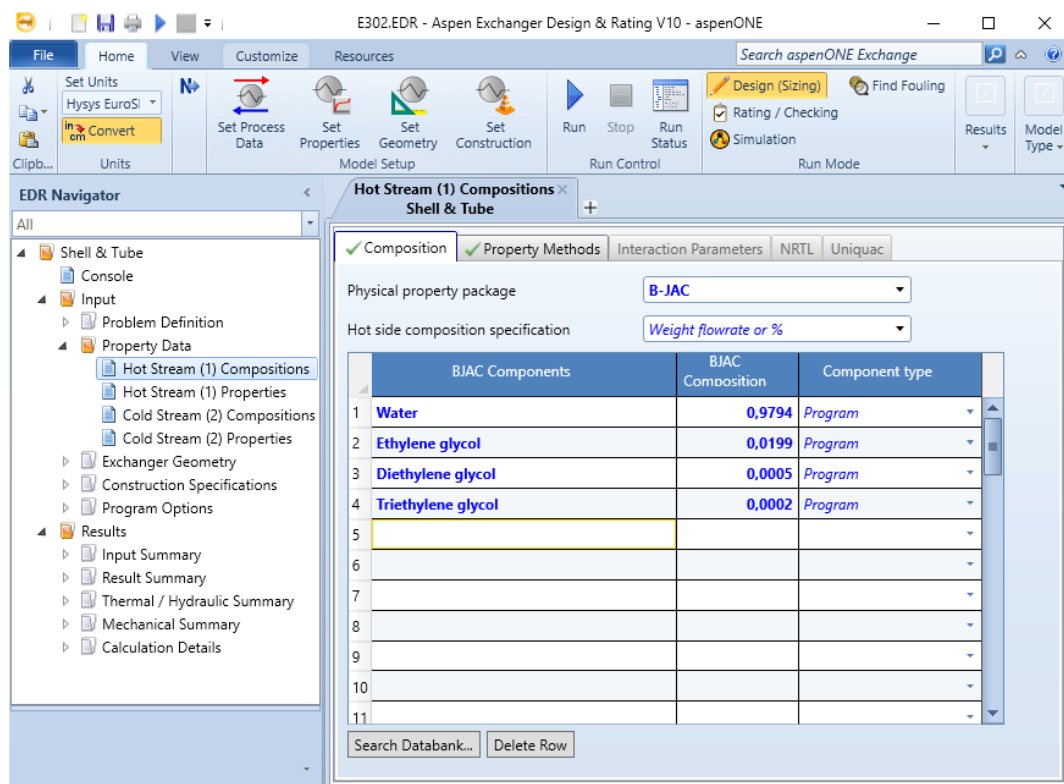


Figura 11. 36 Definició de propietats físiques i composicions del corrent calent.

Un cop es defineixen les propietats físiques dels corrents i s'indiquen les condicions del procés, s'especifica la geometria del bescanviador segons els requeriments del procés com es pot observar a la **Figura 11.36**.

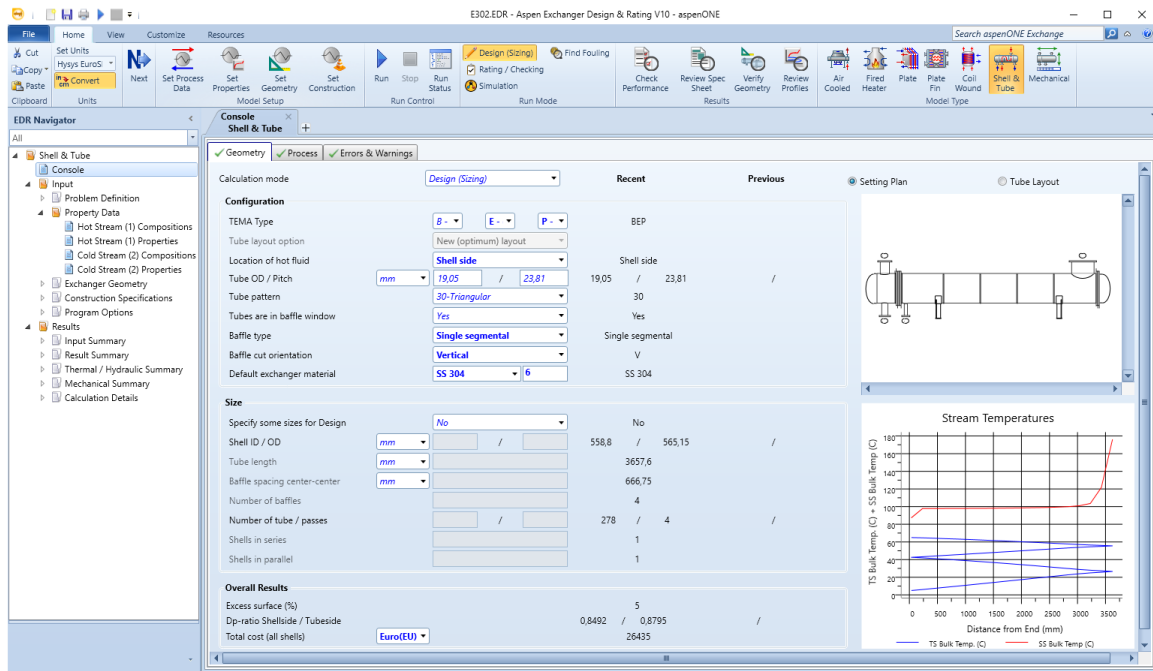


Figura 11. 37 Especificacions de la geometria del bescanviador E-302.

En el cas de l'exemple, es decideix escollir un bescanviador de tipus TEMA BEP. Aquest tipus de bescanviadors, amb un capçal posterior flotant, és un dels bescanviadors més utilitzats a la indústria per la seva versatilitat i la seva facilitat d'extreure el capçal flotant per la neteja dels tubs i la carcassa.

El corrent calent A-302 condensa dins del bescanviador i després d'iterar diferents dissenys, es pren la decisió de fer circular aquest fluid per la carcassa prioritant el cost de la fabricació i d'operació del bescanviador i les condicions d'operació menys extremes.

A causa de la condensació l'orientació dels deflectors a la carcassa s'aconsella que sigui vertical per permetre la circulació del fluid en estat líquid sense problemes. Els tubs es disposen amb un *Pitch* triangular per permetre un feix de tubs més compacte. Altres paràmetres geomètrics es modifiquen segons les iteracions del simulador i els resultats que es van obtenint fins a aconseguir una operació òptima del bescanviador.

Finalment s'obtenen els resultats en un full d'especificacions TEMA, d'on s'extreuen les dades necessàries que s'han fet servir per complementar les fitxes tècniques de Glicat. A la **Figura 11.37** es pot observar la proposta de disseny que presenta el simulador i, com es pot apreciar a la part esquerra de la figura esmentada, ofereix un ampli ventall de resultats pel seu anàlisi i discussió.

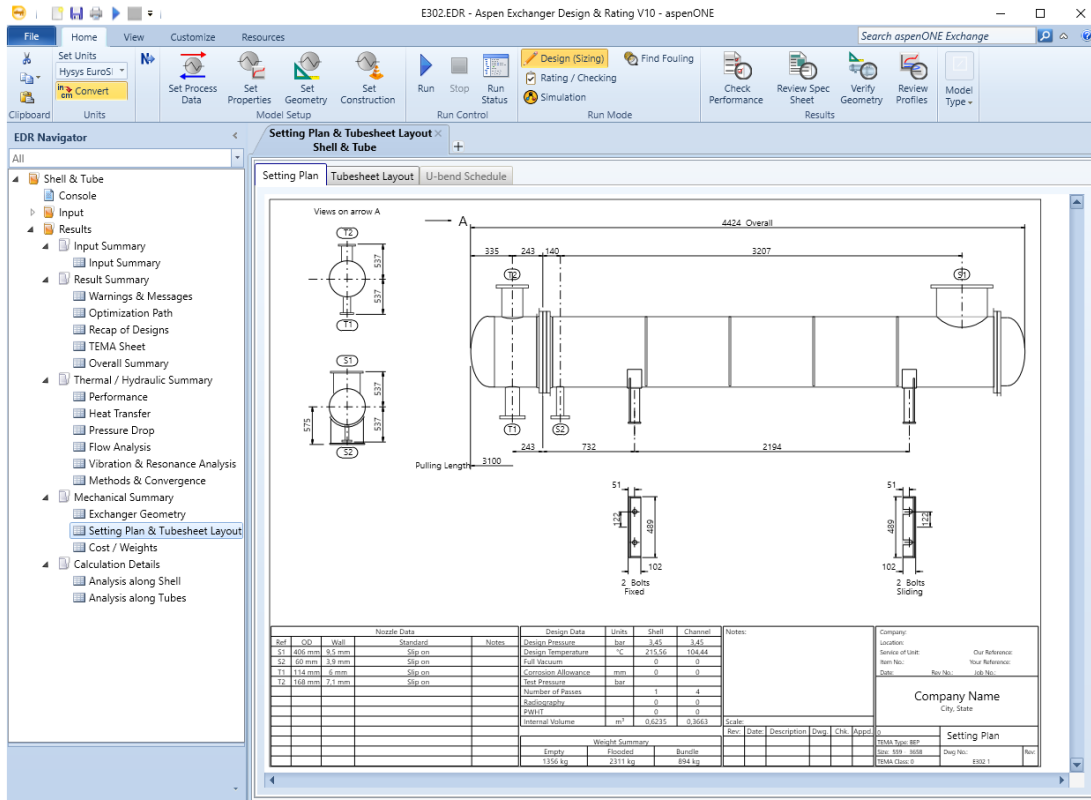


Figura 11. 38 Presentació de resultats al simulador Aspen Exchanger Design & Rating V10.

11.6. SERVEIS DE PLANTA

11.6.1 AIGUA DE PLANTA

Per determinar l'aigua requerida a la planta, es té en compte l'aigua utilitzada al procés, els bescanviadors que en necessitin per refrigerar i els diversos sistemes de refrigeració. L'aigua consumida pel personal de la planta serà d'uns 75 L/dia amb una jornada de 8 h diàries per als 86 treballadors de la planta.

Taula 11. 43 Consum d'aigua a la planta.

Equip	Cabal (kg/h)
Procés	70.260
Refrigeració R-201	54.849,9
Refrigeració T-001 fins T-004	244,8
Bescanviadors E-101 fins E-501	876.337
Treballadors	806,25
Cabal total (kg/h)	1.002.498

Si la planta treballa 24 h durant 320 dies a l'any, el cabal total d'aigua anual consumida és de 7.714.613 m³/any.

11.6.2 GAS NATURAL

És necessari un subministrament de gas natural com a combustible per la caldera d'aigua sobreescalfada, a continuació es determina el cabal de gas natural necessari:

$$m_{gas\ natural} = \frac{12122 \cdot 24 \cdot 320\ (kWh)}{11,98 \frac{kWh}{Nm^3}} = 1011,85 \frac{Nm^3}{h}$$

11.6.3 NITROGEN

El nitrogen un servei important de la planta, ja que s'utilitza per internitzar els equips i assegurar un bon emmagatzematge de productes com l'òxid d'etilè u així evitar descomposicions o polimeritzacions de productes. També és important durant la posada en marxa de la planta per poder assegurar que no hi ha contaminants als equips abans de començar la producció.

Per calcular la quantitat de nitrogen necessari per al procés i l'emmagatzematge, es consideren els equips més grans de la planta.

Taula 11. 44 Quantitat de nitrogen necessària per la planta.

Equip		Volum (m ³)
Mixer Matèries Primeres	MIX-001	44,42
Reactor	R-201	192,7
Separació Flash	D-301	42,74
	D-302	51,29
	D-303	60,86
	D-304	71,58
Destil·lacions	D-401	252,17
	D-402	70,43
Tanc emmagatzematge òxid d'etilè	T-001 fins T-004	612,88

El volum total de nitrogen necessari és de 1399,1 m³ de nitrogen gas. S'escull emmagatzemar el nitrogen en fase líquida, ja que d'aquesta manera ocupa menys volum, en concret 1,923 m³ ^[10].

En aquest cas s'escull comprar un tanc de nitrogen de l'empresa Linde, en concret el model *Cryogenic Standard Tanks 30* ^[11].

11.6.4 CHILLERS

En la planta Glicat es requereixen diferents bescanviadors que treballen amb una temperatura d'entrada de refrigerant de 5°C, per subministrar aigua a aquesta temperatura s'utilitzaran chillers que refredin aigua fins a 5°C. A la **Taula 11.45** es mostren els cabals d'aigua que necessaris per aquests bescanviadors:

Taula 11. 45 Paràmetres de diferents bescanviadors de la planta

Equip	Cabal aigua (kg/h)	Cabal aigua (kg/s)	Temperatura entrada (°C)
E-201	40.339	11,205	5
E-301	74.480	20,689	5
E-302	85.753	23,820	5
E-303	103.123	28,645	5
E-304	126.262	35,073	5
E-601	39.073	10,854	5
E-602	5.046	1,402	5
E-501	357.975	99,438	5

Utilitzant el cabal total d'aigua dels bescanviadors de 231,13 kg/s, es calcula la potència útil del chiller.

$$Q_{chiller \text{ útil}} = m_a \cdot C_{p a} \cdot (T_S - T_E) = 231,13 \cdot 4,18 \cdot (5 - 15) = -9661 \text{ kW} \quad \text{Equació 11.39}$$

On:

- $Q_{chiller \text{ útil}}$ (kW) = potència del chiller útil
- m_a (kg/s) = cabal d'aigua.
- T_S (kJ/kg) = temperatura d'aigua d'entrada.
- T_E (kJ/kg) = temperatura d'aigua de sortida.

A continuació, es determina la potència consumida del chiller, suposat un rendiment del 80%.

$$Q_{chiller \text{ cons}} = \frac{Q_{chiller \text{ útil}}}{\eta} = \frac{9661}{0,8} = 12076,25 \text{ kW}$$

Per últim, es selecciona un proveïdor dels chillers, en aquest cas Hitecsa, en concret s'escull el model Chiller EQSA 1+i, amb una potència de 1307,4 kW. S'escullen 9 chillers d'aquest model per tal d'assegurar el subministrament d'aigua freda als bescanviadors. ^[12]

11.6.5 CALDERA D'AIGUA SOBRESALFADA

En la planta Glicat és necessària una caldera de vapor per a subministrar el fluid refrigerant del bescanviador E-101, en aquest cas vapor d'aigua, a una temperatura de 400°C.

Taula 11. 46 Paràmetres del bescanviador de calor E-101.

Equip	Cabal vapor (kg/h)	Cabal vapor (kg/s)	T entrada (°C)	T sortida (°C)
E-101	153.251	42,57	370	160

Primer de tot es determinarà la potència de la caldera de vapor per abastir els requeriments del bescanviador de calor, a partir del cabal obtingut pel disseny del bescanviador amb el simulador Aspen Hysys V10.

Com a fluid refrigerant s'utilitzarà el Dowtherm A ^[15], ja que pot arribar a temperatures de fins a 370°C.

$$Q_{caldera \text{ útil}} = m_{vapor} \cdot (h_S - h_E) = 42,57 \cdot (1023,7 - 822) = 8586 \text{ kW} \quad \text{Equació 11.40}$$

On:

- $Q_{caldera \text{ útil}}$ (kW) = potència de la caldera.
- m_{vapor} (kg/h) = cabal de vapor d'aigua.
- h_S (kJ/kg) = entalpia del vapor de sortida.
- h_E (kJ/kg) = entalpia del vapor d'entrada.

A continuació, es determina la potència consumida de la caldera de vapor, suposat un rendiment del 85% i sobredimensionant un 20% la potència de la caldera, ja que s'utilitzarà una petita quantitat extra de Dowtherm A per escalfar les separacions flash.

$$Q_{caldera \text{ cons}} = \frac{Q_{caldera \text{ útil}}}{\eta} = \frac{8586 \cdot 1,2}{0,8} = 10102 \text{ kW}$$

Un cop determinada la potència consumida de la caldera, s'escull un model de catàleg amb un valor de potència proper al calculat. En aquest cas s'escull una caldera del subministrador Bosch, model Caldera d'aigua sobreescalfada UT-H ^[13], té una potència suficient com per a funcionar correctament a la planta, en concret de fins a 18300 kW.

11.6.6 TORRES DE REFRIGERACIÓ

Les torres de refrigeració s'utilitzen per refredar aigua a temperatura ambient. En aquesta planta es necessitaran torres de refrigeració per refredar els cabals d'aigua de diversos bescanviadors de la planta. Primer de tot, es determinarà el cabal d'aigua a refrigerar.

Taula 11. 47 Paràmetres de bescanviadors pel disseny de torres de refrigeració.

Equip	Cabal aigua (kg/h)	Cabal aigua (kg/s)	T sortida aigua (°C)
E-201	40339	11,21	65
E-301	74480	20,69	65
E-302	85753	23,82	65
E-303	103123	28,64	65
E-304	126262	35,07	65
E-601	3907	10,85	65
E-602	5046	1,40	65
E-501	357.975	99,44	20
Refrigeració R-201	54850	15,24	65
Cabal Total	886.901	246,36	

Un com determinat el cabal d'aigua total a refredar, es calcula la potència útil de la torre de refrigeració, a partir de l'**Equació 11.39** :

$$Q_{torre \text{ útil}} = m_{aigua} \cdot C_{p \text{ aigua}} \cdot (T_S - T_E) = 246,36 \cdot 4,18 \cdot (15 - 35) = 20595,7 \text{ kW}$$

Per últim, es determina la potència consumida de la torre, considerant un rendiment de la torre del 80%.

$$Q_{torre \text{ cons}} = \frac{Q_{torre \text{ útil}}}{\eta} = \frac{20595,7}{0,8} = 25744,6 \text{ kW}$$

Per cobrir les necessitats dels bescanviadors, s'escull com a proveïdor EWK i 3 torres de refrigeració del model EWB 7200 amb una potència de 11512 kW ^[14].

11.6.7 DESCALCIFICADOR

Per tractar l'aigua de xarxa s'utilitza primer de tot un descalcificador per eliminar sals minerals de l'aigua i prevenir problemes de circulació com pot ser incrustacions en canonades degudes al clor.

En aquest cas, s'escullen 5 descalcificadors del proveïdor Culligan, en concret el model Ultra Line HB 6000 ^[16].

11.6.8 DESIONITZADOR

Per últim, s'utilitzarà un desionitzador per acabar de tractar l'aigua de xarxa amb resines d'intercanvi iònic. Per al cabal d'aigua de 1004,4 m³/h que requereix la planta, s'escullen 335 desionitzadors de la marca Labolan Modelo DI-15000 ^[17].

11.6.9 ESTACIÓ TRANSFORMADORA

En aquest apartat es determinaran els kW d'electricitat necessaris per als equips de la planta que en requereixen. S'aproxima que la potència consumida per altres edificis externs a la producció serà d'un 10% de potència de tota la planta.

Equip	Potència (kW)	Equip	Potència (kW)
Agitador 000	13,57	P-501A/B	0,25
Agitador 100	52,49	P-502A/B	0,3
Agitador 200	111,85	P-503A/B	0,37
P-001A/B	1,88	P-504A/B	0,67
P-002A/B	4,51	P-505A/B	0,6
P-003A/B	0,48	P-506A/B	1,59
P-101A/B	178,06	P-507A/B	2,12
P-102A/B	2,74	P-508A/B	2,13
P-201A/B	5,77	P-601A/B	1,23
P-301A/B	5,26	P-602A/B	0,61
P-302A/B	4,83	TR-801 i TR-802	148
P-303A/B	4,36	CH-801 fins CH-809	4122,36
P-304A/B	3,31	Oficines i altres edificis	375,48
P-401A/B	1,49		
Potència Total (kW)		5137,91	

Un cop calculada la potència total de la planta, es determina la potència aparent que haurà de tenir el transformador a escollir. Com a factor de potència s'escull un valor típic de 0,9 kW/kVA.

$$P_{aparent} = \frac{P_{total}}{f_{potencia}} = \frac{5137,91}{0,9} = 55708,8 \text{ kVA} \quad \text{Equació 11.41}$$

Un cop determinat la potència aparent que requerirà el transformador a escollir, s'escull un transformador de la marca Siemens ^[18], amb capacitat de fins a 1000 MVA.

11.6.10 GENERADOR AUXILIAR

En aquest apartat s'escull un generador en cas de tenir problemes de subministrament elèctric per xarxa. Per aquest equip s'escull un generador de la marca Schneider Electric ^[19], amb capacitat fins a 60 MVA.

11.7. DISSENY DE CANONADES

Primerament, per escollir el diàmetre de les canonades per una banda s'ha de considerar el cabal volumètric de circulació dels fluids en els diferents trams del procés i per l'altra banda s'ha d'assegurar que els fluids circulin dins dels rangs típics de velocitats que es poden observar en la **Taula 11.48**.

Taula 11. 48 Velocitats típiques de fluids per canonades.

Fluido	Tipo de Flujo	Velocidad	
		ft/s	m/s
Líquidos poco viscosos	Flujo por gravedad	0.5 – 1	0.15 – 0.30
	Entrada de bomba	1 – 3	0.3 – 0.9
	Salida de bomba	4 – 10	1.2 – 3
	Línea de Conducción	4 – 8	1.2 – 2.4
Líquidos viscosos	Entrada de bomba	0.2 – 0.5	0.06 – 0.15
	Salida de bomba	0.5 – 2	0.15 – 0.6
Vapor de Agua		30 – 50	9 – 15
Aire o gas		30 – 100	9 – 30

Per aquest motiu s'ha hagut de considerar l'estat físic del fluid, la seva viscositat i si es troba en un tram d'aspiració o d'impulsió de bomba. Primerament es procedeix a seleccionar una velocitat teòrica que estigui dins del rang apropiat i es calcula el seu diàmetre teòric corresponent mitjançant l'**Equació 11.42**.

$$D_{i\ teo} = \sqrt{4 * \frac{Q}{\pi * v_{teo}}} \quad \text{Equació 11.42}$$

On:

- $D_{i\ teo}$ (m) = Diàmetre intern teòric
- Q (m³/s) = Cabal volumètric
- v_{teo} (m/s) = Velocitat del fluid teòrica

Un cop calculat el diàmetre teòric es selecciona un NPS, el diàmetre nominal de canonada en polzades, similar al teòric obtingut (els NPS es consulten bibliogràficament ^[27]). Seguidament es procedeix a la selecció del Schedule de la canonada, un factor que determina el gruix d'aquesta i per tant la pressió màxima que podrà suportar la canonada. S'ha utilitzat una taula de classificació de pressió per

canonada d'acer inoxidable 304^[27] per poder determinar les pressions màximes de treball de canonades segons el seu NPS, Schedule i temperatura de treball. S'ha determinat un criteri de selecció del Schedule amb l'objectiu de que la pressió màxima de treball determinada per la taula hauria de ser com a mínim un 15% superior a la d'operació de la canonada, si no es compleixen aquestes condicions s'escull un Schedule superior.

Finalment amb el Schedule determinat es pot obtenir el gruix de la canonada de la mateixa taula. Mitjançant aquestes dades es calcula la velocitat real de circulació del fluid (mitjançant l'**Equació 11.42**) utilitzant el diàmetre real de la canonada (mitjançant l'**Equació 11.43**)

$$D_{i\text{ real}} = D_{\text{ext}} - 2 * \Delta x \quad \text{Equació 11.43}$$

On:

- $D_{i\text{ real}}$ (m) = Diàmetre intern real
- D_{ext} (m) = Diàmetre extern (s'obté bibliogràficament segons el seu NPS ^[27])
- Δx (m) = Gruix de la canonada (s'obté bibliogràficament segons el seu NPS i el seu Schedule^[27])

Si el valor de la velocitat real del fluid està dins del rang de velocitats típiques corresponent es dona per correcte el càlcul de la canonada. En cas contrari, s'hauria de modificar el NPS i/o el Schedule per aconseguir treballar amb fluids dins dels rangs de velocitats típiques apropiats.

11.7.1 EXEMPLE DE CàLCUL CANONADA 1-M1-SS304-501

Primerament es procedeix a realitzar el càlcul d'un diàmetre teòric considerant una velocitat mitjana del fluid de 1,8 m/s (la canonada està al tram posterior d'una bomba, **Taula 11.48**).

$$31.34 * 10^{-3} \text{ m} = \sqrt{4 * \frac{0,001389}{\pi * 1,8}}$$

Mitjançant aquest càlcul es consulta la taula de diàmetres nominals ^[27] i s'agafa el més similar, en aquest cas, NPS (in) = 1, Dext = 33,4 mm. Es determina utilitzar el primer Schedule (5S) obtenint un gruix de 1,65 mm obtenint una pressió màxima de treball de 125 bar (tenint en compte que la temperatura d'operació és de 87 °C s'ha escollit una temperatura de disseny de 100°C a la taula de classificació de pressió per canonada d'acer inoxidable 304 ^[27]). La pressió d'operació d'aquesta canonada és de 1,013 bar, hi ha una diferència de més del 15% respecte a la pressió màxima de disseny i per tant es considera un Schedule acceptable.

Finalment es procedeix al càlcul de la velocitat real del fluid utilitzant el diàmetre interior real mitjançant el diàmetre real de la canonada.

$$33,4 * 10^{-3} = 33,4 * 10^{-3} - 2 * 1,65 * 10^{-3}$$

Reorganitzant l'**Equació 11.42** s'obté la velocitat real del fluid.

$$1,952 \text{ m/s} = \frac{0,001389}{\frac{\pi}{4} * 0,0334^2}$$

Com la velocitat del fluid real obtinguda, 1,952 m/s, està dins del rang de velocitat típiques de líquids poc viscosos després d'una bomba es pot donar per correcte el diàmetre de la canonada.

11.8. DISSENY DE BOMBES

Per poder realitzar el càlcul de la potència de les bombes utilitzades primerament s'ha de realitzar el càlcul de la càrrega total de la bomba que correspon a la diferència entre la càrrega d'impulsió i la d'aspiració.

$$h = (z_2 - z_1) + \frac{1}{g} \cdot \left(\frac{P_2 - P_1}{\rho} + \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{v_2^2}{\alpha} - \frac{v_1^2}{\alpha} \right) + e_v \right) \quad \text{Equació 11.44}$$

On:

- h (m) = càrrega total de la bomba
- g (m/s^2) = Força de la gravetat
- P_i (Pa) = Pressió en el punt i
- ρ (kg/m^3) = Densitat del fluid (kg/m^3)
- z_i (m) = Alçada en el punt i
- v_i (m/s) = velocitat en el punt i
- α = coeficient adimensional (1 per règim de circulació turbulenta i 0,5 per règim laminar)
- e_v (m^2/s^2) = pèrdues de càrregues totals

Els punts pels quals es calcula la càrrega total de la bomba són el punt inicial de la canonada d'aspiració de la bomba (anterior a la bomba) i el punt final de la canonada d'impulsió de la bomba (posterior a aquesta).

Per obtenir el coeficient adimensional α i pel càlcul de les pèrdues de càrrega e_v s'ha de determinar primerament el número de Reynolds mitjançant l'**Equació 11.45**.

$$Re = \frac{\rho \cdot D \cdot v}{\mu} \quad \text{Equació 11.45}$$

On:

- Re = Número de Reynolds
- μ ($\text{kg/m} \cdot \text{s}$) = viscositat
- v (m/s) = velocitat del fluid

Mitjançant aquest càlcul es pot determinar el valor de α . Coneixent que $Re > 4000$ es considera règim turbulent i $Re < 2000$ es considera règim laminar (si el número de Reynolds està comprès entre els dos es denomina que està en zona de transició).

Seguidament es poden calcular les pèrdues de càrrega totals que són el resultat de la suma de les pèrdues en tram recte i les pèrdues per accidents, cadascuna del tram d'aspiració i del d'impulsió.

$$e_{v \text{ accidents}} = \sum K \cdot \frac{v^2}{2} \quad \text{Equació 11.46}$$

On:

- K = coeficient específic de l'accident (**Taula 11.49**)

Taula 11. 49 Coeficient K segons el tipus d'accident.

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

** $\left(1 - \frac{D_1^2}{D_2^2}\right)^2$ essent D_1 el diàmetre del tub petit i D_2 el diàmetre del tub gran.

$$e_{v \text{ tram recte}} = 4f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2} \quad \text{Equació 11.47}$$

On:

- f = Factor de fricció de Fanning
- D (m) = Diàmetre de la canonada

El factor de Fanning es calcularà mitjançant el nombre de Reynolds i la rugositat relativa de la canonada.

$$Rugositat\ relativa = \frac{\epsilon}{D} \quad \text{Equació 11.48}$$

On:

- ϵ (m) = Rugositat de la paret de la canonada (**Taula 11.50**)
- D (m) = Diàmetre intern de la canonada

Taula 11. 50 Rugositat (m) segons el tipus de material de canonada.

MATERIAL	RUGOSITAT ϵ (m)
VIDRE O PLASTIC	Tub llis
Canonades de coure, llautó o plom	$1,5 \cdot 10^{-6}$
Ferro de fundició sense revestiment	$2,4 \cdot 10^{-4}$
Ferro de fundició revestit d'asfalt	$1,2 \cdot 10^{-4}$
Acer comercial o acer soldat	$4,6 \cdot 10^{-5}$
Ferro forjat	$4,6 \cdot 10^{-5}$
Acer rematxat	$1,8 \cdot 10^{-3}$
Ferro galvanitzat	$1,6 \cdot 10^{-4}$
Formigó	$1,2 \cdot 10^{-3}$

Per obtenir el factor de fricció de Fanning es consulta el diagrama de Moody mostrat a la **Figura 11.39** (On: "Friction Factor" = $4f$).

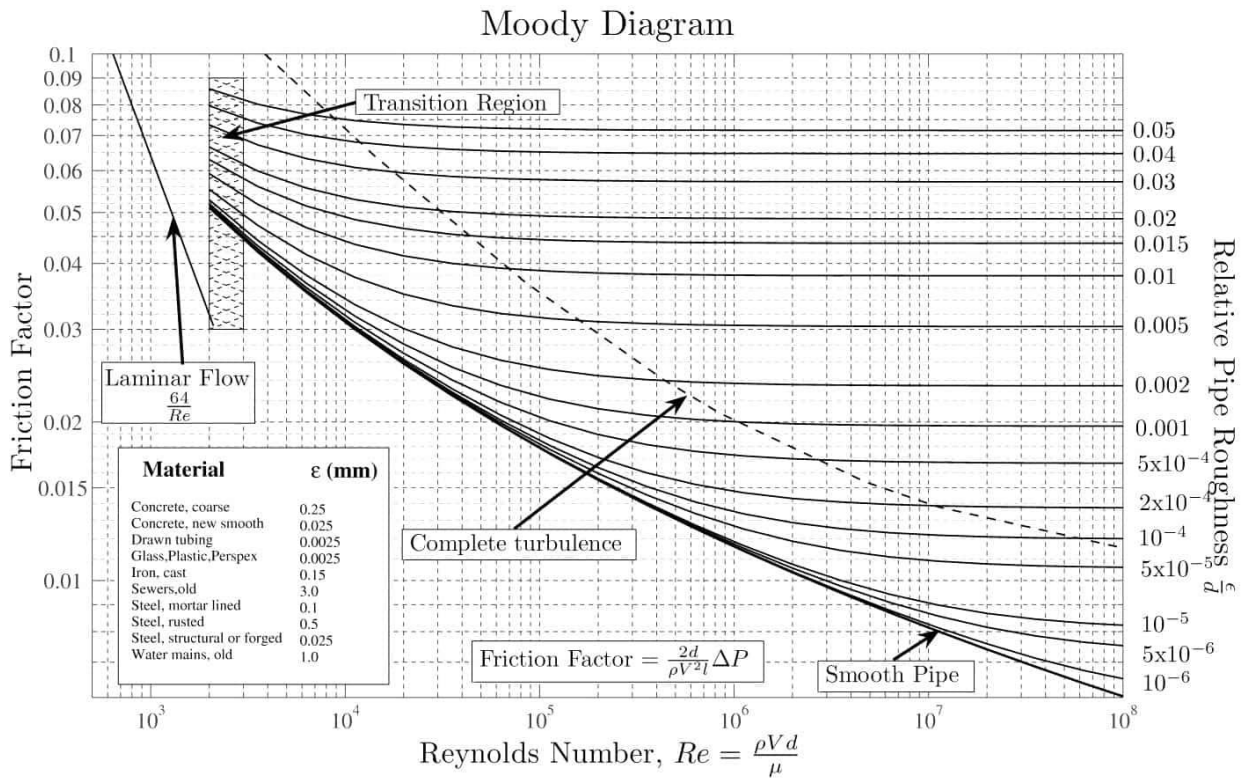


Figura 11. 39 Diagrama de Moody.

Un cop calculades les pèrdues de càrrega del tram d'impulsió i les del tram d'aspiració s'obtenen les pèrdues de càrrega totals mitjançant la seva suma. Seguidament es pot procedir al càlcul de la càrrega total de la bomba mitjançant l'**Equació 11.44**.

Finalment es pot obtenir la potència requerida per la bomba mitjançant l'**Equació 11.49**.

$$P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot h \quad \text{Equació 11.49}$$

On:

- P (W) = Potència requerida per la bomba
- Q (m³/s) = Cabal volumètric

Per obtenir la potència teòrica necessària pel funcionament de la bomba s'ha considerat un rendiment del 75%, per tant el quocient de la potència requerida per la bomba i aquest rendiment serà el resultat de la potència teòrica necessària.

11.8.1 DISSENY DE LA BOMBA P-101

A continuació es detallaran els càlculs de la bomba P-101 localitzada en el tram entre el tanc T-101 i el bescanviador de calor E-101.

Primerament es calcularan les pèrdues de càrrega del tram d'aspiració i del de impulsió. S'iniciarà el càlcul de les pèrdues de càrrega definint les dels trams d'accidents.

- Aspiració:
Els accidents a considerar són 2 vàlvules antiretorn, 2 de comporta i un colze. Consultant la taula **Taula 11.49**, es sumen els factors K de cada accident obtenint K = 21,43.

$$21,43 \cdot \frac{0,4520^2}{2} = 2,189 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

- Impulsió:
Els accidents a considerar són 2 vàlvules antiretorn, 2 de comporta i un colze. Consultant la **Taula 11.48**, es sumen els factors K de cada accident obtenint K = 21,43.

$$21,43 \cdot \frac{2,063^2}{2} = 45,60 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

Seguidament es procedeix al càlcul del número de Reynolds de cada tram:

- Aspiració:

$$\frac{996,9 \cdot 0,3477 \cdot 0,4520}{8,46 \cdot 10^{-4}} = 185101$$

- Impulsió:

$$\frac{997,6 \cdot 0,1627 \cdot 2,063}{8,41 \cdot 10^{-4}} = 398263$$

Es pot determinar que els valors del coeficient adimensional α per ambdòs trams serà 1, degut a que els dos presenten règims turbulents.

Les dades de densitat i viscositat han sigut extretes de la simulació realitzada amb el programa ASPEN HYSYS. Les velocitats i els diàmetres interns són extretes del llistat de canonades localitzat al **Capítol 4. Canonades, vàlvules i accessoris**. Mitjançant aquestes dades i el quocient entre la rugositat de paret de l'acer comercial ($4,6 \cdot 10^{-5}$ m segons la **Taula 11.50**) i els diàmetres interns s'obtenen les rugositats relatives 0,0001323 pel tram d'aspiració i 0,0002827 pel tram d'impulsió.

Utilitzant el gràfic de la **Figura 11.39** s'obtenen els següents valors de $4f$: 0,0169 i 0,0165 pel tram d'aspiració i el d'impulsió, respectivament. A continuació es calculen les pèrdues de càrrega de trams rectes de cada tram:

- Aspiració:

$$0,0169 \cdot \frac{1,98}{0,3477} \cdot \frac{0,4520^2}{2} = 0,009832 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

- Impulsió:

$$0,0165 \cdot \frac{20}{0,1627} \cdot \frac{2,063^2}{2} = 4,309 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

La suma de totes les pèrdues de càrrega calculades és de $52,11 \text{ m}^2/\text{s}^2$. Les dades de longitud de les canonades s'han extret dels plànols de la planta.

A continuació es procedeix a substituir les dades obtingudes al càlcul de la càrrega total de la bomba.

$$(12,6 - 0,25) + \frac{1}{9,81} \cdot \left(\frac{3040000 - 101300}{997} + \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{2,063^2}{1} - \frac{0,4520^2}{1} \right) + 52,11 \right) = 318,3$$

Les dades d'alçades dels punts són les dissenyades als plànols de la planta.

Finalment es pot obtenir la potència requerida per la bomba:

$$P = 997 \cdot 9,81 \cdot 0,04291 \cdot 318,3 = 133585 \text{ W}$$

Considerant el rendiment del 75%, la potència real de la bomba es determina que és de 178 kW.

11.9. CÀLCUL DENSITAT DE CÀRREGA DE FOC D'UN SECTOR O ÀREA D'INCENDI

Per calcular la densitat de càrrega de foc d'un sector o àrea d'incendi s'utilitza l'**Equació 11.50**.

$$Q_s = \frac{\sum_i G_i \cdot q_i \cdot C_i}{A} * R_a \quad \text{Equació 11.50}$$

On:

- Q_s (Mcal/m²) = densitat de càrrega de foc, ponderada i corregida, del sector o àrea d'incendi.
- G_i (kg) = massa de cadascun dels combustibles que existeixen en el sector o àrea d'incendi.
- q_i (Mcal/kg) = poder calorífic de cadascun dels combustibles que existeixen en el sector d'incendi [29]
- C_i = coeficient adimensional que pondera el grau de perillositat (per la combustibilitat) de cadascun dels combustibles que existeixen en el sector d'incendi (**Taula 11.1**).
- R_a = coeficient adimensional que corregeix el grau de perillositat (per l'activació) inherent a l'activitat que es desenvolupa en el sector d'incendi.
- A (m²) = superfície construïda del sector d'incendi o superfície ocupada de l'àrea d'incendi.

Per realitzar aquests càlculs s'han obtingut bibliogràficament [28] els poders calorífics de l'òxid d'etilè, del monoetilenglicol i del dietilenglicol, que s'ha considerat aproximadament igual al del trietilenglicol. La massa dels combustibles a cada àrea s'ha obtingut mitjançant les dades de concentració obtingudes de la simulació del procés al programa ASPEN HYSYS. Les àrees són extrems dels plànols de la planta. El coeficient C_i de perillositat de combustible s'ha determinat consultant la **Taula 11.51** i el coeficient R_a del grau de perillositat de l'activitat industrial s'ha considerat el de l'activitat industrial de producció de productes químics combustibles que té un R_a de 2 [29].

Taula 11. 51 Valors del coeficient de perillositat per combustibilitat

VALORS DEL COEFICIENT DE PERILLOSITAT PER COMBUSTIBILITAT, C _i		
ALTA	MITJANA	BAIXA
<ul style="list-style-type: none"> - Líquids classificats com a classe A en la ITC MIE-APQ1 - Líquids classificats com a subclasse B₁ en la ITC MIE-APQ1. - Sòlids capaços d'iniciar la combustió a una temperatura inferior a 100°C. - Productes que poden formar barreges explosives amb l'aire a temperatura ambient. - Productes que poden iniciar combustió espontània en l'aire a temperatura ambient. 	<ul style="list-style-type: none"> - Líquids classificats com a subclasse B₂ en la ITC MIE-APQ1. - Líquids classificats com a classe C en la ITC MIE-APQ1. - Sòlids que comencen la seva ignició a una temperatura compresa entre 100°C i 200°C. - Sòlids que emeten gasos inflamables. 	<ul style="list-style-type: none"> - Líquids classificats com a classe D en la ITC MIE-APQ1. - Sòlids que comencen la seva ignició a una temperatura superior a 200°C.
C _i = 1,60	C _i = 1,30	C _i = 1,00

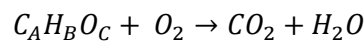
11.9.1. EXEMPLE DE CàLCUL DE LA DENSITAT DE CàRREGA DE FOC A L'ÀREA A-200

$$296,9 \text{ Mcal/m}^2 = \frac{14154 * 6,38 * 1,6 + 536,8 * 4 * 1}{537} * 2$$

11.10. CàLCULS MEDI AMBIENT

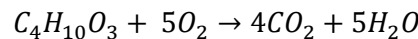
11.10.1 DQO

Per calcular un dels paràmetres més importants en la determinació de la contaminació de l'aigua, la DQO, que indica la demanda química d'oxigen, cal simular una reacció de consum d'oxigen:



El corrent que es vol tractar té contingut de dietilenglicol ($C_4H_{10}O_3$) i trietilenglicol ($C_6H_{10}O_4$).

Ajustant la reacció amb el dietilenglicol:



Es consumeixen 5 mols d' O_2 per cada mol de $C_4H_{10}O_3$.

Amb les dades que apareixien a la taula de composicions del procés, es pot fer el càlcul complet de consum d'oxigen seguint els següents factors de conversió:

$$0,2356 \text{ mol DEG} \cdot \frac{8,08 \cdot 10^3 \text{ mol tot}}{h} \cdot \frac{5 \text{ mol } O_2}{1 \text{ mol DEG}} \cdot \frac{31,99 \text{ g } O_2}{1 \text{ mol } O_2} \cdot \frac{1000 \text{ mg } O_2}{1 \text{ g } O_2} \cdot \frac{1 \text{ h}}{64,76 \cdot 10^3 \text{ L}}$$

$$= 14.443,84 \frac{\text{mg}}{\text{L}} = \text{ppm } O_2$$

Aquest resultat indica que el cabal referit al dietilenglicol té una DQO de 14.443,84 ppm d' O_2 .

Anàlogament es pot calcular la DQO que aporta el cabal de trietilenglicol. La suma dels dos serà la DQO del corrent.

11.10.2 TOC

El TOC o Carboni Orgànic Total es pot estimar teòricament amb una equació que relaciona la DQO i el TOC:

$$DQO = 3 \cdot TOC$$

$$TOC = \frac{DQO}{3}$$

S'obté el següent valor de TOC pel dietilenglicol:

$$TOC = \frac{14.443,84}{3} = 4814,61 \text{ ppm}$$

Anàlogament es pot calcular el TOC per el trietilenglicol. La suma dels dos serà el TOC global del corrent.

11.10.3 DBO5

Aquest altre paràmetre, la demanda biològica d'oxigen, es pot estimar mitjançant una equació que relaciona DBO₅ i TOC.

$$DBO_5 = 1,83 \cdot TOC - 1,7$$

$$DBO_5 = 1,83 \cdot 4814,61 - 1,7 = 8760,89 \text{ ppm } O_2$$

Per el dietilenglicol s'ha obtingut una DBO de 8760,89 ppm O₂.

Anàlogament es pot calcular la DBO del trietilenglicol. La suma dels dos valors donarà el resultat del corren global.

11.10.4 BIODEGRADABILITAT

Finalment, cal calcular la biodegradabilitat de l'aigua. Aquesta es determina amb una relació entre la DQO i la DBO₅. En aquest cas, es cèl·lula la biodegradabilitat del corrent de dietilenglicol:

$$\frac{DQO}{DBO_5} = \frac{4814,61}{8760,89} = 0,54 < 2,5 \text{ perfectament biodegradable}$$

En aquest cas, per calcular la biodegradabilitat de tot el corrent, caldria fer la relació amb els valors globals del corrent i no per component.

11.11. REFERENCIES BIBLIOGRÀFIQUES

- [1] API 650 – Tancs d'emmagatzematge Part III. Consultat al Gener 2021 a:
<https://arvengtraining.com/wp-content/uploads/2018/02/STIII-NOTAS-DE-ESTUDIO-PRUEBA.pdf>
- [2] Disseny Automàtic de Tancs d'Acer de Sostre Fix, segons API 650 Consultat al Gener 2021 a:
<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/objetos/tutorial530.pdf>
- [3] Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos y sus Instrucciones Técnicas Complementarias MIE APQ 0 a 10. Consultat al Gener 2021 a:
<https://www.boe.es/buscar/pdf/2017/BOE-A-2017-8755-consolidado.pdf>
- [4] ASME. *Boiler and Pressure Vessel Code Section VIII. Pressure Vessels - Division 1*. Consultat al Gener 2021 a:
http://www.cat.calc_est_2_im.efn.uncor.edu/wp-content/uploads/2013/10/Cap-16_RECIPIENTES_Parte-1.pdf
- [5] Talleres Villalón – Capçal KLOPPER Consultat al Gener 2021 a:
<http://fondosvillalon.com/FONDOS%20KLOPPER-VILLALON.pdf>
- [6] Propietats d'aïllants tèrmics per rehabilitació energètica Consultat al Gener 2021 a:
http://www.five.es/descargas/archivos/P1_portada.pdf
- [7] *Diseño de Tanque de Agitación*, Mayra Alejandra Heras Neri – PDF (ProyectoLOAS.pdf)
- [8] *Bubble Cap Trays*. Consultat al Gener 2021 a:
<https://www.munters.com/es/munters/products/mass-transfer/kevin-bubble-cap-trays/>
- [9] MAPESA USA LLC. Consultat al Gener 2021 a:<https://www.mapesausa.com>
- [10] Taula de conversió de gasos, Linde. Consultat al Gener 2021 a:
https://www.linde-gas.es/es/news_and_media/tool/gas_calculator/index.html
- [11] Cryogenic Standard Tanks, Linde. Consultat al Gener 2021 a:
https://www.linde-engineering.com/en/images/P_3_3_e_12_150dpi_tcm19-5774.pdf
- [12] Chiller model EQSA 1+i, Hitecsa. Consultat al Gener 2021 a:
http://www.hitecsa.com/files/products/es/eqsa1+i_data_comercial.pdf
- [13] Caldera d'aigua sobreescalfada. Consultat al Gener 2021 a:
<https://vycindustrial.com/calderas/agua-sobrecalentada/>
- [14] EWK Torres de refrigeración. Consultat al Gener 2021 a:
https://www.ewk.eu/index.php/producto/es/ewb?gclid=CjwKCAiAgc-ABhA7EiwAjev-7Xu1hGjzNh7uOUXqYmG8xk3QvsNFSXemp4RvPqQJZWGagRAYN7_IBoCNzsQAvD_BwE

- [15] Propietats de Dowtherm A. Consultat al Gener 2021 a:
<https://es.scribd.com/document/59307837/Dowtherm-a-Properties>
- [16] Descalcificador, Chulligan. Consultat al Gener 2021 a:
https://www.culligan.es/wp-content/uploads/CP032010_Descalcificadores-industriales.pdf
- [17] Desionitzador, Labolan. Consultat al Gener 2021 a:
<https://www.labolan.es/es/producto/equipo-purificacion-agua-modelo-di-15000.html>
- [18] Transofrmador elèctric, Schneider Electric. Consultat al Gener 2021 a:
<https://www.se.com/ww/en/product-range-presentation/60728-minera-ex/>
- [19] Generador elèctric, Siemens. Consultat al Gener 2021 a:
<https://www.siemens-energy.com/global/en/offerings/power-generation/generators/sген-100a.html>
- [20] *Typical Fouling Factors* per Engineeringpage, Visitat 28/01/2021. Consultat al Gener 2021 a:
http://www.engineeringpage.com/technology/thermal/fouling_factors.html
- [21] TEMA. *Standards of the Tubular Exchanger Manufacturers Association. 9th Edition.* 2007.
- [22] Akpabio, E., Oboh, I.O., Aluyor, E.O. *The Effect of Baffles in Shell and Tube Heat Exchangers.* 2009.
- [23] Perry, R. H., Chilton, C. H. *Perry's chemical engineers' handbook.* 7th Edition. Ed. McGraw-Hill. 1997.
- [24] Henley, E. J., Seader, J. D. *Operaciones de separación por etapas de equilibrio en ingeniería química.* Ed. Reverté. 1988.
- [25] Software *Aspen Hysys V10.* Aspen Technology, Inc. 2017.
- [26] Software *Aspen Exchanger Design & Rating V10.* Aspen Technology, Inc. 2017.
- [27] Taula de classificació de pressió per canonada d'acer inoxidable 304. Consultat al Gener 2021 a:
http://www.atlassteels.com.au/documents/St_St_Pipe_Pressure_Rating_Charts_rev_Jan_2017.pdf
- [28] Búsqueda y validación de parámetros de la carga de fuego en establecimientos Industriales. . Consultat al Gener 2021 a:
https://www.tecnifuego.org/recursos/arxius/20100317_0955Anexo_IDES.pdf

[29] RD 2267/2004, sobre el reglament de seguretat contra incendis en establiments industrials.

Consultat al Gener 2021 a:

https://www.boe.es/boe_catalan/dias/2004/12/20/pdfs/A03549-03604.pdf

[30] Mehmet Riza Altiocka, Sema Akyalçin. Kinetics of the Hydration of Ethylene Oxide in the Presence of Heterogeneous Catalyst. Industrial & Engineering Chemistry Research. 2009