

Planta de producció d'àcid fòrmic

Projecte final de grau



Nabila El Motakki Ghablou, Verónica Fernández Pérez, Roger Guerra Ribó,

Manuel Alberto Pérez Borrego, Alba Santiago Muchart

Tutor: Rafa Bosch

Cerdanyola del Vallès, Juny de 2016

$(S_1 +$ 

ÍNDEX

11.1. Tanques d'emmagatzematge	6
11.1.1. Introducció.....	6
11.1.1.1. API 650	6
11.1.1.2. ASME	8
11.1.1.3. Venteig.....	17
11.1.1.4. Cubetes	18
11.1.1.5. Boca d'home	19
11.1.1.6. Disseny suports dels tanques	19
11.1.1.7. Aïllament dels tanques	20
11.1.2. Disseny dels tanques d'àcid fòrmic	21
11.1.2.1. Disseny mecànic.....	21
11.1.2.2. Aïllament i disseny del serpentí.....	22
11.1.2.3. Disseny del serpentí	22
11.1.2.4. Venteig.....	26
11.1.2.5. Cubetes	26
11.1.3. Disseny dels tanques de l'extractant 1-Octanol	26
11.1.3.1. Disseny mecànic.....	27
11.1.3.2. Venteig.....	27
11.1.3.3. Cubetes	28
11.1.4. Disseny dels tanques d'aigua	28
11.1.4.1. Disseny mecànic.....	28
11.1.4.2. Venteig.....	29
11.1.4.3. Cubetes	29
11.1.5. Disseny dels tanques de metanol.....	30
11.1.5.1. Disseny mecànic.....	30
11.1.5.2. Venteig.....	31
11.1.5.3. Cubetes	31
11.1.5.4. Suports.....	31
11.1.6. Disseny dels tanques de metòxid de sodi amb metanol.	32
11.1.6.1. Disseny mecànic.....	32
11.1.6.2. Venteig.....	33
11.1.6.3. Cubetes	33

11.1.6.4 Suports	34
11.1.7 Disseny dels tancs de monòxid de carboni	34
11.1.7.1 Disseny mecànic.....	34
11.1.8 Disseny dels tancs d'aigua residual	37
11.1.8.1 Disseny mecànic.....	37
11.1.8.2 Venteig	38
11.1.8.3 Cubetes	38
11.2. Tancs pulmó.....	38
11.2.1.Disseny mecànic T-301	38
11.2.1.1 Disseny suports	40
11.2.2.Disseny mecànic T-302	40
11.2.2.1 Disseny suports	41
11.2.3. Disseny mecànic T-601	41
11.2.3.1 Disseny suports	42
11.3. Mescladors	42
11.3.1.1 Disseny agitadors	43
11.3.1 Mesclador M201.....	45
11.3.1.1 Disseny mecànic.....	45
11.3.1.2. Disseny agitador.....	46
11.3.2 Mesclador M202.....	46
11.3.2.1 Disseny mecànic.....	46
11.3.2.2 Disseny agitador.....	47
11.3.3 Mesclador M501.....	48
11.3.3.1 Disseny mecànic.....	48
11.3.3.2 Disseny agitador.....	49
11.3.4 Mesclador M601.....	49
11.3.4.1 Disseny mecànic.....	49
11.3.4.2 Disseny agitador.....	50
11.4. Tancs de condensat	51
11.4.1 Tanc de condensat T-401.....	51
11.4.2 Tanc de condensat T-501.....	52
11.4.3 Tanc de condensat T-502.....	53
11.4.4 Tanc de condensat T-503.....	54
11.4.5 Tanc de condensat-602.....	55
11.5.Bescanviadors de calor	56

11.5.1. Introducció	56
11.5.2 Disseny del bescanviador	57
11.5.2.1 Mètode de Kern	58
11.5.2.2 Disseny amb Aspen Hysys	65
11.6. Reactors	70
11.6.1. Reactor de carbonilació	70
11.6.1.1. Disseny funcional	71
11.6.1.2. Disseny mecànic	72
11.6.1.3. Difusor	76
11.6.1.4. Demister	77
11.6.1.5. Refrigeració	77
11.6.1.6. Aïllament	79
11.6.2. Reactor d'hidròlisi	79
11.6.2.1. Disseny funcional	79
11.6.2.2. Disseny mecànic	80
11.6.2.3. Agitació	81
11.6.2.4. Mitja canya	82
11.6.2.5. Aïllament	84
11.7. Columnes de destil·lació	85
11.7.1. Disseny columna de destil·lació C-401	85
11.7.1.1. Selecció del tipus de columna	87
11.7.1.2. Elecció del tipus de rebliment	88
11.7.1.3. Interns columnes	89
11.7.1.4. Disseny mecànic de la columna	91
11.7.2. Disseny columna de destil·lació C-501	95
11.7.2.1. Selecció del tipus de columna	97
11.7.2.2. Elecció del tipus de rebliment	97
11.7.2.3. Interns columna	98
11.7.2.4. Disseny mecànic de la columna	98
11.7.3. Disseny columna de destil·lació C-502	101
11.7.3.1. Selecció del tipus de columna	103
11.7.3.2. Elecció del tipus de rebliment	103
11.7.3.3. Interns columna	103
11.7.3.4. Disseny mecànic de la columna	104
11.7.4. Disseny columna de destil·lació C-503	106

11.7.4.1. Selecció del tipus de columna	108
11.7.4.2. Elecció del tipus de rebliment	108
11.7.4.3. Interns columna	108
11.7.4.4. Disseny mecànic de la columna.....	109
11.7.5. Disseny columna de destil·lació C-602.....	111
11.7.5.1. Selecció del tipus de columna	113
11.7.5.2. Elecció del tipus de rebliment	113
11.7.5.3. Interns columna	113
11.7.5.4. Disseny mecànic de la columna.....	114
11.8. Columna d'extracció	117
11.8.1. Introducció.....	117
11.8.2. Balanços de matèria i equilibri.....	118
11.8.3. Disseny mecànic de l'extracció C-601	122
11.9. Separadors de fase	125
11.9.1. Disseny del separador de fases F-401.....	125
11.9.1.1. Disseny mecànic del separador.....	131
11.9.2. Disseny del separador de fases F-501.....	133
11.9.2.1. Disseny mecànic del separador.....	134
11.10. Disseny de canonades	136
11.10.1. Càlcul del diàmetre nominal (1 fase)	136
11.10.2. Càlcul diàmetre nominal (2 fases).....	143
11.10.3. Gruix d'aïllant.....	144
11.11 Compressors.....	145
11.12 Bombes.....	147
11.12.1 Selecció de bombes	147
11.12.2 Càlcul de la potència de la Bomba	151
11.13. Serveis	151
11.13.1 Caldera de vapor.....	151
11.13.2 Torre de refrigeració.....	152
11.13.3 Equips de fred (chillers)	153
11.13.4 Servei de Nitrogen	154
11.13.5 Descalcificadors	155
11.13.6. Aire comprimit	155
11.13.7. Gas natural.....	156

11.1. Tanques d'emmagatzematge

11.1.1. Introducció

En el següent apartat es duu a terme l'explicació dels càlculs realitzats pel disseny de tots els tanques d'emmagatzematge necessaris a la planta.

Es considera com a tanques d'emmagatzematge de fluid tots aquells tanques dissenyats per emmagatzemar un fluid immòbil durant un cert període de temps. Els productes que necessiten emmagatzematge i, per tant, requereixen de tanques d'emmagatzematge són els reactius i el producte. En aquest cas es tracta de metanol, aigua, metanol amb metòxid de sodi, monòxid de carboni, l'agent extractant 1-octanol i el producte, àcid fòrmic.

Per determinar correctament el disseny mecànic dels tanques d'emmagatzematge s'utilitza el codi API 650 (American Petroleum Institute (API), 1998) pels tanques que es troben a pressió atmosfèrica i pels tanques a pressió s'usa el codi ASME (American Society of Mechanical Engineers, 1995). A continuació s'expliquen ambdós.

11.1.1.1. API 650

11.1.1.1.1. Disseny del fons

Per dur a terme el disseny del fons primer de tot s'ha de tenir en compte la resistència permissíble del sòl que ha de ser com a mínim de 1.465 kg/cm^2 . També, s'ha de comentar que el gruix del fons del tanc acostuma a ser menor que el gruix del cos del tanc, ja que el fons pateix menys esforços gràcies al suport d'asfalt on es troba fixat el tanc.

Pel que fa a les plaques, s'utilitzen plaques que tenen un gruix nominal mínim de 6.3 mm, exclouent qualsevol corrosió permissíble especificada per l'usuari. El diàmetre exterior del fons ha de ser com a mínim 51 mm més que el diàmetre del cos del tanc.

Per determinar el gruix mínim de la placa del fons es calcula l'esforç hidrostàtic que pateix, considerant el gruix mínim del cos. Es calcula amb l'equació 11.1.1.

$$S_h = \frac{0.005 \cdot D (H - 30.48) G}{t}$$

Equació 11.1.1

On

H és l'alçada del tanc (cm)

D és el diàmetre del tanc (cm)

G és densitat relativa del fluid (Kg/m^3)

t és el gruix mínim del cos (mm)

Un cop realitzat el càlcul es determina quin gruix s'utilitzarà mitjançant la següent taula:

Taula 11.1.1. gruix mínim del fons i placa anul·lar (mil·límetres)

Espesor Mínimo (mm) del Primer Anillo del Cuerpo	Esfuerzo Calculado para Prueba Hidrostática en el Primer Anillo del Cuerpo (Kg/cm ²)			
	<1989	<2109	<2320	<2530
t < 19.05	6.35	6.35	7.14	8.73
09.05 < 25.4	6.35	7.14	9.52	11.11
25.4 < 31.75	6.35	8.73	11.91	14.28
31.75 < 38.10	7.93	11.11	14.28	17.46
38.10 < 44.45	8.73	12.7	15.87	19.05

Disseny del cos.

S'ha de tenir en compte que el gruix de la paret del cos ha de ser major que el calculat per condicions de carga hidrostàtica, però en cap cas ha de ser menor als que figura en la taula 11.1.2.

Taula 11.1.2. Relació diàmetre nominal i espessor mínim

Diámetro nominal en metros	Espesor mínimo en milímetros
< 15.24	4.76
15.24 < 36.576	6.35
36.576 < 60.96	7.93
> 60.96	9.52

Per realitzar el càlcul del gruix del cos, s'ha d'utilitzar el mètode d'un peu. Consisteix en calcular el gruix en les condicions de disseny i de prova hidrostàtica seguint les equacions següents:

$$t_d = \frac{0.005D(H-30.48)G}{S_d} + CA \quad \text{Equació 11.1.2}$$

$$t_t = \frac{0.005D(H-30.48)}{S_t} + CA \quad \text{Equació 11.1.3}$$

On

t_t és gruix per prova hidroestàtica (mm)

t_d és gruix en condicions de disseny (mm)

S_t és esforç permisible en condicions de disseny (Kg/cm²)

S_d és esforç permisible en condicions de prova hidrostàtica (Kg/cm²)

D és diàmetre nominal del tanc (cm)

H és altura de disseny del nivell del tanc (cm)

G és densitat relativa (Kg/m³)

CA és corrosió admissible (mm)

Disseny del capçal.

Independentment de la forma escollida o el mètode de suport escollit, és necessari que el sostre del tanc dissenyat pugui suportar una càrrega mínima de 1.76 Kg/cm^2 més la càrrega morta ocasionada pel mateix. Per tant, les plaques utilitzades en el sostre han de tenir com a mínim un gruix nominal de 4.73 mm. A més a més, totes les peces estructurals de sostres suportats, tant les internes com les externes, tindran un gruix mínim nominal de 4.32 mm.

Els sostres dissenyats pels tancs de la planta són cònics autosuportats, amb un pendent de rang 9.5° i 37° . Així, es considera idoni agafar com a valor 20° respecte l'horitzontal. El gruix del sostre vindrà calculat per la següent equació :

$$T_t = \frac{D}{4800 \sin \theta} + CA \quad \text{Equació 11.1.4}$$

On

T_t és gruix mínim requerit (cm)

D és diàmetre del tanc (cm)

θ és Angle respecte a la horitzontal (graus)

S'ha de tenir present que el gruix del sostre mai ha de ser menor de 4.76 mm.

11.1.1.2. ASME

Abans de realitzar el càlcul del gruix és necessari calcular i determinar alguns factors que influeixen en el disseny mecànic dels tancs sotmesos a pressió. Aquests factors es determinen a continuació:

Pressió interna

Pressió de disseny

La pressió de disseny P és el valor que s'ha d'utilitzar pel disseny de les parts constructives dels recipients que es trobin a pressió. Per saber aquesta pressió s'ha de determinar mitjançant la següent equació:

$$P = P_{OP} + \Delta P + (P_{OP} + \Delta P) \cdot 0.15 \quad \text{Equació 11.1.5}$$

Pressió hidrostàtica ΔP

ΔP és la pressió hidrostàtica ΔP corresponent a la pressió que exerceix un pes de un fluid en repòs.

$$\Delta P = \rho \cdot G \cdot H \quad \text{Equació 11.1.6}$$

On

ρ és densitat del fluid (kg/m^3)

g és força de la gravetat (m/s^2)

H és altura de la columna del líquid (m)

Pressió operació P_{op}

La pressió de operació P_{op} és la pressió de treball.

Límit elàstic S

El límit elàstic, S , és un valor que va variant depenent del material escollit i la temperatura de treball, ja que el límit elàstic és el màxim esforç al qual es pot sotmetre el material.

Pel disseny dels tancs s'han fet servir el següents materials:

- Acer inoxidable 316L pels tancs d'àcid fòrmic i metòxid de sodi en metanol.
- Acer al carboni del grau 55 pels tancs d'aigua
- Acer al inoxidable 304L pels tancs de l'agent extractant (1-octanol).

Els valors del límit elàstic trobats pels materials citats anteriorment es troben a la taula 11.1.3 del codi ASME.

Taula 11.1.3. Valors dels límits elàstics dels materials

PROPERTIES OF MATERIALS CARBON & LOW ALLOY STEEL												
Maximum Allowable Stress Values in Tension 1000 psi. *												
Specification		For Metal Temperature Not Exceeding Deg. F.										
Number	Grade	-20 to 650	700	750	800	850	900	950	1050	1100	1150	1200
SA-283	C	12.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SA-285	C	13.8	13.3	12.1	10.2	8.4	6.5	-	-	-	-	-
SA-515	55	13.8	13.3	12.1	10.2	8.4	6.5	4.5	2.5	-	-	-
SA-515	60	15.0	14.4	13.0	10.8	8.7	6.5	4.5	2.5	-	-	-
SA-515	65	16.3	15.5	13.9	11.4	9.0	6.5	4.5	2.5	-	-	-
SA-515	70	17.5	16.6	14.8	12.0	9.3	6.5	4.5	2.5	-	-	-
SA-516	55	13.8	13.3	12.1	10.2	8.4	6.5	4.5	2.5	-	-	-
SA-516	60	15.0	14.4	13.0	10.8	8.7	6.5	4.5	2.5	-	-	-
SA-516	65	16.3	15.5	13.9	11.4	9.0	6.5	4.5	2.5	-	-	-
SA-516	70	17.5	16.6	14.8	12.0	9.3	6.5	4.5	2.5	-	-	-
SA-105	II	17.5	16.6	14.7	12.0	9.2	6.5	4.5	2.5	-	-	-
SA-181	I	15.0	14.3	12.9	10.8	8.6	6.5	4.5	2.5	-	-	-
SA-350	LF1 LF2	15.0 17.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SA-53	B	15.0	14.4	13.0	10.8	8.7	6.5	-	-	-	-	-
SA-106	B	15.0	14.4	13.0	10.8	8.7	6.5	4.5	2.5	-	-	-
SA-193	B7 $\leq 2\frac{1}{2}$ "	25.0	25.0	23.6	21.0	17.0	12.5	8.5	4.5	-	-	-
SA-194	2H	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SA-307	B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Figura 11.1.4. Valors dels límits elàstics dels materials

		MAXIMUM ALLOWABLE STRESS VALUES IN TENSION FOR HIGH-ALLOY STEEL (CAUTION: See UW-12 for vessels constructed under part UW)												
Specification		Maximum Allowable Stress, ksi (Multiply by 1000 to Obtain psi), for Metal Temp., °F, Not Exceeding												
Number	Grade	-20 to 100	200	300	400	500	600	650	700	750	800	850	900	950
SA-240	304	18,8	17,8	16,6	16,2	15,9	15,9	15,9	15,9	15,5	15,2	14,9	14,7	14,4
SA-240	304L	15,7	15,7	15,3	14,7	14,4	14	13,7	13,5	13,3	13	—	—	—
SA-240	316	18,8	18,8	18,4	18,1	18,0	17,0	16,7	16,3	16,1	15,9	15,7	15,5	15,4
SA-240	316L	15,7	15,7	15,7	15,5	14,4	13,5	13,2	12,9	12,6	12,4	12,1	—	—

Temperatura de operació T_{op}

Pel que fa la temperatura de operació, com s'ha esmentat anteriorment, la temperatura d'operació és la temperatura que estarà el tanc en condicions normals de operació.

Temperatura de disseny T

En el cas de la temperatura de disseny T és la temperatura d'operació, però per motius de seguretat se sumen o resten 15 ° C.

$$T = T_{op} \pm 15 \text{ Equació 11.1.7}$$

Factor de soldadura E

La unió entre plaques es realitza per soldadur. Com que aquesta té una certa discontinuïtat i la seva realització pot comportar defectes, la zona on s'ha realitzat la soldadura és veu debilitada. Per tant, el codi ASME introdueix una reducció del límit elàstic fent el producte d'aquest pel factor de soldadura E . Si es considera que el radiografiat és parcial el valor de E serà de 0.85, i radiografiat total de 1, valors que s'han considerat pel disseny dels equips que disposa la planta.

Factor M

El factor M correspon a la relació entre els radis que formen el capçal toriesfèric, capçal escollit pel disseny dels tancs, r i L . Aquest paràmetres és poden observar en la següent figura:

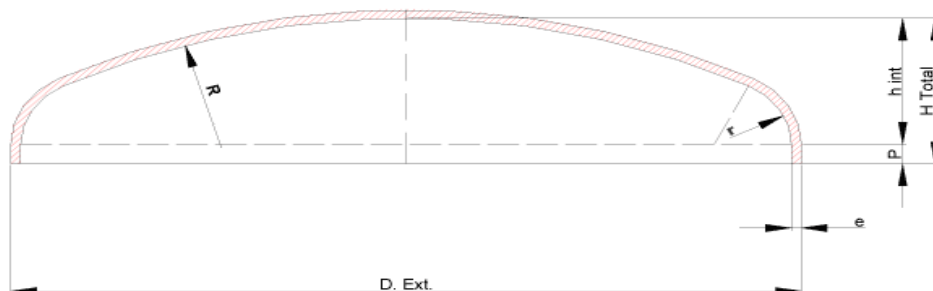


Figura 11.1.1. capçal toriesfèric

Els paràmetres L i r es determinant mitjançant la següent equació:

$$L = D_{ext} \quad \text{Equació 11.1.8}$$

$$r = 0.1 \cdot L \quad \text{Equació 11.1.9}$$

Un cop determinants L i r es troba el valor del factor M mitjançant la següent taula.

Taula 11.1.5. valors del factor M mitjançant la relació L/r

VALUES OF FACTOR "M"																
L/r	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00	3.25	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
M	1.00	1.03	1.06	1.08	1.10	1.13	1.15	1.17	1.18	1.20	1.22	1.25	1.28	1.31	1.34	1.39
L/r	7.00	7.50	8.00	8.50	9.00	9.50	10.0	10.5	11.0	11.5	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	16.5
M	1.41	1.44	1.46	1.48	1.50	1.52	1.54	1.56	1.58	1.60	1.62	1.65	1.69	1.72	1.75	1.77

* THE MAXIMUM ALLOWED RATIO : $L = D + 2t$ (see note 2 on facing page)

Gruix per corrosió C_1

El gruix per corrosió C_1 ha de ser suficient per compensar la corrosió, abrasió mecànica o erosió que pot patir l'equip al llarg de la seva vida útil. Aquest valor depèn material a usar, però sol tenir un valor que oscil·la entre 1 a 6 mm. Aquest valor es multiplica pel anys de vida útil de l'equip. En aquest cas, es considera una vida útil de 20 anys per tots els equips de la planta.

Aquest factor s'addiciona als gruixos obtinguts per poder resistir les càrregues a les que es troben sotmesos els equips.

Tolerància de fabricació C_2

En les parts de l'equip on el material d'aquest pateix una deformació, és a dir, les curvatures dels fons toricsfèrics, es perd certa part del gruix, motiu pel qual s'addiciona un 10 % del gruix del capçal obtinguts inicialment.

Disseny del cos

Pel càlcul del gruix necessari pel cos cilíndric del tanc per les condicions de treball es determina mitjançant la següent equació:

$$t_{cilindre} = \frac{P \cdot R}{S \cdot E - 0.6 \cdot P} + C_1 \quad \text{Equació 11.1.10}$$

On

P és pressió de disseny (psi)

R és radi del tanc (inch)

S és límit elàstic del material (psi)

E és factor de soldadura

C_1 és corrosió del material (inch)

Disseny dels capçals toriesfèrics

Per dur a terme el càlcul dels gruixos dels capçals toriesfèrics s'utilitza l'equació 11.1.11 per una relació de L/r més petita que $16^{2/3}$

$$t_{capçal} = \frac{P \cdot L \cdot M}{2 \cdot S \cdot E - 0.2 \cdot P} + C_1 + C_2 \quad \text{Equació 11.1.11}$$

On

P és pressió de disseny (psi)

L és radi de la esfera que forma el capçal toriesfèric (inch)

M és constant que relaciona els radis del fons toriesfèric

S és límit elàstic del material (psi)

E és factor de soldadura

C_1 és corrosió del material (inch)

C_2 és corrosió de tolerància a la fabricació.

Altura capçal toriesfèric

Pel que fa a l'altura del capçal toriesfèric köppler es determina per la següent equació:

$$h_1 = 3.5 \cdot t_{capçal} \quad \text{Equació 11.1.12}$$

$$h_2 = 0.1935 \cdot D_{intern} - 0.455 \cdot t_{capçal} \quad \text{Equació 11.1.13}$$

$$H_{toriesfèric} = h_1 + h_2 + t_{capçal} \quad \text{Equació 11.1.14}$$

Pressió externa

Disseny del cos cilíndric

Per determinar el gruix necessari per tal de que es produeixin deformacions del material es determina la pressió externa del cilindre. Es realitza un procés iteratiu que consisteix en la suposició d'un gruix i calcular si aquest valor suposat aguanta la pressió extrema admissible. Si la pressió admissible calculada és inferior a la pressió externa màxima permesa es suposa un altre valor de gruix.

Els càlculs per dur a terme aquest procés iteratiu son els següents:

$$P_a = \frac{4 \cdot B}{3 \cdot \frac{D_o}{t_r}} \quad \text{Equació 11.1.15}$$

On

t_r és gruix de la placa sense tenir en compte el factors C_1 i C_2 .

Per determinar el paràmetre B és necessari el càlcul de les relacions L'/D_o i D_o/t_r , on aquests paràmetres es determinen utilitzant les següents equacions:

$$L' = L + \frac{2H_{torisferic}}{3} \quad \text{Equació 11.1.16}$$

$$D_o = D_{int\ del\ tanc} + 2\ t \quad \text{Equació 11.1.17}$$

Un cop determinades les relacions, es calcula el factor A mitjançant la figura 11.1.6 per obtenir posteriorment el factor B mitjançant la figura 11.1.7.

En cas de que la relació L'/D_o és menor que L'/D_o requerit es recomana l'ús de reforços.

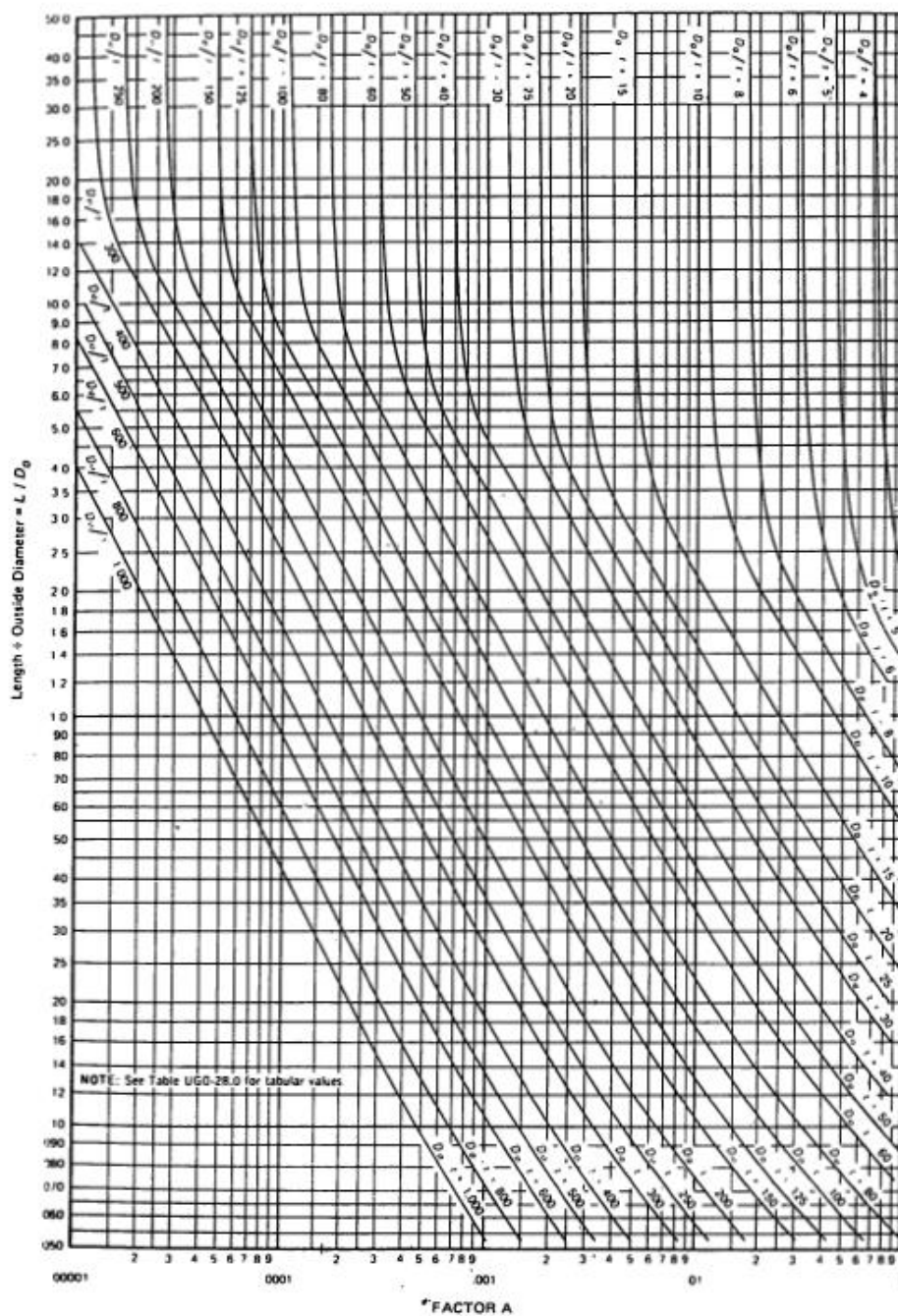


Figura 11.1.2. Factor A en funció de la longitud, diàmetre i gruix.

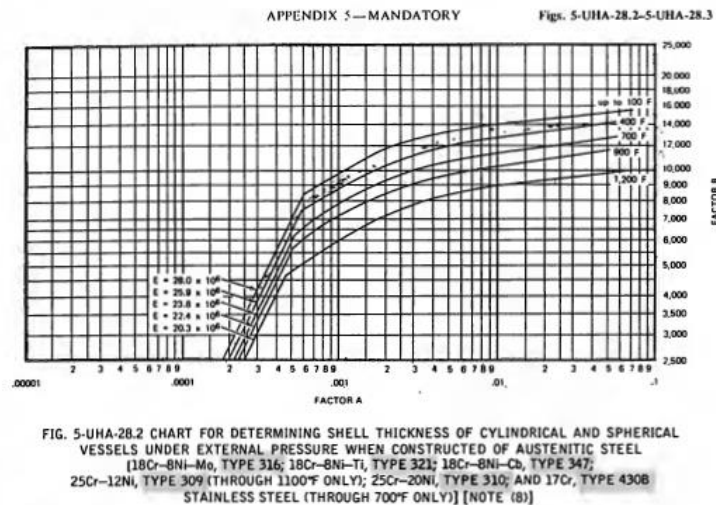


Figura 11.1.3. Factor B en funció del factor A

Un cop determinat el factor A i amb les figures pertinents a la secció VIII del codi ASME, (Exemple figura 11.1.3) es calcula el factor B. En cas que el valor de A quedi a l'esquerra de la figura, en el qual no es pot obtenir cap valor equivalent de B, s'utilitza la següent expressió per realitzar el càlcul de la pressió externa.

$$P_a = \frac{2 \cdot A \cdot E}{3 \cdot \frac{D_o}{t_r}} \quad \text{Equació 11.1.18}$$

Disseny del capçals toriesfèrics

Pel que fa al disseny del capçals toriesfèrics és fa el mateix procés iteratiu esmentat anteriorment. Primer de tot, es calcula el gruix mínim requerit mitjançant l'equació 11.1.11.

Un cop determinat el gruix mínim es suposa un valor d'espessor que sigui igual o major que el valor trobat anteriorment i es determina el valor d'A a partir de la següent equació:

$$A = \frac{0.125}{\frac{R}{t_{sup}}} \quad \text{Equació 11.1.19}$$

Seguidament, s'obté el valor de B, mitjançant les figures pertinents a la secció VIII del codi ASME, per finalment calcular la pressió admissible a partir de:

$$P_a = \frac{B}{\frac{R}{t_{sup}}} \quad \text{Equació 11.1.20}$$

Si la pressió admissible és menor que la pressió externa es torna a suposar un valor de sobreessessor.

Pes dels tancs

La metodologia de càlcul del pes dels equips es basa en l'estimació del volum que ocupa el material del què està fet, que juntament amb la densitat del material, permetrà determinar el pes dels equips. Per raons de seguretat, tots els equips es sobredimensionen entre un 10-20 %, en aquest cas, s'escull el valor del 20%. Aquest sobredimensionament cobreix el pes dels complements que porten els equips, com ara vàlvules i connexions entre altres.

Tancs dissenyats pel codi API 650:

Pel càlcul del cos del tanc buit es calculen mitjançant les següents equacions:

$$Pes_{cilindre} = V_{cilindre} \cdot \rho_{material} \quad [kg] \quad \text{Equació 11.1.21}$$

On

$$V_{cilindre} = \frac{\pi}{4} (D_{ext}^2 - D_{int}^2) \cdot H \quad (m^3) \quad \text{Equació 11.1.22}$$

$\rho_{material}$ és densitat del material (kg/m^3)

Pel càlcul del fons del tanc s'utilitza l'equació 11.1.20, però tenint en compte que el volum s'obté emprant la següent equació:

$$Pes_{fons} = V_{fons} \cdot \rho_{material} \quad [kg] \quad \text{Equació 11.1.23}$$

$$V_{fons} = \frac{\pi}{4} (D_{tanc}^2) \cdot t \quad (m^3) \quad \text{Equació 11.1.24}$$

On

$$D_{tanc} = D_{tanc} + 51 \text{ mm} \quad \text{Equació 11.1.25}$$

t és sobregruix placa anular (m)

Pel que fa els capçals cònic:

$$Pes_{cònic} = V_{cònic} \cdot \rho_{material} \quad [kg] \quad \text{Equació 11.1.26}$$

$$V_{cònic} = \frac{\pi}{3} (D_{ext}^2 - D_{int}^2) \cdot H_{cònic} \quad (m^3) \quad \text{Equació 11.1.27}$$

Pes total del tanc buit:

$$Pes_{total} = Pes_{cònic} + Pes_{fons} + Pes_{cilindre} \quad [kg] \quad \text{Equació 11.1.28}$$

Pel pes del tanc ple:

$$Pes_{total \text{ ple}} = Pes_{total} + V_{liquid} \cdot \rho_{liquid} \quad \text{Equació 11.1.29}$$

Tancs dissenyats pel codi ASME

El càlcul del cos del tanc buit es determina mitjançant les següents equacions:

$$Pes_{cilindre} = V_{cilindre} \cdot \rho_{material} \quad [kg] \quad \text{Equació 11.1.30}$$

On:

$$V_{cilindre} = \frac{\pi}{4} (D_{ext}^2 - D_{int}^2) \cdot H \quad (m^3) \quad \text{Equació 11.1.31}$$

$\rho_{material}$ és densitat del material (kg/m^3)

Pel que fa el pes dels torisfèrics es calculen seguint les següents equacions:

$$V_{capçals superior} = 0.0809 \cdot (D_{ext}^3 - D_{int}^3) \quad \text{Equació 11.1.32}$$

$$V_{capçals inferior} = 0.0809 \cdot (D_{ext}^3 - D_{int}^3) \quad \text{Equació 11.1.33}$$

On

D_{ex} és Diàmetre exterior del capçal (m)

D_{int} és Diàmetre interior del capçal (m)

$$Pes_{capçal} = V_{capçal} \cdot \rho_{material} \quad [kg] \quad \text{Equació 11.1.34}$$

Pel pes total es fa la suma dels pesos del cos cilíndric i els capçals

$$Pes_{total} = Pes_{cos} + Pes_{capçal superior} + Pes_{capçal inferior} \quad [kg] \quad \text{Equació 11.1.35}$$

Pes tanc ple:

$$Pes_{total ple} = Pes_{total} + V_{liquid} \cdot \rho_{liquid} \quad \text{Equació 11.1.36}$$

11.1.1.3. Venteig

El venteig o alleujament de pressió dels tancs és necessari per prevenir la formació del buit o l'augment o disminució de pressió interna. Així s'evita la deformació dels capçals de les parets com a conseqüència de les variacions de pressió produïdes per efecte de càrrega i descàrrega o la variació brusca de la temperatura.

El disseny dels venteigs segueixen la normativa ITC-MIE-APQ1 ("Almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles"). La normativa també indica que el sistema de venteig tindrà com a mínim la mida igual o major a una de les canonades d'entrada o sortida del tanc, però en cap moment aquesta tindrà un diàmetre inferior a 35 mm. Per determinar la capacitat de venteig necessària s'utilitzen les següents equacions:

$$\dot{A}_{humida} = (\dot{A}_{humida} \cdot D_{tanc} \cdot H) \cdot 0.75 \quad \text{Equació 11.1.37}$$

$$Q_{foc} = 139.7 \cdot F \cdot \dot{A}_{humida}^{0.82} \cdot 10^3 \quad \text{Equació 11.1.38}$$

$$m^3 \text{ de aire/hora} = \frac{4.414 \cdot Q_{foc}}{L \cdot \sqrt{PM}} \quad \text{Equació 11.1.39}$$

On

$\dot{A}_{humida}$ és Àrea Humida (m^2)

Q_{foc} és calor rebut (KJ/h)

L és calor latent de vaporització (KJ/kg)

PM és pes molecular del fluid emmagatzemat.

F és factor de reducció que aquest cas sempre serà 1.

A més a més, els equips de venteigs disposen d'apagaflames per poder actuar directament en cas d'accident o incendi.

11.1.1.4. Cubetes

Els recipients de superfície per l'emmagatzematge de líquids inflamables i combustibles han de disposar de una cubeta de retenció. És importat que cada fila de cubetes tingui adjacent una via d'accés que permeti la intervenció de la brigada de lluita contra incendis en cas d'accident.

El fons de la cubeta ha de tenir un cert pendent de tal manera que el producte vessat vagi a parar de la manera més ràpida possible cap a les zones més allunyades dels recipients. A més a més, en totes les cubetes els recipients no han d'estar disposats en més de dues files.

Per determinar el dimensionament de la cubeta es segueix la normativa ITC-MIE-APQ1 ("Almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles"). Primer, es defineixen les distàncies entre els tancs i les parets dels tancs i les cubetes.

$$\text{Distància entre tancs} = \left(\frac{D_{tanc}}{2} \right) \quad \text{Equació 11.1.40}$$

Es considera també, que la distància entre la paret del tanc i la cubeta ha de ser 1 metre.

Un cop determinades les distàncies entre els tancs, es calculen les dimensions de la cubeta:

- Àrea ocupada

$$\dot{A}_{ocupada} = \frac{\pi}{4} \cdot N \cdot D_{tanc}^2 \quad \text{Equació 11.1.41}$$

- Longitud de la cubeta

$$L_{cubeta} = \left(\frac{N}{2} \right) \cdot D_{tanc} + \left(\frac{N}{2} - 1 \right) \cdot D_{entre \text{ tancs}} + 2 \cdot D_p \quad \text{Equació 11.1.42}$$

- Amplada de la cubeta.

$$W_{cubeta} = 2 \cdot D_{tanc} + 2 \cdot D_p + D_{Entre \text{ tancs}} \quad \text{Equació 11.1.43}$$

- Àrea lliure

$$\dot{A}_{lliure} = L_{cu} \cdot W_{cu} - \dot{A}_{ocupada} \quad \text{Equació 11.1.44}$$

- Alçada de la cubeta

$$h_{cubeta} = \frac{V_{Tanc}}{\dot{A}_{lliure}} \cdot 1.15 \quad \text{Equació 11.1.45}$$

On

$D_{\text{entre tancs}}$ és distància entre tancs (m)

L_{cubeta} és longitud de la cubeta (m)

N és número de tancs

D_p és Distància entre la paret del tanc i la cubeta (m)

W_{cubeta} és Amplada de la cubeta (m)

$\text{Àrea}_{\text{ocupada}}$ és àrea ocupada pels tancs (m^2)

$\text{Àrea}_{\text{lliure}}$ és àrea lliure de la cubeta (m^2)

h_{cubeta} és alçada de la cubeta (m)

11.1.1.5. Boca d'home

Tot recipient ha de tenir una boca d'home pel manteniment d'aquest. Pels tots els tancs de la planta es col·loquen boques d'home de 610 mm de diàmetre nominal. Les dimensions de les plaques de reforç i altres paràmetres venen tabulats pel codi API 650. Aquests paràmetres es recullen en la taula 11.1.6.

Taula 11.1.6. paràmetres recollits en el codi API 650 pel disseny de la boca d'home

boca d'home

col·locat en el sostre	
Diàmetre nominal (mm)	610
Diàmetre interior del coll (mm)	610
Diàmetre exterior de tapa plana (mm)	762
Diàmetre circulo de barrenos (mm)	698
Nº de claus	20
diàmetre d'empaquetament interior (mm)	610
diàmetre d'empaquetament exterior (mm)	762
Diàmetre de forat en el sostre i placa de reforç (mm)	625
Diàmetre exterior en el sostre i placa de reforç (mm)	1168

11.1.1.6. Disseny suports dels tancs

Pel suports dels tancs dissenyats pel mètode ASME, es dissenya suports per poder suportar aquests tancs. Des de el punt de vista econòmic i estàtic, s'escull l'ús de 4 silletes per suportar el recipients horitzontals. L'alçada d'aquestes suports de tots el tancs dissenyats pel la norma ASME tenen una alçada de 0.6 metres. La ubicació d'aquestes silletes determina la situació de les obertures d'aquestes i altres accessoris existents en el fons del recipient.

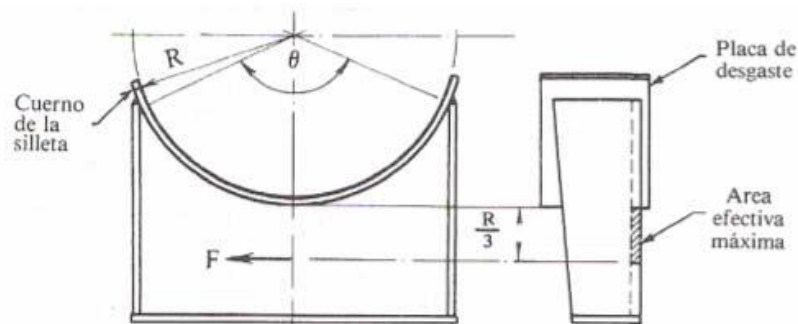


Figura 11.1.4. Disseny d'una silleta

Per dur a terme el disseny de les silletes, s'utilitzen les següents expressions:

$$P = K_{11} \cdot Q \quad \text{Equació 11.1.46}$$

On

P és pes suportat per les silletes, (kg)

K_{11} és constant de contacte de la silleta. Valor conegut com l'angle de contacte de la silleta amb el recipient on s'obté dita constant.

Taula 11.1.7. valors de la constant k_{11} en funció del angle.

VALORES DE LA CONSTANTE K_{11}							
Angulo de contacto, θ	120°	130°	140°	150°	160°	170°	180°
K_{11}	.204	.222	.241	.259	.279	.298	.318

$$Q = \frac{P_{\text{Total de fluid}}}{N_{\text{silletas}}} \quad \text{Equació 11.1.47}$$

On

Q és carga sobre una silleta (kg)

$P_{\text{total fluid}}$ és pes del tanc amb el fluid (kg)

N_{silletas} és número de silletas

11.1.1.7. Aïllament dels tancs

Per temes de seguretat, tots els tancs de la planta aniran aïllats amb llana de roca de 10 cm de gruix i recoberts per una capa d'alumini per tal de que l'aïllament no es faci mal bé. S'escull un gruix de 10 cm per tal de que aquesta tingui una vida útil aproximada de 20 anys.

11.1.2. Disseny dels tancs d'àcid fòrmic

Abans de determinar els valors del gruix i pes dels tancs, primer de tot, s'ha de determinar els dies de reserva que la planta mantindrà l'àcid fòrmic en planta. Es considera 4 dies per temes de recollida del producte. Un cop es determina els dies de reserva, es calcula el diàmetre i l'alçada dels tancs mitjançant els volums.

Els volums dels tancs per l'àcid fòrmic es consideren tancs de 200 metres cúbics, els quals el seu nivell d'ocupació sempre serà del 80 %. Sabent que la planta produeix 11.18 m³/hora durant les 24 hores del dia s'obté un volum total de 268.54 m³/ dia.

$$11.18 \frac{m^3}{h} \cdot \frac{24 \text{ hores}}{1 \text{ dia}} = 268.54 \frac{m^3}{dia}$$

$$268.54 \frac{m^3}{dia} \cdot 4 \text{ dies} = 1074.17 m^3$$

Un cop determinat el volum d'àcid fòrmic produït per dia, es calcula el diàmetre i altura dels tancs. La relació típica entre l'altura i el diàmetre d'un tanc sol ser de 1.5 per treballs a pressió atmosfèrica. Amb aquesta consideració i escollint tancs de 200 m³, tal com s'ha esmentat anteriorment, s'obté un valor de 5.54 metres de diàmetre i 8.31 metres d'alçada.

El número de tancs necessaris es determinen:

$$268.54 (m^3/dia) \cdot \frac{4 \text{ dies}}{200 m^3} = 5.5 \approx 6 \text{ tancs}$$

11.1.2.1. Disseny mecànic

Per dur a terme el disseny dels tancs del àcid fòrmic es segueix el manual de càlcul API650 per tancs atmosfèrics. Per la construcció dels tancs d'àcid fòrmic s'utilitza el material acer Inoxidable AISI 316L, ja que té una molt bona compatibilitat. Utilitzant les equacions del codi API 650 s'obtenen el següents valors:

Taula 11.1.8. Valors obtinguts pel disseny de tancs d'àcid fòrmic seguint codi API 650

MATERIAL ACER INOXIDABLE 316			
Nº tancs	6	COS CILINDRIC	
$\rho_{acer} (kg/m^3)$	7960	td (mm)	0.55
Temps de stock (dies)	4	tt (mm)	0.54
$\rho_{àcidfòrmic} (kg/m^3)$	1153.0	Placa utilitzar (mm)	6.73
Vdisseny (m ³)	200	Pes (kg)	7311.25
D (m)	5.54	CAPÇAL CÒNIC	
Hcilindre (m)	8.31	Θ°	20
Hlíquid (m)	6.72	Hcònic(m)	0.95
Htotal(m)	9.25	Tt(mm)	7.40
Pressió (psi)	14.76	Placa utilitzar (mm)	9.54
T (°C)	35	pes (kg)	695.1

Sd (psi)	1560.2	FONS	
St(psi)	1580.6	Placa utilitzar (mm)	9.54
ΔP (atm)	0.7	pes (kg)	1862.43
Ocupació del tanc (%)	80.0	Pes total buit (kg)	9868.83
Pes total amb líquid (kg)	194348.8		

11.1.2.2. Aïllament i disseny del serpentí

L'àcid fòrmic congela a 8°C, per tant, per tal d'evitar gelades en èpoques de congelació els tancs d'emmagatzematge del producte s'addiciona un aïllament de llana de roca, i a més a més, es dissenya un serpentí.

11.1.2.3. Disseny del serpentí

Per dur a terme el disseny del serpentí, primer de tot es calcula la calor alliberada pel tanc mitjançant la següent equació:

$$Q = 2 \cdot \pi \cdot L \cdot \frac{\Delta T}{\left(\frac{\ln \frac{r_1}{r_2}}{k_{aïllant}} \right) + \left(\frac{\ln \frac{r_1}{r_2}}{k_{acer}} \right)} \quad \text{Equació 11.1.48}$$

On

Q és calor transmesa (W)

L és alçada del tanc (m)

ΔT és T_{EXTERIOR} - T_{INTERIOR} (°C)

r₁ és radi interior del tanc (m)

r₂ és radi exterior del tanc (m)

k_{aïllant} és conductivitat del aïllant (W/m²°C)

k_{acer} és conductivitat del acer (W/m²°C)

Un cop determinada la calor alliberada del tanc, es calcula el coeficient global U mitjançant la següent equació:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_{liq}} + \frac{1}{h_{aire}} + \frac{\Delta x_{acer}}{k_{acer}} + \frac{\Delta x_{aïllant}}{k_{aïllant}} \quad \text{Equació 11.1.49}$$

On

U és coeficient global de transmissió de calor (W).

h_{liq} és coeficient de transmissió del fluid (W/m² C).

h_{aire} és coeficient de transmissió del fluid (W/m² C).

Δx_{acer} és gruix de la placa del acer (m).

Δx_{aïllant} és gruix del aïllant (m).

Un cop determinat el coeficient de transmissió de calor es determina l'àrea de bescanvi a partir de la següent equació:

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T_{ml} \quad \text{Equació 11.1.50}$$

On

Q és calor transmesa (W)

U és coeficient global de transmissió de calor (W)

A és àrea de bescanvi

ΔT_{ml} és diferència mitjana logarítmica de temperatura (°C)

$$\Delta T_{ml} = \frac{(T_V - T_1) - (T_V - T_2)}{\ln\left(\frac{(T_V - T_1)}{(T_V - T_2)}\right)} \quad \text{Equació 11.1.51}$$

On

T_V és Temperatura de vapor (°C)

T_1 és Temperatura interior del tanc (°C)

T_2 és Temperatura exterior del tanc (°C)

$$A = \frac{Q}{U \cdot \Delta T_{ml}} \quad \text{Equació 11.1.52}$$

Un cop determinada l'àrea de bescanvi es determina la longitud del serpentí a partir de la següent equació:

$$L = \frac{A}{\pi \cdot D_{\text{serpentí}}} \quad \text{Equació 11.1.53}$$

On

L és longitud del serpentí (m)

$D_{\text{serpentí}}$ és diàmetre del serpentí, aquest és suposa que és una polsada (1') (m)

Els càlculs realitzats es recullen a la següent taula 11.1.9

Taula 11.1.9 Valors trobats pel disseny del serpentí.

$k_{aïllant} (W/mK)$	0.038
$k_{acer} (W/mK)$	16.3
$T_{int} (°C)$	35
$T_{ext} (°C)$	-5
$Ax_{aïllant} (cm)$	0.01
$Ax_{acer} (cm)$	0.0675
$\Delta T_{lm} (°C)$	15.42
$Q (W)$	17646.17
$U (W)$	150.00
$A_{bescanvi} (m^2)$	7.63
$Diàmetre (m)$	0.026
$L (m)$	93.419

Un cop s'obté la longitud del serpentí, es determina el nombre de voltes que tindrà aquest a l'interior del tanc. Com que el serpentí està a l'interior del tanc, el diàmetre de volta que tindrà serà un valor suposat de 2.5 metres. El numero de voltes es calcula mitjançant les següents equacions:

$$n^{\circ} \text{ de voltes} = \frac{L}{\pi} \cdot \text{Diàmetre volta del serpentí} \quad \text{Equació 11.1.54}$$

On

L és longitud del serpentí (m)

Diàmetre volta del serpentí és valor suposat de 2.5 m

Un cop determinat el numero de voltes es calcula la distància, espaiat i alçada del serpentí. La distància és un valor suposat de 10 cm.

$$H_{\text{serpentí}} = (\text{espaiat} + \text{diàmetre del serpentí}) \cdot n^{\circ} \text{ de voltes} \quad \text{Equació 11.1.55}$$

On

$H_{\text{serpentí}}$ és alçada del serpentí (m)

Espaiat és 5 cm

Diàmetre del serpentí és 0.026m

Taula 11.1.10 valors obtinguts per l'alçada del serpentí.

Diàmetre volta serpentí (m)	2.5
Nº voltes	74.34
Espaiat (m)	0.05
H serpentí (m)	5.65

Seguidament es calcula el cabal d'aigua necessària i la velocitat d'aquesta que circularà pel serpentí. Aquests càlculs es determinen mitjançant les següents equacions:

$$Q = m \cdot Cp \cdot \Delta T \quad \text{Equació 11.1.56}$$

On

Cp és capacitat calorífica del aigua (KJ/kg·K)

ΔT és (Tsortida-Tentrada) (°C)

Q és calor transmesa (W)

m és cabal de aigua necessari (kg/s)

Taula 11.1.11 Valors utilitzats per determinar el cabal d'aigua que circula pel serpentí.

Q(W)	14116.9
Cp(J/KgK)	4179
Tentrada (° C)	30
Tsortida (° C)	40
m (kg/s)	0.42

Seguidament es calcula la velocitat de l'aigua:

$$\dot{A}_{pas} = \frac{\pi}{4} D_{serpentí}^2 \quad \text{Equació 11.1.57}$$

$$v = \rho_{aigua} \cdot m \quad \text{Equació 11.1.58}$$

On

ρ_{aigua} (kg/m³)

v és velocitat del aigua (m/s)

Taula 11.1.12. valors utilitzats per determinar la velocitat d'aigua que circula pel serpentí.

àrea pas (m²)	5.31E-04
ρ (Kg/m³)	1000.0
m (kg/s)	0.42
v (m/s)	0.80

Analitzant els resultats de la taula 11.1.12 s'observa que la velocitat del fluid que circula per dins del serpentí és inferior al rang típic de velocitats. En aquest cas, entre 1.5 i 2.5 m/s. Per tant, és podria utilitzar un diàmetre més petit del que s'ha escollit, però per temes de seguretat, es decideix mantenir el diàmetre escollit en un principi de una polsada.

11.1.2.4. Venteig

Per determinar els m³ d'aire necessaris pel venteig, s'utilitzen les equacions explicades a l'apartat 11.1.1.3. Venteig. Els valors obtinguts es detallen a continuació.

Taula 11.1.13 valors determinats pel venteig tancs àcid fòrmic.

m ³ aire/h	7937.5
Àrea (m ²)	108.60
F	1
Q(KJ/h)	6.52E+06
L(KJ/Kg)	501.9
PM	46

11.1.2.5 Cubetes

Per determinar les dimensions que tindran les cubetes dels tancs d'àcid fòrmic, s'utilitzen les equacions explicades en l'apartat 11.1.1.4. Cubetes. Els valors obtinguts es detallen a continuació.

Taula 11.1.14. valor calculats pel dimensionament de les cubetes.

Àrea ocupa (m ²)	144.9
L cubeta (m)	24.2
W cubeta (m)	15.9
Àrea lliure (m ²)	238.7
H cubeta (m)	0.84

11.1.3 Disseny dels tancs de l'extractant 1-Octanol

Igual que s'ha fet pels tancs d'àcid fòrmic, primer de tot es determina el volum necessari per dia que necessita la planta per dur a terme l'extracció per a l'obtenció de l'àcid fòrmic.

Es necessiten 1.82 m³/hora de 1-Octanol, per tant el volum diari és aproximadament:

$$0.104 \frac{m^3}{h} \cdot \frac{24 \text{ hores}}{\text{dia}} = 2.51 m^3/\text{dia de 1octanol}$$

Un cop calculat el volum diari d'extractant, es preveu 4 dies d'estoc, tenint en compte possibles problemes de transport de la matèria primera.

Un cop s'ha obtingut el volum d'agent extractant que es necessita per dia i els dies d'estoc, es determina el diàmetre i altura dels tancs. La relació típica entre l'altura i el diàmetre d'un tanc, sol ser de 1.5 per treballs a pressió atmosfèrica. Amb aquesta consideració i escollint tancs de 50 m³, s'obté un valor, en metres, de 2.34 diàmetre i 4.44 d'alçada total.

El número de tancs necessaris són:

$$2.51 (m^3/dia) \cdot \frac{4 \text{ dies}}{15 m^3} = 0.67 \approx 1 \text{ tanc}$$

11.1.3.1 Disseny mecànic

Per dur a terme el disseny dels tancs de l'agent extractant es segueix el codi ASME [apartat 11.1.2] per tancs a pressió. Per la construcció d'aquests tancs, s'utilitza el material acer inoxidable, ja que té una molt bona compatibilitat. Utilitzant les equacions del codi ASME s'obtenen el següents valors:

Taula 11.1.15 Valors obtinguts pel disseny de tancs 1-Octanol seguint codi ASME

MATERIAL ACER INOXIDABLE 304			
Nº tancs	1	COS CILINDRIC	
paçer (kg/m³)	7890	t (mm)	5.8
Temps de stock (dies)	4	Placa utilitzar (mm)	6
paigua (Kg/m³)	845.2	Pes (kg)	1213.34
Vdisseny (m³)	15	CAPÇALS TORIESFÈRICS	
D (m)	2.34	L=D (inch)	91.9
Hcilindre (m)	3.50	r	9.19
Hliquid (m)	3.55	L/r	10
Htotal (m)	4.44	M	1.54
Pressió (psi)	14.76	tsuperior (mm)	5.8
ΔP(psi)	4.39	tinferior (mm)	6.6
Pressió disseny (psi)	25.02	Placa utilitzar superior (mm)	6.0
T (°C)	20	Placa utilitzar inferior (mm)	8.0
Tdisseny(°C)	35	Htoriesfèric sup (mm)	462.90
S(psi)	18800	Htoriesfèric infer (mm)	476.20
E	0.85	Pes capçal superior (kg)	125.30
C1(mm)/20 anys	4	Pes capçal inferior (kg)	167.35
C2 sup(mm)/20 anys	0.58	Ocupació del tanc (%)	80
C2 inf(mm)/20 anys	0.66		
Pes total tanc buit (kg)		12705.95	
Pes total tanc omplert (kg)		22845.95	

11.1.3.2 Venteig

Per determinar els m³ d'aire necessaris pel venteig, s'utilitza les equacions explicades en l'apartat 11.1.1.3. *Venteig*. Els valors obtinguts es detallen a continuació.

Taula 11.1.16. valors determinats pel venteig tancs 1-octanol.

m³aire/h	436.5
Àrea (m²)	4.28
F	1
Q(KJ/h)	4.60E+05
L(KJ/Kg)	408
PM	130.23

11.1.3.3 Cubetes

Per determinar les dimensions que tindran les cubetes dels tancs 1-Octanol, s'utilitza les equacions explicades en l'apartat 11.1.1.4. Cubetes. Els valors obtinguts es detallen a continuació.

Taula 11.1.17. Valor calculats pel dimensionament de les cubetes.

Dp (m)	1.17
St (m)	1.17
Lcubeta (m)	4.68
Wcubeta (m)	4.68
Aocu (m ²)	3.43
Alcu (m ²)	18.43
Hcu (m)	0.94

11.1.4 Disseny dels tancs d'aigua

Primer de tot, es determina el volum necessari per dia que necessita la planta per dur a terme la reacció per la formació d'àcid fòrmic.

Es necessiten 23.26 m³/hora d'aigua pura donant un volum diari de:

$$8.26 \frac{m^3}{h} \cdot \frac{24 \text{ hores}}{\text{dia}} = 197.10 \text{ m}^3/\text{dia d'aigua}$$

Un cop calculat el volum diari d'aigua necessari sense tenir en compte els dies d'estoc, ja que l'aigua empleada prové de la xarxa, es determina el diàmetre i altura dels tancs. Pels tancs d'aigua s'utilitza tancs de 120 m³ amb una ocupació del 80 %. L'altura i diàmetre dels tancs es calcula utilitzant la relació típica entre altura i diàmetre de 1.5, obtenint 6.12 m de diàmetre i 5.12 m d'alçada total.

El número de tancs necessaris són:

$$197.10(m^3/\text{dia}) \cdot \frac{1 \text{ dies}}{120 m^3} = 1.97 \approx 2 \text{ tancs}$$

11.1.4.1 Disseny mecànic

Per dur a terme el disseny dels tancs d'aigua igual que els tancs anteriors, es segueix el manual de càlcul API-650 per tancs atmosfèrics. Per la construcció d'aquests tancs s'utilitza el material acer al carboni 60, ja que té una molt bona compatibilitat. Utilitzant les equacions del codi API 650 s'obtenen el següents valors:

Taula 11.1.18. Valors obtinguts pel disseny de tancs d'aigua seguint codi API 650

MATERIAL ACER AL CARBONI 55

Nº tancs	2	COS CILINDRIC	
paçer (kg/m³)	7500	td (mm)	3.75
Temps de stock (dies)	-	tt (mm)	3.67
paigua (Kg/m³)	1000	Placa utilitzar (mm)	4.73
Vdisseny (m³)	120	Pes (kg)	2784.66
D (m)	6.12	CAPÇAL CÒNIC	
H (m)	4.08	Θ°	20
Hlíquid (m)	3.26	Hcònic(m)	1.04
Htotal(m)	5.13	Tt(mm)	4.02
Pressió (psi)	14.76	Placa utilitzar (mm)	4.73
T (°C)	20	pes (kg)	476.6
Sd (psi)	1560.2	FONS	
St(psi)	1580.6	Placa utilitzar (mm)	9.54
ΔP (atm)	0.3	pes (kg)	1691.17
Ocupació del tanc (%)	80.0	Pes total buit (kg)	4952.39
Pes total amb líquid (kg)		100952.39	

11.1.4.2 Venteig

Per determinar els m³ d'aire necessaris pel venteig, s'utilitza les equacions explicades en l'apartat 11.1.1.3. *Venteig*. Els valors obtinguts es detallen a continuació.

Taula 11.1.19. valors determinats pel venteig tancs aigua

m³aire/h	969.8
Àrea (m²)	29.41
F	1
Q(KJ/h)	2.24E+06
L(KJ/Kg)	2250
PM	18

11.1.4.3 Cubetes

Per determinar les dimensions que tindran les cubetes dels tancs d'aigua, s'utilitza les equacions explicades en l'apartat 11.1.1.4. *Cubetes*. Els valors obtinguts es detallen a continuació.

Taula 11.1.20. valor calculats pel dimensionament de les cubetes.

Dp (m)	3.06
St (m)	3.06
Lcubeta (m)	12.24
Wcubeto (m)	12.25
Aocu (m²)	93.76
Alcu (m²)	56.1779
Hcu (m)	2.4565

11.1.5 Disseny dels tancs de metanol

Igual que s'ha fet pels tancs anteriors, primer de tot es determina el volum necessari per dia que necessita la planta per dur a terme l'obtenció d'àcid fòrmic.

Es necessiten 0.955 m³/hora de metanol pur , per tant un volum diari d'aproximadament:

$$0.955 \frac{m^3}{h} \cdot \frac{24 \text{ hores}}{\text{dia}} = 22.92 m^3/\text{dia de metanol}$$

Un cop determinat el volum diari de metanol , es preveu 4 dies d'estoc, per tenir en compte possibles problemes de transport de la matèria prima.

Un cop calculat el volum de reactant pur que es necessita per dia i els dies d'estoc, es determina el diàmetre i altura dels tancs. La relació típica entre l'altura i el diàmetre de un tanc sol ser de 1.5 per treballs a pressió atmosfèrica. Amb aquesta consideració i escollint tancs de 25 m³ s'obté un valor, en metres, de 2.77 de diàmetre i 5.78 d'alçada total .

El número de tancs necessaris són:

$$22.93(m^3/\text{dia}) \cdot \frac{4 \text{ dies}}{25 m^3} = 3.89 \approx 4 \text{ tancs}$$

11.1.5.1 Disseny mecànic

Pel disseny mecànic dels tancs de metanol es fa servir el codi ASME, [apartat 0], ja que aquests tancs van amb atmosfera nitrogenada per temes de seguretat. Per tant, com el nitrogen entra a una pressió superior a la atmosfèrica, el disseny dels tancs es realitza per codi ASME. El metanol, al ser molt corrosiu, el material empleat pel disseny dels tancs és acer inoxidable AISI 316L, ja que presenta molt bona compatibilitat. Utilitzant les equacions amb les condicions de treball obtenim:

Taula 11.1.21. Valors obtinguts pel disseny de tancs metanol pel codi ASME.

MATERIAL ACER INOXIDABLE 316L			
Nº tancs	4	COS CILINDRIC	
ρacer (kg/m ³)	7960	t (mm)	6.6
Temps de stock (dies)	4	Placa utilitzar (mm)	8
ρMeOH (Kg/m ³)	792	Pes (kg)	1151.7
Vdisseny (m ³)	25	CAPÇALS TORIESFÈRICS	
D (m)	2.77	L=D (inch)	109.0
Hcilindre (m)	4.15	r	10.90
Hliquid (m)	4.64	L/r	10
Htotal (m)	5.78	M	1.54
Pressió (psi)	17.712	tsuperior (mm)	6.64
ΔP(psi)	3.74	tinferior (mm)	7.67
Pressió disseny (psi)	24.59	Placa utilitzar superior (mm)	8.0
T (°C)	25	Placa utilitzar inferior (mm)	8.0
Tdisseny(°C)	40	Htoriesfèric sup (mm)	813.26
S(psi)	15700	Htoriesfèric inf (mm)	813.26
E	0.85	Pes capçal superior (kg)	238.30

C1(mm)/20 anys	4	Pes capçal inferior (kg)	238.30
C2(mm) sup/20 anys	0.20	Ocupació del tanc (%)	80
C2(mm) inf/20 anys	0.20		
Pes total tanc buit (kg)		1628.3	
Pes total tanc omplert (kg)		21428.31	

11.1.5.2. Venteig

Per determinar els m^3 d'aire necessaris pel venteig, s'utilitzen les equacions explicades en l'apartat 11.1.1.3. Venteig. Els valors obtinguts es detallen a continuació.

Taula 11.1.22. valors determinats pel venteig tancs metanol

m^3 aire/h	409.51
Àrea (m^2)	6.020
F	1
Q(KJ/h)	608786.4
L(KJ/Kg)	1160
PM	32

11.1.5.3. Cubetes

Per determinar les dimensions que tindran les cubetes dels tancs de metanol s'utilitzen les equacions explicades en l'apartat 11.1.1.4. Cubetes. Els valors obtinguts es detallen a continuació.

Taula 11.1.23. valor calculats pel dimensionament de les cubetes.

Dp (m)	1.38
St (m)	1.38
Lcubeta (m)	18.03
Wcubet< (m)	5.55
Aocu (m^2)	28.81
Alcu (m^2)	71.2994
Hcu (m)	0.4032

11.1.5.4. Suports

Pel disseny dels suports dels tancs de metanol es fan servir les equacions de l'aparat 0, d'on s'han obtingut els següents valors:

Taula 11.1.24. Valors obtinguts pel disseny dels suports

Temperatura ($^{\circ}C$)	180
k11	0.318
N (silletas)	4
Q (kg)	4367.08
Pes suportat (kg)	1388.73

11.1.6 Disseny dels tancs de metòxid de sodi amb metanol.

Igual que s'ha fet pels tancs anteriors, primer de tot es determina el volum necessari per dia que necessita la planta per dur a terme l'obtenció d'àcid fòrmic.

En el cas del catalitzador, es necessita de manera discontinua, ja que al ser un procés en continu el catalitzador es va recirculant. S'ha de tenir en compte però, que el metòxid de sodi es va desactivant durant el temps i, per tant, s'haurà d'alimentar al procés de manera discontinua.

Tenint en compte els aspectes comentats anteriorment, s'obté que es necessiten 68 kg/hora de catalitzador, per tant, un volum diari d'aproximadament:

$$0.072 \frac{m^3}{h} \cdot \frac{24 \text{ hores}}{\text{dia}} = 1.72 m^3/\text{dia de metanol}$$

Un cop determinat el volum diari de metòxid de sodi, es preveu 4 dies d'estoc, per tal de tenir en compte possibles problemes de transport de la matèria prima.

Un cop calculat el volum de catalitzador que es necessita per dia i els dies de estoc, es determina el diàmetre i altura dels tancs. La relació típica entre l'altura i el diàmetre d'un tanc sol ser de 1.5 per treballs a pressió atmosfèrica. Amb aquesta consideració i escollint tancs de 10 m³ s'obté un valor de 2.04 metres de diàmetre i 3.91 metre d'alçada total .

El número de tancs necessaris són:

$$1.72(m^3/\text{dia}) \cdot \frac{4 \text{ dies}}{10 m^3} = 0.69 \approx 1 \text{ tanc}$$

11.1.6.1 Disseny mecànic

Pel disseny mecànic del tanc de catalitzador es fa servir el codi ASME, *apartat 0*, ja que aquests tancs van amb atmosfera nitrogenada per temes de seguretat. Per tant, com el nitrogen entra a una pressió superior a la atmosfèrica, el disseny dels tancs es realitza per codi ASME. El metoxid de sodi en metanol, al ser molt corrosiu, el material empleat pel disseny dels tancs és acer inoxidable AISI 316L, ja que presenta molt bona compatibilitat. Utilitzant les equacions amb les condicions de treball, obtenim:

Taula 11.1.25. Valors obtinguts pel disseny de tanc de catalitzador pel codi ASME.

MATERIAL ACER INOXIDABLE 316L			
Nº tancs	1	COS CILINDRIC	
pacer (kg/m ³)	7960	t (mm)	6.1
Temps de stock (dies)	4	Placa utilitzar (mm)	6
pmescla (Kg/m ³)	970	Pes (kg)	939.28
Vdisseny (m ³)	10	CAPÇALS TORIESFÈRICS	
D (m)	2.04	L=D (inch)	80.3
Hcilindre (m)	3.06	R	8.03
Hliquid (m)	3.13	L/r	10

Htotal (m)	3.91	M	1.54
Pressió (psi)	17.712	tsuperior (mm)	5.94
ΔP(psi)	3.74	tinferior (mm)	6.75
Pressió disseny (psi)	24.59	Placa utilitzar superior (mm)	6.0
T (°C)	25	Placa utilitzar inferior (mm)	8.0
Tdisseny(°C)	40	Htoriesfèric sup (mm)	423.01
S(psi)	15700	Htoriesfèric inf (mm)	426.80
E	0.85	Pes capçal superior (kg)	97.04
C1(mm)/20 anys	4	Pes capçal inferior (kg)	129.63
C2(mm) sup/20 anys	0.20	Ocupació del tanc (%)	80
C2(mm) inf/20 anys	0.20		
Pes total tanc buit (kg)		1165.9	
Pes total tanc omplert (kg)		8725.95	

11.1.6.2 Venteig

Per determinar els m³ d'aire necessaris pel venteig s'utilitzen les equacions explicades en l'*apartat*

11.1.1.3. *Venteig*. Els valors obtinguts es detallen a continuació.

Taula 11.1.26. valors determinats pel venteig tanc de catalitzador

m ³ aire/h	179.18
Àrea (m ²)	3.268
F	1
Q(KJ/h)	368913.4
L(KJ/Kg)	1160
PM	54.02

11.1.6.3 Cubetes

Per determinar les dimensions que tindran les cubetes dels tancs s'utilitza les equacions explicades en l'*apartat* 11.1.1.4. *Cubetes*. Els valors obtinguts es detallen a continuació.

Taula 11.1.27. valor calculats pel dimensionament de les cubetes.

Dp (m)	1.02
St (m)	1.02
Lcubeta (m)	13.28
Wcubeta (m)	4.09
Aocu (m ²)	6.25
Alcu (m ²)	48.1
Hcu (m)	0.2

11.1.6.4 Suports

Pel disseny del suports del tancs del catalitzador es fa servir les equacions del *apartat 0*, obtenint els següents valors:

Taula 11.1.28. Valors obtinguts pel disseny dels suports

Temperatura (°C)	180
k11	0.318
N (silletas)	4
Q (kg)	752.21
Pes suportat (kg)	239.20

11.1.7 Disseny dels tancs de monòxid de carboni

Els tancs de monòxid de carboni s'emmagatzemaran en tancs criogènics a l'exterior i en posició vertical, per ocupar menys espai.

Els tancs criogènics són aquells tancs on s'emmagatzemen gasos líquuats sota condicions de baixa temperatura i alta pressió. Aquest tipus de tancs busca liquar el gas per varies raons:

- El producte líquid ocupa un espai molt més inferior que la mateixa quantitat del mateix compost en estat gas. Això comporta un estalvi molt gran d'espai d'emmagatzematge i per tant, una disminució en el cost d'emmagatzematge.
- Un producte líquid és molt més fàcil de manipular i controlar que no pas un producte en estat gas.

Per aquestes raons, és millor l'emmagatzematge d'un gas en forma líquida malgrat l'enorme pressió de treball i el manteniment de baixes temperatures per mantenir el compost en estat líquid.

Els tancs criogènics estan formats per un tanc intern d'acer inoxidable, acoblat concèntricament dins d'un altre tanc d'acer al carboni, on l'espai que existeix entre tots dos es coneix com espai anular.

En aquest espai anular es troba un material aïllant de baixa conductivitat tèrmica i exposat al buit, fet que determina un perfecte aïllament. És dir, s'obté una transferència de calor i evaporació menyspreable. A més a més, els tancs contenen amb un equip de refrigeració, sistema mecànic que produeix la refrigeració necessària per equilibrar el guany de calor a través del aïllant.

11.1.7.1 Disseny mecànic

L'abastiment del monòxid de carboni és contractat per l'empresa LINDE. El mètode per determinar el volum que es necessita per 4 dies de monòxid de carboni es mostra a continuació:

$$V = 7563 \frac{kg}{hora} \cdot \frac{24 \text{ hores}}{1 \text{ dia}} = 181512 \text{ kg}$$

Els tancs criogènics es troben a 18 atmosferes i -162.4 °C. En aquestes condicions, la densitat del monòxid de carboni és de 653 kg/m³. Amb la densitat i el volum màssic que es necessita per dia es determina els metres cúbics de producte com:

$$V = \frac{181512 \text{ Kg/dia}}{699.99 \text{ g/m}^3} = 259.31 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}}$$

Com que es preveu quatre dies d'estoc, el volum que necessita la planta és de **1037.2m³**.

Per temes de seguretat és sobredimensiona el volum un 20 %, obtenint així, un volum de **1244.67m³**.

Per dur a terme el disseny mecànic del tanc, s'utilitza el codi ASME explicat a l'apartat 0.

S'escull un tanc amb capacitat de 108 m³, obtenint un número de tancs total de 12.

$$\frac{1244.67 \text{ m}^3}{108 \text{ m}^3} = 11.53 \approx 12 \text{ tancs}$$

S'ha de tenir en compte que els tancs criogènics són tancs que tenen doble cos on a l'interior d'aquests hi ha perlita criogènica al buit, per a temes d'aïllament.

La relació típica entre l'altura i el diàmetre d'un tanc sol ser de 1.5 . Amb aquesta consideració i escollint tancs de 108 m³, s'obté un valor de 4.66 metres de diàmetre i 9.09 metre d'alçada total per la carcassa interior i 4.8 de diàmetre i 9.63 d'alçada.

Cos interior:

Aplicant el codi ASME per pressió interna s'obtenen els resultats que es detallen a continuació:

Taula 11.1.29. Valors obtinguts pel disseny dels tancs pulmó pel codi ASME.

MATERIAL ACER INOXIDABLE 316L			
Nº tancs	12	COS CILINDRIC	
ρacer (kg/m³)	7960	t (mm)	60.5
Temps de stock (dies)	4	Placa utilitzar (mm)	80
ρCO(Kg/m³)	699.9	Pes (kg)	24828.2
Vdiseny (m³)	108	CAPÇALS TORIESFÈRICS	
D (m)	4.51	L=D (inch)	177.5
H (m)	6.76	r	17.75
Hliquid (m)	5.41	L/r	10
Htotal (m)	9.09	M	1.54
Pressió (atm)	18	tsuperior (mm)	78.86
ΔP(psi)	0.37	tinferior (mm)	91.90
Pressió disseny (atm)	21.12	Placa utilitzar superior (mm)	80.0
T (°C)	-	Placa utilitzar inferior (mm)	100.0
	164.4		
Tdiseny(°C)	-	Htoriesfèric sup (m)	1.19
	179.4		
S(psi)	15700	Htoriesfèric inf (m)	1.14
E	0.85	Pes capçal superior (kg)	3151.96

C1(mm)/20 anys	4	Pes capçal inferior (kg)	38961.23
C2(mm) sup/20 anys	6.05	Ocupació del tanc (%)	80
C2(mm) inf/20 anys	9.19		
Pes total tanc buit (kg)			66941.4
Pes total tanc omplert (kg)			127412.72

Cos extern:

Pel disseny de cos extern, el volum total del tanc ha de ser un 40 % superior al volum del cos interior. Tenint en compte aquesta consideració es determina el diàmetre i altura total del tancs aplicant el codi ASME, però pel disseny a pressió externa. Aplicant les equacions, els resultats obtinguts pel gruix del cos extern es detallen a taula següent:

Taula 11.1.30. valors obtinguts pel gruix a pressió externa

COS CILINDRIC	
Pexterna (psi)	14.7
t susp(mm)	10
L' (mm)	5838.5
Do (mm)	5064.2
L'/Do	1.15
Do/t	506.4
A	0.0009
B	7500
Pa	19.75
CAPÇALS TORIESFÈRICS	
t susp(mm)	14
A	0.0004
B	5800
Pa	17.1

Taula 11.1.31 dimensions del cos exterior

Nº Tancs	12
Vcos exterior (m³)	151.2
ρCO(Kg/m³)	699.9
Pressió (atm)	1
D(m)	5.04
H(m)	7.57
Htoriesfèric superior (m)	1.056
Htoriesfèric inferior (m)	1.056
D extern (m)	5.06
Htotal (m)	9.682

Un cop obtinguts els valors es posa en contacte amb l'empresa **LINDE** per la demanda dels tancs. L'empresa només proporciona tancs de mida estandarditzats on el diàmetre estàndard és de 3 metres i la longitud depèn del volum.

11.1.8 Disseny dels tancs d'aigua residual

Durant el procés d'obtenció del producte, es van generant unes aigües residuals que han d'anar a tractament, aquestes aigües es van emmagatzemant en tancs fins que vagin a tractament.

El cabal d'aigua residual que es genera és:

$$3.96 \frac{m^3}{h} \cdot \frac{24 \text{ hores}}{\text{dia}} = 94.95 m^3/\text{dia de aigua residual}$$

Un cop determinat el volum diari d'aigua residual generada i tenint en compte els dies d'estoc, es calcula el diàmetre i altura dels tancs. Pels tancs d'aigua s'utilitza tancs de 120 m³ amb una ocupació del 80 %. L'altura i diàmetre dels tancs utilitzant la relació típica entre altura i diàmetre de 1.5 s'obté 4.39 m de diàmetre i 6.67m d'alçada total.

El número de tancs necessaris, per tant, es determinen:

$$94.95(m^3/\text{dia}) \cdot \frac{4 \text{ dies}}{100 m^3} = 3.80 \approx 4 \text{ tancs}$$

11.1.8.1 Disseny mecànic

Per dur a terme el disseny dels tancs d'aigua igual que els tancs anteriors es segueix el manual de càlcul API-650 per tancs atmosfèrics. Per la construcció d'aquests tancs, s'utilitza el material acer al carboni 60, ja que té una molt bona compatibilitat. Utilitzant les equacions del codi API 650 s'obtenen el següents valors:

Taula 11.1.32. Valors obtinguts pel disseny de tancs d'aigua residual seguint codi API 650

MATERIAL ACER INOXIDABLE 304			
Nº tancs	4	COS CILINDRIC	
pacer (kg/m ³)	7850	td (mm)	2.47
Temps de stock (dies)	4	tt (mm)	2.47
paigua (Kg/m ³)	953.3	Placa utilitzar (mm)	4.73
Vdisseny (m ³)	100	Pes (kg)	3383.10
D (m)	4.39	CAPÇAL CÒNIC	
H (m)	6.59	Θ°	20
Hliquid (m)	5.27	Hcònic(cm)	0.75
Htotal(m)	6.67	Tt(mm)	4.18
Pressió (psi)	14.76	Placa utilitzar (mm)	4.73
T (°C)	20	pes (kg)	257.4
Sd (psi)	1560.2	FONS	
St(psi)	1580.6	Placa utilitzar (mm)	6.73
ΔP (atm)	0.5	pes (kg)	767.72

Ocupació del tanc (%)	80.0	Pes total buit (kg)	4408.25
Pes total amb líquid (kg)		79248.30	

11.1.8.2 Venteig

Per determinar els m³ d'aire necessaris pel venteig s'utilitzen les equacions explicades a l'*apartat*

11.1.1.3. *Venteig*. Els valors obtinguts es detallen a continuació.

Taula 11.1.33. valors determinats pel venteig tancs aigua residual

m ³ aire/h	563.5
Àrea (m ²)	15.17
F	1
Q(KJ/h)	1.30E+06
L(KJ/Kg)	2250
PM	18

11.1.8.3 Cubetes

Per determinar les dimensions que tindran les cubetes dels tancs d'aigua, s'utilitzen les equacions explicades a l'*apartat* 11.1.1.4. *Cubetes*. Els valors obtinguts es detallen a continuació.

Taula 11.1.34. valor calculats pel dimensionament de les cubetes.

Dp (m)	2.20
St (m)	2.20
Lcubeta (m)	10.99
Wcubeto (m)	10.99
Aocu (m ²)	236.89
Alcu (m ²)	116.0730
Hcu (m)	0.9908

11.2. Tancs pulmó

El procés presenta tres tancs pulmó encarregats d'unir les recirculacions de diferents corrents per tal de que les bombes que es troben a la corrent de sortida del tanc pulmó no cavitin.

Aquest tancs han de tenir la suficient capacitat de tal manera que el volum del líquid sigui prou gran per poder contrarestar possibles fluctuacions en el cabal d'entrada, per tal que el cabal de sortida romangui sempre constant, així com facilitar el seguiment de la planta en cas d'una fallada de l'equip previ al tanc.

Pel disseny dels tancs pulmó és necessari conèixer el cabal volumètric que s'haurà de tractar.

11.2.1. Disseny mecànic T-301

Abans de dur a terme el càlcul dels gruixos del tanc, primer s'ha de determinar el cabal total que entrarà al tanc. Els corrents d'entrada del tanc 301 es detallen a continuació:

Taula 11.2.1. Corrents d'entrada i sortida pel disseny del tancs pulmó.

Corrent	Component	Cabal (m³/h)
10	Aigua	8.26
25	Aigua	15.84
TOTAL	11	Aigua 25.01

El disseny mecànic dels tancs pulmó es dur a terme mitjançant el codi ASME, explicat anteriorment l'apartat 0, els resultats obtinguts es detallen a continuació:

Taula 11.2.2. Valors obtinguts pel disseny dels tancs pulmó pel codi ASME.

MATERIAL ACER INOXIDABLE 304			
Nº tancs	1	COS CILINDRIC	
pacer (kg/m³)	7890	t (mm)	4.1
Temps de stock (dies)	-	Placa utilitzar (mm)	5
paigua (Kg/m³)	1000	Pes (kg)	1289.0
Vdisseny (m³)	30	CAPÇALS TORIESFÈRICS	
D (m)	2.94	L=D (inch)	115.8
H (m)	4.41	r	11.58
Hliquid (m)	3.53	L/r	10
Htotal (m)	5.61	M	1.54
Pressió (psi)	14.76	tsuperior (mm)	5.02
ΔP(psi)	5.02	tinferior (mm)	6.66
Pressió disseny (psi)	22.68	Placa utilitzar superior (mm)	6.0
T (°C)	20	Placa utilitzar inferior (mm)	8.0
Tdisseny(°C)	35	Htoriesferic sup (mm)	598.85
S(psi)	15700	Htoriesferic infer (mm)	601.64
E	0.85	Pes capçal superior (kg)	199.71
C1(mm)/20 anys	4	Pes capçal inferior (kg)	266.64
C2 sup(mm)/20 anys	0.27	Ocupació del tanc (%)	80
C2 inf(mm)/20 anys	0.42		
Pes total tanc buit (kg)		1755.4	
Pes total tanc omplert (kg)		26024.71	

11.2.1.1 Disseny suports

Pel disseny del suports del tanc pulmó es fan servir les equacions de l'aparat 0, obtenint els següents valors:

Taula 11.2.3. Valors obtinguts pel disseny dels suports

Temperatura (°C)	180
k11	0.318
N (silletas)	4
Q (kg)	6506.18
Pes suportat (kg)	2128.23

11.2.2.Disseny mecànic T-302

Abans de dur a terme el càlcul dels espessors del tanc, primer s'ha de determinar el cabal total que entrarà al tanc. Els corrents d'entrada del tanc 302 es detallen a continuació:

Taula 11.2.4. Corrents d'entrada i sortida pel disseny del tancs pulmó.

	Corrent	Component	Cabal (m³/h)
Entrada	8	Metil format	17.51
Entrada	19A	Metil format	30.90
TOTAL (Sortida)	12	Metil format	48.40

Taula 11.2.5. Valors obtinguts pel disseny dels tancs pulmó pel codi ASME.

MATERIAL ACER INOXIDABLE 316L			
Nº tancs	1	COS CILINDRIC	
pacer (kg/m³)	7960	t (mm)	10.0
Temps de stock (dies)	-	Placa utilitzar (mm)	10
pfluid (Kg/m³)	938.6	Pes (kg)	6204.7
Vdisseny (m³)	60	CAPÇALS TORIESFÈRICS	
D (m)	3.71	L=D (inch)	145.9
H (m)	5.56	r	14.59
H total (m)	7.20	L/r	10
Hliquid (m)	4.45	M	1.54
Pressió (atm)	3	tsuperior (mm)	15.67
ΔP(psi)	0.40	tinferior (mm)	19.84
Pressió disseny (atm)	3.90	Placa utilitzar superior (mm)	16.0
T (°C)	43.37	Placa utilitzar inferior (mm)	20.0
Tdisseny(°C)	58.37	Htoriesferic sup (mm)	812.91
S(psi)	15700	Htoriesferic infer (mm)	822.42
E	0.85	Pes capçal superior (kg)	1181.85
C1(mm)/20 anys	4	Pes capçal inferior (kg)	1399.73
C2 sup(mm)/20 anys	1.24	Ocupació del tanc (%)	80
C2 inf(mm)/20 anys	1.62		

Pes total tanc buit (kg)	8786.3
Pes total tanc omplert (kg)	45094.48

11.2.2.1 Disseny suports

Pel disseny del suports del tanc pulmó es fan servir les equacions de l'*aparat 0*, obtenint els següents valors:

Taula 11.2.6. Valors obtinguts pel disseny dels suports

Temperatura (°C)	180
k11	0.318
N (silletes)	4
Q (kg)	11851.41
Pes suportat (kg)	3768.75

11.2.3. Disseny mecànic T-601

Abans de dur a terme el càlcul dels gruixos del tanc, primer s'ha de determinar el cabal total que entrarà al tanc. Els corrents d'entrada del tanc 302 es detallen a continuació:

Taula 11.2.7. Corrents d'entrada i sortida pel disseny del tancs pulmó.

	Corrent	component	Cabal (m³/h)
Entrada	23	1-octanol	0.10
Entrada	27A	1-octanol	38.75
TOTAL (Sortida)	24	1-octanol	38.86

El disseny mecànic dels tancs pulmó, es dur a terme mitjançant el codi ASME, explicat anteriorment a l'*aparat 0*. Els resultats obtinguts es detallen a continuació:

Taula 11.2.8. Valors obtinguts pel disseny dels tancs pulmó pel codi ASME.

MATERIAL ACER INOXIDABLE 304			
Nº tancs	1	COS CILINDRIC	
paquer (kg/m³)	7890	t (mm)	4.4
Temps de stock (dies)	-	Placa utilitzar (mm)	6
paigua (Kg/m³)	845.2	Pes (kg)	2572.1
Vdisseny (m³)	46	CAPÇALS TORIESFÈRICS	
D (m)	3.39	L=D (inch)	133.6
Hcilindre (m)	5.09	r	13.36
Hliquid (m)	5.2	L/r	10
H total (m)	6.46	M	1.54
Pressió (atm)	1	tsuperior (mm)	5.48
ΔP(psi)	0.33	tinferior (mm)	7.34
Pressió disseny (psi)	1.53	Placa utilitzar superior (mm)	6.0
T (°C)	20	Placa utilitzar inferior (mm)	8.0
Tdisseny(°C)	35	Htoriesferic sup (mm)	686.83
S(psi)	15700	Htoriesferic infer (mm)	688.82

E	0.85	Pes capçal superior (kg)	265.41
C1(mm)/20 anys	4	Pes capçal inferior (kg)	354.29
C2 sup(mm)/20 anys	0.32	Ocupació del tanc (%)	80
C2 inf(mm)/20 anys	0.49		
Pes total tanc buit (kg)			3191.8
Pes total tanc omplert (kg)			34295.16

11.2.3.1 Disseny suports

Pel disseny del suports del tanc pulmó es fan servir les equacions del apartat 0, obtenint els següents valors:

Taula 11.2.9. Valors obtinguts pel disseny dels suports

Temperatura (°C)	180
k11	0.318
N (silletes)	4
Q (kg)	8703.09
Pes suportat (kg)	2767.58

11.3. Mescladors

El procés presenta diferents mescladors. Tots ells són tancs de mescla de productes provinents de diversos corrents.

Abans de fer el disseny mecànic dels mescladors s'ha de decidir el temps de residència que tindran aquests per arribar a una certa homogeneïtzació. Els gruixos es determinen mitjançant el codi ASME explicat al apartat 0.

Amb aquest temps de residència es calcula el volum que ha de tenir el mesclador, utilitzant la següent equació:

$$V = \frac{Q}{\tau} \text{ Equació 11.3.1}$$

On

Q és cabal volumètric total (m³/min)

V és volum necessari del mesclador (m³)

τ és temps de residència (min)

Un cop determinat el volum del mesclador, es calculen les dimensions que tindrà aquest, és a dir, diàmetre i altura. Per fer aquest càlcul es determina un diàmetre (D) , i amb la relació altura/diàmetre de 1.5, s'obté el volum del mesclador amb la següent equació:

$$V_{\text{mesclador}} = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot H \text{ Equació 11.3.2}$$

On

V mesclador és Volum del mesclador per dur a terme el disseny (m^3).

D és diàmetre del mesclador (m)

$$H = 1.5 \cdot D$$

Equació 11.3.3

On

H= alçada del tanc (m)

Un cop determinat el volum pel disseny del mesclador es calcula el volum ocupat pel fluid:

$$\% \text{ Volum ocupat} = \frac{V}{V_{\text{mesclador}}} \cdot 100 \quad \text{Equació 11.3.4}$$

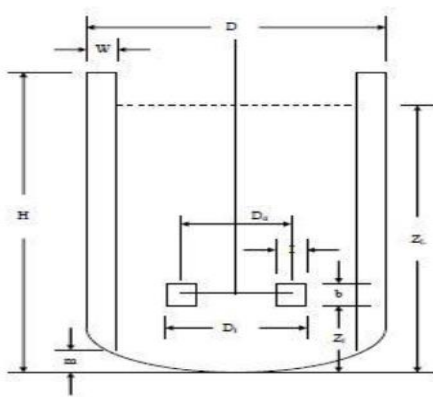
Seguidament es determina el disseny mecànic a partir del codi ASME explicat anteriorment en l'apartat 0.

Un cop és te el disseny mecànic, es fa el disseny dels agitadors que duran els mescladors.

11.3.1.1 Disseny agitadors

Pel disseny d'aquests agitadors s'utilitzen les correlacions que es poden trobar al llibre "*Ingeniería Bioquímica*".

S'escull un agitador de tipus pitch-bladed, ja que aquests tipus d'agitadors tenen unes pales que no precisen de bafles a l'interior del tanc encara que es col·loqui descentrat. A més a més, proporciona una agitació tant axial com radial.



$$\begin{array}{lll} \frac{D_a}{D_t} = \frac{1}{3} & \frac{H}{D_t} = 1 & \frac{J}{D_t} = \frac{1}{12} \\ \frac{E}{D_t} = \frac{1}{3} & \frac{W}{D_a} = \frac{1}{5} & \frac{L}{D_a} = \frac{1}{4} \end{array}$$

Figura 11.3.1. Exemple agitador tipus pitch-bladed.

Un altre aspecte molt importat d'un agitador és la potència proporcionada per dur a terme una bona homogeneïtzació de la mescla sense vòrtex. El càlcul d'aquesta potència es determina mitjançant les següents equacions:

$$Re = \frac{ND^2\rho}{\mu} \quad \text{Equació 11.3.5}$$

On

Re és numero de Reynolds

N és revolucions per segon del agitador.

D² és diàmetre de la pala del agitador (m²)

ρ és densitat del fluid (kg/m³)

μ és viscositat del fluid (P)

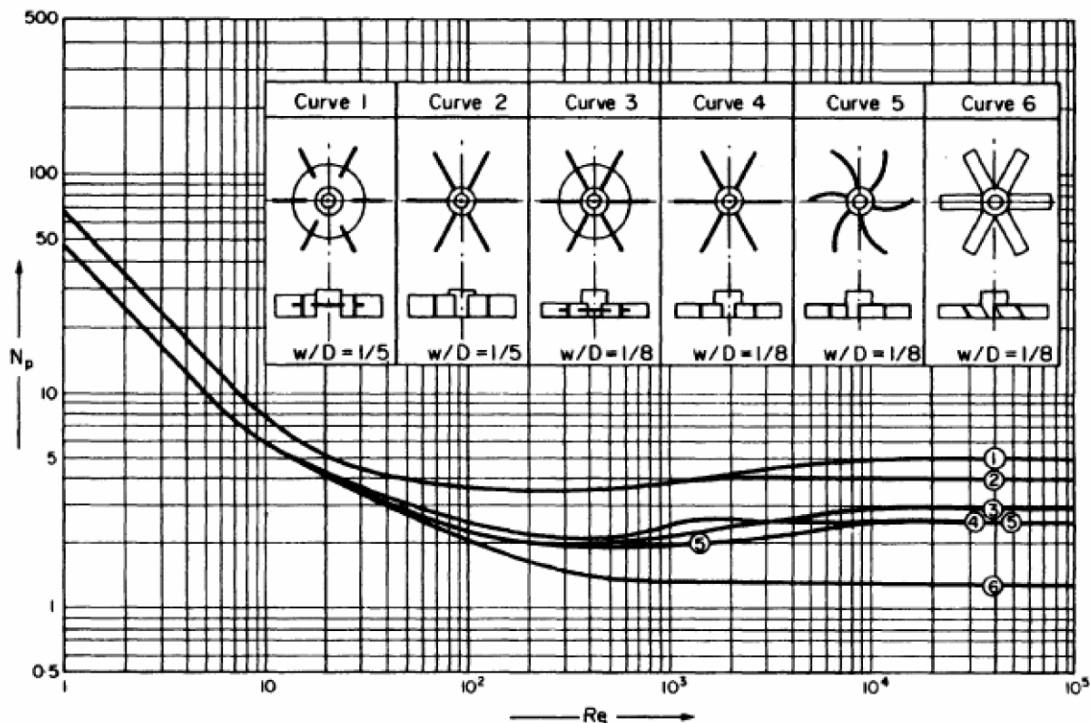
Un altre aspecte a tenir en compte abans de calcular el numero de Reynolds, és saber que les velocitats típiques d'agitador escollit, es troben al rang d'entre de 3-10 m/s. Les revolucions per segons, es calculen mitjançant la següent equació:

$$N = \frac{\text{Velocitat}_{\text{tipica}}}{\pi \cdot D_{\text{agitador}}} \quad \text{Equació 11.3.6}$$

Per tant, dependent del equip, s'escollirà una velocitat que estigui dins del rang.

Un cop conegut el Reynolds i amb la següent gràfica es determina el numero de potència de tipus-bladed.

Figura 11.3.2. Reynolds en funció de Np per a diferents sistemes d'agitació.



Seguidament amb el Np es determina la potència:

$$P = N_p \rho N^3 D^5 \quad \text{Equació 11.3.7}$$

On

P és potència del agitador (k W)

Np és numero de potència.

11.3.1 Mesclador M201

El temps de residència d'aquest mesclador és de 8 min, el qual ha de ser inferior al temps de residència dels equips de procés. Amb el temps de residència i el cabal d'entrada al mesclador s'obté el volum mínim necessari.

Taula 11.3.1. dades per la obtenció del volum del mesclador.

Q (m³/h)	1.04
Q (m³/min)	0.017
τ (min)	8
V(m³)	0.14
D (m)	1
H(m)	1.5
Vdisseny(m³)	1.18
% Volum ocupat	11.8

11.3.1.1 Disseny mecànic

A partir de les equacions explicades a l'apartat 11.3.1.1 Disseny agitadors, es troba:

Taula 11.3.2 Valors obtinguts pel disseny dels mescladors pel codi ASME.

MATERIAL ACER INOXIDABLE 316L			
Nº tancs	1	COS CILINDRIC	
ρ acer (kg/m³)	7900	t (mm)	4.8
Temps de stock (dies)	-	Placa utilitzar (mm)	5
ρ mescla (Kg/m³)	792	Pes (kg)	219.7
Vdisseny (m³)	1.5	CAPÇALS TORIESFÈRICS	
D (m)	1.08	L=D (inch)	42.7
Hcilindre (m)	1.63	r	4.27
Hliquid (m)	1.68	L/r	10
Htotal (m)	2.10	M	1.54
Pressió (psi)	14.76	t _{superior} (mm)	5.33
ΔP (psi)	0.10	t _{inferior} (mm)	5.69
Pressió disseny (psi)	1.47	Placa utilitzar superior (mm)	6.0
T (°C)	20	Placa utilitzar inferior (mm)	6.0
Tdisseny(°C)	35	H _{toriesfèric sup} (mm)	235.95
S(psi)	15700	H _{toriesfèric infer} (mm)	234.00
E	0.85	Pes capçal superior (kg)	27.33
C1(mm)/20 anys	4	Pes capçal inferior (kg)	27.33
C2 sup(mm)/20 anys	0.12	Ocupació del tanc (%)	80

C2 inf(mm)/20 anys	0.15		
Pes total tanc buit (kg)		274.3	
Pes total tanc omplert (kg)		1098.40	

11.1.3.2. Disseny agitador

A partir de les equacions explicades a l'apartat 11.3.1.1 Disseny agitadors, es troba:

Taula 11.3.3. Valors obtinguts pel disseny dels agitador dels mescladors.

Da (m)	0.3613
L(m)	0.0903
W(m)	0.0723
E (m)	0.3613
J(m)	0.0903

Taula 11.3.4. Valors obtinguts pel disseny de la potència dels agitador dels mescladors.

ρ (m ³ /kg)	792
N (rev/s)	3.5
μ P	2.62E-04
Re	1.39E+06
Np	4
P (KW)	0.854

11.3.2 Mesclador M202

El temps de residència per aquest mesclador es de 8 min, el qual ha de ser inferior al temps de residència dels equips de procés. Amb el temps de residència i el cabal d'entrada al mesclador s'obté el volum mínim necessari.

Taula 11.3.5 dades per la obtenció del volum del mesclador

Q (m ³ /h)	34.470
Q (m ³ /min)	0.574
τ (min)	8
V(m ³)	4.60
D (m)	1.75
H(m)	2.625
Vdisseny(m ³)	6.31
% Volum ocupat	72.8

11.3.2.1 Disseny mecànic

A partir de les equacions explicades a l'apartat 11.3.1.1 Disseny agitadors, es troba:

Taula 11.3.6. Valors obtinguts pel disseny dels mescladors pel codi ASME.

MATERIAL ACER INOXIDABLE 316L.			
Nº tancs	1	COS CILINDRIC	
pacer (kg/m³)	7960	t (mm)	5.3
Temps de stock (dies)	-	Placa utilitzar (mm)	6
ρmescla (Kg/m³)	709.2	Pes (kg)	699.8
Vdisseny (m³)	6.5	CAPÇALS TORIESFÈRICS	
D (m)	1.77	L=D (inch)	69.6
Hcilindre (m)	2.65	r	6.96
Hliquid (m)	2.72	L/r	10
Htotal (m)	3.40	M	1.54
Pressió (psi)	14.76	tsuperior (mm)	6.17
ΔP(psi)	0.15	tinferior (mm)	6.86
Pressió disseny (psi)	2.14	Placa utilitzar superior (mm)	8.0
T (°C)	60.32	Placa utilitzar inferior (mm)	8.0
Tdisseny(°C)	75.32	Htoriesferic sup (mm)	377.46
S(psi)	15700	Htoriesferic infer (mm)	374.28
E	0.85	Pes capçal superior (kg)	96.66
C1(mm)/20 anys	4	Pes capçal inferior (kg)	96.66
C2 sup(mm)/20 anys	0.20	Ocupació del tanc (%)	72.8
C2 inf(mm)/20 anys	0.26		
Pes total tanc buit (kg)		893.1	
Pes total tanc omplert (kg)		4580.9	

11.3.2.2 Disseny agitador

A partir de les equacions explicades a l'apartat 11.3.1.1 Disseny agitadors, es troba:

Taula 11.3.7 Valors obtinguts pel disseny dels agitador dels mescladors.

Da (m)	0.59
L(m)	0.15
W(m)	0.12
E (m)	0.59
J(m)	0.15

Taula 11.3.8. Valors obtinguts pel disseny de la potència dels agitador dels mescladors.

ρ (m³/kg)	709.2
N (rev/s)	2
μ P	2.62E-03
Re	1.88E+05

Np	4
P (W)	1.61

11.3.3 Mesclador M501

El temps de residència per aquest mesclador es de 45 min, ja que aquest temps ha de ser inferior al temps de residència dels equips de procés. Amb el temps de residència i el cabal d'entrada al mesclador s'obté el volum mínim necessari.

Taula 11.3.9. dades per la obtenció del volum del mesclador.

Q (m³/h)	42.91
Q (m³/min)	0.715
τ (min)	45
V(m³)	32.18
D (m)	3.3
H(m)	4.95
Vdisseny(m³)	42.34
% del Volum ocupat	76.01

11.3.3.1 Disseny mecànic

A partir de les equacions explicades a l'apartat 11.3.1.1 Disseny agitadors, es troba:

Taula 11.3.10. Valors obtinguts pel disseny dels mescladors pel codi ASME.

MATERIAL ACER INOXIDABLE 316L			
Nº tancs	1	COS CILINDRIC	
pacer (kg/m³)	7960	t (mm)	6.9
Temps de stock (dies)	-	Placa utilitzar (mm)	8
pmescla (Kg/m³)	936.5	Pes (kg)	3276.0
Vdisseny (m³)	42.34	CAPÇALS TORIESFÈRICS	
D (m)	3.30	L=D (inch)	129.9
H (m)	4.95	r	12.99
Hliquid (m)	3.96	L/r	10
Htotal (m)	6.31	M	1.54
Pressió (psi)	14.76	tsuperior (mm)	8.06
ΔP (psi)	0.37	tinferior (mm)	10.39
Pressió disseny (psi)	5.43	Placa utilitzar superior (mm)	8.0
T (°C)	20	Placa utilitzar inferior (mm)	10.0
Tdisseny(°C)	35	Htoriesferic sup (mm)	676.86
S(psi)	15700	Htoriesferic infer (mm)	679.01
E	0.85	Pes capçal superior (kg)	338.26
C1(mm)/20 anys	4	Pes capçal inferior (kg)	423.34
C2 sup(mm)/20 anys	0.37	Ocupació del tanc (%)	76.01
C2 inf(mm)/20 anys	0.58		
Pes total tanc buit (kg)		4037.6	
Pes total tanc omplert (kg)		36676.65	

11.3.3.2 Disseny agitador

A partir de les equacions explicades a l'apartat 11.3.1.1 Disseny agitadors, es troba:

Taula 11.3.11 Valors obtinguts pel disseny dels agitador dels mescladors.

Da (m)	1.10
L(m)	0.28
W(m)	0.22
E (m)	1.10
J(m)	0.28

Taula 11.3.12. Valors obtinguts pel disseny de la potència dels agitador dels mescladors.

ρ (m ³ /kg)	963.6
N (rev/s)	1.16
μ P	2.62E-04
Re	5.14E+06
Np	4
P (W)	9.63

11.3.4 Mesclador M601

El temps de residència per aquest mesclador es de 10 min ja que aquest temps ha de ser inferior al temps de residència dels equips de procés. Amb el temps de residència i el cabal d'entrada al mesclador s'obté el volum mínim necessari.

Taula 11.3.13 dades per la obtenció del volum del mesclador.

Q (m ³ /h)	63.5
Q (m ³ /min)	1.1
τ (min)	10
V(m ³)	10.58
D (m)	2.25
H(m)	3.375
Vdisseny(m ³)	13.42
% Volum ocupat	78.82

11.3.4.1 Disseny mecànic

A partir de les equacions explicades a l'apartat 0 es troba:

Taula 11.3.14. Valors obtinguts pel disseny dels mescladors pel codi ASME.

MATERIAL ACER INOXIDABLE 304L			
Nº tancs	1	COS CILINDRIC	
pacer (kg/m³)	7960	t (mm)	5.8
Temps de stock (dies)	-	Placa utilitzar (mm)	6
ρmescla (Kg/m³)	957.6	Pes (kg)	951.6
Vdisseny (m³)	13.42	CAPÇALS TORIESFÈRICS	
D (m)	2.25	L=D (inch)	88.6
H (m)	3.38	r	8.86
Hliquid (m)	2.70	L/r	10
Htotal (m)	4.30	M	1.54
Pressió (psi)	14.76	tsuperior (mm)	6.77
ΔP(psi)	0.25	tinferior (mm)	7.98
Pressió disseny (psi)	3.68	Placa utilitzar superior (mm)	8.0
T (°C)	20	Placa utilitzar inferior (mm)	8.0
Tdisseny(°C)	35	Htoriesfèric sup (mm)	463.70
S(psi)	15700	Htoriesfèric infer (mm)	459.65
E	0.85	Pes capçal superior (kg)	117.99
C1(mm)/20 anys	4	Pes capçal inferior (kg)	117.99
C2 sup(mm)/20 anys	0.25	Ocupació del tanc (%)	78.82
C2 inf(mm)/20 anys	0.36		
Pes total tanc buit (kg)		1187.6	
Pes total tanc omplert (kg)		11468.41	

11.3.4.2 Disseny agitador

A partir de les equacions explicades a l'apartat 11.3.1.1 Disseny agitadors, es troba:

Taula 11.3.15. Valors obtinguts pel disseny dels agitador dels mescladors.

Da (m)	0.7500
L(m)	0.1875
W(m)	0.1500
E (m)	0.7500
J(m)	0.1875

Taula 11.3.16. Valors obtinguts pel disseny de la potència dels agitador dels mescladors.

ρ (m³/kg)	957.6
N (rev/s)	1.7
μ P	2.62E-04
Re	3.48E+06
Np	4
P (KW)	4.45

11.4. Tanques de condensat

Els tanques de condensació es troben en cadascuna de les columnes de destil·lació i tenen com a funció la recollida del vapor condensat que surt dels condensadors, per a què el reflux i el cabal de procés (producte destil·lat) no pateixin variacions important de cabal. Es poden considerar també com a tanques pulmó.

Per dur terme el disseny dels tanques de condensació, primer de tot s'ha de determinar el cabal volumètric que hi entrarà. Un cop determinat el cabal es calcula el volum del tanc tenint en compte que el líquid ocuparà el 80 % de capacitat del tanc. El volum es determina amb la següent equació.

$$V = \frac{Q \cdot \tau}{0.80} \quad \text{Equació 11.4.1}$$

On

Q és cabal volumètric (m^3/h)

τ és temps de residència (min)

V és volum del tanc (m^3)

Seguidament amb la relació altura/diàmetre de 2.5 es determina el diàmetre i l'altura del tanques.

$$D = \sqrt[3]{\frac{4V}{2.5\pi}} \quad \text{Equació 11.4.2}$$

$$H = 2.5D \quad \text{Equació 11.4.3}$$

Un cop determinat el diàmetre i l'altura del tanques, es fa el disseny mecànic dels tanques amb el codi ASME explicat l'apartat 0.

11.4.1 Tanc de condensat T-401

Utilitzant les equacions explicades a l'apartat 0 i 0 es determina el volum i el disseny mecànic del tanc de condensat. Les dades emprades i els resultats obtinguts es detallen a continuació:

Taula 11.4.1 Condicions i resultats per la determinació del volum dels condensadors

Condicions	
T $^{\circ}\text{C}$	65
P (atm)	3
Q (kg/h)	63200
Q (m^3/h)	71.32
Q (m^3/min)	1.19
τ (min)	8
V(m^3)	11.89

Taula 11.4.2 Valors obtinguts pel disseny dels condensadors pel codi ASME.

MATERIAL ACER INOXIDABLE 316L			
Nº tancs	1	COS CILINDRIC	
paçer (kg/m³)	7960	t (mm)	7.9
Temps de stock (dies)	-	Placa utilitzar (mm)	8
paigua (Kg/m³)	901.4	Pes (kg)	1679.2
Vdisseny (m³)	12	CAPÇALS TORIESFÈRICS	
D (m)	1.83	L=D (inch)	72.0
H (m)	4.57	r	7.20
Hliquid (m)	3.66	L/r	10
Htotal (m)	5.35	M	1.54
Pressió (psi)	14.76	tsuperior (mm)	10.74
ΔP(psi)	4.69	tinferior (mm)	12.58
Pressió disseny (psi)	56.11	Placa utilitzar superior (mm)	12.0
T (°C)	20	Placa utilitzar inferior (mm)	14.0
Tdisseny(°C)	35	Htoriesferic sup (mm)	405.61
S(psi)	18800	Htoriesferic infer (mm)	410.41
E	0.85	Pes capçal superior (kg)	157.03
C1(mm)/20 anys	4	Pes capçal inferior (kg)	183.60
C2 sup(mm)/20 anys	0.61	Ocupació del tanc (%)	80
C2 inf(mm)/20 anys	0.78		
Pes total tanc buit (kg)		2019.8	
Pes total tanc omplert (kg)		12734.15	

11.4.2 Tanc de condensat T-501

Utilitzant les equacions explicades a l'apartat 0 i 0 es determina el volum i el disseny mecànic del tanc de condensat. Les dades empleades i els resultats obtinguts es detallen a continuació:

Taula 11.4.3. Condicions i resultats per la determinació del volum dels condensadors

condicions	
T°C	40
P (atm)	1
Q (kg/h)	48500
Q (m³/h)	56.32
Q (m³/min)	0.94
τ (min)	8
V(m³)	9.39
D(m)	1.68
H(m)	4.21

Taula 11.4.4 Valors obtinguts pel disseny dels condensadors pel codi ASME.

MATERIAL ACER INOXIDABLE 316L

Nº tancs	1	COS CILINDRIC	
pacer (kg/m³)	7960	t (mm)	5.4
Temps de stock (dies)	-	Placa utilitzar (mm)	6
pfluid (Kg/m³)	861.18	Pes (kg)	1060.5
Vdisseny (m³)	9.39	CAPÇALS TORIESFÈRICS	
D (m)	1.68	L=D (inch)	66.3
H (m)	4.21	r	6.63
Hliquid (m)	3.37	L/r	10
Htotal (m)	4.93	M	1.54
Pressió (psi)	14.76	tsuperior (mm)	6.07
ΔP(psi)	4.13	tinferior (mm)	7.05
Pressió disseny (psi)	21.65	Placa utilitzar superior (mm)	8.0
T (°C)	20	Placa utilitzar inferior (mm)	8.0
Tdisseny(°C)	35	Htoriesferic sup (mm)	361.40
S(psi)	15700	Htoriesferic infer (mm)	358.37
E	0.85	Pes capçal superior (kg)	87.91
C1(mm)/20 anys	4	Pes capçal inferior (kg)	87.91
C2 sup(mm)/20 anys	0.19	Ocupació del tanc (%)	80
C2 inf(mm)/20 anys	0.28		
Pes total tanc buit (kg)		1236.3	
Pes total tanc omplert (kg)		9319.63	

11.4.3 Tanc de condensat T-502

Utilitzant les equacions explicades a l'apartat 0 i 0 es determina el volum i el disseny mecànic del tanc de condensat. Les dades emprades i els resultats obtinguts es detallen a continuació:

Taula 11.4.5. Condicions i resultats per la determinació del volum dels condensadors

condicions	
T(°C)	30.62
P (atm)	1
Q (kg/h)	68100
Q (m³/h)	72.39
Q (m³/min)	1.21
τ (min)	8
V(m³)	12.07
D(m)	1.83
H(m)	4.58

Taula 11.4.6 Valors obtinguts pel disseny dels condensadors pel codi ASME.

MATERIAL ACER INOXIDABLE 316L

Nº tancs	1	COS CILINDRIC	
paçer (kg/m³)	7960	t (mm)	5.5
Temps de stock (dies)	-	Placa utilitzar (mm)	6
paigua (Kg/m³)	940.68	Pes (kg)	1262.9
Vdisseny (m³)	12.07	CAPÇALS TORIESFÈRICS	
D (m)	1.83	L=D (inch)	72.1
H (m)	4.58	r	7.21
Hliquid (m)	3.66	L/r	10
Htotal (m)	5.36	M	1.54
Pressió (psi)	14.76	tsuperior (mm)	6.25
ΔP(psi)	4.49	tinferior (mm)	7.38
Pressió disseny (psi)	22.07	Placa utilitzar superior (mm)	8.0
T (°C)	20	Placa utilitzar inferior (mm)	8.0
Tdisseny(°C)	35	Htoriesferic sup (mm)	390.12
S(psi)	18800	Htoriesferic infer (mm)	386.83
E	0.85	Pes capçal superior (kg)	104.63
C1(mm)/20 anys	4	Pes capçal inferior (kg)	104.63
C2 sup(mm)/20 anys	0.20	Ocupació del tanc (%)	80
C2 inf(mm)/20 anys	0.31		
Pes total tanc buit (kg)		1472.1	
Pes total tanc omplert (kg)		9784.76	

11.4.4 Tanc de condensat T-503

Utilitzant les equacions explicades a l'apartat 0 i 0 és determina el volum i el disseny mecànic del tanc de condensat. Les dades empleades i els resultats obtinguts es detallen a continuació:

Taula 11.4.7. Condicions i resultats per la determinació del volum dels condensadors

condicions	
T°C	60.48
P (atm)	1
Q (kg/h)	21000
Q (m³/h)	29.46
Q (m³/min)	0.49
τ (min)	8
V(m³)	4.91
D(m)	1.36
H(m)	3.39

Taula 11.4.8. Valors obtinguts pel disseny dels condensadors pel codi ASME.

MATERIAL ACER INOXIDABLE 316L

Nº tancs	1	COS CILINDRIC
----------	---	---------------

pacer (kg/m ³)	7960	t (mm)	5.0
Temps de stock (dies)	-	Placa utilitzar (mm)	6
pfluid (Kg/m ³)	712.72	Pes (kg)	688.9
Vdisseny (m ³)	4.92	CAPÇALS TORIESFÈRICS	
D (m)	1.36	L=D (inch)	53.4
H (m)	3.40	r	5.34
Hliquid (m)	2.72	L/r	10
Htotal (m)	3.98	M	1.54
Pressió (psi)	14.76	tsuperior (mm)	5.67
ΔP(psi)	2.75	tinferior (mm)	6.28
Pressió disseny (psi)	20.07	Placa utilitzar superior (mm)	8.0
T (°C)	20	Placa utilitzar inferior (mm)	8.0
Tdisseny(°C)	35	Htoriesferic sup (mm)	289.36
S(psi)	15700	Htoriesferic infer (mm)	295.00
E	0.85	Pes capçal superior (kg)	42.76
C1(mm)/20 anys	4	Pes capçal inferior (kg)	57.19
C2 sup(mm)/20 anys	0.15	Ocupació del tanc (%)	80
C2 inf(mm)/20 anys	0.21		
Pes total tanc buit (kg)		788.8	
Pes total tanc omplert (kg)		4288.84	

11.4.5 Tanc de condensat-602

Utilitzant les equacions explicades a l'apartat 0 i 0 es determina el volum i el disseny mecànic del tanc de condensat. Les dades empleades i els resultats obtinguts es detallen a continuació:

Taula 11.4.9. Condicions i resultats per la determinació del volum dels condensadors

condicions	
T°C	105
P (atm)	1
Q (kg/h)	17800
Q (m ³ /h)	16.10
Q (m ³ /min)	0.27
τ (min)	8
V(m ³)	2.68
D(m)	1.11
H(m)	2.77

Taula 11.4.10. Valors obtinguts pel disseny dels condensadors pel codi ASME.

MATERIAL ACER INOXIDABLE 316L			
Nº tancs	1	COS CILINDRIC	
pacer (kg/m ³)	7960	t (mm)	4.9

Temps de stock (dies)	-	Placa utilitzar (mm)	6
pfluid (Kg/m³)	1105.7	Pes (kg)	460.6
Vdisseny (m³)	2.77	CAPÇALS TORIESFÈRICS	
D (m)	1.12	L=D (inch)	43.7
H (m)	2.80	r	4.37
Hliquid (m)	2.24	L/r	10
Htotal (m)	3.28	M	1.54
Pressió (psi)	14.76	tsuperior (mm)	5.36
ΔP(psi)	3.49	tinferior (mm)	5.94
Pressió disseny (psi)	20.92	Placa utilitzar superior (mm)	8.0
T (°C)	20	Placa utilitzar inferior (mm)	8.0
Tdisseny(°C)	35	Htoriesferic sup (mm)	240.91
S(psi)	15700	Htoriesferic infer (mm)	238.91
E	0.85	Pes capçal superior (kg)	28.62
C1(mm)/20 anys	4	Pes capçal inferior (kg)	28.62
C2 sup(mm)/20 anys	0.12	Ocupació del tanc (%)	80
C2 inf(mm)/20 anys	0.18		
Pes total tanc buit (kg)		517.8	
Pes total tanc omplert (kg)		3484.46	

11.5.Bescanviadors de calor

11.5.1. Introducció

Els bescanviadors de calor són en general, equips utilitzats per tal de poder, tant refredar com escalfar un fluid de procés, en el seu interior es produeix una transferència de calor entre dos fluids, dos gasos o la combinació d'aquests. Ambdós estan separats per una paret metàl·lica o per tubs que els separen i limiten la seva interacció a la transferència de calor.

Les aplicacions industrials dels bescanviadors de calor són molt amples, caracteritzant-se per les seves operacions de transferència de calor:

- Bescanviador de calor: té una doble funció, esclafar o refredar el fluid de procés.
- Condensadors: són capaços de condensar un vapor (o mescla d'aquests).
- Cooler: tenen com a funció refredar un fluid de procés sense tenir un canvi de fase en el seu interior.
- Esclafador: tenen com a funció esclafar un fluid de procés sense tenir un canvi de fase en el seu interior.
- Vaporitzador (reboiler): la seva funció es escalfar un fluid de procés fins el seu canvi d'estat, és a dir, són bescanviadors amb canvi de fase.

Els bescanviadors permeten una gran varietat de materials de construcció i tenen una elevada àrea de transferència en un equip molt compacte. La seva gran limitació correspon a les baixes pressions permissibles de treball i a la pèrdua de pressió donada pel pas dels fluids a través seu.

A la planta NIROA FORMIC ACID INDUSTRY, es disposa d'un total de 22 bescanviadors els quals es poden diferenciar en 3 tipus. Bescanviadors de carcassa i tubs, condensadors i termosifons verticals (reboilers) de les columnes de destil·lació.

Les principals característiques d'aquets bescanviadors de calor es detellen a continuació:

- Bescanviador de carcassa i tubs:

Aquest tipus de bescanviador és el més utilitzat a la indústria, ja que presenta una gran diversitat de configuracions i permet treballar amb un ampli rang de temperatures i pressions. També presenten la possibilitat de treballar amb grans àrees de contacte, que poden arribar fins als 6000 m², i per tant, es poden utilitzar en els casos que es requereixi tenir un gran bescanvi de calor entre el fluid de procés i el fluid tèrmic. També cal esmentar que el cost d'aquests bescanviadors és baix i de fàcil operació.

Els bescanviadors estan formats per una carcassa cilíndrica que en el seu interior conté un feix de tubs cilíndrics, paral·lels a l'eix de la carcassa. Els tubs poden ser llisos, aletjats, longitudinals o també poder ser rectes o corbats en forma de U.

- Condensadors:

Són bescanviadors de carcassa i tubs en els quals es produeix un canvi de fases total o parcial. Els condensadors en la planta NIROA són condensadors totals. A la planta hi ha un total de 5 condensadors. El refrigerant utilitzat en la planta serà aigua i aigua glicolada, on aquests passaran per carcassa, i el fluid de procés per tubs.

- Termosifons verticals-reboilers

Els termosifons verticals són un tipus de bescanviadors de carcassa i tubs però que es troben en posició vertical. S'utilitzen en el fons de les columnes de destil·lació per evaporar part del corrent d'entrada al bescanviador, crear el reflux i proporcionar la calor d'ebullició necessària per dur a terme la destil·lació. El fluid de procés circula per la carcassa i el fluid tèrmic, vapor d'aigua, circula pels tubs.

- Cas especial

El bescanviador E101, de la planta, és un reboiler de tipus DKU, ja que el fluid de procés, en aquest cas la matèria primera, monòxid de carboni, ha de canviar d'estat a elevada pressió i baixa temperatura, i per aconseguir-ho, s'ha utilitzat aquest tipus de bescanviador.

11.5.2 Disseny del bescanviador

S'ha emprat el software *Aspen Exchanger Design and Rating* pel disseny de tots els bescanviadors de la planta, donat a que aquest software ens permet obtenir totes les dades necessàries per especificar un bescanviador de calor, tant tèrmiques com mecàniques, mitjançant un procés

senzill, a la vegada que ràpid. La base teòrica en la que es fonamenta el programa és el mètode KERN, el qual s'explicarà a continuació.

11.5.2.1 Mètode de Kern

Primer, s'ha de decidir quin fluid circularà per carcassa i quin pels tubs; per decidir-ho, s'han seguit els següents criteris:

- Per carcassa:
 - Fluid que canvia de fase
 - Més cabal
- Per tubs:
 - Temperatura més alta
 - Més cabal
 - Més tòxic o corrosiu

Una vegada seleccionada la zona de circulació de cada fluid, es procedeix a comprovar la següent igualtat:

$$Q_Q = m_s \cdot C_{ps} \cdot (T_{2,s} - T_{1,s}) = m_t \cdot C_{pt} \cdot (T_{1,t} - T_{2,t}) \quad \text{Equació 11.5.1}$$

On

El subíndex s fa referència al costat de la carcassa

El subíndex t fa referència al fluid que circula pels tubs

Q_Q és el calor bescanviat (W)

m és el cabal màssic (kg/s)

C_p és el calor específic (J/kg°C)

T1 és la temperatura a l'entrada del fluid (°C)

T2 és la temperatura a la que surt el fluid (°C).

En tots els bescanviadors s'ha optat per una circulació en contracorrent dels fluids, degut a que amb aquest tipus de circulació, es dona una transferència de calor més òptima gràcies al gradient constant que hi ha de temperatura:

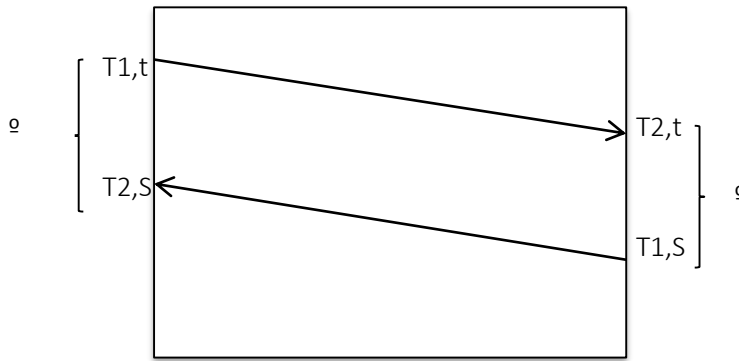


Figura 11.5.1. perfil de temperatures per una circulació en contracorrent.

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \text{ Equació 11.5.2}$$

Inicialment, es suposa un número de passos per tub i per carcassa de 1, es pren un valor aproximat bibliogràfic del coeficient global, i es calcula així l'àrea de bescanvi de calor:

$$A = \frac{Q_0}{U \cdot (\Delta T_{ml})_c} \text{ Equació 11.5. 3}$$

On

A és l'àrea de bescanvi (m^2)

U és el coeficient global de transmissió de calor ($W/m^2\text{°C}$)

$(\Delta T_{ml})_c$ és la variació mitjana logarítmica de la temperatura corregida (°C)

$$(\Delta T_{ml})_c = \Delta T_{ml} \cdot F \text{ Equació 11.5. 4}$$

On

ΔT_{ml} és la variació mitjana logarítmica de la temperatura (°C)

F és un factor de correcció que s'avalua gràficament, si és major que 0,85 es corregeix el ΔT_{ml} , sino es modifica el número de passos per carcassa:

A continuació, es seleccionen les característiques dels tubs, longitud (L), diàmetre extern (D_E) i gruix (Δx), s'ha de tenir en compte que a la llargada del tub se l'hi haurà de restar un mínim de 2,5 cm per cada banda, per tal de connectar-los amb el capçal. D'aquesta manera, és possible calcular l'àrea de transferència de cada tub:

$$A_{tub} = \pi \cdot D_E \cdot L \text{ Equació 11.5.5}$$

A partir d'aquest resultat, relacionant-lo amb l'àrea total de bescanvi necessària, es pot calcular el número de tubs:

$$N_t = \frac{A}{A_{tub}} \text{ Equació 11.5.6}$$

També, s'ha de decidir la disposició dels tubs; si es vol assolir una velocitat de transferència de calor major, s'utilitza pitch triangular o romboïdal, d'altra banda, si es necessita netejar mecànicament el costat de la carcassa, serà més convenient el pitch quadrat.

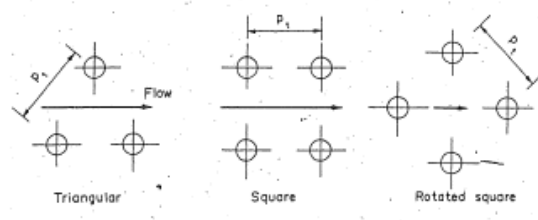


Figura 11.5.2.1.2: Possibles distribucions dels tubs.

El pitch és la distància entre el centre d'un tub i el centre del tub consecutiu; generalment, haurà de ser 1,25 vegades el diàmetre exterior dels tubs:

$$pitch = 1,25 \cdot D_E \text{ Equació 11.5.7}$$

Un cop escollida la distribució, es determina el valor de n_1 i K_1 , el que permetrà calcular el diàmetre del feix de tubs:

$$D_b = D_E \cdot \left(\frac{N_t}{K_1} \right)^{1/n_1} \text{ Equació 11.5.8}$$

On

D_b és el diàmetre del feix de tubs (m)

K_1 i n_1 són funció del pitch escollit i el número de passos per tubs

S'escull el tipus de carcassa que s'utilitzarà, d'aquesta manera, es pot determinar gràficament amb el valor del diàmetre del feix de tubs, la distància que haurà d'haver entre el feix de tubs i la carcassa:

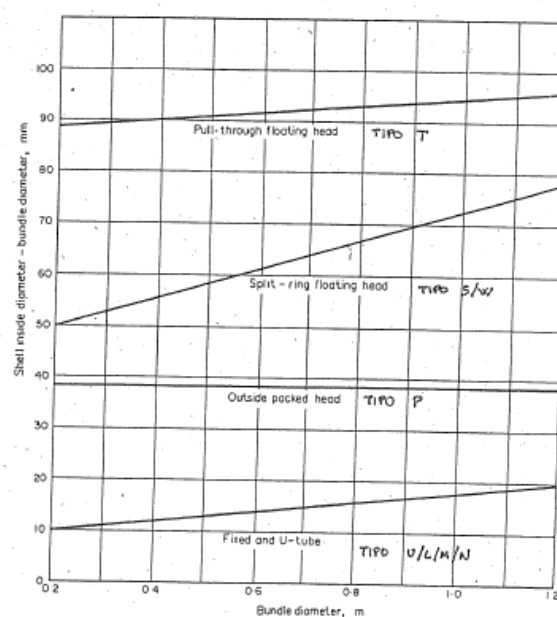


Figura 11.5.2: Distància entre el feix de tubs i la carcassa, en funció del diàmetre i el tipus de carcassa.

Per tant, sumant aquest valor obtingut a D_b s'obté el diàmetre de la carcassa:

$$D_s = D_b + \text{distància} \text{ Equació 11.5.9}$$

A continuació, s'ha de comprovar que la relació L/D_s estigui compresa entre 4 i 6. En cas de ser major a 6 es disminueix la longitud, en canvi si és menor a quatre, la longitud s'augmenta.

Un cop determinat el diàmetre de la carcassa, es poden establir les característiques de les pantalles deflectores, el que afectarà a la velocitat del fluid de la banda de la carcassa:

-Baffle cut, és l'espai que queda lliure entre la pantalla i la carcassa, és entre el 15% i 45% del diàmetre de la carcassa, essent el rang òptim entre 20 i 25%.

-L'espaiat entre pantalles (l_b), és entre 0,2 i 1 el diàmetre de la carcassa, el rang òptim és d'entre 0,3 i 0,5 vegades.

-Número de pantalles deflectores, el qual es calcula com $(L/l_b)-1$

També s'ha de comprovar que les velocitats de circulació, tant del fluid que circula per tubs, com del que circula per carcassa, estigui dins dels rangs típics:

Líquids, depèn del lloc de circulació:

- Per tubs: acostuma a ser d'1 a 2 m/s, 4m/s com a màxim si es vol evitar embrutiment.

- Per carcassa: de 0,3 a 1m/s.

Vapors, depèn de la pressió d'operació:

-A pressió atmosfèrica: de 10 a 30 m/s

-Buit: entre 50 i 70 m/s

-A altes pressions: entre 5 i 10 m/s

Velocitat de circulació per tubs

Per calcular la velocitat del fluid que circula per tubs, prèviament s'ha d'haver calculat el número de tubs per pas (N_{tp}), el qual és la relació entre el número de tubs i el número de passos per tub, i l'àrea de pas de cada tub:

$$N_{tp} = \frac{N_t}{n_{pt}} \text{ Equació 11.5.10}$$

$$A_{secció\ tub} = \frac{\pi}{4} \cdot D_I^2 \text{ Equació 11.5.11}$$

On D_I és el diàmetre interior de cada tub, definit com

$$D_I = D_E - 2 \cdot \Delta x \text{ Equació 11.5.12}$$

Així doncs, és possible calcular la velocitat de circulació de dins dels tubs (v_t), tenint en compte el cabal volumètric que passa (Q):

$$v_t = \frac{Q}{A_{secció\ tub} \cdot N_{tp}} \text{ Equació 11.5.13}$$

En el cas que la velocitat obtinguda no estigui dins el rang, es torna a calcular el número de passos per tubs a partir d'una velocitat suposada que sí que es trobi dins de les esperades. S'ha de tenir en compte que el número de passos per tub ha de ser parell, per tant, s'haurà d'arrodonir.

D'altra banda, al variar el número de passos per tubs és possible que l'increment de temperatura mitjà logarítmic s'hagi de corregir a partir del factor F.

Al haver fet arrodoniments en el número de tubs o el número de passos per tub, l'àrea de transferència pot haver-se vist modificada, el que farà necessari re-calcular-la, així com el coeficient global.

Velocitat de circulació per carcassa

Amb les especificacions geomètriques de la carcassa establertes anteriorment, es pot calcular l'àrea transversal de la carcassa:

$$A_{ST} = \frac{l_B \cdot D_s \cdot (pitch - D_E)}{pitch \cdot n_{ps}} \text{ Equació 11.5. 14}$$

Amb el cabal volumètric que circula per la carcassa i el valor obtingut, es calcula la velocitat del fluid de la carcassa:

$$v_s = \frac{Q_s}{A_{ST}} \text{ Equació 11.5.15}$$

Es compara amb els valors típics; en cas de no trobar-se dins del rang es varien les especificacions geomètriques de la carcassa establertes anteriorment.

Determinació de U a partir dels coeficients individuals i els factors d'embrutiment

Per tal de poder calcular el coeficient individual del costat del tub, prèviament, s'han de determinar les propietats físiques del fluid, i s'ha de seguir el següent ordre:

-La secció de pas de tots els tubs d'un mateix pas, la qual es calcula com:

$$A_{pas\ t} = N_t \cdot \frac{A_{secció\ tub}}{n_{pt}} \text{ Equació 11.5.16}$$

-El diàmetre equivalent del costat dels tubs (D_{eq}), el qual és igual al diàmetre interior.

-Densitat de flux màssic (G_t), és la relació entre el cabal màssic (m_t) i l'àrea de pas total:

$$G_t = \frac{m_t}{A_{pas\ t}} \text{ Equació 11.5.17}$$

-Els números adimensionals de Reynolds i Prandtl:

$$Re = \frac{D_{eq} \cdot G_t}{\mu} \text{ Equació 11.5. 18}$$

$$Pr = \frac{c_p \cdot \mu}{k} \text{ Equació 11.5.19}$$

On

C_p és el calor específic del fluid

μ és la viscositat

k és la conductivitat

-Coeficient individual, es calcula a partir del factor de transferència de calor (j_H), el qual es determina gràficament mitjançant el número de Reynolds i la relació L/D_i .

$$\frac{h_t \cdot D_i}{k} = j_H \cdot Re \cdot Pr^{0,33} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14} \quad \text{Equació 11.5.20}$$

Inicialment, es realitza el càlcul menyspreant la variació de la viscositat amb la temperatura, per poder calcular la temperatura a la paret (T_w) mitjançant:

$$h_t \cdot (T - T_w) = U \cdot (T - t) \quad \text{Equació 11.5.21}$$

On

T és la temperatura mitjana del tub ($^{\circ}\text{C}$)

t és la temperatura mitjana de la carcassa ($^{\circ}\text{C}$)

U és el coeficient global suposat (J/sm^2)

Una vegada s'obté la temperatura a la paret, es busca bibliogràficament la viscositat del fluid en aquestes condicions, per tal de tornar a calcular el coeficient individual, tot tenint en compte la variació de la viscositat. Per últim, cal comprovar que el valor obtingut concordi amb els valors típics pel tipus de fluid i l'estat físic d'aquest.

D'altra banda, el coeficient individual del costat de la carcassa es calcula seguint el següent procediment:

- Cabal màssic per unitat d'àrea (G_s), és la relació entre el cabal màssic de fluid que passa per la carcassa (m_s) i l'àrea transversal calculada anteriorment:

$$G_s = \frac{m_s}{A_{ST}} \quad \text{Equació 11.5.22}$$

-Diàmetre equivalent de carcassa (D_{eq}), depèn del pitch:

$$\text{per pitch triangular} \rightarrow D_{eq} = \frac{1,1}{D_E} \cdot (\text{pitch}^2 - 0,917 \cdot D_E^2) \quad \text{Equació 11.5.23}$$

$$\text{per pitch quadrat} \rightarrow D_{eq} = \frac{1,27}{D_E} \cdot (\text{pitch}^2 - 0,785 \cdot D_E^2) \quad \text{Equació 11.5.24}$$

-Númers de Prandtl i Reynolds de carcassa:

$$Re_s = \frac{D_{eq} \cdot G_s}{\mu_s} \quad \text{Equació 11.5.25}$$

$$Pr_s = \frac{c_p \cdot \mu}{k} \quad \text{Equació 11.5.26}$$

- Coeficient individual de transmissió de calor costat carcassa (h_s), novament, es calcula a partir del factor de transferència de calor (j_h), amb la diferència que aquest es determina gràficament en funció del baffle cut i del Reynolds de carcassa.

$$\frac{h_s \cdot D_{eq}}{k} = j_h \cdot Re_s \cdot Pr_s^{0,33} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14} \text{ Equació 11.5.27}$$

Cal comprovar que el valor calculat estigui dins dels límits dels valors típics pel tipus de fluid i l'estat físic en el que es troba.

És necessari tenir valors típics del factor d'embrutiment (h_R) pels fluids que intervenen, tenint en compte les dues bandes si és necessari.

D'aquesta manera, ja és possible calcular el coeficient global real de transmissió de calor (U_R):

$$\frac{1}{U_R} = \frac{1}{h_s} + \frac{1}{h_R} + \frac{D_E \cdot \ln\left(\frac{D_E}{D_I}\right)}{2 \cdot k} + \frac{D_E}{D_I} \cdot \frac{1}{R_t} + \frac{D_E}{D_I} \cdot \frac{1}{h_t} \text{ Equació 11.5.28}$$

Si el valor obtingut és igual o major que el 15% del coeficient global suposat, es pot considerar correcte, ja que el bescanviador estarà sobredimensionat; en canvi, si és menor, estarà infra dimensionat, i si sobrepassa aquest 15% estarà massa sobredimensionat, fet que obligarà a tornar a començar, suposant un nou valor de U .

Càlcul de les pèrdues de pressió

Per últim, cal fer una última comprovació per tal de donar per vàlid el disseny realitzat; s'ha de parlar atenció tant a les pèrdues de pressió que es donen al costat dels tubs com a les de la carcassa i comparar-les amb valors típics:

-Per líquids:

$$\mu < 1cp \rightarrow \Delta P < 35 \text{ kN/m}^2$$

$$1 \text{ cp} < \mu < 10 \text{ cp} \rightarrow 5 < \Delta P < 70 \text{ kN/m}^2$$

-Per gasos:

$$\text{buit elevat} \rightarrow 0,4 - 0,8 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{buit mitjà} \rightarrow 0,1 \cdot P_{absoluta}$$

$$1 \text{ a } 2 \text{ bar} \rightarrow 0,5 \cdot \text{Pressió manomètrica}$$

$$> 10 \text{ atm} \rightarrow 0,1 \cdot \text{Pressió manomètric}$$

- Costat tubs

Les pèrdues de pressió són degudes a pèrdues per fricció i a contraccions i expansions, segons com es consideri, s'utilitzen les següents expressions:

Per sistemes isoterms:

$$\Delta P_t = 8 \cdot j_f \cdot \frac{\rho \cdot v_t^2}{2} \cdot \left(\frac{L}{D_I} \right) \text{ Equació 11.5.29}$$

On

j_f es calcula gràficament amb el número de Reynolds

ρ és la densitat del fluid de dins dels tubs a les condicions a les que es troba

Per sistemes no isoterms:

$$\Delta P_t = 8 \cdot j_f \cdot \frac{\rho \cdot v_t^2}{2} \cdot \left(\frac{L}{D_I}\right) \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{-m} \quad \text{Equació 11.5.30}$$

On

m depèn del número de Reynolds

Per $Re < 2100$ $m = 0,25$

Per $Re > 2100$ $m = 0,14$

Considerant contracció i expansió :

$$\Delta P_t = N_p \cdot \left[8 \cdot j_f \cdot \left(\frac{L}{D_I}\right) \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{-m} + 2,5 \right] \cdot \frac{\rho \cdot v_t^2}{2} \quad \text{Equació 11.5. 31}$$

-Costat carcassa

Les pèrdues al costat de la carcassa es calculen segons:

$$\Delta P_s = n_s \cdot 8 \cdot j_f \cdot \frac{\rho \cdot v_t^2}{2} \cdot \left(\frac{D_s}{D_{eq}}\right) \cdot \left(\frac{L}{L_B}\right) \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{-0,14} \quad \text{Equació 11.5.32}$$

On

j_f es calcula gràficament amb el número de Reynolds i el percentatge de baffle cut

Si les caigudes de pressió estan compreses dins dels valors esperats, el bescanviador dissenyat es dona per bo, en el cas que es superi els límits, s'haurà de variar la velocitat de circulació dels fluids, tenint en compte que velocitats altes generen grans pèrdues de pressió, però a la vegada fan augmentar els coeficients de transmissió de calor.

11.5.2.2 Disseny amb Aspen Hysys

Pel disseny dels bescanviadors amb el software Exchanger Design and Rating User Interface, únicament és necessari establir certs límits i especificar els corrents d'entrada i sortida.

A continuació s'explica detalladament el pas a seguir per dur a terme el disseny de tots el bescanviador de la planta.

Bescanviador de carcassa i tubs:

- 1) El primer pas és la selecció del tipus de bescanviador:

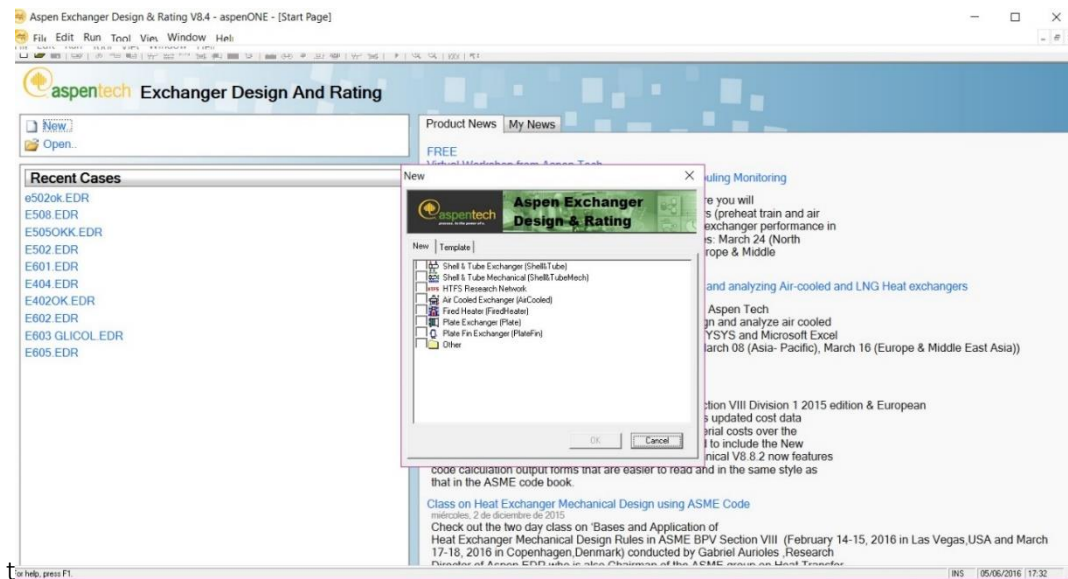


Figura 11.5.13 selecció del tipus de bescanviador

- 2) Un cop seleccionat el tipus de bescanviador s'introdueixen les condicions d'entrada i sortida del fluid calent i del fluid fred, així com el cabal que hi circula, fent que la igualtat del balanç energètic es compleixi:

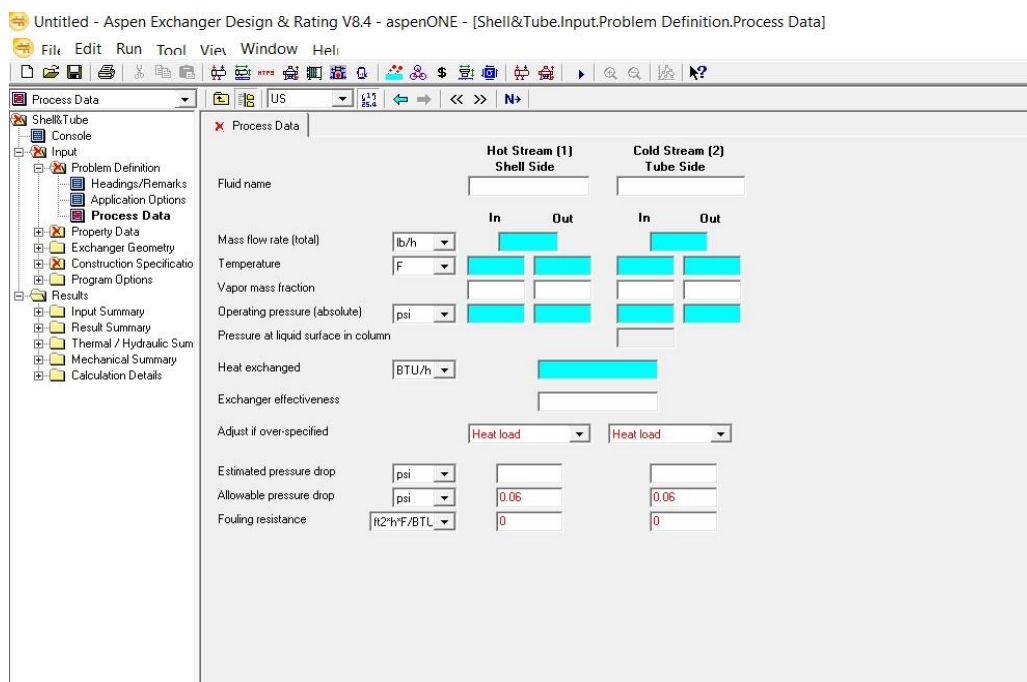


Figura 11.5.14 especificacions de les condicions dels corrents que circulen pel bescanviador

- 3) Seguidament es defineixen les composicions del fluid calent:

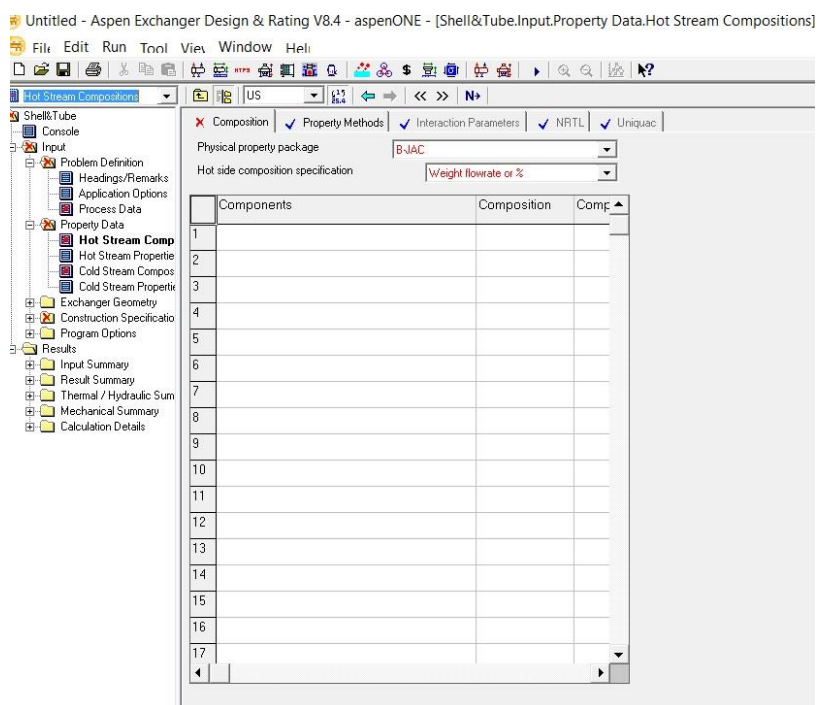


Figura 11.5.15. composició del fluid calent

4) Seguidament es defineixen les composicions del fluid fred:

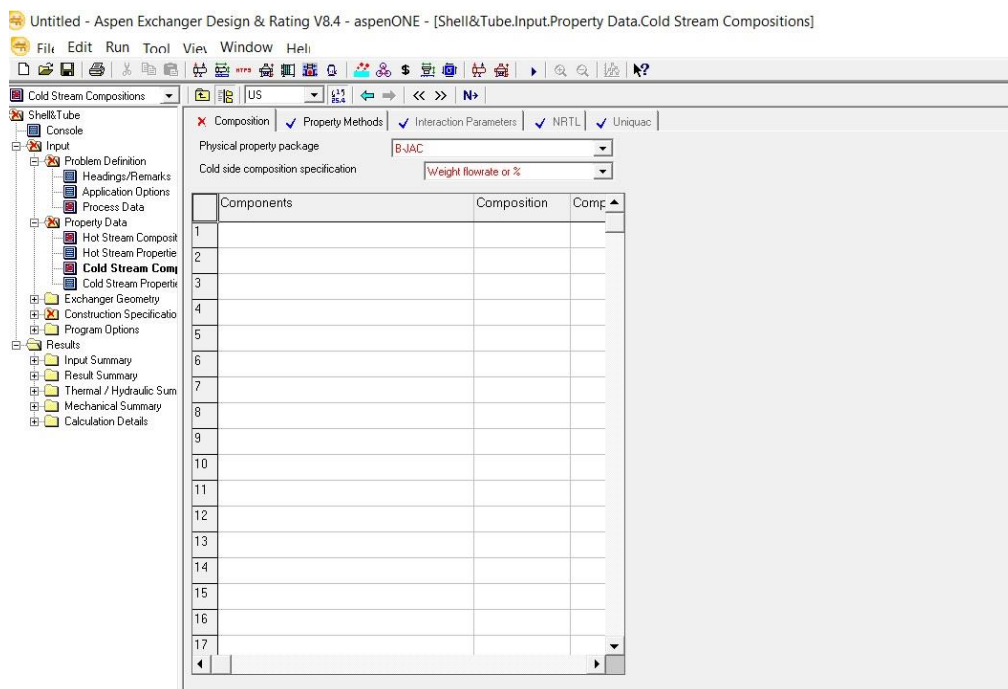


Figura 11.5.16 composició del fluid fred

5) Selecció del tipus de bescanviador:

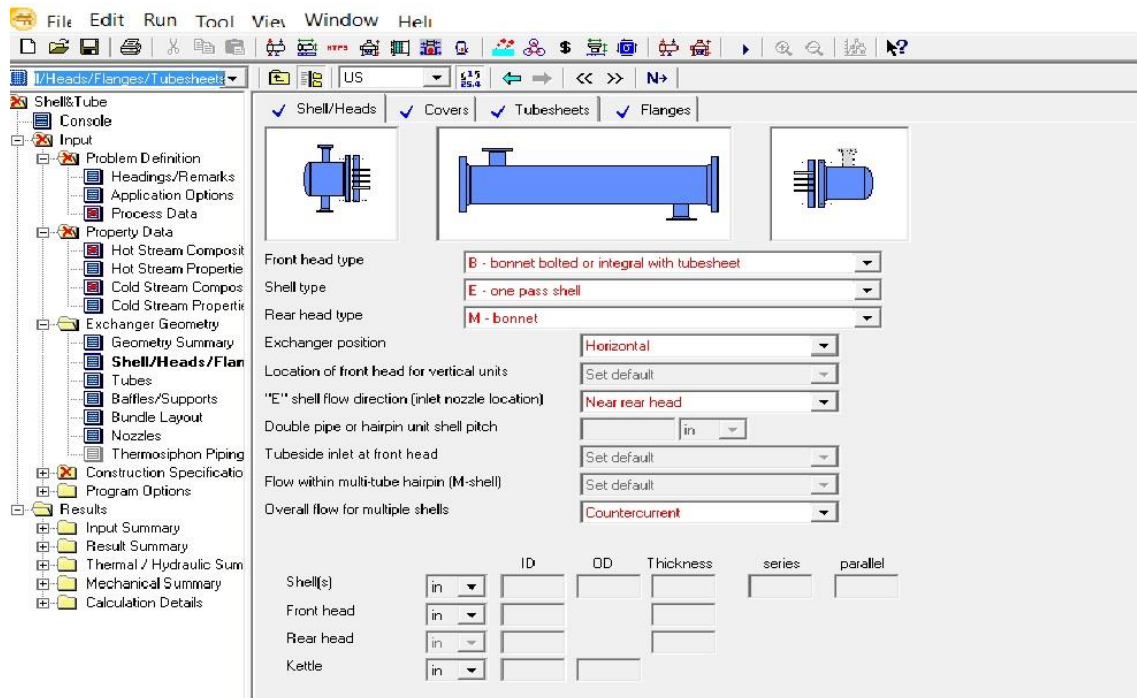


Figura 11.5.17 selecció del tipus de bescanviador

6) Selecció del tipus de material:

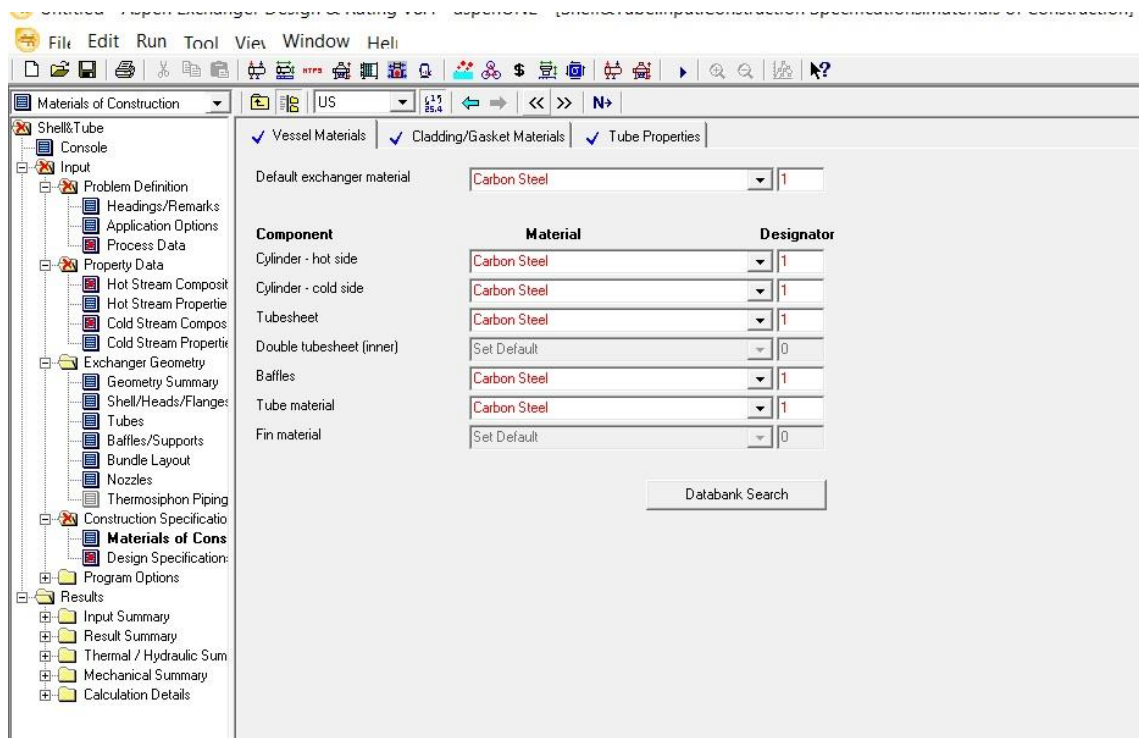


Figura 11.5.18 selecció del material del bescanviador.

Un cop establert tots el paràmetres de disseny, es fa córrer el programa. Un cop el programa dona el disseny del bescanviador es para atenció en les velocitats obtingudes, si el bescanviador vibrar i la transferència de calor no es troba dins dels rangs esperats, es fan modificacions en certes opcions de dissenys, fins obtenir els valors desitjats.

Condensadors:

Pel que fa al disseny dels condensadors es segueixen el mateixos passos anteriors excepte en el primer pas, on abans de introduir els paràmetres de disseny, s'escull que el fluid fred, serà un fluid condensat.

7) Determinació del tipus de bescanviador:

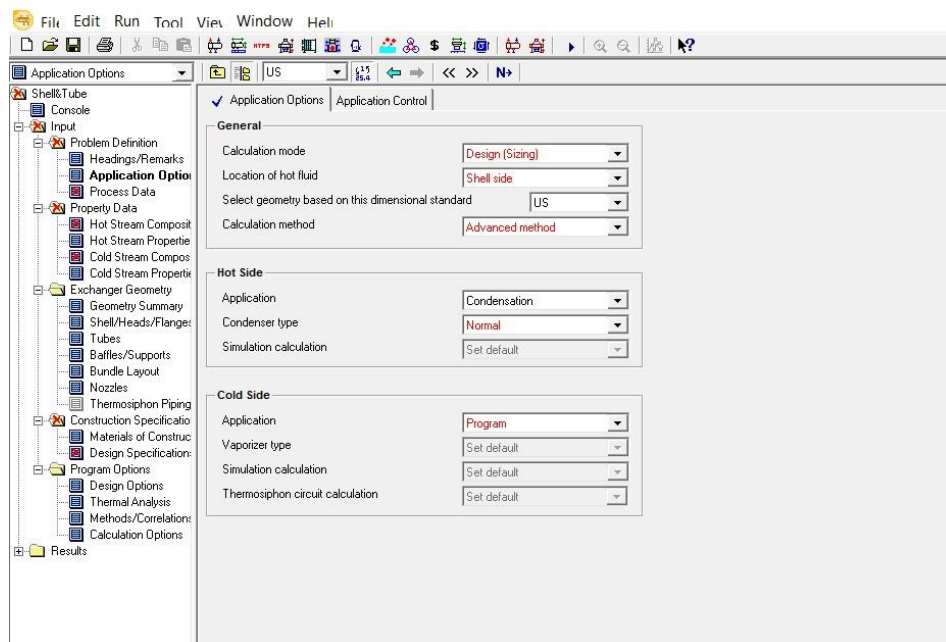
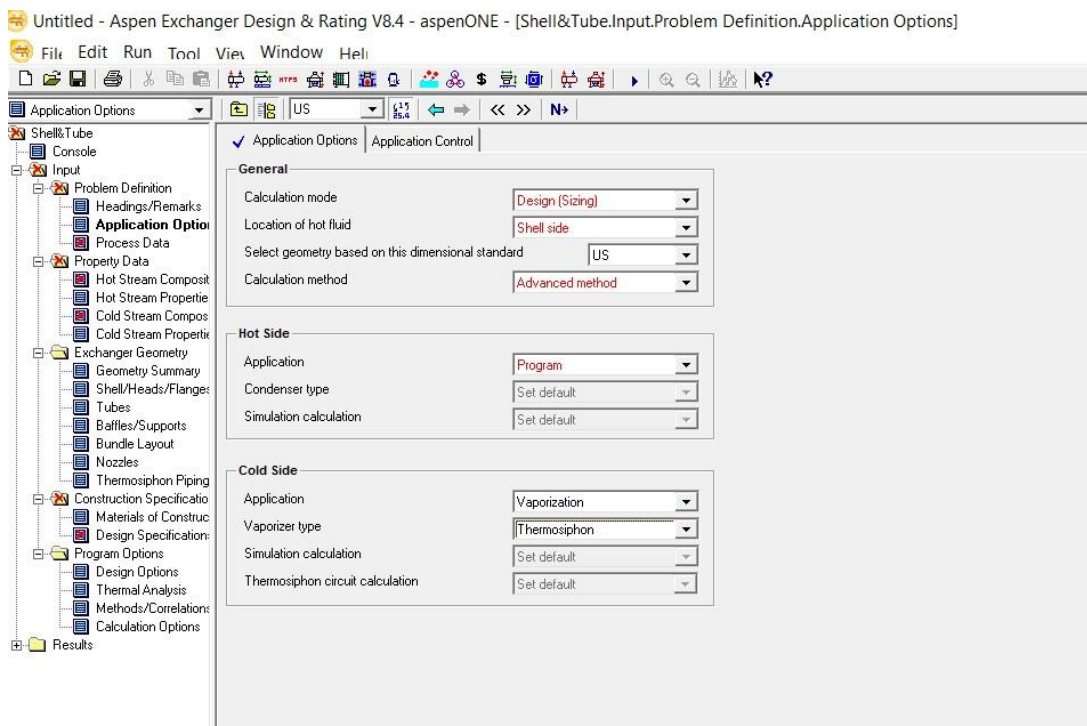


Figura 11.5.19 selecció del tipus de bescanviador: condensador.

Termosifons verticals:

Igual que en el cas dels condensadors es segueixen el mateixos passos anterior excepte en el primer pas, on abans d'introduir els paràmetres de disseny, s'escull que el bescanviador sigui un termosifó vertical (reboiler).

8) Selecció del bescanviador termosifó vertical:



9) Figura 11.5.20. selecció del tipus de bescanviador: termosifó vertical.

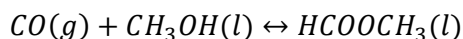
11.6. Reactors

11.6.1. Reactor de carbonilació

En aquest apartat es detalla el disseny funcional i mecànic del reactor, així com la seva refrigeració.

Coneixent la reacció que es dona, la cinètica i l'entalpia de la reacció es pot realitzar el disseny d'aquest reactor.

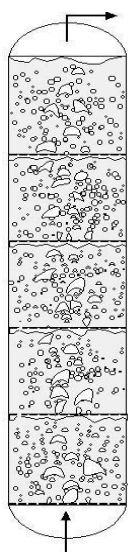
Es tracta d'un reactor bifàsic, on s'alimenta el CO en fase gas, i la mescla de metanol i catalitzador en fase líquida. El tipus de reactor escollit ha estat una columna de bombolleig. La reacció que es produeix és la següent:



La reacció es porta a terme a 80°C i 45 atm i s'ha decidit utilitzar com a catalitzador el metòxid de sodi (CH₃ONa) en un 2.5% en pes en el metanol. La descomposició del catalitzador es desconeix

i, per tant, s'analitzarà a la sortida del reactor per implementar el sistema adequat d'introducció de catalitzador. Es coneix, però, que la descomposició del catalitzador produeix unes sals. Gràcies al disseny escollit, aquestes sals s'acumularan dins el reactor, a la superfície del líquid evitant així que segueixin al procés, i seran eliminades en les diferents parades en la realització de la neteja dels equips.

11.6.1.1. Disseny funcional



A partir de les dades cinètiques (O. Jogunola, T. Salmi, J.P. Mikkola, 2012) i de les dades de difusivitats i coeficients de transferència de matèria s'ha dissenyat el reactor de carbonilació, mitjançant la teoria de la doble pel·lícula, utilitzant Matlab. En quant als valors de la velocitat superficial del gas, l'àrea interfacial i el hold up de gas, s'han estimat a partir de valors típics.

L'script realitzat amb el Matlab inclou l'àrea de pas (trobad a partir del cabal de gas i la velocitat superficial del gas) utilitzada per trobar el diàmetre del reactor, i es va variant l'alçada de líquid al reactor per obtenir una bona transferència entre fases, i amb aquesta alçada es troba el volum de líquid al reactor. A partir d'aquest volum de líquid i del hold up de gas, es troba el volum i l'alçada del reactor.

Seguidament es pot observar a la següent taula les dades utilitzades per al disseny de la columna de bombollej i el perfil de concentracions obtingut segons la teoria de la doble pel·lícula.

Taula 11.6.1. Condicions i paràmetres pel càlcul del volum de la columna de bombollej.

Pressió	45 atm	Àrea de pas	0.8978 m ²
Temperatura	353 K	Cabal de líquid	39.701 m ³ /h
Energia d'activació	83.7 kJ/mol	Difusivitat del CO	1.795E-9 m ² /s
Entalpia de la reacció	-29 kJ/mol	Coefficient de transferència de matèria	3.394E-4
Àrea interfacial	250 m ² /m ³	Longitud de la pel·lícula	5.289E-6 m
Constant cinètica	0.0042 m ³ /mol/s	Concentració de CO a la fase gas	1.524E3 mol/m ³
Constant d'equilibri	0.0045 m ³ /mol	Concentració de metanol a la fase líquida	21228.055 mol/m ³
Velocitat del gas	0.054 m/s	Constant de Henry pel CO	2.992E3 Pa·m ³ /mol
Cabal de gas	174.53 m ³ /h	Hold up de gas	0.365

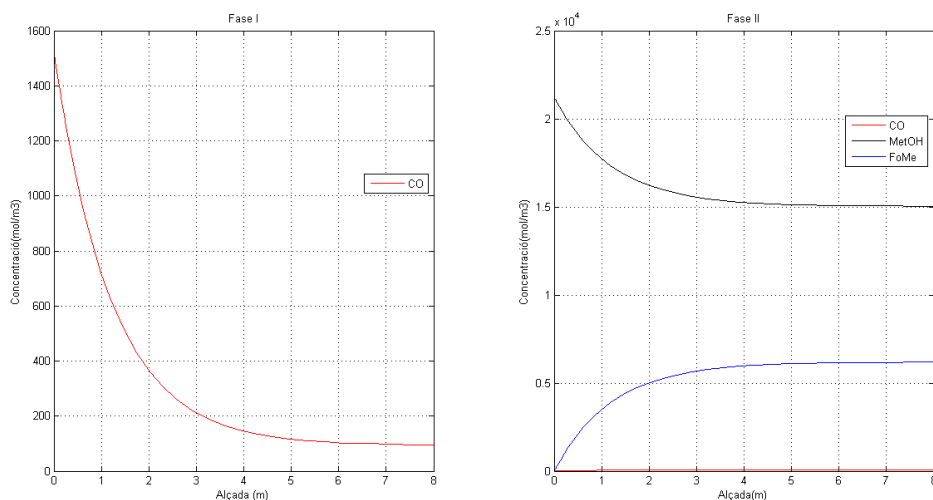


Figura 11.6.1. Evolució de la concentració en la fase gasosa i líquida.

S'ha obtingut un volum de reactor de 11.311 m³, amb un diàmetre de 1.069 m i una alçada de 12.598 m.

Els valors obtinguts del disseny funcional del reactor són els següents:

Taula 11.6.2. Resultats obtinguts per al primer reactor.

Diàmetre	1.069 m
Alçada de líquid	8.000 m
Volum de líquid	7.182 m³
Conversió (referida al metanol)	0.291
Conversió (referida al CO)	0.940
Volum del reactor	11.311 m³
Alçada del reactor	12.598 m
Temps de residència del líquid	10.855 min

S'obté uns valors en quant a la conversió referida als dos reactius adequats segons les dades bibliogràfiques consultades en aquestes condicions d'operació (F. Ullmann, M. Bohnet, 2002). En quant al temps de residència del líquid, s'obté a partir del quocient entre el cabal de líquid i el volum de líquid. Es pot apreciar que el temps de residència és força petit, fet que indica que la reacció és força ràpida influint en l'obtenció del que sembla un volum de reactor petit, però tractant-se d'una columna de bombolleg no és petit.

11.6.1.2. Disseny mecànic

En quant al disseny mecànic, el primer pas és escollir el material adequat. En aquest cas, es coneix que a les condicions en que opera el reactor, el metanol és força corrosiu. S'ha decidit utilitzar com a material AISI 316L que presenta una tolerància a la corrosió de 0.51 mm/any.

Per a la realització de tots els càlculs de gruixos del reactor, s'ha utilitzat el codi ASME.

Primerament s'ha realitzat els càlculs corresponents per a la pressió interna del cos del reactor segons la següent equació.

$$t = \frac{P \cdot R}{S \cdot E - 0.6 \cdot P} + C.A. = \frac{776.42 \cdot 21.043}{15700 \cdot 0.85 - 0.6 \cdot 776.42} + 0.4 = 1.67 \text{ inch} \quad \text{Equació 11.6.1}$$

On

t és el gruix [inch]

P és la pressió de disseny [psi]

R és el radi intern [inch]

S és la tensió del material [psi]

E és el valor de l'eficiència

C.A. és la tolerància a la corrosió [inch]

Seguidament es realitza el càlcul del gruix per a la pressió interna dels caps toriesfèrics segons l'equació següent.

$$t = \frac{P \cdot L \cdot M}{2 \cdot S \cdot E - 0.2 \cdot P} + C.A. = \frac{776.42 \cdot 42.1 \cdot 1.54}{2 \cdot 15700 \cdot 0.85 - 0.2 \cdot 776.42} + 0.4 = 2.30 \text{ inch} \quad \text{Equació 11.6.2}$$

$$t_{total} = t + 0.1 \cdot t = 2.30 + 0.1 \cdot 2.30 = 2.53 \text{ inch} \quad \text{Equació 11.6.3}$$

On

t és el gruix [inch]

P és la pressió de disseny [psi]

L és el radi intern del disc [inch]

M és un factor tabulat que depèn de L/r

S és la tensió del material [psi]

E és el valor de l'eficiència

C.A. és la tolerància a la corrosió [inch]

Seguidament es pot prosseguir al càlcul de les alçades del toriesfèric amb les següents equacions.

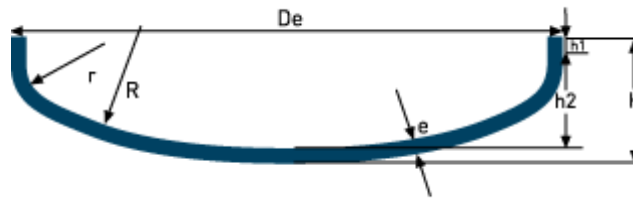


Figura 11.6.2. Mides capçal torisfèric.

$$h_1 = 3.5 \cdot e = 3.5 \cdot 2.53 = 8.841 \text{ inch} \quad \text{Equació 11.6.4}$$

$$h_2 = 0.1935 \cdot De - 0.455 \cdot e = 0.1935 \cdot 42.1 - 0.455 \cdot 2.53 = 6.994 \text{ inch} \quad \text{Equació 11.6.5}$$

$$H = h_1 + h_2 + e = 8.855 + 6.995 + 2.53 = 18.36 \text{ inch} \quad \text{Equació 11.6.6}$$

On

e és el gruix calculat anteriorment [inch]

De és el radi intern del disc [inch]

Definits els gruixos i alçades per a la pressió interna, es pot procedir a realitzar els càlculs per a la pressió externa.

En quant al cos cilíndric, es defineix un gruix a partir d'un mètode iteratiu on es suposa un gruix i a partir d'aquest gruix es calcula la pressió, i si aquesta pressió és superior a la pressió externa es dona per bo el valor del gruix. Es realitza el càlcul iteratiu de la següent manera.

$$P = 14.7 \text{ psi}$$

$$t_{\text{suposada}} = 4 \text{ mm}$$

$$L' = D \cdot \frac{2}{3} \cdot H = 1069 + \frac{2}{3} \cdot 466.39 = 1379.9 \text{ mm} \quad \text{Equació 11.6.7}$$

$$D_0 = D + 2 \cdot t_{\text{suposada}} = 1069 + 2 \cdot 4 = 1077 \text{ mm} \quad \text{Equació 11.6.8}$$

$$\frac{L'}{D_0} = 1.28 \quad \text{Equació 11.6.9}$$

$$\frac{D_0}{t_{\text{suposada}}} = 269.3 \quad \text{Equació 11.6.10}$$

Gràficament es troba:

$$A = 0.00025$$

$$B = 3400$$

$$Pa = \frac{4 \cdot B}{3 \cdot \left(\frac{D_0}{t}\right)} = \frac{4 \cdot 3400}{3 \cdot 269.25} = 16.84 \text{ psi} \quad \text{Equació 11.6.11}$$

Per tant, el gruix del cos cilíndric calculat per a la pressió externa serà de 4mm.

Per als caps toricsfèrics es calcula dos gruixos, el primer, calculat amb l'equació de la pressió interna utilitzant com a pressió de disseny 1.67 cops la pressió externa; i el segon càlcul es realitza de forma iterativa amb les següents equacions, utilitzant també com a pressió de disseny 1.67 cops la pressió externa.

$$A = \frac{0.125}{D/t_{suposada}} \quad \text{Equació 11.6.12}$$

$B \rightarrow$ gràficament

$$Pa = \frac{B}{D/t_{suposada}} \geq 1.67 \cdot P \quad \text{Equació 11.6.13}$$

En aquest cas, el gruix obtingut ha estat de 4.2 mm.

Obtinguts tots els gruixos, per pressió interna i externa, es determina que els gruixos a utilitzar seran els de pressió interna (valors més grans), per tant el cos cilíndric tindrà un gruix de **4.24 cm** i els caps toricsfèrics tindran un gruix de **6.42 cm**.

El següent pas és calcular el pes de la columna de bombolleig. Primerament es calcula el pes del cilindre a partir de la densitat de l'AISI 316L, l'àrea i l'alçada, de la següent manera.

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot (D_{ext}^2 - D_{int}^2) = \frac{\pi}{4} \cdot (1.111^2 - 1.069^2) = 0.073 \, m^2 \quad \text{Equació 11.6.14}$$

$$H = 12.598 \, m$$

$$\rho_{316L} = 7960 \, kg/m^3$$

$$Pes_{cilindre} = A \cdot H \cdot \rho = 0.073 \cdot 12.598 \cdot 7960 = 7278.166 \, kg \quad \text{Equació 11.6.15}$$

Es calcula llavors el pes dels caps toricsfèrics de la següent manera.

$$V_{int} = 0.0809 \cdot L_{int}^3 = 0.0809 \cdot 1.069^3 = 0.099 \, m^3 \quad \text{Equació 11.6.16}$$

$$V_{ext} = 0.0809 \cdot L_{ext}^3 = 0.0809 \cdot 1.197^3 = 0.139 \, m^3 \quad \text{Equació 11.6.17}$$

$$V_{fons \, toricsfèric} = V_{ext} - V_{int} = 0.1387 - 0.0988 = 0.040 \, m^3 \quad \text{Equació 11.6.18}$$

$$Pes_{fons \, toricsfèric} = V_{fons \, toricsfèric} \cdot \rho = 0.040 \cdot 7960 = 318.676 \, kg \quad \text{Equació 11.6.19}$$

Ara ja es pot calcular el pes total de la columna de bombolleig buida.

$$Pes_{buit} = 7278.166 + 2 \cdot 318.676 = 7915.518 \, kg \quad \text{Equació 11.6.20}$$

I en operació, el reactor tindrà el següent pes.

$$V_{reactor} = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot H_{cilindre} + 2 \cdot V_{int \, toricsfèric} = \frac{\pi}{4} \cdot 1.069^2 \cdot 2 \cdot 0.099 = 11.505 \, m^3$$

Equació 11.6.21

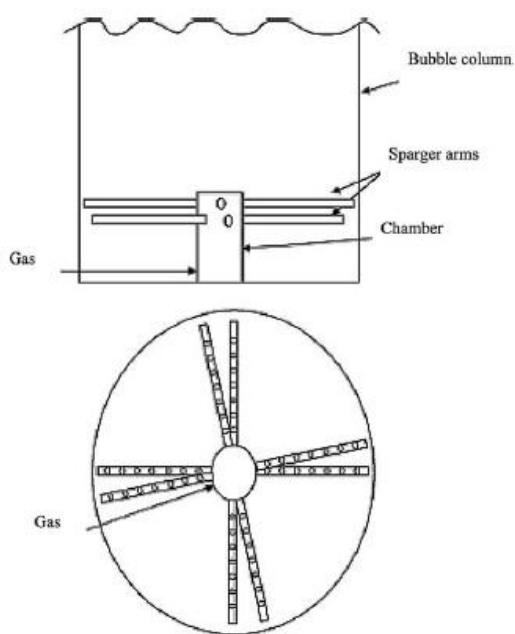
$$Pes_{ple} = V_{reactor} \cdot \rho_{líquid} + Pes_{buit} = 11.505 \cdot 762 + 7915.518 = 16682.057 \, kg$$

Equació 11.6.22

Taula 11.6.3. Gruixos, alçades i pes del reactor.

Gruix cos cilíndric (cm)	4.24
Gruix caps toricsfèrics (cm)	6.42
H (cm)	46.64
h1 (cm)	22.46
h2 (cm)	17.77
Pes buit (kg)	7915.52
Pes ple (kg)	16682.06

11.6.1.3. Difusor



A l'entrada de gas, serà necessari disposar d'un difusor que permeti l'entrada del gas amb les característiques adequades que afavoriran la reacció. En aquest aspecte, s'ha consultat els resultats obtinguts a l'article (A.V. Kulkarni, J.B. Joshi, 2011) on s'estudia les característiques de diferents tipus de difusors en funció de paràmetres com la pressió de la columna o la velocitat superficial del gas. Segons els casos estudiats a l'article, i amb una velocitat superficial del gas de 0.05 m/s i una pressió de 5 MPa, serà necessari un difusor amb les següents característiques:

Figura 11.6.3. Difusor de roda

Taula 11.6.4. Característiques del difusor.

Difusor	Difusor de roda
Diàmetre de la cambra (m)	0.4
Alçada de la cambra (m)	0.5
Diàmetre dels forats (mm)	1
Diàmetre de la canonada (m)	0.0254
Distància entre dos forats/Diàmetre del forat	3
Número de canonades	26
Número de forats	5642
Caiguda de pressió (Pa)	707.71
% No uniformitat	3.1
Mida mitjana de bombolla (m)	0.0098

11.6.1.4. Demister

El següent aspecte a tractar és la sortida dels corrents del reactor. En quant a la sortida de gas, el monòxid de carboni que no ha reaccionat arrossegatà metanol i format de metil. Per evitar que al corrent de sortida de gasos hi hagi aquests dos components s'incorpora un demister a una alçada de 11 m. Aquest demister s'ha comprat a l'empresa Bandas Metálicas Codina SL i té les següents característiques.

Taula 11.6.5. Característiques del demister.

Model	CD-30
Densitat	150 kg/m ³
Superfície de contacte	300 m ² /m ³
Volum lliure	98%
Material	AISI 316L

11.6.1.5. Refrigeració

En quant a la refrigeració, la reacció és molt exotèrmica i, per tant, hi haurà força problemes amb quin sistema de refrigeració s'hi aplica. S'ha decidit refrigerar el reactor amb una camisa i dos serpentins, assegurant així que es manté la temperatura desitjada de 80°C.

Primerament, es calcula el calor de reacció total, que serà el cabal de calor que s'haurà de refrigerar.

$$q_{total} = \Delta H \cdot Q_{FormMet} = -29 \frac{kJ}{mol} \cdot 258014 \frac{mol}{h} = -7482406 \frac{kJ}{h} \quad \text{Equació 11.6.23}$$

Seguidament es realitzen els càlculs corresponents per a l'obtenció del cabal d'aigua de refrigeració i de l'àrea de bescanvi per a la camisa refrigerant, utilitzant una temperatura d'entrada de l'aigua glicolada de -10°C i una sortida de 5°C.

$$A_{reactor} = \pi \cdot D_{reactor} \cdot H_{reactor} = \pi \cdot 1.069 \cdot 12.598 = 42.309 m^2 \quad \text{Equació 11.6.24}$$

En el cas d'una camisa, ocupa tota l'àrea del reactor, per tant l'àrea de bescanvi de la camisa serà la mateixa que l'àrea del reactor.

$$\Delta T_{ML} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} = \frac{(263-353) - (278-353)}{\ln\left(\frac{263-353}{278-353}\right)} = -82.272 K \quad \text{Equació 11.6.25}$$

$$U = 350 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$q = A_{besc} \cdot U \cdot \Delta T_{ML} = 42.309 m^2 \cdot 350 \frac{W}{m^2 \cdot K} \cdot -82.272 K = -4385841.83 \frac{kJ}{h} \quad \text{Equació 11.6.26}$$

$$m = \frac{q}{C_p \cdot \Delta T} = \frac{-4385841.83 \frac{kJ}{h}}{3.624 \frac{kJ}{kg \cdot K} \cdot -15 K} = 80681.42 \frac{kg}{h} \quad \text{Equació 11.6.27}$$

El següent a fer es realitzar els càlculs corresponents per als dos serpentins que s'incorporaran. Primerament, es calcula el cabal de calor que falta per refrigerar i es divideix entre els dos serpentins que s'utilitzaran. Seguidament es calcula el cabal d'aigua glicolada necessari.

$$q_{serpentí} = \frac{q_{total} - q_{camisa}}{2} = \frac{-7482406 + 4385841.83}{2} = -1548282.08 \frac{kJ}{h} \quad \text{Equació 11.6.28}$$

$$m = \frac{q}{C_p \cdot \Delta T} = \frac{-1548282.08 \frac{kJ}{h}}{3.624 \frac{kJ}{kg \cdot K} \cdot -15K} = 28482.01 \frac{kg}{h} \quad \text{Equació 11.6.29}$$

El següent pas és trobar el diàmetre tub del serpentí a partir del cabal volumètric d'aigua glicolada i la velocitat en la que circula (valor típic de 4 m/s).

$$Q = \frac{m}{\rho \cdot 3600} = \frac{28482.01 \frac{kg}{h}}{1032 \frac{kg}{m^3} \cdot 3600} = 0.007666 m^3/s \quad \text{Equació 11.6.30}$$

$$D_{serpentí} = \sqrt{\frac{Q}{\pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{7.666 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s}}{\pi \cdot 4 \frac{m}{s}}} = 0.0247 m \quad \text{Equació 11.6.31}$$

Ara es calcula l'àrea de bescanvi de cada serpentí per poder trobar la longitud del serpentí i el nombre de voltes, així com l'alçada del serpentí a partir de la distància entre voltes. Per trobar el nombre de voltes es suposa que el diàmetre de la volta serà de 0.8 m, és a dir, un diàmetre prou inferior al diàmetre del reactor com perquè no quedi el serpentí enganxat a la paret interior del reactor. La distància entre voltes també és un valor suposat, que serà de 0.008 m.

$$A_{bescanvi} = \frac{q_{serpentí}}{U \cdot \Delta T_{ML}} = \frac{-1548282.08 \frac{kJ}{h} \cdot 1000 \frac{J}{kJ}}{350 \frac{W}{m^2 \cdot K} \cdot -82.272 K \cdot 3600 \frac{s}{h}} = 14.936 m^2 \quad \text{Equació 11.6.32}$$

$$L_{serpentí} = \frac{A_{bescanvi}}{\pi \cdot D_{serpentí}} = \frac{14.936 m^2}{\pi \cdot 0.0247 m} = 192.48 m \quad \text{Equació 11.6.33}$$

$$N_{voltes} = \frac{L_{serpentí}}{\pi \cdot D_{volta}} = \frac{192.48 m}{\pi \cdot 0.8 m} = 76.59 voltes \approx 77 voltes \quad \text{Equació 11.6.34}$$

$$H_{serpentí} = N_{voltes} \cdot (Distància \text{ entre voltes} + D_{serpentí}) = 76.59 voltes \cdot (0.008 m + 0.0247 m) = 2.5 m \quad \text{Equació 11.6.35}$$

Per tant, cada serpentí tindrà una alçada de 2.5 m, assegurant així que la seva disposició dins el reactor no ocupa més espai que el que proporciona l'alçada de líquid disposada als 8 m.

Així doncs, es dotarà la columna de bombolleig amb un sistema de refrigeració de les següents característiques.

Taula 11.6.6. Paràmetres calculats per la camisa i els serpentins.

Cabal refrigerant camisa (kg/h)	80681.42
Àrea de bescanvi camisa (m²)	42.309
Cabal refrigerant serpentí (kg/h)	28482.01
Àrea bescanvi serpentí (m²)	14.94
Diàmetre serpentí (m)	0.0247

Longitud serpentí (m)	192.48
Nombre de voltes	77
Alçada del serpentí (m)	2.5

11.6.1.6. Aïllament

El reactor opera a 80°C i es produeix una reacció exotèrmica. Per assegurar que no es produeixi cap cremada i per aïllar tèrmicament l'equip, s'ha aïllat amb llana de roca i un recobriment amb una xapa d'alumini.

La següent taula mostra les característiques de l'aïllant calculat amb el programa Calorcol.

Taula 11.6.7. Característiques de l'aïllament.

Material	Llana de roca
Densitat (kg/m³)	100
k material (W/m·K)	0,034
Recobriment	Alumini
Gruix (cm)	16

11.6.2. Reactor d'hidròlisi

En aquest reactor es produeix una reacció en fase líquida, on es té com a reactius el format de metil i l'aigua, obtenint com a productes l'àcid fòrmic i el metanol.



La reacció es porta a terme a un RCTA a 100°C i 20 atm i l'aigua juga un paper molt important en el desenvolupament de la reacció, ja que s'introdueix un excés d'aigua per així desplaçar l'equilibri cap a la formació de productes. Per tant, és molt important la relació en la que s'introdueix l'aigua i el format de metil.

11.6.2.1. Disseny funcional

La caracterització del volum del reactor s'ha fet a partir de dades bibliogràfiques del temps de residència (O. Jogunola, T. Salmi, K. Eränen, J. Wärnå, M. Kangas and J.P. Mikkola, 2010), essent aquest de 75 min. La relació molar entre aigua i format de metil utilitzada ha estat de 1.8, i se sap que en aquestes condicions s'obté una conversió del **34%**. A partir del temps de residència i del cabal volumètric d'entrada al reactor, es troba el volum d'aquest.

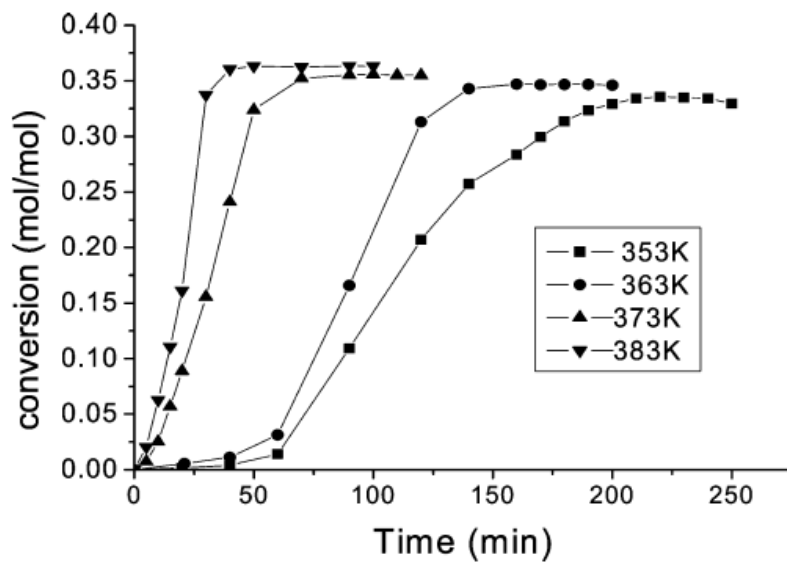


Figura 11.6.4. Conversió en front del temps.

$$V = Q \cdot \tau = 1.319 \text{ m}^3/\text{min} \cdot 75 \text{ min} = 98.925 \text{ m}^3 \approx \mathbf{100 \text{ m}^3} \quad \text{Equació 11.6.36}$$

11.6.2.2. Disseny mecànic

Primerament, es sobredimensiona el reactor un 20%, obtenint les següents característiques.

Taula 11.6.8. Sobredimensionat del reactor.

Diàmetre (m)	4.670
Alçada (m)	7.005
Volum disseny (m³)	120

En quant al disseny dels gruixos del cos cilíndric i el caps torisfèrics del reactor, s'ha seguit el mateix procediment que en el reactor de carbonilació, obtenint els següents gruixos, alçades i pes.

Taula 11.6.9. Gruixos, alçades i pes del reactor.

Gruix cos cilíndric (cm)	10.20
Gruix caps torisfèrics (cm)	14.77
H (cm)	150.10
h1 (cm)	51.68
h2 (cm)	83.65
Pes buit (kg)	68672.47
Pes ple (kg)	196609.58

11.6.2.3. Agitació

L'agitació del reactor es dissenya a partir de correlacions (F. Gòdia, J. López Santín, 2000). El material de disseny serà també AISI 316L i serà un agitador de turbines Rushton amb 4 pales. Primerament es calcula, a partir del diàmetre del reactor tots els paràmetres de dimensionament de l'agitador.

$$D_a = \frac{1}{3} \cdot D_{reactor} = \frac{1}{3} \cdot 4.67 = \mathbf{1.54\ m} \quad \text{Equació 11.6.37}$$

$$J = \frac{1}{12} \cdot D_{reactor} = \frac{1}{12} \cdot 4.67 = \mathbf{0.39\ m} \quad \text{Equació 11.6.38}$$

$$W = 0.2 \cdot D_a = 0.2 \cdot 1.54 = \mathbf{0.31\ m} \quad \text{Equació 11.6.39}$$

$$L = 0.25 \cdot D_a = 0.25 \cdot 1.54 = \mathbf{0.39\ m} \quad \text{Equació 11.6.40}$$

$$E = \frac{1}{6} \cdot D_{reactor} = \frac{1}{6} \cdot 4.67 = \mathbf{0.78\ m} \quad \text{Equació 11.6.41}$$

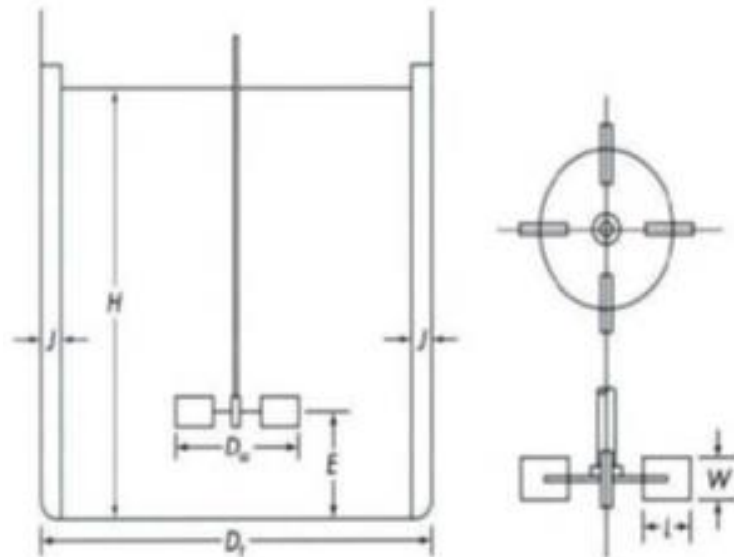


Figura 11.6.5. Relació dels paràmetres de l'agitació.

El següent a calcular és la potència de l'agitador. Es calcula a partir del número de potència. Aquest número de potència es troba en gràfics segons el Reynolds i el tipus d'agitador que s'utilitza. En aquest cas, utilitzem un agitador amb turbines Rushton (corba 2 al gràfic). Per a trobar el Reynolds es necessita la densitat i viscositat del fluid, el diàmetre de l'agitador (calculat anteriorment) i el nombre de revolucions per segon. Habitualment, per turbines Rushton el nombre de revolucions per minut està entre 20 i 150 rpm, i per trobar-les, s'utilitza habitualment velocitats entre 3 i 10 m/s. En aquest cas, s'ha escollit una velocitat de 5 m/s i es calcula el nombre de revolucions per segon en funció del diàmetre de l'agitador.

$$N_i = \frac{v}{\pi \cdot D_a} = \frac{\frac{5\ m}{s}}{\pi \cdot 1.54\ m} = \mathbf{1.033\ rps} \quad \text{Equació 11.6.42}$$

$$Re = \frac{D_a^2 \cdot N \cdot \rho}{\mu} = \frac{1.54^2 \text{ m} \cdot 1.033 \text{ rps} \cdot 937.4 \text{ kg/m}^3}{0.00178 \text{ P}} = 1.29 \times 10^6 \quad \text{Equació 11.6.43}$$

Es tracta, per tant, d'un règim turbulent. Sabent el Reynolds, ja es pot trobar el nombre de potència a la figura següent.

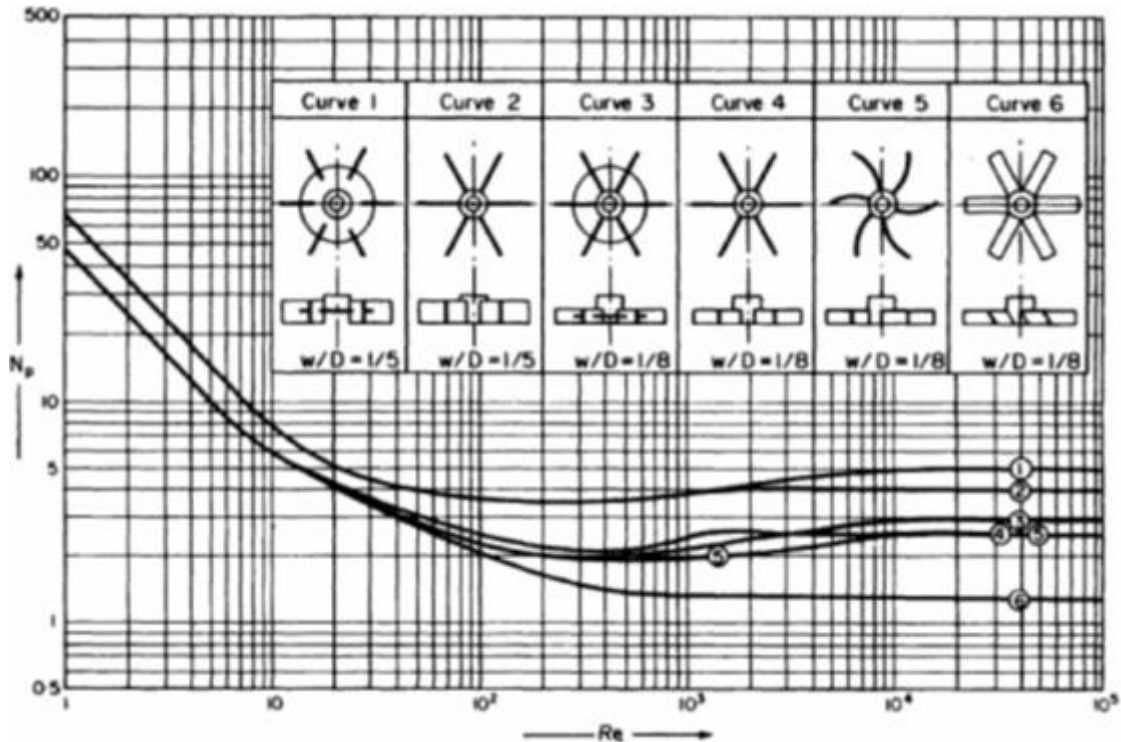


Figura 11.6.6. Nombre de potència en funció del tipus d'agitador i el Reynolds.

S'obté un nombre de potència de 4. Ara ja es pot calcular la potència de l'agitador a partir de la següent equació.

$$P = D_a^5 \cdot N^3 \cdot N_p \cdot \rho = 1.54^5 \text{ m} \cdot 1.033^3 \text{ rps} \cdot 4 \cdot 937.4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 35903.76 \text{ W} = 35.90 \text{ kW} \quad \text{Equació 11.6.44}$$

11.6.2.4. Mitja canya

Pel disseny de la mitja canya és necessari saber l'entalpia de reacció i el cabal molar d'àcid fòrmic que es forma per saber el cabal de calor necessari.

$$\Delta H = 16.3 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

$$Q_{AcFo} = 261.269 \frac{\text{kmol}}{\text{h}}$$

$$q = \Delta H \cdot Q_{AcFo} = 16.3 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \cdot 261.269 \frac{\text{mol}}{\text{h}} = 4258684.7 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} \quad \text{Equació 11.6.45}$$

Escalfem amb vapor d'aigua, que surt de la caldera a 180°C i s'espera que tingui un salt tèrmic de 20°C, sortint de la mitja canya a 160°C. La transmissió de calor es produirà aprofitant el calor latent del vapor. Sabent això, es pot trobar el cabal de vapor necessari.

$$q = m \cdot \lambda \rightarrow m = \frac{q}{\lambda} = \frac{4258684.7 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}}{2133 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = \mathbf{1996.57 \frac{\text{kg}}{\text{h}}} \quad \text{Equació 11.6.46}$$

A partir de velocitats típiques de circulació de vapor, s'ha decidit que aquesta sigui de 8 m/s, i per tant, es pot trobar el diàmetre intern de la mitja canya a partir de la següent equació.

$$\rho_{\text{vapor}} = 4.9 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$Q_{\text{volum}} = \frac{m}{\rho_{\text{vapor}}} = \frac{1996.57 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{4.9 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 407.46 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 0.1132 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad \text{Equació 11.6.47}$$

$$Q_{\text{volum}} = v \cdot \pi \cdot D_T^2 \rightarrow D_T = \sqrt{\frac{Q_{\text{volum}}}{v \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{0.1132 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \pi}} = 0.0671 \text{ m} = 2.642 \text{ inch} \quad \text{Equació 11.6.48}$$

S'utilitzarà per tant, una mitja canya amb un diàmetre intern de **2.6"**.

Es procedeix ara a l'obtenció de l'àrea de bescanvi a partir de les següents equacions i les dades que s'aporten a continuació.

$$q = A \cdot U \cdot \Delta T_{ML}$$

$$\Delta T_{ML} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} = \frac{(453-373)-(433-373)}{\ln\left(\frac{453-373}{433-373}\right)} = 69.521 \text{ K} \quad \text{Equació 11.6.49}$$

$$U = 500 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$A_{\text{bescanvi}} = \frac{q}{U \cdot \Delta T_{ML}} = \frac{4258684.7 \cdot \frac{1000}{3600}}{500 \cdot (69.521)} = 34.032 \text{ m}^2 \quad \text{Equació 11.6.50}$$

Es calcula llavors la longitud i el número d'espires de la mitja canya de la següent manera.

$$\text{Longitud} = \frac{A}{\pi \cdot D_T} = \frac{34.032 \text{ m}^2}{\pi \cdot 0.0671 \text{ m}} = \mathbf{161.42 \text{ m}} \quad \text{Equació 11.6.51}$$

$$N^{\circ}_{\text{espires}} = \frac{A_{\text{bescanvi}}}{A_{\text{espira}}}$$

$$A_{\text{espira}} = \pi \cdot D_{\text{reactor}} \cdot D_T = \pi \cdot 4.67 \text{ m} \cdot 0.0671 \text{ m} = 0.985 \text{ m}^2 \quad \text{Equació 11.6.52}$$

$$N^{\circ}_{\text{espires}} = \frac{34.032 \text{ m}^2}{0.985 \text{ m}^2} = 34.56 \approx \mathbf{35} \quad \text{Equació 11.6.53}$$

Ara que s'han calculat el nombre d'espires, és necessari trobar la distància entre espirals. Seguidament es mostra el càlcul de la distància entre espirals.

$$d = \frac{H - D_T \cdot N^{\circ} \text{espires}}{N^{\circ} \text{espires} - 1} = \frac{7.005 \text{ m} - 0.0671 \text{ m} \cdot 34.56}{34.56 - 1} = 0.1396 \text{ m} = \mathbf{13.96 \text{ cm}}$$
 Equació 11.6.54

A mode de resum, la següent taula mostra els paràmetres de la mitja canya.

Taula 11.6.10. Característiques de la mitja canya.

Cabal de vapor (kg/h)	1996.57
Diàmetre mitja canya (inch)	2.6
Longitud mitja canya (m)	161.42
Nombre d'espires	35
Distància entre espiras (cm)	13.96

11.6.2.5. Aïllament

El reactor treballa a 100°C, i dintre succeeix una reacció endotèrmica. Per poder mantenir la temperatura s'ha d'escalfar el reactor, per tant, per la mitja canya circula un corrent de vapor a elevada temperatura. Per tot això, es posa una capa d'aïllant de llana de roca amb una xapa d'alumini de recobriment. Aquest aïllant farà que no hi hagi bescanvi de calor amb l'exterior del reactor, i que per tant no afavoreixi la disminució de la temperatura interior, i també servirà per evitar el contacte directe amb les parets del reactor o la mitja canya, i per tant, que no es puguin produir cremades.

La següent taula mostra les especificacions del aïllant utilitzat, calculades amb el programa CALORCOL.

Taula 11.6.11. Característiques de l'aïllament.

Material	Llana de roca
Densitat (kg/m³)	100
k material (W/m·K)	0,034
Recobriment	Alumini
Espessor (cm)	20

11.7. Columnes de destil·lació

A la indústria, la separació de components de diferents volatilitats es realitza a través de columnes de destil·lació, ja sigui en columnes de plats o en columnes de rebliment, com és el nostre cas. Aquest mètode s'utilitza sobretot per separar o purificar els components miscibles d'una mescla líquida o per a la recuperació de subproductes per a ser reutilitzats posteriorment dins el mateix procés.

Al llarg del procés per a l'obtenció de l'àcid fòrmic, s'han dut a terme cinc destil·lacions contínues, una situada a l'Àrea-400, Separació A, basada en la separació del metanol que no s'ha transformat, del format de metil, el qual segueix el procés per posteriorment ser hidrolitzat.

Tres d'aquestes destil·lacions es troben a l'Àrea-500, Separació B, les quals es basen en la separació del metanol i metil format de l'aigua i l'àcid fòrmic obtinguts després de la segona reacció. Aquestes dues zones de separació es duen a terme per tal de recircular els compostos que s'usen com a matèries primeres al llarg del procés.

L'última destil·lació del procés es troba a l'Àrea-600, Purificació del producte. Es dur a terme al buit i es basa en la separació de l'agent extractant usat en la columna d'extracció, de l'àcid fòrmic, per tal d'obtenir-lo amb les condicions de puresa desitjades.

11.7.1. Disseny columna de destil·lació C-401

La primera destil·lació es basa en la separació del format de metil el qual s'utilitza com a reactiu en el segon reactor, del metanol que no ha reaccionat el qual serà recirculat com a matèria primera a la primera reacció, R-201. D'aquesta manera s'obté per caps el format de metil i per cues el metanol. Tot seguit es mostren les condicions d'operació de la columna per a que aquesta funcioni correctament i per a obtenir la màxima eficiència possible en la separació.

Taula 11.7.1. Condicions d'operació de la columna C-401.

Temperatura entrada (°C)	40,070
Pressió (kPa)	304,000
Relació de reflux	3
Número d'etapes teòriques	24
Plat d'aliment	14

Els resultats per al disseny de la columna han estat obtinguts amb el simulador de processos Aspen Hysys, basat en el mètode rigorós. Prèviament s'ha realitzat un Short-Cut per fer una estimació de les condicions amb les quals ha de treballar la columna per obtenir la separació desitjada. Posteriorment s'ha realitzat una segona aproximació basada en el mètode rigorós, d'on

s'han obtingut els resultats els quals s'han fet servir pels posteriors càlculs a l'hora de dissenyar la columna.

Per a dur a terme el mètode de Short – Cut s'han escollit els components clau pesat i clau lleuger per a la corresponent separació, la temperatura i la pressió de treball, així com la relació de reflux, calculada com un 120% de la mínima requerida. En aquesta columna C-401, el component clau lleuger (LK) és el format de metil i el component clau pesat (HK) és el metanol.

Tot seguit es mostren els resultats obtinguts per a aquesta aproximació.

Taula 11.7.2. Resultats de la columna C-401 pel mètode Short-Cut.

Short-Cut	
Etapas/plats	
Núm. mínim de plats	11,353
Núm. actual de plats	26,661
Plat òptim d'aliment	15,627
Temperatures (°C)	
Condensador (°C)	63,676
Reboiler (°C)	90,031
Cabals	
Vapor rectificat (kmol/h)	1010,379
Líquid rectificat (kmol/h)	757,784
Stripping vapor (kmol/h)	1010,379
Stripping líquid (kmol/h)	1603,984
Energia condensador (kJ/h)	-2,642E+07
Energia reboiler (kJ/h)	3,081E+07

Els resultats obtinguts seguint el mètode rigorós mitjançant el simulador de processos Aspen Hysys 8.3 són els següents:

Taula 11.7.3. Resultats de la columna C-401 pel mètode rigorós.

Propietat	Aliment	Destil·lat	Residu
Fracció vapor	0,0000	0,0000	0,0000
Temperatura (°C)	40,0700	64,4700	90,3800
Pressió (kPa)	303,9700	303,9700	303,9700
Cabal molar(Kmol/h)	846,1900	270,0000	576,1800
Cabal màssic (Kg/h)	34284,0000	15780,3500	18503,6500
Entalpia molar (KJ/Kg)	-2,808E+05	-3,659E+05	-2,333E+05
Cabal de calor (KJ/h)	-2,376E+08	-9,880E+07	-1,344E+08
Composicions màssiques			
Metanol	0,552	0,031	0,995
Format de metil	0,443	0,969	0,005
Monòxid de carboni	0,000	0,000	0,000
Aigua	0,001	0,000	0,000

Àcid fòrmic	0,005	0,000	0,000
-------------	-------	-------	-------

Taula 11.7.4. Resultats del Tray Sizing de la columna C-401 obtinguts en la simulació Aspen Hysys.

C-401	Secció
Tipus de columna	Empacat
Tipus d'empacat	Jaeger TriPacks, Plastic 3.5 Inch
Correlació	Wallis
Correlació HETP	Frank
Núm. peces d'empacat	52421,498
Massa d'empacat (Kg)	1608,211
Cost empacat (US\$)	5288,541
Diàmetre (m)	1,676
Àrea secció (m ²)	2,207
Alçada (m)	14,012
Màxima inundació (5)	69,067
ΔP (kPa)	3,706
ΔP /secció (kPa/m)	0,265
Velocitat d'inundació del gas/m ²	6594,301
Velocitat d'inundació del gas (m/s)	1,832
HETP (m)	0,584

L'alçada del rebliment s'ha sobredimensionat per tal de tenir en compte els components interns de la columna, donant un valor de **H rebliment= 15,713 m**.

11.7.1.1. Selecció del tipus de columna

Per tal de maximitzar la separació dels components del sistema a tractar i l'eficiència del procés, és important un bon disseny intern de la columna utilitzada així com la selecció del tipus de columna. Tot seguit es mostren les característiques dels dos possibles tipus d'aquestes a utilitzar.

Les columnes de rebliment són dispositius que s'utilitzen en operacions de transferència de massa en la qual es posen en contacte continu dos fases, líquid i vapor. Han de proporcionar una gran àrea interfacial per a que existeixi un bon contacte entre les dues fases, i han de garantir una bona transferència per tal d'incrementar l'eficàcia. S'ha de tenir una distribució uniforme de les fases que ve donada per la geometria del rebliment, per tant és importat seleccionar el tipus de rebliment adequat per al sistema a tractar.

S'ha optat per elegir una columna de rebliment ja que es més econòmica a llarg termini i òptima quan ens trobem davant d'un sistema que pot presentar corrosió. El metanol a la temperatura de treball, 80°C és corrosiu, fet principal pel qual s'ha elegit una columna de rebliment enlloc que de plats. També s'ha de dir que aquest tipus de columnes tenen menor pèrdua de càrrega que

les de plats, i són més eficients degut al major contacte entre les dues fases. La figura següent mostra una comparació de les columnes de plats i les columnes de rebliment.

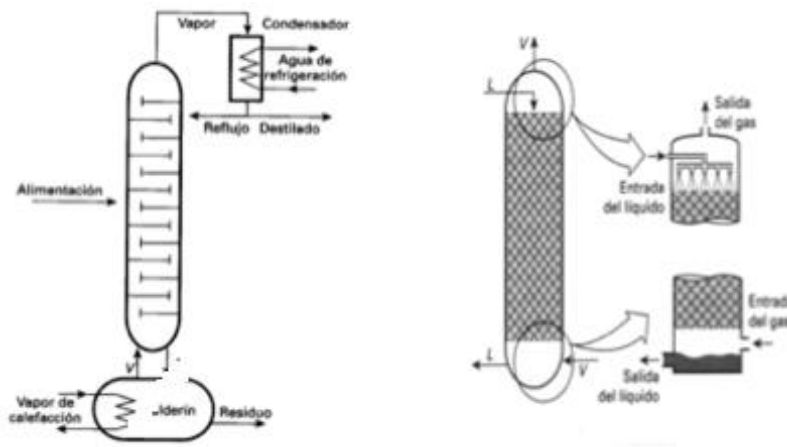


Figura 11.7.1. Esquema simplificat d'una columna de plats (esquerra) i una columna de rebliment (dreta).

11.7.1.2. Elecció del tipus de rebliment

La funció principal del rebliment és augmentar la superfície de contacte entre el vapor i el líquid i augmentar la turbulència per així tenir una major eficiència. S'ha de dir que a mesura que augmenta la mida del rebliment, aquesta eficiència disminueix, degut a que augmenta la pèrdua de càrrega al llarg de la columna, per tant s'ha d'anar en compte amb la tria del rebliment òptim ha utilitzar.

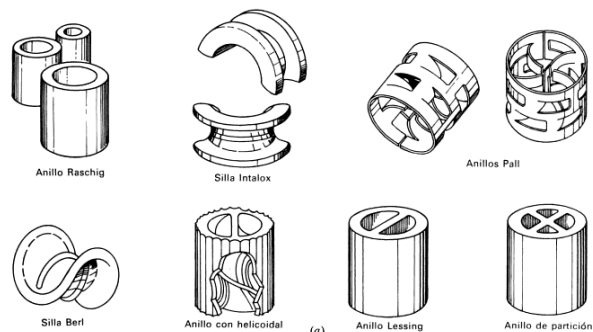


Figura 11.7.2. Exemples de rebliment

- Aleatori: aquest tipus de rebliment és el més utilitzat en l'actualitat pel que fa a l'àmbit comercial, ja que és més econòmic que el rebliment estructurat. Es basa en unitats o peces discretes amb una forma geomètrica específica les quals són dipositades dins la columna de forma aleatòria.
- Estructurat: aquest tipus de rebliment és aproximadament de 3 a 10 vegades més car per unitat de volum que el rebliment desordenat. Aporta una major capacitat i eficiència i proporciona una menor pèrdua de càrrega per etapa teòrica.

Per a la columna C-401 s'ha utilitzat un tipus de rebliment aleatori degut a que són més econòmics i més utilitzats en les indústries químiques, encara que presenten una major caiguda de pressió que el rebliment estructurat, però en el sistema a tractar el rebliment aleatori ja proporciona la separació desitjada. El tipus de material utilitzat per al rebliment ha estat el Jaeger TriPacks, plàstic de 3.5 polsades, ja que és el tipus de rebliment que s'ha obtingut amb una altura equivalent de plat teòric menor (HETP), definida com la porció de llit en la qual s'aconsegueix l'equilibri de distribució donat per la relació d'equilibri. Tot seguit es mostra una imatge del rebliment utilitzat.



Figura 11.7.3. Tipus de rebliment aleatori, Jaeger TriPack, plàstic de 3,5 polsades.

11.7.1.3. Interns columnes

Distribuidors de líquid

Els distribuïdors de líquid han de proporcionar una distribució uniforme del líquid, resistència a la obstrucció, una alta flexibilitat en les variacions dels fluxos que circulen per la columna, així com una baixa caiguda de pressió. Es col·locarà un distribuïdor de líquid a la part superior de la columna per tal d'assegurar una bona distribució d'aquest i per tan que circuli uniformement al llarg de la columna i ocupant tota l'àrea superficial del rebliment, contrarestant així la tendència del líquid a fluir cap a les parets i que el sistema presenti una disminució considerable de l'eficiència. Per a la columna C-401 s'ha escollit utilitzar un distribuïdor Splash-plate distributor VEP de l'empresa Sulzer.



Figura 11.7.4. Tipus de distribuïdor de líquid utilitzat, empresa Sulzer.

Redistribuïdors de líquid

Els redistribuïdors de líquid s'utilitzen quan s'introdueix un aliment líquid intermig en les columnes de rebliment i entre seccions de rebliment per tal d'assegurar la bona distribució del líquid i suportar part del pes de la columna que té per sobre.

Normalment es col·loquen cada 30 ft, però en molts casos quan no es pot preveure amb detall la mala distribució del líquid a la columna i per tant l'eficiència d'aquesta, es col·loquen cada 20 ft, 6 metres. S'ha escollit col·locar els redistribuïdors optant el segon criteri, cada 6 metres, així el sistema s'assegura de treballar en la màxima eficiència possible.

En aquesta columna C-401, s'han col·locat 2 redistribuïdors, un per l'entrada de líquid i un a la part intermitja superior, part d'enriquiment. S'ha escollit col·locar el Collector support grid SLT com a redistribuïdor, aquest és capaç de suportar càrregues directes de rebliment de fins a 350 m²/m³ i combina un suport de reixeta del rebliment amb un col·lector de paleta.



Figura 11.7.5. Tipus de re distribuïdor de líquid utilitzat, empresa Sulzer.

Suport de rebliment

Els suports de rebliment tenen diferents funcions, han de suportar físicament el rebliment, han d'evitar la migració descendent de peces de rebliment i han de proveir la suficient àrea oberta amb l'objectiu de permetre un flux sense restriccions entre el líquid i el vapor. En aquest cas s'ha escollit un suport del tipus Retaining grid for random packings RPB per a rebliments aleatoris i se'n col·locarà un a la part intermitja inferior de la columna. No cal dotar la columna de més suports de rebliment.

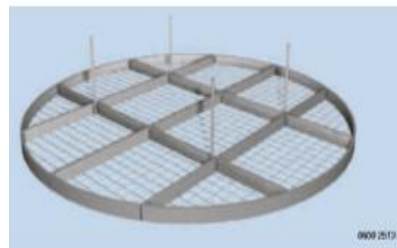


Figura 11.7.6. Tipus de suport de rebliment utilitzat, empresa Sulzer.

Entrada del líquid

Per a la columna C-401, l'entrada de líquid es fa a través d'un injector líquid LV (2) de l'empresa Sulzer, que s'utilitza per aliments que entren 100% en fase líquida i en columnes dotades d'un gran diàmetre.



Figura 11.7.7. Tipus d'entrada d'alimentació utilitzada, empresa Sulzer.

11.7.1.4. Disseny mecànic de la columna

Per al disseny mecànic de la columna C-401, s'ha escollit el material per a la construcció d'aquesta, el qual serà acer inoxidable 304L, recobert interiorment per una capa de tefló que protegirà l'equip contra la possible corrosió, ja que per aquesta columna hi circulen components corrosius a la temperatura de treball, com el metanol. L'elecció d'aquest tipus d'acer i no el AISI 316, el qual és més resistent a la corrosió, ha estat per reduir costos de producció de l'equip en qüestió. S'ha utilitzat el codi ASME per a la determinació de l gruix de la columna, seguint el procediment i aplicant les equacions de l'apartat 11.1.1.2 del manual de càlcul.

- Determinació del gruix del cos cilíndric i del cap i fons tori esfèrics

Pel càlcul del gruix del cilindre, del fons i el cap tori esfèric s'ha utilitzat l'equació basada en el gruix necessari per suportar la pressió interna, ja que aquesta columna treballa a una pressió major que l'atmosfèrica. El procediment seguit i les equacions utilitzades es troben a l'apartat 11.1.1.2 del manual de càlcul. Tot seguit es mostren els resultats obtinguts:

Taula 11.7.5. Resultats per a la determinació del gruix de l'element cilíndric i del cap i fons tori esfèrics per a la columna C-401.

	Cos cilíndric	Cap/fons tori esfèrics
P disseny (psi)	60,020	60,020
T disseny (°C)	105,580	105,580
S	15700,000	15700,000
E	0,850	1
C1 (m)	0,002	0,002
C2 (inch)	0	0,01966283
t (m)	0,006	0,007
t arrodonit (mm)	6	8

La pressió de disseny s'ha calculat a partir del procediment descrit a l'apartat de tancs.

La temperatura de disseny s'ha calculat a partir del procediment descrit a l'apartat de tancs.

S és el valor del esforç màxim permès del material a la temperatura de disseny, 15700 psi.

E és el coeficient de soldadura, considerant que el radiografiat realitzat és parcial, E=0.85 per al cos cilíndric i E=1 per al cap i fons tori esfèrics.

C1 es la tolerància a la corrosió, en el nostre cas s'ha considerat de 0.002 m ja que la columna serà recoberta per una capa de tefló resistent a la corrosió. Aquesta capa de tefló s'ha escollit fer-la de 2 mm, ja que aquest material no es corrou tenint en compte els components que circulen per la columna C-401 a la temperatura de treball.

El gruix obtingut d'AISI 304L per al cos cilíndric s'ha calculat mitjançant el procediment de l'apartat 11.1.1.2 del manual de càlcul. Aquest s'arrodoneix per a sobre dimensionar l'equip fins a 6 mm.

El gruix obtingut d'AISI 304L per al cap i cos tori esfèrics s'ha calculat mitjançant el procediment de l'apartat 11.1.1.2 del manual de càlcul. Aquest s'arrodoneix per a sobre dimensionar l'equip fins a 8 mm.

Les dades necessàries pel càlcul del cap i fons de la columna C-401 es presenten a continuació:

Taula 11.7.6. Valors pel càlcul del cap i el fons tori esfèrics per a la columna C-401.

L (inch)	66,772
R (inch)	6,677
L/r	10,000
M	1,540

L és el diàmetre del cilindre i els dos fondos.

M és la relació entre la longitud i el radi intern del fons.

- Determinació de l'alçada de la columna

L'alçada real de la columna és la suma de l'alçada del cos cilíndric i el cap i cos tori esfèrics, calculades seguint el procediment següent:

Equacions pel càlcul del cap i fons tori esfèrics corresponents a la nomenclatura de la figura adjunta.

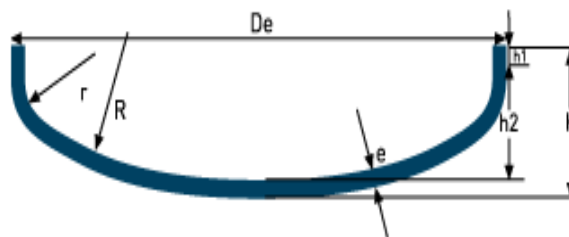


Figura 11.7.8. Esquema del cap i fons tori esfèrics.

$$L = R = De \quad \text{Equació 11.7.1.2}$$

$$\text{Relació: } r = \frac{L}{10}$$

$$\text{Canvi de nomenclatura: } t = e$$

$$h_1 = 3.5 \cdot t \quad \text{Equació 11.7.1.3}$$

$$h_2 = 0.1935 \cdot De - 0.455 \cdot t \quad \text{Equació 11.7.1.4}$$

$$H_{fons} = H_{cap} = h_1 + h_2 + t \quad \text{Equació 11.7.1.5}$$

$$H_{columna} = H_{fons} + H_{cap} + H_{cilindre} \quad \text{Equació 11.7.1.6}$$

Tot seguit es mostren els resultats obtinguts pel càlcul de l'alçada de la columna de destil·lació C-401.

Taula 11.7.7. Resultats per a la determinació de l'alçada de la columna C-401.

De (mm)	1692,400
H 1 (mm)	28,000
H2 (mm)	323,839
H fons (mm)	359,839
H cap (mm)	359,839
H columna (m)	16,433

- Determinació del pes de la columna

Per a totes les columnes dissenyades s'ha considerat que la columna està plena de líquid en un 50%.

Duent a terme el procediment descrit a l'apartat X i utilitzant les corresponents equacions s'han obtingut els resultats següents.

Taula 11.7.8. Resultats pel volum dels elements constituents de la columna C-401.

Volum tori esfèric (m3)	0,011
Volum cilindre (m3)	0,665
Volum material (m3)	0,687
Volum total columna (m3)	35,445

Taula 11.7.9. Resultats per a la determinació del pes de la columna C-401.

Densitat material (Kg/m3)	7930,000
Densitat líquid (Kg/m3)	807,900
Densitat aigua (Kg/m3)	965,060
P cilindre (Kg)	5275,006
P cap/fons (Kg)	87,369
P columna buida (Kg)	5449,743
P rebliment (Kg)	1608,211
P líquid (Kg)	14317,898
P en aigua (Kg)	24161,100
P total (Kg)	21375,853

Disseny del faldó de la columna

Un dels suports empleats més freqüentment en els recipients verticals és l'anomenat faldó, el qual ha de suportar el pes de la columna. S'uneix a la columna per una soldadura en la part inferior i, en general, la grandària requerida d'aquesta soldadura determina l'espessor del faldó. L'alçada del faldó és de 1.5 m i el material empleat és acer al carboni. Amb aquest tipus de suport la càrrega es reparteix uniformement al llarg del perímetre de la circumferència de la soldadura i així es disminueix la pressió transmesa al terra.

Les columnes hauran d'anar amb una escala incorporada, l'altura de la qual serà igual a l'altura de la columna i la seva amplada serà de 0.5 m.

Càlcul del gruix de l'aïllament

Pel que fa al sistema d'aïllament, s'ha optat per aïllar les columnes amb manta de llana de roca de 100 Kg/m³, recoberta exteriorment per una capa d'alumini per evitar que la llana es faci malbé. Aquesta llana posseeix excel·lents propietats d'aïllament tèrmic que es mantenen intactes inclús amb presència de foc, i poden resistir temperatures fins a 750 °C. La caiguda de temperatura a través de la caoa aïllant és més que suficient per protegir qualsevol material combustible.

El càlcul de l'espessor òptim ha utilitzar segons les temperatures de treball s'ha realitzat a través d'un programa de càlcul de gruixos d'aïllament anomenat Calorcol.



Figura 11.7.9. Manta de llana de roca amb recobriments d'alumini.

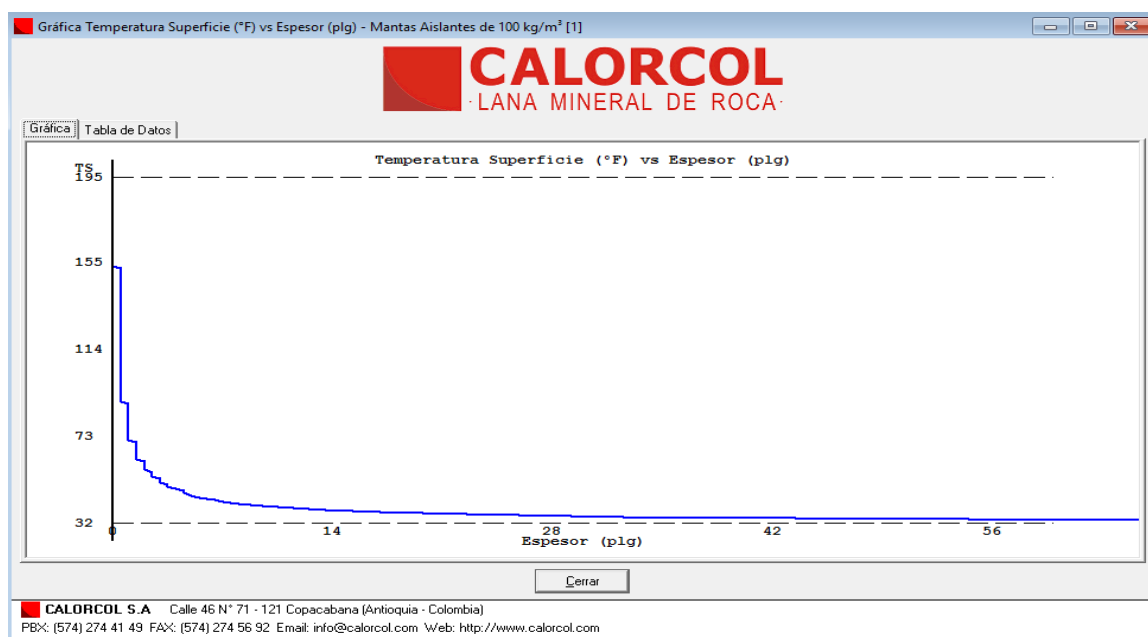


Figura 11.7.10. Representació del gruix necessari respecte la temperatura d'operació.

Tot seguit es mostren els resultats obtinguts a partir del càlcul realitzat pel programa segons les condicions d'operació en les quals es treballa.

Taula 11.7.10. Característiques de l'aïllament utilitzat per a la columna C-401.

Aïllant	Llana de roca
Densitat (Kg/m3)	100
k material (W/K·m)	0,034
T interior (°C)	90,4
T Sup. aïllament (°C)	0
T mín. ambient (°C)	0
Material Sup. exterior	Alumini
Material Sup. interior	AISI 304L
Gruix òptim (cm)	16

11.7.2. Disseny columna de destil·lació C-501

La segona destil·lació, trobada a l'àrea 500, separació B, el corrent de la qual prové d'una prèvia destil·lació flaix, per tal d'assegurar que no es reverteixi la segona reacció, es basa en la separació del format de metil i el metanol, els quals són extrets pel destil·lat, de l'aigua i l'àcid fòrmic, extrets per cues de la columna. El metanol i el format de metil s'envien a dues columnes més per tal de ser reciclats dins el procés. Pel que fa a l'aigua i l'àcid fòrmic, aquests s'envien a una columna d'extracció i a una posterior destil·lació al buit, per a l'obtenció del producte d'interès amb les condicions desitjades. Tot seguit es mostren les condicions d'operació de la columna C-501:

Taula 11.7.11. Condicions d'operació de la columna C-501.

Temperatura (°C)	67,540
Pressió (kPa)	101,300
Relació de reflux	2,5
Número d'etapes teòriques	13
Plat d'aliment	8

Aquesta columna s'ha dissenyat seguint el mateix procediment que la columna C-401. Prèviament s'ha realitzat una primera aproximació, basada en el mètode Short-Cut, escollint el metanol com a component clau lleuger i l'aigua com a component clau pesat, i posteriorment una segona aproximació basada en el mètode rigorós utilitzant el simulador de processos Aspen Hysys 8.3, obtenint els resultats següents:

Taula 11.7.12. Resultats de la columna C-501 pel mètode Short-Cut.

Short-Cut	
Etapes/plats	
Núm. mínim de plats	7,842
Núm. actual de plats	10,903
Plat òptim d'aliment	7,185
Temperatures (°C)	
Condensador (°C)	35,774
Reboiler (°C)	93,551
Cabals	
Vapor rectificat (kmol/h)	1064,069
Líquid rectificat (kmol/h)	760,049
Stripping vapor (kmol/h)	1034,473
Stripping líquid (kmol/h)	2218,969
Energia condensador (kJ/h)	-3,540E+07
Energia reboiler (kJ/h)	3,634E+07

Els resultats obtinguts seguint el mètode rigorós mitjançant el simulador de processos Aspen Hysys 8.3 són els següents:

Taula 11.7.13. Resultats de la columna C-501 pel mètode rigorós.

Propietat	Aliment	Destil·lat	Residu
Fracció vapor	0,010	0,000	0,000
Temperatura (°C)	67,540	32,000	86,380
Pressió (kPa)	101,300	101,300	101,300
Cabal molar (Kmol/h)	1490,000	2949,000	1195,000
Cabal màssic (Kg/h)	42160,130	13852,030	28307,830
Entalpia molar (KJ/Kg)	-3,052E+05	-2,993E+05	-3,078E+05
Cabal de calor (KJ/h)	-4,546E+08	-8,831E+07	-3,677E+08

Composicions massiques			
Metanol	0,115	0,310	0,000
Formiat de metil	0,220	0,671	0,000
Monòxid de carboni	0,000	0,000	0,000
Aigua	0,404	0,001	0,611
Àcid fòrmic	0,261	0,019	0,389

Taula 11.7.14. Resultats del Tray Sizing de la columna C-501 obtinguts en la simulació Aspen Hysys.

C-501	Secció
Tipus de columna	Empacada
Tipus d'empacat	Jaeger TriPacks, Plastic 3.5 Inch
Correlació	Wallis
Correlació HETP	Frank
Núm. peces d'empacat	34686,081
Massa d'empacat (Kg)	1064,116
Cost empacat (US\$)	3499,304
Diàmetre (m)	1,829
Àrea secció (m2)	2,627
Alçada (m)	7,790
Màxima inundació (5)	65,711
ΔP (kPa)	2,491
ΔP /secció (kPa/m)	0,320
Velocitat d'inundació del gas/m2	17787,092
Velocitat d'inundació del gas (m/s)	4,941
HETP (m)	0,599

L'alçada del rebliment s'ha sobredimensionat per tal de tenir en compte els components interns de la columna, donant un valor de **H rebliment= 8,869 m**.

11.7.2.1. Selecció del tipus de columna

En aquest cas també s'ha optat per escollir una columna de rebliment ja que és més econòmica a llarg termini i presenta menor pèrdua de càrrega que les columnes de plats.

11.7.2.2. Elecció del tipus de rebliment

Per a la columna C-501 s'ha utilitzat un tipus de rebliment aleatori degut a les condicions de treball i a que són més econòmics i més utilitzats en les indústries químiques, encara que presenten una major caiguda de pressió que el rebliment estructurat, però en el sistema a tractar el rebliment aleatori ja proporciona la separació desitjada com a la columna anterior. El tipus de material utilitzat per al rebliment ha estat el Jaeger TriPacks, plàstic de 3.5 polsades.

11.7.2.3. Interns columna

De la mateixa manera que en la columna anterior C-401, es col·locarà un distribuïdor de líquid a la part superior de la columna C-501.

En aquesta columna C-501, s'ha col·locat 1 re distribuïdor per l'entrada de líquid. No és necessari dotar la columna de més re distribuïdors ja que la seva altura és de 9,63 metres, i col·locant un re distribuïdor ja s'asseguraria una distribució uniforme del líquid. Es col·locarà un suport de rebliment a la part intermitja superior del tipus descrit a la taula anterior. En aquest cas, l'entrada de l'aliment es realitza a través d'un injector del tipus descrit a la taula anterior, emprat quan aquesta entrada conté una porció de gasos. Tot seguit es mostra una taula resum amb els interns utilitzats per a la columna C-501.



Figura 11.7.11. Tipus d'entrada d'alimentació, empresa Sulzer.

Taula 11.7.15. Número i tipus dels components mecànics de la columna C-501.

	Núm.	Tipus
Distribuïdor	1	Splash-plate distributor VEP
Re- distribuïdor	1	Collector support grid SLT
Suport rebliment	1	Retaining grid for random packings RPB
Entrada aliment	1	LRP inlet

11.7.2.4. Disseny mecànic de la columna

Per al disseny mecànic de la columna C-501, s'ha escollit el material per a la construcció d'aquesta, el qual serà acer inoxidable 304L com en la columna C-401, recobert interiorment per una capa de tefló de 2 mm de gruix que protegirà l'equip contra la possible corrosió, ja que per aquesta columna hi circulen components corrosius. Per al disseny s'ha seguit el mateix procediment que en l'apartat anterior per a tots els subapartats, tot seguit es mostren els resultats obtinguts.

- Determinació del gruix del cos cilíndric i del cap i fons tori esfèrics

El disseny del cos cilíndric i del cap i fons tori esfèrics s'ha realitzat seguint el mateix procediment que en la columna anterior, equacions corresponents de l'apartat 1.1.1.2 del manual de càlcul. Tot seguit es mostren els resultats obtinguts:

Taula 11.7.16. Resultats per a la determinació del gruix de l'element cilíndric i del cap i fons tori esfèrics per a la columna C-501.

	Cos cilíndric	Cap/fons tori esfèrics
P disseny (psi)	23,918	
T disseny (°C)	101,389	
S	15700,000	
E	0,850	1
C1 (m)	0,002	
C2 (inch)	0	0,009
t (m)	0,004	0,004
t arrodonit (mm)	6	6

El gruix obtingut d'AISI 304L per al cos cilíndric s'ha calculat mitjançant el procediment de l'apartat 11.2.1.1 del manual de càlcul. Aquest s'arrodoneix per a sobre dimensionar l'equip fins a 6 mm.

El gruix obtingut d'AISI 304L per al cap i cos tori esfèrics s'ha calculat mitjançant el procediment de l'apartat 1.1.1.2 del manual de càlcul. Aquest s'arrodoneix per a sobre dimensionar l'equip fins a 6 mm.

Les dades necessàries pel càlcul del cap i fons de la columna C-501 es presenten a continuació:

Taula 11.7.17. Valors pel càlcul del cap i el fons tori esfèrics per a la columna C-501.

L (inch)	72,472
R (inch)	7,247
L/r	10,000
M	1,540

- Determinació de l'alçada de la columna

Tot seguit es mostren els resultats obtinguts pel càlcul de l'alçada de la columna de destil·lació C-501 seguint el procediment descrit a l'apartat 11.2.1.1.

Taula 11.7.18. Resultats per a la determinació de l'alçada de la columna C-501.

De (mm)	1840,800
h1 (mm)	21,000
h2 (mm)	353,465
H fons (mm)	380,465
H cap (mm)	380,465
H columna (m)	9,630

- Determinació del pes de la columna

Duent a terme el procediment descrit a l'apartat X i utilitzant les corresponents equacions s'han obtingut els resultats següents.

Taula 11.7.19. Resultats pel volum dels elements constituents de la columna C-501.

Volum tori esfèric (m3)	0,010
Volum cilindre (m3)	0,307
Volum total material (m3)	0,326
Volum total columna (m3)	24,286

Taula 11.7.20. Resultats per a la determinació del pes de la columna C-501.

Densitat material (Kg/m3)	7930,000
Densitat líquid (Kg/m3)	966,300
Densitat aigua (Kg/m3)	979,340
P cilindre (Kg)	2432,415
P cap/fons (Kg)	77,751
P columna buida (Kg)	2587,916
P rebliment (Kg)	1064,116
P líquid (Kg)	11734,011
P aigua (Kg)	15544,391
P total (Kg)	15386,043

Disseny del faldó de la columna

Un dels suports empleats més freqüentment en els recipients verticals és l'anomenat faldó, el qual ha de suportar el pes de la columna. S'uneix a la columna per una soldadura contínua en la part inferior i, en general, la grandària requerida d'aquesta soldadura determina l'espessor del faldó. L'alçada del faldó és de 1.5 m i el material empleat és acer al carboni. Amb aquest tipus de suport la càrrega es reparteix uniformement al llarg del perímetre de la circumferència de la soldadura i així es disminueix la pressió transmesa al terra.

Les columnes hauran d'anar amb una escala incorporada, l'altura de la qual serà igual a l'altura de la columna i la seva amplada serà de 0.5 m.

Càlcul del gruix de l'aïllament

De la mateixa manera que la columna C-401, aquesta columna s'ha aïllat amb una manta de llana de roca recoberta per una capa d'alumini, tot seguit es mostren els resultats obtinguts a partir del càlcul realitzat pel programa segons les condicions d'operació en les quals es treballa.

Taula 11.7.21. Característiques de l'aïllament utilitzat per a la columna C-501.

Aïllant	Llana de roca
Densitat (Kg/m ³)	100
k material (W/K·m)	0,034
T interior (°C)	86,389
T Sup. aïllament (°C)	0
T mín. ambient (°C)	0
Material Sup. exterior	Alumini
Material Sup. interior	AISI 304L
Gruix òptim (cm)	16

11.7.3. Disseny columna de destil·lació C-502

Aquesta destil·lació, trobada a l'àrea 500, separació B, es basa en la separació del formiat de metil, el qual surt pel destil·lat, del metanol, l'aigua i l'àcid fòrmic que no s'han pogut separar a la columna anterior C-501. El formiat de metil és recirculat dins del procés com a matèria primera per a la segona reacció, R-301.

El metanol, l'aigua i el poc contingut en àcid fòrmic del residu, s'envien a una altra columna de destil·lació, C-503.

Tot seguit es mostren les condicions d'operació de la columna C-502:

Taula 11.7.22. Condicions d'operació de la columna C-502.

Temperatura (°C)	39,350
Pressió (kPa)	101,300
Relació de reflux	1,3
Número d'etapes teòriques	27
Plat d'aliment	14

Aquesta columna s'ha dissenyat seguint el mateix procediment que la columna C-401. Prèviament s'ha realitzat una primera aproximació, basada en el mètode Short-Cut, escollint el formiat de metil com a component clau lleuger i l'aigua com a component clau pesat, i posteriorment una segona aproximació basada en el mètode rigorós utilitzant el simulador de processos Aspen Hysys 8.3, obtenint els resultats següents:

Taula 11.7.23. Resultats de la columna C-502 pel mètode Short-Cut.

Short-Cut	
Etapes/plats	
Núm. mínim de plats	10,936
Núm. actual de plats	22,671
Plat òptim d'aliment	15,555
Temperatures (°C)	

Condensador (°C)	31,730
Reboiler (°C)	68,964
Cabals	
Vapor rectificat (kmol/h)	1125,790
Líquid rectificat (kmol/h)	636,316
Stripping vapor (kmol/h)	984,487
Stripping líquid (kmol/h)	1408,434
Energia condensador (kJ/h)	-3,160E+07
Energia reboiler (kJ/h)	2,828E+07

Els resultats obtinguts seguint el mètode rigorós mitjançant el simulador de processos Aspen Hysys 8.3 són els següents:

Taula 11.7.24. Resultats de la columna C-502 pel mètode rigorós.

Propietat	Aliment	Destil·lat	Residu
Fracció vapor	0,000	0,000	0,000
Temperatura (°C)	39,350	31,330	45,050
Pressió (kPa)	101,300	101,300	101,300
Cabal molar (Kmol/h)	912,300	493,000	4192,000
Cabal màssic (Kg/h)	41346,560	29601,900	11744,630
Entalpia màssica (KJ/Kg)	-3,255E+05	-3,778E+05	-2,619E+05
Cabal de calor (KJ/h)	-2,970E+08	-1,862E+08	-1,098E+08
Composicions màssiques			
Metanol	0,196	0,000	0,690
Formiat de metil	0,716	1,000	0,002
Monòxid de carboni	0,000	0,000	0,000
Aigua	0,063	0,000	0,220
Àcid fòrmic	0,025	0,000	0,088

Taula 11.7.25. Resultats del Tray Sizing de la columna C-502 obtinguts en la simulació Aspen Hysys.

C-502	Secció
Tipus de columna	Empacada
Tipus d'empacat	Jaeger TriPacks, Plastic 3.5 Inch
Correlació	Wallis
Correlació HETP	Frank
Núm. peces d'empacat	86602,113
Massa d'empacat (Kg)	2656,820
Cost empacat (US\$)	8736,850
Diàmetre (m)	1,981
Àrea secció (m2)	3,083
Alçada (m)	16,573
Màxima inundació (5)	60,061

ΔP (kPa)	4,716
$\Delta P/\text{secció}$ (kPa/m)	0,285
Velocitat del gas/m ²	14836,855
Velocitat del gas (m/s)	4,121
HETP (m)	0,614

L'alçada del rebliment s'ha sobredimensionat per tal de tenir en compte els components interns de la columna, donant un valor de **H rebliment= 18,531 m**.

11.7.3.1. Selecció del tipus de columna

En aquest cas també s'ha optat per elegir una columna de rebliment ja que es més econòmica a llarg termini i òptima quan ens trobem davant d'un sistema que pot presentar corrosió, com en aquest cas degut a la presència de l'àcid fòrmic. També s'ha de dir que aquest tipus de columnes tenen menor pèrdua de càrrega que les de plats, i són més eficients degut al major contacte entre les dues fases.

11.7.3.2. Elecció del tipus de rebliment

Per a la columna C-502 s'ha utilitzat un tipus de rebliment aleatori degut a les condicions de treball i a que són més econòmics i més utilitzats en les indústries químiques, encara que presenten una major caiguda de pressió que el rebliment estructurat, però en el sistema a tractar el rebliment aleatori ja proporciona la separació desitjada com a la columna anterior. El tipus de material utilitzat per al rebliment ha estat el Jaeger TriPacks, plàstic de 3.5 polsades.

11.7.3.3. Interns columna

De la mateixa manera que a la columna anterior C-401, es col·locarà un distribuïdor de líquid a la part superior de la columna C-502. En aquesta columna C-502, s'han col·locat 3 re distribuïdors, un per l'entrada de líquid, un a la part intermitja superior, part d'enriquiment, i un a la part intermitja inferior, part d'esgotament. No s'han col·locat suports de rebliment ja que els re distribuïdors ja fan la funció de suport, per tant, no fan falta en aquesta columna. L'entrada de l'aliment es realitza a través d'un injector del tipus descrit a la taula següent, emprat quan aquesta entrada d'aliment és totalment líquida. Tot seguit es mostra una taula resum amb els interns utilitzats per a la columna C-502.

Taula 11.7.26. Número i tipus dels components mecànics de la columna C-502.

	Núm.	Tipu
Distribuïdor	1	Splash-plate distributor VEP
Re- distribuïdor	3	Collector support grid SLT
Suport rebliment	0	Retaining grid for random packings RPB
Entrada aliment	1	LV (2) inlet

11.7.3.4. Disseny mecànic de la columna

Per al disseny mecànic de la columna C-502, s'ha escollit el material per a la construcció d'aquesta, el qual serà acer inoxidable 304L com en la columna C-401, recobert interiorment per una capa de tefló de 2 mm de gruix que protegirà l'equip contra la possible corrosió, ja que per aquesta columna hi circulen components corrosius. Per al disseny s'ha seguit el mateix procediment que en l'apartat anterior per a tots els subapartats, tot seguit es mostren els resultats obtinguts.

- Determinació del gruix del cos cilíndric i del cap i fons tori esfèrics

El disseny del cos cilíndric i del cap i fons tori esfèrics s'ha realitzat seguint el mateix procediment que en la columna anterior. Tot seguit, es mostren els resultats obtinguts:

Taula 11.7.27. Resultats per a la determinació del gruix de l'element cilíndric i del cap i fons tori esfèrics per a la columna C-502.

	Cos cilíndric	Cap/fons tori esfèrics
P disseny (psi)	30,802	30,802
T disseny (°C)	54,350	54,350
S	15700,000	15700,000
E	0,850	1,000
C1 (m)	0,002	0,002
C2 (inch)	0,000	0,012
t (m)	0,004	0,005
t arrodonit (mm)	6	6

El gruix obtingut d'AISI 304L per al cos cilíndric s'ha calculat mitjançant el procediment de l'apartat 1.1.1.2 del manual de càlcul. Aquest s'arrodoneix per a sobre dimensionar l'equip fins a 6 mm.

El gruix obtingut d'AISI 304L per al cap i cos tori esfèrics s'ha calculat mitjançant el procediment de l'apartat 1.1.1.2 del manual de càlcul. Aquest s'arrodoneix per a sobre dimensionar l'equip fins a 6 mm.

Les dades necessàries pel càlcul del cap i fons de la columna C-502 es presenten a continuació:

Taula 11.7.28. Valors pel càlcul del cap i el fons tori esfèrics per a la columna C-502.

L (inch)	78,472
R (inch)	7,847
L/r	10,000
M	1,540

- Determinació de l'alçada de la columna

Tot seguit es mostren els resultats obtinguts pel càlcul de l'alçada de la columna de destil·lació C-502 seguint el procediment descrit a l'apartat 11.1.1.2.

Taula 11.7.29. Resultats per a la determinació de l'alçada de la columna C-502.

De (mm)	1993,200
h1 (mm)	21,000
h2 (mm)	382,954
H fons (mm)	403,960
H cap (mm)	403,960
H columna (m)	19,339

- Determinació del pes de la columna

Per a la determinació del pes de la columna s'ha seguit el mateix procediment que en l'apartat anterior, tot seguit es mostren els resultats obtinguts.

Taula 11.7.30. Resultats pel volum dels elements constituents de la columna C-502.

Volum tori esfèric (m3)	0,012
Volum cilindre (m3)	0,694
Volum total material (m3)	0,717
Volum columna (m3)	58,385

Taula 11.7.31. Resultats per a la determinació del pes de la columna C-502.

Densitat material (Kg/m3)	7930,000
Densitat líquid (Kg/m3)	916,400
Densitat aigua (Kg/m3)	992,250
P cilindre (Kg)	5504,391
P cap/fons (Kg)	91,203
P columna buida (Kg)	5686,797
P rebliment (Kg)	2656,820
P líquid (Kg)	26752,027
P aigua (Kg)	37309,897
P total (Kg)	35095,644

Disseny del faldó de la columna

Un dels suports emprats més freqüentment en els recipients verticals és l'anomenat faldó, el qual ha de suportar el pes de la columna. S'uneix a la columna per una soldadura contínua en la part inferior i, en general, la grandària requerida d'aquesta soldadura determina l'espessor del faldó. L'alçada del faldó és de 1.5 m i el material emprat és acer al carboni. Amb

aquest tipus de suport la càrrega es reparteix uniformement al llarg del perímetre de la circumferència de la soldadura i així es disminueix la pressió transmesa al terra.

Les columnes hauran d'anar amb una escala incorporada, l'altura de la qual serà igual a l'altura de la columna i la seva amplada serà de 0.5 m.

Càlcul del gruix de l'aïllament

De la mateixa manera que la columna C-401 i C-501, aquesta columna s'ha aïllat amb una manta de llana de roca recoberta per una capa d'alumini, tot seguit es mostren els resultats obtinguts a partir del càlcul realitzat pel programa segons les condicions d'operació en les quals es treballa.

Taula 11.7.32. Característiques de l'aïllament utilitzat per a la columna C-502.

Aïllant	Llana de roca
Densitat (Kg/m ³)	100
k material (W/K·m)	0,034
T interior (°C)	45,050
T Sup. aïllament (°C)	0
T mín. ambient (°C)	0
Material Sup. exterior	PVC
Material Sup. interior	AISI 304L
Gruix òptim (cm)	8

11.7.4. Disseny columna de destil·lació C-503

La columna C-503 és l'última destil·lació trobada a l'àrea 500 i es basa en la separació del metanol, el qual s'extreu pel destil·lat, de l'aigua i l'àcid fòrmic extrets per cues de la columna. El metanol serà reciclat a l'àrea 200, per tal de ser utilitzat com a matèria primera al primer reactor, R-201. Pel que fa al corrent d'aigua amb una petita porció d'àcid fòrmic, serà enviat a una unitat de tractament d'aigües fora del procés.

Taula 11.7.33. Condicions d'operació de la columna C-503.

Temperatura (°C)	45,060
Pressió (kPa)	101,300
Relació de reflux	1,5
Número d'etapes teòriques	20
Plat d'aliment	10

Aquesta columna s'ha dissenyat seguint el mateix procediment que la columna C-401. Prèviament s'ha realitzat una primera aproximació, basada en el mètode Short-Cut, escollint el metanol com a component clau lleuger i l'aigua com a component clau pesat, i posteriorment una segona

aproximació basada en el mètode rigorós utilitzant el simulador de processos Aspen Hysys 8.3, obtenint els resultats següents:

Taula 11.7.34. Resultats de la columna C-503 pel mètode Short-Cut.

Short-Cut	
Etapas/plats	
Núm. mínim de plats	10,849
Núm. actual de plats	17,088
Plat òptim d'aliment	7,681
Temperatures (°C)	
Condensador (°C)	63,676
Reboiler (°C)	90,031
Cabals	
Vapor rectificat (kmol/h)	1010,379
Líquid rectificat (kmol/h)	757,784
Stripping vapor (kmol/h)	1010,379
Stripping líquid (kmol/h)	1603,984
Energia condensador (kJ/h)	-2,642E+07
Energia reboiler (kJ/h)	3,081E+07

Els resultats obtinguts seguint el mètode rigorós mitjançant el simulador de processos Aspen Hysys 8.3 són els següents:

Taula 11.7.35. Resultats de la columna C-503 pel mètode rigorós.

Propietat	Aliment	Destil·lat	Residu
Fracció vapor	0,000	0,000	0,000
Temperatura (°C)	45,050	49,610	82,510
Pressió (kPa)	101,300	101,300	101,300
Cabal molar (Kmol/h)	4192,000	250,000	169,400
Cabal màssic (Kg/h)	11744,630	8044,000	3700,927
Entalpia màssica (KJ/Kg)	-2,640E+05	-2,396E+05	-2,951E+05
Cabal de calor (KJ/h)	-1,107E+08	-5,989E+07	-4,998E+07
Composicions màssiques			
Metanol	0,690	0,971	0,078
Formiat de metil	0,002	0,003	0,000
Monòxid de carboni	0,000	0,000	0,000
Aigua	0,220	0,004	0,690
Àcid fòrmic	0,088	0,021	0,232

.Taula 11.7.36. Resultats del Tray Sizing de la columna C-503 obtinguts en la simulació Aspen Hysys.

C-503	Section_1
Tipus de columna	Empacada
Tipus d'empacat	Jaeger TriPacks, Plastic 3.5 Inch
Correlació	Wallis
Correlació HETP	Frank
Núm. peces d'empacat	27534,854
Massa d'empacat (Kg)	844,727
Cost empacat (US\$)	2777,853
Diàmetre (m)	1,372
Àrea secció (m2)	1,478
Alçada (m)	10,994
Màxima inundació (5)	65,821
ΔP (kPa)	3,249
ΔP /secció (kPa/m)	0,296
Velocitat del gas/m2	17784,016
Velocitat del gas (m/s)	4,940
HETP (m)	0,550

L'alçada del rebliment s'ha sobredimensionat per tal de tenir en compte els components interns de la columna, donant un valor de **H rebliment= 12,393 m**.

11.7.4.1. Selecció del tipus de columna

En aquest cas també s'ha optat per escollit una columna de rebliment deguts als mateixos motius esmentats anteriorment i degut a que les condicions de treballs s'assimilen a les de les altres columnes anteriors.

11.7.4.2. Elecció del tipus de rebliment

Per a la columna C-503 s'ha utilitzat un tipus de rebliment aleatori degut als mateixos motius que a les columnes anteriors i utilitzant Jaeger TriPacks de 3,5 polsades de material per al rebliment.

11.7.4.3. Interns columna

De la mateixa manera que en la columna anterior C-401, es col·locarà un distribuïdor de líquid a la part superior de la columna C-503.

En aquesta columna, s'ha col·locat 1 re distribuïdor per l'entrada de líquid. No és necessari dotar la columna de més re distribuïdors ja que la seva altura és de 12.96 metres, i col·locant un re distribuïdor ja s'asseguraria una distribució uniforme del líquid. Es col·locaran dos suports de rebliment, un situat a la part intermitja superior i l'altre a la part intermitja inferior. En aquest cas, l'entrada de l'aliment es realitza a través d'un injector del tipus descrit a la taula següent, emprat

quan aquesta entrada es troba totalment en fase líquida. Tot seguit es mostra una taula resum amb els interns utilitzats per a la columna C-501.

Taula 11.7.37. Número i tipus dels components mecànics de la columna C-503.

	Núm.	Tipus
Distribuïdor	1	Splash-plate distributor VEP
Re- distribuïdor	1	Collector support grid SLT
Support reblliment	2	Retaining grid for random packings RPB
Entrada aliment	1	LV (2) inlet

11.7.4.4. Disseny mecànic de la columna

Per al disseny mecànic de la columna C-501, s'ha escollit el material per a la construcció d'aquesta, el qual serà acer inoxidable 304L com en la columna C-401, recobert interiorment per una capa de tefló de 2 mm de gruix que protegirà l'equip contra la possible corrosió, ja que per aquesta columna hi circulen components corrosius. Per al disseny s'ha seguit el mateix procediment que en l'apartat anterior per a tots els subapartats, tot seguit es mostren els resultats obtinguts.

- Determinació del gruix del cos cilíndric i del cap i fons tori esfèrics

El disseny del cos cilíndric i del cap i fons tori esfèrics s'ha realitzat seguint el mateix procediment que en la columna anterior, equacions de l'apartat 1.1.1.2 del manual de càlcul. Tot seguit es mostren els resultats obtinguts:

Taula 11.7.38. Resultats per a la determinació del gruix de l'element cilíndric i del cap i fons tori esfèrics per a la columna C-503.

	Cos cilíndric	Cap/fons tori esfèrics
P disseny (psi)	25,367	25,367
T disseny (°C)	60,060	60,060
S	15700,000	15700,000
E	0,850	1
C1 (m)	0,002	0,002
C2 (inch)	0	0,007
t (m)	0,003	0,004
t arrodonit (mm)	6	6

El gruix obtingut d'AISI 304L per al cos cilíndric s'ha calculat mitjançant el procediment de l'apartat 1.1.1.2 del manual de càlcul. Aquest s'arrodoneix per a sobre dimensionar l'equip fins a 6 mm.

El gruix obtingut d'AISI 304L per al cap i cos tori esfèrics s'ha calculat mitjançant el procediment de anteriorment explicat al manual de càlcul. Aquest s'arrodoneix per a sobre dimensionar l'equip fins a 6 mm.

Les dades necessàries pel càlcul del cap i fons de la columna C-503 es presenten a continuació:

Taula 11.7.39. Valors pel càlcul del cap i el fons tori esfèrics per a la columna C-503.

L (inch)	54,472
R (inch)	5,447
L/r	10,000
M	1,540

- Determinació de l'alçada de la columna

Tot seguit es mostren els resultats obtinguts pel càlcul de l'alçada de la columna de destil·lació C-503 seguint el procediment descrit anteriorment.

Taula 11.7.40. Resultats per a la determinació de l'alçada de la columna C-502.

De (mm)	1384,000
h1 (mm)	21,000
h2 (mm)	264,997
H fons (mm)	286,003
H cap (mm)	286,003
H columna (m)	12,965

- Determinació del pes de la columna

Duent a terme el procediment descrit a l'apartat X i utilitzant les corresponents equacions s'han obtingut els resultats següents.

Taula 11.7.41. Resultats pel volum dels elements constituents de la columna C-503.

Volum tori esfèric (m3)	0,006
Volum cilindre (m3)	0,322
Volum material (m3)	0,333
Volum total columna (m3)	18,729

Taula 11.7.42. Resultats per a la determinació del pes de la columna C-503.

Densitat material (Kg/m3)	7930,000
Densitat líquid (Kg/m3)	834,300
Densitat aigua (Kg/m3)	990,220
P cilindre (Kg)	2552,043
P cap/fons (Kg)	43,830
P columna buida (Kg)	2639,703
P rebliment (Kg)	844,727

P líquid (Kg)	7813,004
P aigua (Kg)	12757,585
P total (Kg)	11297,434

Disseny del faldó de la columna

Un dels suports empleats més freqüentment en els recipients verticals és l'anomenat faldó, el qual ha de suportar el pes de la columna. S'uneix a la columna per una soldadura contínua en la part inferior i, en general, la grandària requerida d'aquesta soldadura determina l'espessor del faldó. L'alçada del faldó és de 1.5 m i el material empleat és acer al carboni. Amb aquest tipus de suport la càrrega es reparteix uniformement al llarg del perímetre de la circumferència de la soldadura i així es disminueix la pressió transmesa al terra.

Les columnes hauran d'anar amb una escala incorporada, l'altura de la qual serà igual a l'altura de la columna i la seva amplada serà de 0.5 m.

Càlcul del gruix de l'aïllament

De la mateixa manera que les anteriors columnes, aquesta s'ha aïllat amb una manta de llana de roca recoberta per una capa d'alumini, tot seguit es mostren els resultats obtinguts a partir del càlcul realitzat pel programa segons les condicions d'operació en les quals es treballa.

Taula 11.7.43. Característiques de l'aïllament utilitzat per a la columna C-503.

Aïllant	Llana de roca
Densitat (Kg/m ³)	100
k material (W/K·m)	0,034
T interior (°C)	82,510
T Sup. aïllament (°C)	0
T mín. ambient (°C)	0
Material Sup. exterior	PVC
Material Sup. interior	AISI 304L
Gruix òptim (cm)	15

11.7.5. Disseny columna de destil·lació C-602

La columna C-602 és l'última destil·lació del procés, situada a l'àrea 600, purificació del producte, i es basa en la separació de l'àcid fòrmic, producte d'interès, de l'agent extractor, 1-octanol. L'àcid fòrmic sortirà pel destil·lat i l'extractor per cues de la columna, el qual serà reciclat a la columna d'extracció, C-601.

A continuació es mostra una taula amb les condicions d'operació d'aquesta columna.

Taula 11.7.44. Condicions d'operació de la columna C-602.

Temperatura (°C)	90,000
Pressió (kPa)	101,300
Relació de reflux	0,5
Número d'etapes teòriques	6
Plat d'aliment	2

questa columna s'ha dissenyat seguint el mateix procediment que la columna C-401. Prèviament s'ha realitzat una primera aproximació, basada en el mètode Short-Cut, escollint l'àcid fòrmic com a component clau lleuger i l'agent extractant, 1-Octanol com a component clau pesat, i posteriorment una segona aproximació basada en el mètode rigorós utilitzant el simulador de processos Aspen Hysys 8.3, obtenint els resultats següents:

Taula 11.7.45. Resultats de la columna C-602 pel mètode Short-Cut.

Short-Cut	
Etapes/plats	
Núm. mínim de plats	3,335
Núm. actual de plats	5,948
Plat òptim d'aliment	1,553
Temperatures (°C)	
Condensador (°C)	83,190
Reboiler (°C)	171,000
Cabals	
Vapor rectificat (kmol/h)	512,723
Líquid rectificat (kmol/h)	170,908
Stripping vapor (kmol/h)	512,723
Stripping líquid (kmol/h)	751,529
Energia condensador (kJ/h)	-1,407E+07
Energia reboiler (kJ/h)	2,766E+07

Els resultats obtinguts seguint el mètode rigorós mitjançant el simulador de processos Aspen Hysys 8.3 són els següents:

Taula 11.7.46. Resultats de la columna C-602 pel mètode rigorós.

Propietat	Aliment	Destil·lat	Residu
Fracció vapor	0,000	0,000	0,000
Temperatura (°C)	90,000	98,00	154,200
Pressió (kPa)	101,300	101,300	101,300
Cabal molar (Kmol/h)	576,800	290,000	286,800
Cabal màssic (Kg/h)	44690,438	11830,000	32860,000
Entalpia molar (KJ/Kg)	-3,981E+05	-3,753E+05	-3,783E+05
Cabal de calor (KJ/h)	-2,312E+08	-1,013E+08	-1,175E+08

Composicions màssiques			
Aigua	0,030	0,085	0,010
Àcid fòrmic	0,270	0,907	0,041
1-Octanol	0,700	0,007	0,949

Taula 11.7.47. Resultats del Tray Sizing de la columna C-602 obtinguts en la simulació Aspen Hysys.

C-602	Section_1
Tipus de columna	Empacada
Tipus d'empacat	Jaeger TriPacks, Plastic 3.5 Inch
Correlació	Wallis
Correlació HETP	Frank
Núm. peces d'empacat	13105,000
Massa d'empacat (Kg)	402,100
Cost empacat (US\$)	1322,140
Diàmetre (m)	1,676
Àrea secció (m2)	2,207
Alçada (m)	3,503
Màxima inundació (%)	71,930
ΔP (kPa)	1,376
ΔP /secció (kPa/m)	0,393
Velocitat del gas/m2	15100,000
Velocitat del gas (m/s)	4,193
HETP (m)	0,584

L'alçada del rebliment s'ha sobredimensionat per tal de tenir en compte els components interns de la columna, donant un valor de **H rebliment= 4,1533 m**.

11.7.5.1. Selecció del tipus de columna

En aquest cas també s'ha optat per escollit una columna de rebliment deguts als mateixos motius esmentats anteriorment i degut a que les condicions de treballs s'assimilen a les de les altres columnes dissenyades.

11.7.5.2. Elecció del tipus de rebliment

Per a la columna C-602 s'ha utilitzat un tipus de rebliment aleatori degut als mateixos motius que a les columnes anteriors i utilitzant Jaeger TriPacks de 3,5 polsades de material per al rebliment.

11.7.5.3. Interns columna

Pel que fa a la columna C-602, es col·locarà un distribuïdor de líquid a la part superior de la columna. Només s'ha col·locat 1 re distribuïdor per l'entrada de líquid, degut a que l'alçada d'aquesta és de 4.8 metres, fet que ja assegura la correcta distribució del líquid al llarg de la columna. Aquesta entrada es fa a través d'un injector líquid LV (2) de l'empresa Sulzer, que s'utilitza per aliments que entren 100% en fase líquida. El tipus d'interns utilitzats es descriuen a

la taula següent. Tot seguit es mostra una taula resum amb els interns utilitzats per a la columna C-501.

Taula 11.7.48. Número i tipus dels components mecànics de la columna C-602.

	Núm.	Tipus
Distribuïdor	1	Splash-plate distribuïdor VEP
Re- distribuïdor	1	Collector support grid SLT
Suport reblliment	0	Retaining grid for random packings RPB
Entrada aliment	1	LV (1) inlet

11.7.5.4. Disseny mecànic de la columna

Per al disseny mecànic de la columna C-602, s'ha escollit el material per a la construcció d'aquesta, el qual serà acer inoxidable 304L com en la columna C-401, recobert interiorment per una capa de tefló de 2 mm de gruix que protegirà l'equip contra la possible corrosió, ja que per aquesta columna hi circulen components corrosius. Per al disseny s'ha seguit el mateix procediment que en l'apartat anterior per a tots els subapartats, tot seguit es mostren els resultats obtinguts.

- Determinació del gruix del cos cilíndric i del cap i fons tori esfèrics

El disseny del cos cilíndric i del cap i fons tori esfèrics s'ha realitzat seguint el mateix procediment que en la columna anterior, equacions anteriorment descrites del manual de càlcul. Tot seguit es mostren els resultats obtinguts:

Taula 11.7.49. Resultats per a la determinació del gruix de l'element cilíndric i del cap i fons tori esfèrics per a la columna C-602.

	Cos cilíndric	Cap/fons tori esfèrics
P disseny (psi)	20,131	20,131
T disseny (°C)	162,300	162,300
S	15700,000	15700,000
E	0,850	1
C1 (m)	0,002	0,002
C2 (inch)	0	0,007
t (m)	0,003	0,004
t arrodonit (mm)	6	6

El gruix obtingut d'AISI 304L per al cos cilíndric s'ha calculat mitjançant el procediment explicat anteriorment al manual de càlcul. Aquest s'arrodoneix per a sobre dimensionar l'equip fins a 6 mm.

El gruix obtingut d' AISI 304L per al cap i cos tori esfèrics s'ha calculat mitjançant el procediment explicat anteriorment al manual de càlcul. Aquest s'arrodoneix per a sobre dimensionar l'equip fins a 6 mm.

Les dades necessàries pel càlcul del cap i fons de la columna C-602 es presenten a continuació:

Taula 11.7.50. Valors pel càlcul del cap i el fons tori esfèrics per a la columna C-602.

L (inch)	65,984
R (inch)	6,598
L/r	10,000
M	1,540

- Determinació de l'alçada de la columna

Tot seguit es mostren els resultats obtinguts pel càlcul de l'alçada de la columna de destil·lació C-602.

Taula 11.7.51. Resultats per a la determinació de l'alçada de la columna C-602.

De (mm)	1688,000
h1 (mm)	21,000
h2 (mm)	323,898
H fons (mm)	350,898
H cap (mm)	350,898
H columna (m)	4,855

- Determinació del pes de la columna

Duent a terme el procediment descrit a l'apartat X i utilitzant les corresponents equacions s'han obtingut els resultats següents.

Taula 11.7.52. Resultats pel volum dels elements constituents de la columna C-503.

Volum tori esfèric (m3)	0,008
Volum cilindre (m3)	0,132
Volum total material (m3)	0,148
Volum columna (m3)	9,925

Taula 11.7.53. Resultats per a la determinació del pes de la columna C-503.

Densitat fluid (Kg/m3)	949,000
Densitat AISI (Kg/m3)	7930,000
Densitat aigua (Kg/m3)	950,000
De (m)	1,688

P cilindre (Kg)	1044,224
P tori esfèric (Kg)	65,340
P columna buida (Kg)	1174,903
P rebliment (Kg)	402,100
P líquid (Kg)	4709,219
P aigua (Kg)	6291,185
P total (Kg)	6286,223

Disseny del faldó de la columna

Un dels suports empleats més freqüentment en els recipients verticals és l'anomenat faldó, el qual ha de suportar el pes de la columna. S'uneix a la columna per una soldadura contínua en la part inferior i, en general, la grandària requerida d'aquesta soldadura determina l'espessor del faldó. L'alçada del faldó és de 1.5 m i el material empleat és acer al carboni. Amb aquest tipus de suport la càrrega es reparteix uniformement al llarg del perímetre de la circumferència de la soldadura i així es disminueix la pressió transmesa al terra.

Les columnes hauran d'anar amb una escala incorporada, l'altura de la qual serà igual a l'altura de la columna i la seva amplada serà de 0.5 m.

Càlcul del gruix de l'aïllament

De la mateixa manera que les anteriors columnes, aquesta s'ha aïllat amb una manta de llana de roca recoberta per una capa d'alumini, tot seguit es mostren els resultats obtinguts a partir del càlcul realitzat pel programa segons les condicions d'operació en les quals es treballa.

Taula 11.7.54. Característiques de l'aïllament utilitzat per a la columna C-602.

Aïllant	Llana de roca
Densitat (Kg/m ³)	100
k material (W/K·m)	0,034
T interior (°C)	147,300
T Sup. aïllament (°C)	0
T mín. ambient (°C)	0
Material Sup. exterior	Alumini
Material Sup. interior	AISI 304L
Gruix òptim (cm)	25

11.8. Columna d'extracció

11.8.1. Introducció

L'extracció líquid - líquid es basa en la separació d'un dels components de la dissolució líquida per contacte amb una altre líquid immiscible que dissolt perfectament a un dels components de la dissolució donant lloc a l'aparició de dues fases líquides de diferent densitat. Aquest tipus d'extracció s'emptra quan la mescla que es vol separar forma azeòtrops, com és el cas de l'aigua i l'àcid fòrmic.

S'ha instal·lat una columna d'extracció líquid – líquid, C-601, per tal de separar l'aigua del producte d'interès, l'àcid fòrmic, ja que aquesta mescla forma un azeòtrop al 77.5 % en pes d'àcid fòrmic i per tant, no es pot aconseguir una major puresa duent a terme una destil·lació, ja que en aquest punt, els dos components de la mescla bullen a la mateixa temperatura, 107°C. S'ha de dir que si s'augmentés la pressió de l'operació la composició de l'àcid a l'azeòtrop augmentaria, però també ho faria la velocitat de descomposició de l'àcid, fet indesitjable. A la figura següent es presenta l'azeòtrop que es forma entre l'aigua i l'àcid fòrmic.

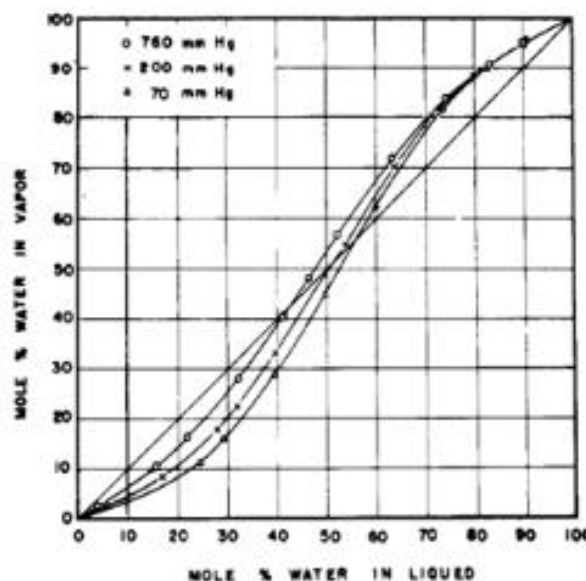


Figura 11.8.1. Azeòtrop que forma l'aigua amb l'àcid fòrmic a diferents pressions.

L'agent extractor utilitzat és l'1-octanol degut a la seva alta eficiència en la separació d'àcids carboxílics en dissolució aquosa.

Com que l'1-octanol té un punt d'ebullició molt superior al de l'àcid fòrmic, aquest es podrà separar molt fàcilment de l'agent extractor en una columna de destil·lació per obtenir el producte d'interès amb la puresa desitjada.

El corrent tractat és el que surt de cues de la columna C-501, el qual conté un 61,10 % i un 38,90 % en pes d'aigua i àcid fòrmic, respectivament. S'ha considerat que en la columna C-501 s'ha

destil·lat per complet el format de metil i el metanol i que per tant en el corrent tractat que entra a l'extracció no n'hi ha.

La columna C-601 operarà a 20°C i pressió atmosfèrica, ja que les dades que s'han obtingut es troben a aquestes condicions.

El corrent a tractar entrarà a l'equip per un difusor de líquid que portarà la mescla prèviament homogeneïtzada fins l'extrem del cilindre horitzontal. En el tanc d'homogeneïtzació s'hauran format dues fases, una pesada i una lleugera. Les condicions de sortida d'aquest tanc, per tant, les condicions de mescla, són:

Cabal d'entrada de 60733,16 Kg/h.

Amb una densitat de 957,60 Kg/m³, sent el cabal volumètric d'entrada a l'extracció de 63,42 m³/h.

Composició massica: 28,60% d'aigua, 20,00% d'àcid fòrmic i 51,40% d'1-Octanol.

La separació d'aquestes dues fases es dur a terme per diferència de densitats i per tant la gravetat juga un paper molt important. La fracció pesada sortirà per la part inferior de l'equip, aquest corrent conté majoritàriament aigua, encara que s'ha de tenir en compte que també presenta una petita porció d'àcid fòrmic i s'ha d'incloure al realitzar la posterior recirculació cap al reactor R-301. La fracció lleugera, l'àcid fòrmic amb l'extractant sortiran per la part superior del cilindre, corrent que s'enviarà a una destil·lació ,C-602, per obtenir el producte final amb la composició adequada.

Tot seguit es mostra un esquema de l'equip de separació líquid-líquid utilitzat:

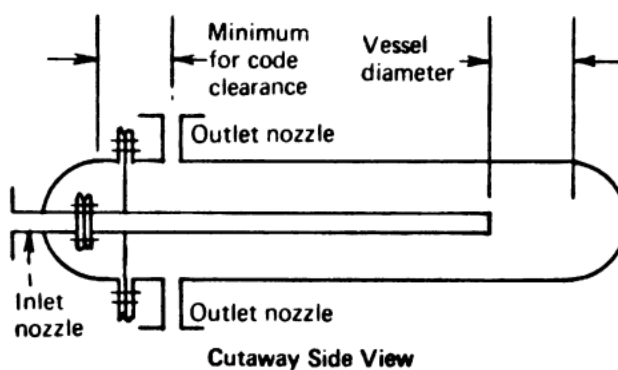


Figura 11.8.2. Esquema separador líquid/ líquid horitzontal.

11.8.2. Balanços de matèria i equilibri

Per realitzar el disseny de la columna s'ha trobat un diagrama d'equilibri del sistema en qüestió, el qual es presenta a continuació, amb unes condicions de pressió i temperatura determinades, 1 atmosfera i 20 °C. Realitzant els corresponents balanços de matèria s'ha determinat la quantitat d'extractant que es necessita per dur a terme la correcta separació.

La següent figura mostra les dades d'equilibri del sistema tractat per tal de realitzar l'extracció d'àcid fòrmic a partir de l'agent extractant 1-Octanol.

Table 1. Thermodynamic Factors (Γ_L) and Experimental Tie-Line Compositions (Mass Fraction) of the Conjugate Solutions w_1' , w_2' and w_1'' , w_2'' for the System (Water + Carboxylic Acid + 1-Octanol/Amine) at 293.15 K

water-rich		solvent-rich		Γ_L^a	G^B
w'_1	w'_2	w''_1	w''_2		J/mol ^b
Water (1) + Formic Acid (2) + 1-Octanol/Amine (3) ^d					
0.9981 ^c	0	0.0216 ^c	0		
0.9187	0.0785	0.0246	0.0547	1.0678	980.1
0.8320	0.1643	0.0265	0.1006	1.1169	1113.1
0.7633	0.2319	0.0328	0.1645	1.1686	1264.3
0.6605	0.3323	0.0424	0.2611	1.2118	1344.7
0.5323	0.4578	0.0521	0.3646	1.2117	1312.3
0.3932	0.5924	0.0776	0.4913	1.1355	1175.6

Figura 11.8.3. Composicions massiques del sistema aigua, àcid fòrmic i 1-Octanol a 20 °C.

A continuació s'han representat els punts d'interès al diagrama d'equilibri ternari, per tal de trobar els cabals de sortida, així com el cabal d'extractant utilitzat i el punt de mescla (M). La fracció d'àcid fòrmic de l'extracte, s'ha suposat un valor del 26%. S'ha escollit aquest valor, ja que la composició màxima d'àcid fòrmic de l'extracte final que s'ha trobat a partir de la fase aquosa (38,90%), mitjançant l'equilibri de la figura 11.8.6 ha estat de 28%, per tant s'ha agafat un valor més petit, degut que per obtenir aquest percentatge d'àcid fòrmic a la sortida, s'haurien de tenir etapes infinites.

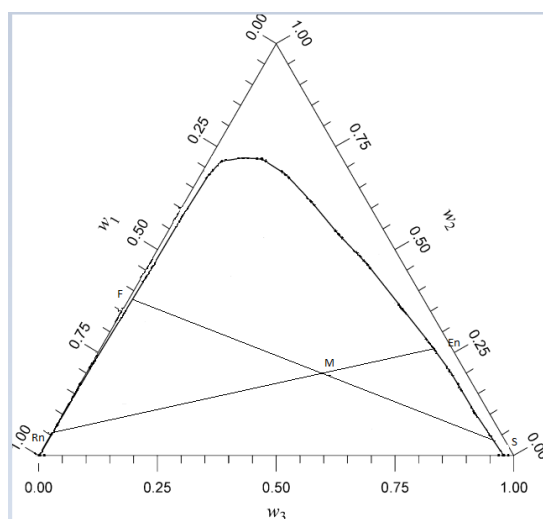


Figura 11.8.4. Diagrama d'equilibri líquid / líquid ternari per a la mescla aigua, àcid fòrmic i 1-Octanol.

A partir de les dades de la figura 11.8.3 s'ha trobat la quantitat mínima d'extractant segons l'esquema que es presenta a continuació i s'ha determinat les composicions dels cabals de sortida, el refinat i l'extracte.



Figura 11.8.5. Esquema simplificat de l'extracció amb les entrades i sortides corresponents.

Balanços realitzats:

$$F + S = M \quad \text{Equació 11.8.1}$$

On

F és el cabal d'aliment a tractar, 28307,830 Kg/h.

S és el cabal d'extractant necessari, 32425,330 Kg/h.

M és el cabal del punt de mescla, 60733,163 Kg/h.

$$F \cdot x_F + S \cdot x_S = M \cdot x_M \quad \text{Equació 11.8.2}$$

On

x_F és la composició massica d'àcid fòrmic de l'aliment, 0,389.

x_S és la composició massica d'àcid fòrmic present a l'extractant, 0,035.

x_M és la composició massica d'àcid fòrmic del punt de mescla, 0,200.

Per començar s'ha determinat la composició del punt de mescla gràficament per posteriorment calcular el cabal massic d'aquest i del cabal d'extractant realitzant el sistema de dos equacions anterior.

Un cop trobats aquests dos cabals s'ha realitzat el balanç següent per trobar els cabals de refinat i extracte obtinguts, realitzant el sistema de dos equacions que es mostra a continuació.

$$E_N + R_N = M \quad \text{Equació 11.8.3}$$

On

E_N és el cabal d'extracte final, 44690,440 Kg/h.

R_N és el cabal de refinat final, 16042,722 Kg/h.

$$E_N \cdot x_E + R_N \cdot x_R = M \cdot x_M \quad \text{Equació 11.8.4}$$

On

x_E és la composició massica d'àcid fòrmic de l'extracte final, 0,27.

x_R és la composició massica d'àcid fòrmic del refinat final, 0,08.

Per trobar el número d'etapes necessàries per realitzar l'extracció corresponent, s'ha representat les dades d'equilibri de la figura 11.8.3, tal i com es mostra a continuació; a l'eix d'abscisses, es troba la fracció d'àcid fòrmic present fase orgànica i a l'eix d'ordenades, es troba la fracció d'àcid fòrmic present a la fase aquosa.

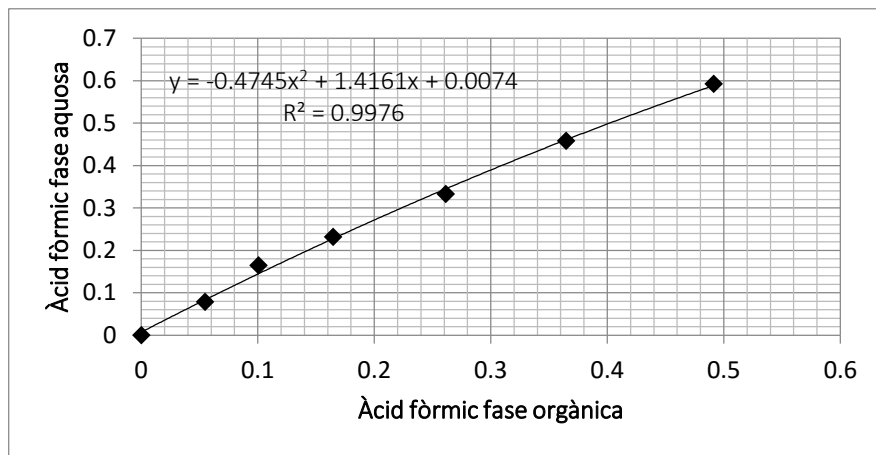


Figura 11.8.6. Diagrama d'equilibri.

A la següent figura s'han determinat el número d'etapes, utilitzant la figura anterior, seguint el procediment descrit a continuació:

1. Col·locar punt delta com la intersecció entre la recta que passa per la composició d'àcid fòrmic del refinat final i la composició de l'extractant utilitzat, i la recta que passa per la composició d'àcid fòrmic del fluid de procés i la composició de l'extracte final.
2. Partint del punt "En", a partir de l'equilibri mostrat a la figura 11.8.6, determinar la composició d'àcid fòrmic a la fase aquosa.
3. Partint d'aquest valor, a partir de l'operativa (punt delta), determinar la composició d'àcid fòrmic a la fase orgànica...i així successivament fins sobrepassar la composició del refinat final (Rn).

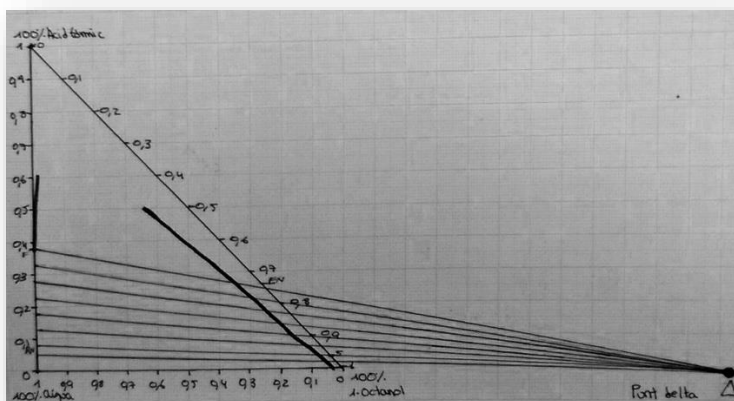


Figura 11.8.7. Diagrama ternari indicant com s'han trobat les etapes d'equilibri necessàries.

Observant la figura anterior es pot concloure que el número d'etapes necessàries per a realitzar l'extracció indicada són 6.

11.8.3. Disseny mecànic de l'extracció C-601

Pel disseny mecànic del separador s'ha seguit el llibre *Rules of Thumb*, regles del polze, seguint el procediment descrit a continuació.

1. Calcular el temps de retenció de la separació.

Per calcular aquest temps de residència, en hores, s'ha utilitzat la següent equació:

$$\tau = 0.1 \cdot \left(\frac{\mu}{\rho_b - \rho_t} \right) \quad \text{Equació 11.8.5}$$

On

μ és la viscositat de la fase contínua, 7,34 cP.

ρ_b és la densitat de la fase pesada, el refinat, 1012,62 Kg/m³.

ρ_t és la densitat de la fase lleugera, l'extracte, 949 Kg/m³

$$\tau = 0,0115 \text{ hores}$$

Es considera la fase contínua la fase que representa més volum dins l'equip:

Aliment: 26,66 m³/h, extractant: 38,364 m³/h.

Per tant, segons aquests resultats la fase contínua és l'extractant, corrent d'1-Octanol amb una petita fracció d'àcid fòrmic.

La fase pesada és el corrent de sortida que conté majoritàriament aigua.

La fase lleugera és el corrent de sortida que conté l'àcid fòrmic amb l'extractant.

2. Càlcul del volum de l'equip

Per començar s'ha calculat el cabal total de l'equip, el qual representa la suma dels cabals d'entrada, ja que els cabals són additius.

$$Q_{total} = Q_m + Q_e \quad \text{Equació 11.8.6}$$

On

Q_m és el cabal volumètric del fluid de procés, en m³/h.

Q_e és el cabal volumètric d'extractant, 1-Octanol, en m³/h.

Amb el cabal total d'entrada, 66,869 m³/h i el temps de residència, s'obté el volum necessari per produir la separació segons:

$$V = Q_{total} \cdot \tau \quad \text{Equació 11.8.7}$$

D'on s'ha obtingut un volum de 0,771 m³. Aquest volum s'ha sobredimensionat l'equip un 20%, per tant $V_T = 0,926 \text{ m}^3$.

3. Càlcul de la longitud i diàmetre del difusor i el diàmetre de l'equip.

S'ha assignat una relació entre aquesta longitud i diàmetre de 5, per tant, tenint en compte que l'equip utilitzat es pot aproximar a un cilindre:

$$\frac{L}{D} = 5 \quad \text{Equació 11.8.8}$$

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot L \quad \text{Equació 11.8.9}$$

Substituint l'equació X a X s'ha obtingut un diàmetre del cilindre de 0,618 m i una longitud del difusor de 3,089 m.

A aquesta longitud se li ha d'afegir un marge de aproximadament 0.2 metres i se li ha de sumar el diàmetre de l'equip, per tant la longitud total de l'equip sense contar els dos capçals és 3,907 m, segons l'equació següent:

$$L_{total} = L + D + 0.2 \quad \text{Equació 11.8.10}$$

Pel que fa al diàmetre del difusor per on s'introdueix la mescla, aquest serà igual al diàmetre de la canonada d'aquest corrent, 4 polsades, calculat a l'apartat del manual de càlcul de canonades, apartat 11.10.

Per al disseny mecànic complet de la columna C-601, s'ha escollit el material per a la construcció d'aquesta, el qual serà acer inoxidable 316L, s'ha determinat el gruix, l'alçada total i el pes d'aquesta com es mostra a continuació.

- Determinació del gruix del cos cilíndric i del cap i fons tori esfèrics

S'ha calculat el gruix del cilindre de l'equip extractor seguint el codi ASME utilitzant les equacions de determinació del gruix per pressió interna, descrites anteriorment al manual de càlcul. Aplicant aquestes equacions s'han obtingut els resultats següents. El capçal i fons són tori esfèrics del tipus Kloppe.

Taula 11.8.1. Resultats per a la determinació del gruix de l'element cilíndric i del cap i fons tori esfèrics per a la columna C-601.

	Cos cilíndric	Cap/fons tori esfèrics
P disseny (psi)	16,663	16,663
T disseny (°C)	35,000	35,000
S	15700,000	15700,000
E	0,850	1
C1 (m)	0,004	0,004
C2 (inch)	0,000	0,002
t (m)	0,004	0,005
t arrodonit (mm)	6	6

El gruix obtingut d'AISI 316L per al cos cilíndric s'ha calculat mitjançant el procediment de l'apartat 11.1.1.2 del manual de càlcul. Aquest s'arrodoneix per a sobre dimensionar l'equip fins a 6 mm.

El gruix obtingut d'AISI 316L per al cap i cos tori esfèrics s'ha calculat mitjançant el procediment de l'apartat 11.1.1.2 del manual de càlcul. Aquest s'arrodoneix per a sobre dimensionar l'equip fins a 6 mm.

- Determinació de la longitud de la columna

Tot seguit es mostren els resultats obtinguts pel càlcul de l'alçada de la columna de destil·lació C-601 seguint el procediment descrit a l'apartat 11.7.1.4.

Taula 11.8.2. Resultats per a la determinació de l'alçada de la columna C-601.

De	629,754
L1 (mm)	21,000
L2 (mm)	119,127
L fons (mm)	146,127
L cap (mm)	146,127
L separador (m)	4,199

- Determinació del pes de la columna

Duent a terme el procediment descrit a l'apartat X i utilitzant les corresponents equacions s'han obtingut els resultats següents.

Taula 11.8.3. Resultats pel volum dels elements constituents del separador C-601.

Volum Tori esfèric (m3)	0,001
Volum cilindre (m3)	0,046
Volum total material (m3)	0,048
Volum columna (m3)	1,209

Taula 11.8.4. Resultats per a la determinació del pes del separador C-601.

Densitat fluid (Kg/m3)	919,150
Densitat AISI (Kg/m3)	7960,000
Densitat aigua (Kg/m3)	998,290
De (m)	0,630
P cilindre (Kg)	365,610
P tori esfèric (Kg)	9,020
P líquid (Kg)	1111,270
P aigua (Kg)	1590,602
Pes total (Kg)	1494,920

Càlcul del gruix de l'aïllament¹

De la mateixa manera que les anteriors columnes, aquesta s'ha aïllat amb una manta de llana de roca recoberta per una capa d'alumini, tot seguit es mostren els resultats obtinguts a partir del càlcul realitzat pel programa segons les condicions d'operació en les quals es treballa.

Taula 11.8.5. Característiques de l'aïllament utilitzat pel separador C-601.

Aïllant	Llana de roca
Densitat (Kg/m ³)	100
k material (W/K·m)	0,034
T interior (°C)	20,000
T Sup. aïllament (°C)	0
T mín. ambient (°C)	0
Material Sup. exterior	Alumini
Material Sup. interior	AISI 316L
Gruix òptim (cm)	5

11.9. Separadors de fase

11.9.1. Disseny del separador de fases F-401

Un separador líquid-gas és un equip que té forma de tanc el qual compleix l'objectiu de separar un corrent bifàsic en dos corrents d'una sola fase cada un, una vapor i l'altre líquid. Es tracta d'un equip estàtic i cilíndric, amb una connexió d'entrada i dues de sortida amb les corresponents boquetes, amb un Demister pro vist d'una malla interna des nebulitzadora. El separador pot tenir una orientació vertical o horitzontal depenen de la magnitud del cabal d'operació o de la disponibilitat espacial.

El separador de fases F-401 es troba situat a l'àrea 400 i té coma objectiu principal l'eliminació del monòxid de carboni que no ha reaccionat en la primera reacció el qual s'ha dissolt en la fase líquida, del metanol i metil format. S'ha de dir que també es volatilitza una part del metil format i metanol encara que s'ha col·locat un Demister per evitar la excessiva pèrdua de producte. Les condicions d'operació d'aquest separador per aconseguir la separació desitjada són a 15 °C i 1 atmosfera de pressió.

S'ha escollit utilitzar un separador vertical ja que la relació vapor/ líquid és gran, és més fàcil el control de nivell que en els separadors horitzontals i ocupa menys espai horitzontal, encara que són menys econòmics que els separadors horitzontals i esfèrics. Per comprovar que l'elecció de

¹ <http://www.owenscorning.com/mexico/fichas/scr.pdf>

l'orientació del separador ha estat bona, posteriorment s'ha calculat la relació alçada/diàmetre la qual ha de donar un valor entre 3 i 5 per a separadors verticals.

El càlcul del disseny intern i extern del separador s'ha realitzat seguint les regles del polze, "Rules of Thumb for chemical engineering" tot seguit es mostren les equacions utilitzades.

Taula 11.9.1. Resultats obtinguts del separador F-401.

Propietat	Aliment	Caps	Cues
Fracció vapor	0,018	1,000	0,000
Temperatura (°C)	15,000	15,000	15,000
Pressió (kPa)	101,300	101,300	101,300
Cabal molar(Kmol/h)	855,370	22,000	846,190
Cabal màssic (Kg/h)	34647,060	523,100	34284,000
Composicions màssiques			
Metanol	0,539	0,064	0,552
Formiat de metil	0,444	0,285	0,443
Monòxid de carboni	0,011	0,651	0,000
Aigua	0,001	0,000	0,001
Àcid fòrmic	0,005	0,000	0,005

- Temps de residència

La correcta separació de les dues fases està relacionada amb el temps de residència del sistema, s'ha escollit utilitzat un temps de residència de 5 minuts segons la següent taula, ja que tenim un separador sòlid líquid.

- Càlcul del diàmetre del separador

S'ha calculat la velocitat màxima de vapor que s'utilitzarà pel càlcul de l'àrea mínima i diàmetre mínim necessaris per a la separació desitjada, utilitzant la següent equació basada en la diferència de densitats entre el líquid i el vapor.

$$U_{vapor\ max} = k \cdot \sqrt{\frac{\rho_L - \rho_V}{\rho_V}} \quad \text{Equació 11.9.1}$$

On:

ρ és la densitat del líquid o vapor, en lb/ft³.

k és una constant, obtinguda gràficament segons la figura i l'expressió següents.

$$X = \frac{W_L}{W_V} \cdot \left(\frac{\rho_V}{\rho_L}\right)^{0.5} \quad \text{Equació 11.9.2}$$

Table 1
Residence Time for Liquids

Service (times in minutes)	% Full (Ref- erence 1)	L _{HL} to L _{LL} (minimum) Ref- erence 2*)	% Full (Ref- erence 3)	Miscel- aneous
Tower reflux drum	See Table 2	5-based on reflux flow	5 to 10- based on total flow	—
Vapor-liquid separators	—	—	3-5	—
Product to storage	Depends on situa- tion	Fractionator O.H.—2	—	—
Product to heat exchanger along with other streams	—	Fractionator O.H.—5	—	—
Product to heater	—	Fractionator O.H.—10	—	—
Furnace surge drums	—	—	—	10 min. 20 max.
Tower bottoms FRC control	—	—	—	5 min. 10 max.
LC control	—	—	—	3 min.

Figura 11.9.1.- Temps de residència per a líquids.

On

W_L és el cabal màssic de líquid o vapor, en lb/s.

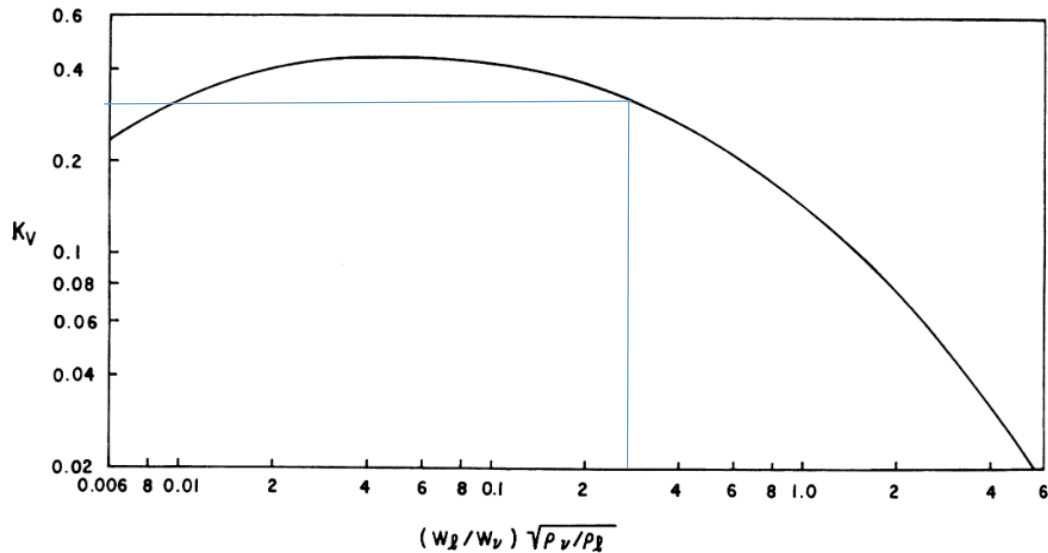


Figura 11.9.2. Disseny del factor de velocitat del vapor per separadors verticals vapor / líquid al 85% d'inundació.

Tot seguit es calcula el cabal volumètric de vapor, en ft³/s:

$$Q_v = \frac{W_v}{\rho_v} \quad \text{Equació 11.9.3}$$

A continuació es calcula l'àrea mínima i el diàmetre mínim necessaris per la velocitat màxima de vapor.

$$A_{min} = \frac{Q_v}{U_{vapor\ max}} \quad \text{Equació 11.9.4}$$

Un cop obtinguda l'àrea mínima de pas es pot calcular el diàmetre necessari amb la relació diàmetre-àrea d'un cercle. Aquest paràmetre representa el diàmetre del separador.

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \quad \text{Equació 11.9.5}$$

Aquest diàmetre trobat ha de ser múltiple de 6, en polsades, per tant s'ha d'arrodonir el valor, en el separador dissenyat ha estat de 8.9 polsades, arrodonint a 12 polsades.

Taula 11.9.2. Resultats pel càlcul del diàmetre del separador F-401.

X	2,869
k	0,320
U vapor max (ft/s)	7,311
Qv (ft ³ /s)	3,203
Amin (ft ²)	0,438
D min (ft)	0,747
D min (inch)	12,000

- Càlcul de l'alçada del líquid

Per calcular l'alçada del líquid s'ha de trobar la velocitat mínima i màxima d'entrada de l'aliment, velocitats basades en les aproximacions següents, d'on s'ha agafat la mitjana de les dues per als càlculs que venen a continuació.

$$(U_{\max})_{\text{entrada}} = \frac{100}{\rho_{\text{mescla}}^{0.5}} \quad \text{Equació 11.9.6}$$

$$(U_{\min})_{\text{entrada}} = \frac{60}{\rho_{\text{mescla}}^{0.5}} \quad \text{Equació 11.9.7}$$

On

ρ_{mescla} és la densitat de la mescla, en lb/ft³.

A continuació s'ha calculat l'augment del volum de líquid.

$$V = \tau \cdot Q_L \quad \text{Equació 11.9.8}$$

On

τ és el temps de residència, 300 segons.

Q_L és el cabal volumètric de líquid, en ft³/s.

Per tant l'alçada del líquid, en peus, s'obté de la següent expressió:

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot H_L \quad \text{Equació 11.9.9}$$

Tot seguit es mostren els resultats obtinguts:

Taula 11.9.3. Resultats pel càlcul de l'alçada del líquid del separador F-401.

U max (ft/s)	42,486
U min (ft/s)	25,492
U mitjana (ft/s)	33,989
QL (ft3/s)	0,402
V (ft3)	120,541
hL (ft)	275,139
hL (inch)	83,862

- Càlcul de l'alçada del vapor

Aquesta alçada va relacionada amb les dues alçades que hi ha respecte l'entrada de l'aliment segons:

La distància per sobre del centre és:

$$h1 = 48'' + 0.5 \cdot d \text{ o mínim } 48'' \quad \text{Equació 11.9.10}$$

La distància per sota del centre:

$$h2 = 12'' + 0.5 \cdot d \text{ o mínim } 18'' \quad \text{Equació 11.9.11}$$

Per tant l'alçada del vapor:

$$H_v = h_1 + h_2 \quad \text{Equació 11.9.12}$$

Taula 11.9.4. Resultats pel càlcul de l'alçada del vapor del separador F-401.

Q mescla (ft ³ /s)	3,829
A (ft ²)	0,113
d (ft)	0,379
d (inch)	4,545
h1 (inch)	48,000
h2 (inch)	18,000
Hv (inch)	66,000

Com que la distància del centre h1 ha donat 38,273 polsades, s'ha agafat el valor mínim, 48 polsades, de la mateixa manera que la distància per sota del centre h2, 14,273 polsades, agafant el mínim permès, 18 polsades.

- Càlcul de l'alçada del separador

Amb tots els paràmetres trobats, ara es calcula l'alçada total del separador i es comprova que l'elecció de l'orientació del separador vertical hagi sigut la correcte.

$$H = H_L + H_v \quad \text{Equació 11.9.13}$$

$$3 < \frac{H}{D} < 5 \quad \text{Comprovació}$$

Si de la relació alçada diàmetre s'obté un valor entre 3 i 5 vol dir que l'elecció ha estat la correcte, si no, l'orientació escollida és errònia i s'hauria de dissenyar un separador horitzontal.

Taula 11.9.5. Resultats pel càlcul de l'alçada del separador F-401.

H (inch)	149,862
H/d	12,489
h (m)	3,806
D (m)	0,305

Pel cas del separador ha dissenyar, aquesta relació ha estat de 12,489 per tant s'ha de dissenyar un separador de fases horitzontal seguint el procediment que es mostra a continuació.

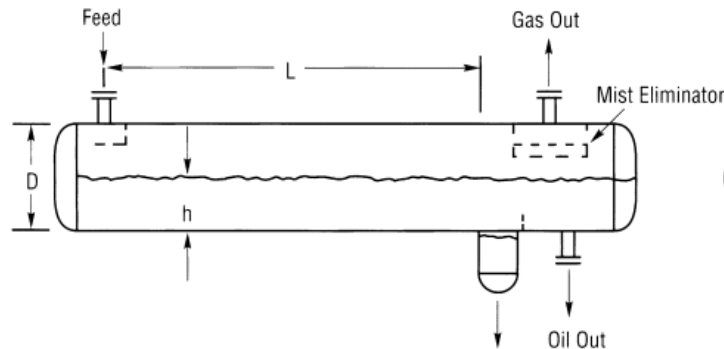


Figura 11.9.3. Esquema del separador de fases horitzontal F-401.

- Càlcul del diàmetre del separador horitzontal

El temps de residència i el paràmetre X pel separador amb una orientació horitzontal són el mateix que si la seva orientació fos vertical. Per tant:

$$\tau = 300s$$

$$X = 2,869$$

S'ha calculat la velocitat màxima de vapor utilitzant l'equació 11.9.6, amb una constant $K_h = 1.25$ K_v , d'on K_v s'ha obtingut gràficament a partir de la figura 11.9.2.

$$K_h = 0.32, K_v = 0.4$$

A continuació s'ha calculat l'àrea del vapor mínima necessària amb l'equació X i l'àrea total mínima com:

$$(A_{total})_{min} = \frac{(A_{vapor})_{min}}{0.2} \quad \text{Equació 11.9.14}$$

$$(A_{total})_{min} = 1,75 \text{ ft}^2$$

Per tant un cop s'ha obtingut l'àrea mínima, s'ha calculat el diàmetre mínim tenint en compte l'àrea de secció d'un cilindre:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot (A_{total})_{min}}{\pi}} \quad \text{Equació 11.9.15}$$

$D = 17,924$ polsades, aproximadament 18 polsades, ja que aquest valor ha de ser múltiple de 6.

- Càlcul de la longitud del separador

La llargada total del separador horitzontal s'ha calculat amb la següent equació:

$$L = \frac{V_{total_{tanc}}}{\frac{\pi \cdot D^2}{4}} \quad \text{Equació 11.9.16}$$

On

$V_{total_{tanc}}$ és el volum total del tanc, $Q_L \cdot \tau = 120,541 \text{ ft}^3$

$$L = 68,785 \text{ polsades}$$

$$\text{Comprovació } L/D \quad \frac{L}{D} = 3,837$$

Per tant, com la relació L/D està entre 3 i 5, l'elecció de l'orientació del separador ha estat la correcta, amb una longitud total sobredimensionada un 20% és de L=2,096 m, i un diàmetre de D=0,546 m.

11.9.1.1. Disseny mecànic del separador

Per començar s'ha de determinar el material del que estarà fet el separador de fases F-301. S'ha escollit treballar amb acer inoxidable 316 L donades les condicions d'operació, amb una tolerància a la corrosió de 4 mm pels 20 anys de vida útil de l'equip.

- Determinació del gruix del cos cilíndric i del cap i fons tori esfèrics

S'ha escollit un capçal i fons tori esfèric del tipus Kloppe, el gruix dels quals s'ha calculat utilitzant el codi ASME, seguint el procediment descrit a l'apartat 11.1.1.2 del manual de càlcul de la mateixa manera que en les columnes de destil·lació. Pel gruix del cos cilíndric s'ha seguit el mateix procediment. Tot seguit es mostren els resultats obtinguts:

Taula 11.9.6. Resultats per a la determinació del gruix de l'element cilíndric i del cap i fons tori esfèrics per al separador F-401.

	Cos cilíndric	Cap/fons tori esfèrics
P disseny (psi)	17,541	17,541
T disseny (°C)	30,000	30,000
S	15700,000	15700,000
E	0,850	1,000
C1 (m)	0,004	0,004
C2 (inch)	0,000	0,002
t (m)	0,004	0,005
t arrodonit (mm)	6	6

El gruix obtingut d'AISI 316L per al cos cilíndric s'ha calculat mitjançant el procediment de l'apartat 11.1.1.2 del manual de càlcul. Aquest s'arrodoneix per a sobre dimensionar l'equip fins a 6 mm.

El gruix obtingut d'AISI 316L per al cap i cos tori esfèrics s'ha calculat mitjançant el procediment de l'apartat 11.1.1.2 del manual de càlcul. Aquest s'arrodoneix per a sobre dimensionar l'equip fins a 6 mm.

- Determinació de la longitud del separador

Tot seguit es mostren els resultats obtinguts pel càlcul de la longitud total del separador de fases F-401 seguint el procediment descrit anteriorment.

Taula 11.9.7. Resultats per a la determinació de la longitud del separador F-401.

De (mm)	558,000
h1 (mm)	21,000
h2 (mm)	105,243
L fons (mm)	132,243
L cap (mm)	132,243
L separador (m)	2,360

- Determinació del pes de la columna

Duent a terme el procediment descrit a l'apartat 11.1.1.2 i utilitzant les corresponents equacions s'han obtingut els resultats següents.

Taula 11.9.8. Resultats pel volum dels elements constituents de del separador F-401.

Volum Tori esfèric (m3)	0,001
Volum cilindre (m3)	0,022
V material (m3)	0,024
V total columna (m3)	0,517

Taula 11.9.9. Resultats per a la determinació del pes del separador F-401.

Densitat material (Kg/m3)	7960,000
Densitat líquid (Kg/m3)	837,000
Densitat aigua (Kg/m3)	999,200
P cilindre (Kg)	173,598
P cap/fons (Kg)	7,064
P columna buida (Kg)	187,726
P líquid (Kg)	367,886
P aigua (Kg)	626,904
P total (Kg)	555,612

- Càlcul del gruix de l'aïllant

L'aïllant utilitzat ha estat llana de roca de 100 Kg/m3 de densitat recobert amb una capa d'alumini. El càlcul de l'espessor òptim ha utilitzar segons les temperatures de treball s'ha realitzat a través d'un programa de càlcul de gruixos d'aïllament anomenat Calorcol de la mateixa manera que les columnes de destil·lació.

Taula 11.9.10. Característiques de l'aïllament utilitzat pel separador F-401.

Aïllant	Llana de roca
Densitat (Kg/m3)	100
k material (W/K·m)	0,034

T interior (°C)	15,000
T Sup. aïllament (°C)	0
T mín. ambient (°C)	0
Material Sup. exterior	Alumini
Material Sup. interior	AISI 316L
Gruix òptim (cm)	4

11.9.2. Disseny del separador de fases F-501

El separador de fases F-501 es troba situat a l'àrea 500 i es basa en una pre-separació del metanol i format de metil de l'aigua i l'àcid fòrmic, amb l'objectiu d'evitar la re esterificació de l'àcid fòrmic, el qual reacciona amb el metanol format. Si es produís aquesta re esterificació, la reacció es revertiria i es desplaçaria cap als reactius, fet que donaria una significativa disminució en la producció del producte desitjat, l'àcid fòrmic. Les condicions d'operació d'aquest separador per aconseguir la separació desitjada són a 90 °C i 2 atmosfera de pressió. La figura següent mostra un esquema general d'aquest tipus de separadors.

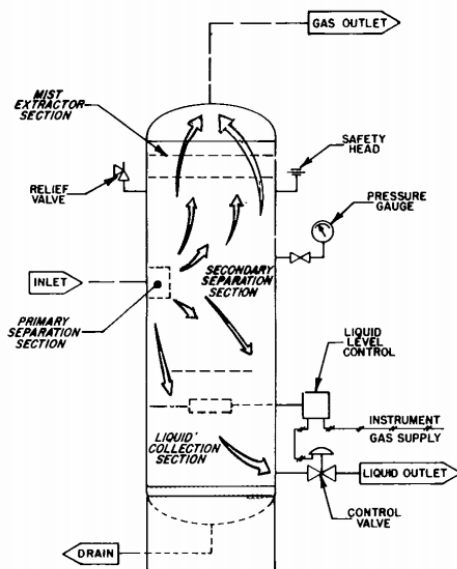


Figura 11.9.4. Esquema separador de fases vertical, F-501.

Tot seguit es mostren els resultats obtinguts en la separació, i les respectives composicions del corrent d'entrada al separador i dels dos corrents de sortida:

Taula 11.9.11. Resultats del separador F-501 amb el simulador Aspen Hysys.

Propietat	Aliment	Destil·lat	Residu
Fracció vapor	0,290	1,000	0,000
Temperatura (°C)	90,000	90,000	90,000
Pressió (kPa)	202,650	202,650	202,650
Cabal molar(Kmol/h)	2107,010	617,300	1490,000

Cabal màssic (Kg/h)	69651,820	27496,000	42160,130
Entalpia molar (KJ/Kg)	-3,006E+05	-2,936E+05	-3,035E+05
Cabal de calor (KJ/h)	-6,333E+08	-1,812E+08	-4,521E+08
Composicions màssiques			
Metanol	0,124	0,139	0,115
Formiat de metil	0,425	0,739	0,220
Monòxid de carboni	0,000	0,000	0,000
Aigua	0,281	0,094	0,404
Àcid fòrmic	0,169	0,028	0,261

Pel càlcul de les dimensions de l'equip, alçada i diàmetre s'ha seguit el mateix procediment que en l'apartat anterior obtenint els següents resultats utilitzant un temps de residència de 5 minuts, també com en el cas anterior.

Taula 11.9.12. Resultats pel càlcul del diàmetre del separador F-501.

X	0,088
k	0,420
Amin (ft ²)	11,955
D min (inch)	48,000
V (ft ³)	131,933
hL (inch)	132,480
hv (inch)	66,000
H total (inch)	198,480
H total/D	4,135

S'ha sobredimensionat l'equip en un 20%, per tant l'alçada i el diàmetre del cos cilíndric són els següents:

Alçada= 6,048 m

Diàmetre= 1,463

11.9.2.1. Disseny mecànic del separador

Per començar s'ha de determinar el material del que estarà fet el separador de fases. S'ha escollit treballar amb acer inoxidable 316 L donades les condicions d'operació, amb una tolerància a la corrosió de 4 mm pels 20 anys de vida útil de l'equip.

- Determinació del gruix del cos cilíndric i del cap i fons tori esfèrics

S'ha escollit un capçal i fons torisfèric del tipus Kloppe, el gruix dels quals s'ha calculat utilitzant el codi ASME, seguint el procediment descrit al manual de càlcul de la mateixa manera que en les columnes de destil·lació. Pel gruix del cos cilíndric s'ha seguit el mateix procediment. Tot seguit es mostren els resultats obtinguts:

Taula 11.9.13. Resultats per a la determinació del gruix de l'element cilíndric i del cap i fons tori esfèrics per al separador F-501.

	Cos cilíndric	Cap/fons tori esfèrics
P disseny (psi)	41,713	41,713
T disseny (°C)	105,000	105,000
S	15700,000	15700,000
E	0,850	1
C1 (m)	0,004	0,004
C2 (inch)	0	0,012
t (m)	0,006	0,007
t arrodonit (mm)	8	8

El gruix obtingut d'AISI 316L per al cos cilíndric s'ha calculat mitjançant el procediment de l'apartat 1.1.1.2 del manual de càlcul. Aquest s'arrodoneix per a sobre dimensionar l'equip fins a 8 mm.

El gruix obtingut d'AISI 316L per al cap i cos tori esfèrics s'ha calculat mitjançant el procediment de l'apartat 1.1.1.2 del manual de càlcul. Aquest s'arrodoneix per a sobre dimensionar l'equip fins a 8 mm.

- Determinació de l'alçada del separador

Tot seguit es mostren els resultats obtinguts pel càlcul de l'alçada del separador de fases F-501 seguint el procediment descrit anteriorment.

Taula 11.9.14. Resultats per a la determinació de l'alçada del separador F-501.

De (mm)	1479,040
h1 (mm)	28,000
h2 (mm)	282,554
H fons (mm)	318,554
H cap (mm)	318,554
H columna (m)	6,685

- Determinació del pes del separador

Duent a terme el procediment descrit a l'apartat 11.1.12 i utilitzant les corresponents equacions s'han obtingut els resultats següents.

Taula 11.9.15. Resultats pel volum dels elements constituents del separador F-501.

Volum Tori esfèric (m3)	0,008
Volum cilindre (m3)	0,224
Volum material (m3)	0,240
Volum total columna (m3)	10,674

Taula 11.9.16. Resultats per a la determinació del pes del separador F-501.

Densitat material (Kg/m ³)	7960,000
Densitat líquid (Kg/m ³)	940,400
Densitat aigua (Kg/m ³)	999,200
P cilindre (Kg)	1779,874
P cap/fons (Kg)	66,889
P columna buida (Kg)	1913,652
P líquid (Kg)	8532,309
P aigua (Kg)	10979,458
P total (Kg)	10445,961

- Càlcul del gruix de l'aïllant

L'aïllant utilitzat ha estat llana de roca de 100 Kg/m³ de densitat, recobert amb una capa d'alumini. El càlcul de l'espessor òptim ha utilitzar segons les temperatures de treball s'ha realitzat a través d'un programa de càlcul de gruixos d'aïllament anomenat Calorcol de la mateixa manera que les columnes de destil·lació.

Taula 11.9.17. Característiques de l'aïllament utilitzat pel separador F-501.

Aïllant	Llana de roca
Densitat (Kg/m ³)	100
k material (W/K·m)	0,034
T interior (°C)	90,000
T Sup. aïllament (°C)	0
T mín. ambient (°C)	0
Material Sup. exterior	Alumini
Material Sup. interior	AISI 304L
Gruix òptim (cm)	16

11.10. Disseny de canonades

11.10.1. Càlcul del diàmetre nominal (1 fase)

El disseny de les canonades comença amb el disseny del diàmetre de cada canonada. Aquest ha de garantir una correcta circulació dels fluids, per aquest motiu, hi juguen un paper important els diferents paràmetres que s'han de tenir en compte com per exemple el cabal volumètric del fluid que hi circula i la pressió a la que ho fa. El cabal volumètric de cada línia es troba calculat a balanços de matèria i energia del sistema.

El primer pas és la suposició de la velocitat de circulació del fluid per la canonada, amb aquest objectiu es fixen uns valors, dins dels valors Standard de circulació de gasos i líquids.

Taula 11.10.1. Rangs representatius de les velocitats dels fluids.²

Tipus de fluid	Tipus de circulació	Velocitat
Líquid no viscos	Gravetat	0.15-0.30
	Aspiració	0.3-0.9
	Impulsió	1.2-3
	conducció	1.2-2.4
Gas	-	9-30
Vapor	-	9-15

Tot seguit, amb la següent equació es calcula el diàmetre interior de la canonada amb la velocitat suposada i corresponent a cada tipus de circulació. Cal recordar que és una aproximació i que la velocitat final serà la calculada a l'últim pas.

$$A(m^2) = \frac{Q(\frac{m^3}{s})}{v(\frac{m}{s})} = \frac{\pi}{4} \cdot D_i^2 \quad \text{Equació 11.1.1}$$

On

$Q(m^3/h)$ és cabal volumètric de fluid.

$V (m/s)$ és velocitat típica del fluid.

D_i és Diàmetre intern de la canonada.

Un cop s'obté el diàmetre (mm) aproximat de la canonada, s'escull un dels valors de diàmetres (Nominal Pipe Size) propers als valors trobats. Un cop es té el diàmetre, en funció de la pressió de disseny, el tipus de material utilitzat (que depèn entre d'altres de la composició del fluid que hi circula i de la seva temperatura), s'escull l'schedule que determinarà el gruix final de la canonada.

La pressió de disseny és aquella pressió major que la pressió a les condicions més severes de pressió i temperatura coincidents, externa o internament que s'espera en les condicions d'operació normal. Com a regla general, i aproximant les canonades a recipients sotmesos a pressió, s'escull la següent relació:

$$P_{\text{disseny}} = 1,1 \cdot P_{\text{operació}} \quad \text{Equació 11.1.2}$$

Pel cas de la temperatura de disseny, com a valor estàndard es pren la temperatura d'operació i se li sumen 15°C.

$$T_{\text{disseny}} = T_{\text{operació}} + 15^{\circ}\text{C} \quad \text{Equació 11.1.3}$$

² Dades extretes de Geankoplis, 2003.

La majoria de materials emprats en la fabricació de les canonades de la planta són acers inoxidables de diversos tipus, és per això que s'utilitzen les següents taules (en el cas del AISI 316L i AISI 304L) per a determinar l'scehdeule en funció de la Pdisseny i Tdisseny:

Taula 11.10.2. Màxima pressió admissible en funció del diàmetre nominal, i la temperatura a la qual circula el fluid, per al AISI304L.

Temperature (°C)		ALLOWABLE WORKING PRESSURE AT TEMPERATURE																															
		Allowable Working Pressure (MPa)																															
Size		Sch	WT	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	
DN	NPS	mm	lb	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	
10	1/2	1.315	1.85	25.4	25.4	25.4	23.9	22.4	21.1	20.8	20.4	20.2	19.7	19.3	18.9	18.5	18.4	17.6	16.5	14.3	11.8	9.4	7.5	6.1	5.0	3.9	2.9	2.1	1.6	1.2	0.9	0.7	0.5
15	3/4	1.915	2.54	35.4	35.4	35.4	32.9	31.4	30.1	29.8	29.4	29.2	28.7	28.3	27.9	27.5	27.4	26.6	24.5	22.0	19.6	17.1	15.1	13.1	11.1	9.1	7.1	5.1	3.9	2.9	2.1	1.6	1.2
20	1	2.375	3.20	53.2	53.2	53.2	50.7	47.7	46.2	45.9	45.6	45.3	44.9	44.6	44.2	43.9	43.6	42.8	40.7	38.2	35.8	33.4	31.4	29.4	27.4	25.4	23.4	21.4	19.4	17.4	15.4	13.4	11.4
25	1 1/2	3.068	3.91	88.9	88.9	88.9	86.4	83.4	81.9	81.6	81.3	81.0	80.6	80.3	79.9	79.6	79.3	78.5	76.4	73.9	71.5	69.1	66.7	64.3	61.9	59.5	57.1	54.7	52.3	49.9	47.5	45.1	42.7
30	2	3.549	4.57	101.6	101.6	101.6	99.1	96.1	94.6	94.3	94.0	93.7	93.3	93.0	92.6	92.3	92.0	91.2	89.1	86.6	84.2	81.8	79.4	77.0	74.6	72.2	69.8	67.4	65.0	62.6	60.2	57.8	55.4
35	2 1/2	4.191	5.41	127.0	127.0	127.0	124.5	121.5	120.0	119.7	119.4	119.1	118.7	118.4	118.0	117.7	117.4	116.6	114.5	112.0	109.6	107.2	104.8	102.4	100.0	97.6	95.2	92.8	90.4	88.0	85.6	83.2	80.8
40	3	4.763	6.35	152.4	152.4	152.4	149.9	146.9	145.4	145.1	144.8	144.5	144.1	143.8	143.4	143.1	142.8	142.0	139.9	137.4	135.0	132.6	130.2	127.8	125.4	123.0	120.6	118.2	115.8	113.4	111.0	108.6	106.2
45	3 1/2	5.314	6.88	177.8	177.8	177.8	175.3	172.3	170.8	170.5	170.2	169.9	169.5	169.2	168.8	168.5	168.2	167.4	165.3	162.8	160.4	158.0	155.6	153.2	150.8	148.4	146.0	143.6	141.2	138.8	136.4	134.0	131.6
50	4	5.915	7.62	203.2	203.2	203.2	200.7	197.7	196.2	195.9	195.6	195.3	194.9	194.6	194.2	193.9	193.6	192.8	190.7	188.2	185.8	183.4	181.0	178.6	176.2	173.8	171.4	169.0	166.6	164.2	161.8	159.4	157.0
55	4 1/2	6.467	8.25	228.6	228.6	228.6	226.1	223.1	221.6	221.3	221.0	220.7	220.3	220.0	219.6	219.3	219.0	218.2	216.1	213.6	211.2	208.8	206.4	204.0	201.6	199.2	196.8	194.4	192.0	189.6	187.2	184.8	182.4
60	5	7.018	9.14	254.0	254.0	254.0	251.5	248.5	247.0	246.7	246.4	246.1	245.7	245.4	245.0	244.7	244.4	243.6	241.5	239.0	236.6	234.2	231.8	229.4	227.0	224.6	222.2	219.8	217.4	215.0	212.6	210.2	207.8
65	5 1/2	7.620	10.30	279.4	279.4	279.4	276.9	273.9	272.4	272.1	271.8	271.5	271.1	270.8	270.4	270.1	269.8	269.0	266.9	264.4	262.0	259.6	257.2	254.8	252.4	250.0	247.6	245.2	242.8	240.4	238.0	235.6	233.2
70	6	8.128	11.93	304.8	304.8	304.8	302.3	300.3	298.8	298.5	298.2	297.9	297.5	297.2	296.8	296.5	296.2	295.4	293.3	290.8	288.4	286.0	283.6	281.2	278.8	276.4	274.0	271.6	269.2	266.8	264.4	262.0	259.6
75	6 1/2	8.636	13.27	330.3	330.3	330.3	327.8	325.8	324.3	324.0	323.7	323.4	323.0	322.7	322.3	322.0	321.7	320.9	318.8	316.3	313.9	311.5	309.1	306.7	304.3	301.9	299.5	297.1	294.7	292.3	289.9	287.5	285.1
80	7	9.144	15.24	355.9	355.9	355.9	353.4	351.4	350.9	350.6	350.3	350.0	349.6	349.3	349.0	348.7	348.4	347.6	345.5	343.0	340.6	338.2	335.8	333.4	331.0	328.6	326.2	323.8	321.4	319.0	316.6	314.2	311.8
85	7 1/2	9.652	16.78	381.5	381.5	381.5	379.0	377.0	376.5	376.2	375.9	375.6	375.2	374.9	374.6	374.3	374.0	373.2	371.1	368.6	366.2	363.8	361.4	359.0	356.6	354.2	351.8	349.4	347.0	344.6	342.2	339.8	337.4
90	8	10.160	18.89	407.1	407.1	407.1	404.6	402.6	402.1	401.8	401.5	401.2	400.8	400.5	400.2	399.9	399.6	398.8	396.7	394.2	391.8	389.4	387.0	384.6	382.2	379.8	377.4	375.0	372.6	370.2	367.8	365.4	363.0
95	8 1/2	10.668	21.02	432.7	432.7	432.7	430.2	428.2	427.7	427.4	427.1	426.8	426.4	426.1	425.8	425.5	425.2	424.4	422.3	419.8	417.4	415.0	412.6	410.2	407.8	405.4	403.0	400.6	398.2	395.8	393.4	391.0	388.6
100	9	11.176	23.15	458.3	458.3	458.3	455.8	453.8	453.3	453.0	452.7	452.4	452.0	451.7	451.4	451.1	450.8	449.0	446.5	444.1	441.7	439.3	436.9	434.5	432.1	429.7	427.3	424.9	422.5	420.1	417.7	415.3	412.9
105	9 1/2	11.684	25.40	483.9	483.9	483.9	481.4	479.4	478.9	478.6	478.3	478.0	477.6	477.3	477.0	476.7	476.4	474.6	472.1	469.7	467.3	464.9	462.5	460.1	457.7	455.3	452.9	450.5	448.1	445.7	443.3	440.9	438.5
110	10	12.192	27.62	509.5	509.5	509.5	507.0	505.0	504.5	504.2	503.9	503.6	503.2	502.9	502.6	502.3	502.0	500.2	497.7	495.3	492.9	490.5	488.1	485.7	483.3	480.9	478.5	476.1	473.7	471.3	468.9	466.5	464.1
115	10 1/2	12.699	30.00	535.1	535.1	535.1	532.6	530.6	530.1	529.8	529.5	529.2	528.8	528.5	528.2	527.9	527.6	525.8	523.3	520.9	518.5	516.1	513.7	511.3	508.9	506.5	504.1	501.7	499.3	496.9	494.5	492.1	489.7
120	11	13.207	32.29	560.7	560.7	560.7	558.2	556.2	555.7	555.4	555.1	554.8	554.4	554.1	553.8	553.5	553.2	551.4	548.9	546.5	544.1	541.7	539.3	536.9	534.5	532.1	529.7	527.3	524.9	522.5	520.1	517.7	515.3
125	11 1/2	13.715	34.64	586.3	586.3	586.3	583.8	581.8	581.3	581.0	580.7	580.4	580.0	579.7	579.4	579.1	578.8	577.0	574.5	572.1	569.7	567.3	564.9	562.5	560.1	557.7	555.3	552.9	550.5	548.1	545.7	543.3	540.9
130	12	14.223	36.93	611.9	611.9	611.9	609.4	607.4	606.9	606.6	606.3	606.0	605.6	605.3	605.0	604.7	604.4	602.6	600.1	597.7	595.3	592.9	590.5	588.1	585.7	583.3	580.9	578.5	576.1	573.7	571.3	568.9	566.5
135	12 1/2	14.731	39.27	637.5	637.5	637.5	635.0	633.0	632.5	632.2	631.9	631.6	631.2	630.9	630.6	630.3	630.0	628.2	625.7	623.3	620.9	618.5	616.1	613.7	611.3	608.9	606.5	604.1	601.7	599.3	596.9	594.5	592.1
140	13	15.239	41.60	663.1	663.1	663.1	660.6	658.6	658.1	657.8	657.5	657.2	656.8	656.5	656.2	655.9	655.6	653.8	651.3	648.9	646.5	644.1	641.7	639.3	636.9	634.5	632.1	629.7	627.3	624.9	622.5	620.1	617.7
145	13 1/2	15.747	43.94	688.7	688.7	688.7	686.2	684.2	683.7	683.4	683.1	682.8	682.4	682.1	681.8	681.5	681.2	679.4	676.9	674.5	672.1	669.7	667.3	664.9	662.5	660.1	657.7	655.3	652.9	650.5	648.1	645.7	643.3
150	14	16.255	46.27	714.3	714.3	714.3	711.8	709.8	709.3	709.0	708.7	708.4	708.0	707.7	707.4	707.1	706.8	705.0	702.5	700.1	697.7	695.3	692.9	690.5	688.1	685.7	683.3	680.9	678.5	676.1	673.7	671.3	668.9
155	14 1/2	16.763	48.61	739.9	739.9	739.9	737.4	735.4	734.9	734.6	734.3	734.0	733.6	733.3	733.0	732.7	732.4	730.6	728.1	725.7	723.3	720.9	718.5	716.1	713.7	711.3	708.9	706.5	704.1	701.7	699.3	696.9	694.5
160	15	17.271	50.94	765.5	765.5	765.5	763.0	761.0	760.5	760.2	759.9	759.6	759.2	758.9	758.6	758.3	758.0	756.2	753.7	751.3	748.9	746.5	744.1	741.7	739.3	736.9	734.5	732.1	729.7	727.3	724.9	722.5	720.1
165	15 1/2	17.779	53.28	791.1	791.1	791.1	788.6	786.6	786.1	785.8	785.5	785.2	784.8	784.5	784.2	783.9	783.6	781.8	779.3	776.9	774.5	772.1	769.7	767.3	764.9	762.5	760.1	757.7	755.3	752.9	750.5	748.1	745.7
170	16	18.287	55.61	816.7	816.7	816.7	814.2	812.2	811.7	811.4	811.1	810.8	810.4	810.1	809.8	809.5	809.2	807.4	804.9	802.5	800.1	797.7	795.3	792.9	790.5	788.1	785.7	783.3	780.9	778.5	776.1	773.7	771.3
175	16 1/2	18.795	57.95	842.3	842.3	842.3	839.8	837.8	837.3	837.0	836.7	836.4	836.0	835.7	835.4	835.1	834.8	833.0	830.5	828.1	825.7	823.3	820.9	818.5	816.1	813.7	811.3	808.9	806.5	804.1	801.7	799.3	796.9
180	17	19.303	60.28	867.9	867.9	867.9	865.4	863.4	862.9	862.6	862.3	862.0	861.6	861.3	861.0	860.7	860.4	858.6	856.1	853.7	851.3	848.9	846.5	844.1	841.7	839.3	836.9	834.5	832.1	829.7	827.3	824.9	822.5
185	17 1/2	19.811	62.62	893.5	893.5	893.5	891.0	889.0	888.5	888.2	8																						

Taula 11.10.3. Màxima pressió admissible en funció del diàmetre nominal, i la temperatura a la qual circula el fluid, per al AISI304L.

ALLOWABLE WORKING PRESSURE AT TEMPERATURE																							
Temperature (°C)		50 100 150 200 250 300 350 400 450 500 550 600 650 700 750 800 850 900 950 1000																					
Design Strength (MPa)		115 115																					
Size		Allowable Working Pressure (MPa)																					
DN	NPS	mm	SCS No.	WT (mm)																			
10	½	17.15	100	1.05	21.1	21.1	21.1	20.0	18.9	18.0	17.8	17.3	17.1	16.9	16.5	16.2	15.4	13.4	11.0				
		17.15	400	2.31	30.7	30.7	30.7	29.1	27.5	26.2	25.7	25.1	24.9	24.6	24.0	23.5	22.4	19.5	16.0				
		17.15	800	3.20	44.9	44.9	44.9	42.5	40.2	38.2	37.5	36.7	36.3	35.9	35.1	34.3	32.8	28.5	23.4				
		17.15	1600	5.05	68.9	68.9	68.9	65.9	62.5	59.5	58.5	57.5	57.1	56.5	55.5	54.5	52.5	46.5	38.5				
15	¾	21.34	50	1.05	18.7	18.7	18.7	17.8	16.9	16.0	15.8	15.3	15.1	14.9	14.5	14.2	13.2	11.2	9.2				
		21.34	100	2.11	21.8	21.8	21.8	20.6	19.5	18.6	18.2	17.8	17.6	17.4	17.0	16.7	15.9	13.8	11.4				
		21.34	400	2.77	29.5	29.5	29.5	27.9	26.4	25.1	24.6	24.1	23.8	23.6	23.1	22.8	21.5	18.7	15.4				
		21.34	800	3.73	41.5	41.5	41.5	39.4	37.2	35.4	34.7	33.9	33.6	33.2	32.5	31.8	30.3	26.4	21.7				
20	1	26.67	50	1.05	13.2	13.2	13.2	12.5	11.8	11.2	11.0	10.8	10.6	10.5	10.3	10.1	9.8	8.4	6.9				
		26.67	100	2.11	17.1	17.1	17.1	16.2	15.3	14.6	14.3	14.0	13.8	13.7	13.4	13.1	12.5	10.9	8.9				
		26.67	400	2.67	23.9	23.9	23.9	22.7	21.4	20.4	20.0	19.5	19.3	19.1	18.7	18.3	17.5	15.2	12.5				
		26.67	800	3.91	33.8	33.8	33.8	32.1	30.2	28.6	28.2	27.7	27.4	27.1	26.5	25.9	24.7	21.5	17.7				
25	1 ½	33.40	50	1.05	10.4	10.4	10.4	9.8	9.3	8.9	8.7	8.5	8.4	8.3	8.1	8.0	7.8	6.8	5.4				
		33.40	100	2.77	18.0	18.0	18.0	17.1	16.1	15.3	15.0	14.7	14.6	14.4	14.1	13.8	13.1	11.4	9.4				
		33.40	400	3.36	22.3	22.3	22.3	21.2	20.0	19.0	18.7	18.3	18.1	17.9	17.5	17.1	16.3	14.2	11.7				
		33.40	800	4.95	31.1	31.1	31.1	29.5	27.9	26.5	26.0	25.4	25.2	24.9	24.4	23.8	22.7	19.8	16.3				
30	2	42.16	50	1.05	8.2	8.2	8.2	7.7	7.3	6.9	6.8	6.7	6.6	6.5	6.4	6.2	6.0	5.2	4.3				
		42.16	100	2.77	14.0	14.0	14.0	13.3	12.6	12.0	11.7	11.5	11.3	11.2	11.0	10.7	10.2	8.9	7.3				
		42.16	400	3.58	18.3	18.3	18.3	17.4	16.4	15.6	15.3	15.0	14.8	14.7	14.4	14.0	13.4	11.6	9.6				
		42.16	800	4.85	25.7	25.7	25.7	24.4	23.1	21.9	21.5	21.0	20.8	20.6	20.1	19.7	18.8	16.3	13.4				
40	2 ½	48.26	50	1.05	7.1	7.1	7.1	6.7	6.4	6.0	5.9	5.8	5.7	5.7	5.6	5.4	5.2	4.5	3.7				
		48.26	100	2.77	12.2	12.2	12.2	11.5	10.9	10.4	10.2	9.9	9.8	9.7	9.5	9.3	8.9	7.7	6.3				
		48.26	400	3.66	16.4	16.4	16.4	15.6	14.7	14.0	13.7	13.4	13.3	13.2	12.9	12.6	12.0	10.4	8.6				
		48.26	800	5.06	23.3	23.3	23.3	22.1	20.9	19.9	19.5	19.1	18.9	18.7	18.3	17.9	17.0	14.8	12.2				
50	3	60.33	50	1.05	5.8	5.8	5.8	5.3	5.1	4.8	4.7	4.6	4.6	4.5	4.4	4.3	4.1	3.8	3.3				
		60.33	100	2.77	9.8	9.8	9.8	9.1	8.6	8.2	8.0	7.9	7.8	7.7	7.5	7.4	7.0	6.1	5.0				
		60.33	400	3.91	13.8	13.8	13.8	13.1	12.4	11.8	11.5	11.3	11.2	11.1	10.8	10.6	10.1	8.8	7.2				
		60.33	800	5.54	20.1	20.1	20.1	19.0	18.0	17.1	16.6	16.4	16.3	16.1	15.7	15.4	14.7	12.8	10.5				
65	3 ½	73.03	50	2.11	8.0	8.0	8.0	7.7	7.3	6.9	6.8	6.7	6.6	6.5	6.4	6.2	6.0	5.2	4.3				
		73.03	100	3.05	12.2	12.2	12.2	11.5	10.9	10.4	10.2	9.9	9.8	9.7	9.5	9.3	8.9	7.7	6.3				
		73.03	400	5.18	15.2	15.2	15.2	14.4	13.6	12.9	12.7	12.4	12.3	12.1	11.9	11.6	11.1	9.6	7.9				
		73.03	800	7.01	21.1	21.1	21.1	20.0	18.9	18.0	17.6	17.2	17.1	16.9	16.5	16.1	15.4	13.4	11.0				
80	4	88.90	50	2.11	4.9	4.9	4.9	4.6	4.4	4.2	4.1	4.0	3.9	3.9	3.8	3.7	3.6	3.1	2.5				
		88.90	100	3.05	7.1	7.1	7.1	6.7	6.4	6.1	5.9	5.8	5.8	5.7	5.6	5.4	5.2	4.5	3.7				
		88.90	400	5.49	13.1	13.1	13.1	12.5	11.8	11.2	11.0	10.7	10.6	10.5	10.3	10.1	9.8	8.3	6.9				
		88.90	800	7.82	18.6	18.6	18.6	17.7	16.7	15.9	15.6	15.2	15.1	14.9	14.6	14.3	13.6	11.8	9.7				
90	4 ½	101.60	50	2.11	4.3	4.3	4.3	4.0	3.8	3.6	3.6	3.5	3.4	3.4	3.3	3.3	3.1	2.7	2.2				
		101.60	100	3.05	6.2	6.2	6.2	5.9	5.6	5.3	5.2	5.1	5.0	5.0	4.9	4.7	4.5	3.9	3.2				
		101.60	400	5.74	12.0	12.0	12.0	11.3	10.7	10.2	10.0	9.8	9.7	9.6	9.4	9.2	8.7	7.6	6.2				
		101.60	800	8.08	17.2	17.2	17.2	16.3	15.4	14.7	14.4	14.1	13.9	13.8	13.5	13.2	12.8	10.9	9.0				
100	5	114.30	50	2.11	3.8	3.8	3.8	3.6	3.4	3.2	3.2	3.1	3.1	3.0	3.0	2.9	2.8	2.4	2.0				
		114.30	100	3.05	5.5	5.5	5.5	5.2	4.9	4.7	4.6	4.5	4.4	4.4	4.3	4.2	4.0	3.5	2.9				
		114.30	400	6.02	11.1	11.1	11.1	10.5	10.0	9.5	9.3	9.1	9.0	8.9	8.7	8.5	8.1	7.1	5.8				
		114.30	800	8.56	16.1	16.1	16.1	15.3	14.4	13.7	13.5	13.2	13.0	12.9	12.6	12.3	11.8	10.2	8.4				
125	6	141.30	50	2.77	4.0	4.0	4.0	3.8	3.6	3.4	3.4	3.3	3.2	3.2	3.1	3.1	2.9	2.5	2.1				
		141.30	100	3.40	4.9	4.9	4.9	4.7	4.4	4.2	4.1	4.0	4.0	3.9	3.8	3.6	3.1	2.6					
		141.30	400	6.55	9.7	9.7	9.7	9.2	8.7	8.3	8.1	7.9	7.9	7.8	7.6	7.4	7.1	6.2	5.1				
		141.30	800	9.53	14.4	14.4	14.4	13.7	12.9	12.3	12.0	11.8	11.7	11.5	11.3	11.0	10.5	9.2	7.5				
150	8	168.28	50	2.77	3.4	3.4	3.4	3.2	3.0	2.8	2.8	2.7	2.7	2.7	2.6	2.6	2.5	2.1	1.8				
		168.28	100	3.40	4.1	4.1	4.1	3.9	3.7	3.5	3.5	3.4	3.3	3.3	3.2	3.2	3.0	2.6	2.2				
		168.28	400	7.11	8.8	8.8	8.8	8.4	7.9	7.5	7.4	7.2	7.1	7.1	6.9	6.8	6.4	5.6	4.6				
		168.28	800	10.97	13.9	13.9	13.9	13.2	12.5	11.9	11.6	11.4	11.3	11.1	10.9	10.6	10.2	8.8	7.3				
200	10	219.08	50	2.77	2.6	2.6	2.6	2.4	2.3	2.2	2.1	2.1	2.1	2.1	2.0	2.0	1.9	1.6	1.3				
		219.08	100	3.79	3.5	3.5	3.5	3.3	3.1	3.0	2.9	2.9	2.8	2.8	2.7	2.7	2.6	2.2	1.8				
		219.08	400	8.18	7.8	7.8	7.8	7.4	7.0	6.6	6.5	6.3	6.3	6.2	6.1	5.9	5.7	4.9	4.1				
		219.08	800	12.70	12.3	12.3	12.3	11.6	11.0	10.5	10.3	10.0	9.9	9.8	9.6	9.4	9.0	7.8	6.4				
250	12	273.05	50	3.40	2.5	2.5	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	2.1	2.0	2.0	2.0	1.9	1.9	1.6	1.3				
		273.05	100	4.19	3.1	3.1	3.1	3.0	2.8	2.7	2.6	2.6	2.5	2.5	2.4	2.4	2.3	2.0	1.6				
		273.05	400	9.27	7.0	7.0	7.0	6.7	6.3	6.0	5.9	5.8	5.7	5.6	5.5	5.4	5.1	4.5	3.7				
		273.05	800	12.70	9.8	9.8	9.8	9.2	8.7	8.3	8.1	8.0	7.9	7.8	7.6	7.5	7.1	6.2	5.1				
300	14	323.85	50	3.98	2.5	2.5	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	2.1	2.0	2.0	2.0	1.9	1.8	1.6	1.3				
		323.85	100	4.57	2.9	2.9	2.9	2.7	2.6	2.5	2.4	2.4	2.3	2.3	2.3	2.2	2.1	1.8	1.5				
		323.85	400	9.53	6.1	6.1	6.1	5.8	5.4	5.2	5.1	5.0	4.9	4.9	4.8	4.7	4.4	3.9	3.2				
		323.85	800	12.70	8.2	8.2	8.2	7.7	7.3	7.0	6.8	6.7	6.6	6.5	6.4	6.3	6.0	5.2	4.3				
350	16	352.60	50	3.98	2.3	2.3	2.3	2.2	2.0	1.9	1.8	1.8	1.8	1.8	1.7	1.7	1.7	1.4	1.2				
		352.60	100	4.78	2.7	2.7	2.7	2.6	2.5	2.3	2.3	2.2	2.2	2.2	2.1	2.1	2.0	1.7	1.4				
		352.60	400	9.53	5.5	5.5	5.5	5.2	4.9	4.7	4.6	4.5	4.5	4.4	4.3	4.2	4.0	3.5	2.9				
		352.60	800	12.70	7.4	7.4	7.4	7.0	6.6	6.3	6.2	6.1	6.0	5.9	5.8	5.7	5.4	4.7	3.9				
400	18	406.40	50	4.19	2.1	2.1	2.1	2.0	1.9	1.8	1.7	1.7	1.7	1.7	1.6	1.6	1.5	1.3	1.1				
		406.40	100	4.78	2.4	2.4	2.4	2.3	2.1	2.0	2.0	2.0	1.9	1.9	1.9	1.8	1.7	1.5	1.2				
		406.40	400	9.53	4.8	4.8	4.8	4.6	4.3	4.1	4.0	3.9	3										

Taula 11.10.4.- Màxima pressió admissible en funció del diàmetre nominal, i la temperatura a la qual circula el fluid, per al AIS316L.

Temperature (°C)		ALLOWABLE WORKING PRESSURE AT TEMPERATURE																																		
		80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680	700			
Design Strength (MPa)		130	135	140	145	150	155	160	165	170	175	180	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245	250	255	260	265	270	275	280	285	290	295	
Dia	NPS	mm	Sch	Wt (mm)	Allowable Working Pressure (MPa)																															
					10	14	17.5	20	23	26	29	32	35	38	41	44	47	50	53	56	59	62	65	68	71	74	77	80	83	86	89	92	95	98	101	
15	1/4	21.34	10S	1.85	25.4	25.4	25.4	24.5	23.0	21.9	21.5	21.0	20.6	20.4	20.2	19.9	19.7	19.5	19.3	19.1	18.9	18.7	18.5	18.3	18.1	17.9	17.7	17.5	17.3	17.1	16.9	16.7	16.5	16.3	16.1	
		21.34	10S	2.31	36.9	36.9	36.9	35.5	33.4	31.8	31.3	30.5	29.9	29.7	29.4	29.3	29.0	28.8	28.6	28.4	28.2	28.0	27.8	27.6	27.4	27.2	27.0	26.8	26.6	26.4	26.2	26.0	25.8	25.6	25.4	
		21.34	10S	3.32	53.9	53.9	53.9	51.5	48.4	46.4	45.7	44.5	43.7	43.3	42.9	42.1	41.6	41.4	41.4	40.9	40.7	40.3	39.8	39.4	39.1	38.8	38.5	38.2	37.9	37.6	37.3	37.0	36.7	36.4	36.1	
		21.34	10S	1.85	20.0	20.0	20.0	19.3	18.1	17.3	17.0	16.5	16.3	16.1	16.0	15.7	15.5	15.4	15.2	15.0	14.8	14.6	14.4	14.2	14.0	13.8	13.6	13.4	13.2	13.0	12.8	12.6	12.4	12.2	12.0	
20	1/4	21.34	10S	2.77	36.1	36.1	36.1	35.2	33.2	32.5	32.2	31.6	31.2	31.0	30.8	30.5	30.3	30.1	30.1	29.8	29.6	29.4	29.2	29.0	28.8	28.6	28.4	28.2	28.0	27.8	27.6	27.4	27.2	27.0	26.8	
		21.34	10S	3.77	46.4	46.4	46.4	44.4	41.3	40.0	39.2	38.4	37.7	37.3	36.9	36.6	36.3	36.1	35.9	35.7	35.5	35.3	35.1	34.9	34.7	34.5	34.3	34.1	33.9	33.7	33.5	33.3	33.1	32.9		
		26.67	10S	1.85	15.8	15.8	15.8	15.0	14.3	13.6	13.4	13.3	13.2	13.1	13.0	12.9	12.8	12.7	12.6	12.5	12.4	12.3	12.2	12.1	12.0	11.9	11.8	11.7	11.6	11.5	11.4	11.3	11.2	11.1	11.0	
		26.67	10S	2.11	20.5	20.5	20.5	19.8	18.6	17.7	17.4	17.0	16.7	16.5	16.4	16.1	15.9	15.8	15.6	15.5	15.3	15.2	15.1	15.0	14.9	14.8	14.7	14.6	14.5	14.4	14.3	14.2	14.1	14.0		
25	1/2	26.67	10S	3.91	40.6	40.6	40.6	39.1	36.8	35.0	34.4	33.6	33.0	32.7	32.4	31.8	31.5	31.2	31.2	30.3	29.0	28.8	28.6	28.4	28.1	27.8	27.5	27.2	26.9	26.6	26.3	26.0	25.7	25.4		
		30.40	10S	1.85	12.5	12.5	12.5	12.0	11.3	10.8	10.6	10.3	10.1	10.0	9.9	9.8	9.7	9.6	9.6	9.3	8.8	7.3	5.9	4.5	3.5	2.7	2.1	1.6	1.2	0.9	0.7	0.5	0.4	0.3		
		30.40	10S	2.77	21.6	21.6	21.6	20.8	19.6	18.6	18.3	17.8	17.5	17.4	17.2	16.9	16.7	16.6	16.6	16.1	14.9	12.7	10.2	7.8	6.1	4.7	3.7	2.8	2.1	1.6	1.2	0.9	0.7	0.5		
		30.40	10S	3.96	26.8	26.8	26.8	25.6	24.3	23.1	22.7	22.2	21.8	21.6	21.4	21.0	20.8	20.6	20.6	20.0	18.5	15.7	12.8	9.7	7.6	5.8	4.5	3.4	2.6	2.0	1.5	1.1	0.8	0.6		
32	1 1/4	42.10	10S	4.85	37.4	37.4	37.4	35.6	33.8	32.2	31.7	30.9	30.3	30.0	29.6	29.2	29.0	28.7	28.4	27.9	27.2	26.5	25.7	25.0	24.3	23.6	22.9	22.2	21.5	20.8	20.1	19.4	18.7			
		42.10	10S	1.85	9.8	9.8	9.8	9.4	8.9	8.4	8.3	8.1	7.9	7.9	7.8	7.7	7.6	7.5	7.5	7.3	6.7	5.7	4.8	3.5	2.8	2.1	1.6	1.2	0.9	0.7	0.5	0.4	0.3			
		42.10	10S	2.77	19.8	19.8	19.8	19.2	18.2	17.5	17.2	16.8	16.5	16.3	16.2	16.1	15.9	15.8	15.7	15.5	14.8	13.6	11.4	8.9	7.1	5.4	4.1	3.2	2.4	1.8	1.3	0.9	0.7			
		42.10	10S	3.96	22.0	22.0	22.0	21.2	19.9	19.0	18.7	18.2	17.9	17.7	17.6	17.2	17.1	16.9	16.8	16.4	15.2	12.9	10.4	8.0	6.2	4.8	3.6	2.7	2.0	1.5	1.1	0.8	0.6			
40	1 1/2	48.20	10S	4.85	30.9	30.9	30.9	29.8	28.0	26.6	26.2	25.5	25.1	24.6	24.6	24.2	24.0	23.7	23.4	23.1	22.7	22.1	21.5	20.9	20.3	19.6	18.9	18.2	17.5	16.8	16.1	15.4	14.7			
		48.20	10S	1.85	8.5	8.5	8.5	8.2	7.7	7.3	7.2	7.0	6.9	6.8	6.8	6.7	6.6	6.5	6.5	6.4	5.9	5.0	4.1	3.1	2.4	1.9	1.4	1.0	0.7	0.5	0.4	0.3	0.2			
		48.20	10S	2.77	14.8	14.8	14.8	14.1	13.2	12.6	12.4	12.1	11.8	11.7	11.6	11.4	11.3	11.2	11.2	10.9	10.0	8.8	6.9	5.3	4.1	3.2	2.4	1.8	1.3	0.9	0.7	0.5	0.4	0.3		
		48.20	10S	3.96	19.7	19.7	19.7	19.0	17.9	17.0	16.7	16.3	16.0	15.9	15.7	15.4	15.3	15.2	15.2	14.7	13.6	11.8	9.3	7.1	5.6	4.3	3.3	2.5	1.9	1.4	1.0	0.7	0.5			
50	2	60.30	10S	1.85	6.8	6.8	6.8	6.5	6.1	5.8	5.7	5.6	5.5	5.4	5.4	5.3	5.3	5.2	5.2	5.1	4.7	4.0	3.3	2.5	1.9	1.5	1.1	0.8	0.6	0.4	0.3	0.2	0.1			
		60.30	10S	2.77	11.8	11.8	11.8	11.1	10.5	10.0	9.8	9.5	9.4	9.3	9.2	9.0	8.9	8.9	8.8	8.8	8.0	6.8	5.4	4.2	3.3	2.5	1.9	1.4	1.0	0.7	0.5	0.4	0.3			
		60.30	10S	3.91	16.8	16.8	16.8	16.0	15.0	14.3	14.1	13.7	13.5	13.3	13.2	13.0	12.9	12.7	12.7	12.4	11.4	9.7	7.8	6.0	4.7	3.6	2.7	2.0	1.5	1.1	0.8	0.6	0.4			
		60.30	10S	5.54	24.1	24.1	24.1	23.2	21.8	20.8	20.4	19.9	19.6	19.4	19.2	18.9	18.7	18.5	18.5	18.0	16.8	14.2	11.4	9.1	7.0	5.3	4.0	3.1	2.3	1.7	1.2	0.8	0.6			
65	2 1/2	73.00	10S	2.11	7.2	7.2	7.2	6.9	6.5	6.3	6.1	5.9	5.8	5.7	5.6	5.6	5.5	5.5	5.5	5.3	4.9	4.2	3.4	2.6	2.0	1.5	1.1	0.8	0.6	0.4	0.3	0.2	0.1			
		73.00	10S	3.05	10.5	10.5	10.5	10.1	9.5	9.0	8.9	8.8	8.7	8.6	8.5	8.4	8.3	8.2	8.1	8.0	7.8	7.2	6.1	4.9	3.8	3.0	2.3	1.7	1.2	0.8	0.6	0.4	0.3			
		73.00	10S	5.18	18.2	18.2	18.2	17.5	16.5	15.7	15.4	15.0	14.6	14.5	14.4	14.2	14.1	14.0	14.0	13.8	12.5	10.7	8.6	6.6	5.1	4.0	3.1	2.3	1.7	1.2	0.8	0.6	0.4			
		73.00	10S	7.01	25.3	25.3	25.3	24.4	23.9	21.8	21.5	20.9	20.5	20.4	20.2	19.8	19.6	19.4	19.4	18.9	17.4	14.9	11.9	9.2	7.2	5.5	4.2	3.2	2.4	1.8	1.2	0.8	0.6			
80	3	86.90	10S	2.11	5.9	5.9	5.9	5.6	5.3	5.0	4.8	4.7	4.7	4.6	4.5	4.5	4.5	4.5	4.4	4.0	3.4	2.8	2.1	1.5	1.1	0.8	0.6	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0				
		86.90	10S	3.05	8.5	8.5	8.5	8.2	7.7	7.4	7.2	7.1	6.9	6.8	6.7	6.6	6.6	6.6	6.6	6.4	5.9	5.0	4.1	3.1	2.4	1.9	1.4	1.0	0.7	0.5	0.4	0.3				
		86.90	10S	5.49	15.8	15.8	15.8	15.2	14.3	13.6	13.4	13.0	12.6	12.7	12.6	12.3	12.2	12.1	12.1	11.8	10.9	9.3	7.4	5.7	4.5	3.4	2.6	2.0	1.5	1.1	0.8	0.6	0.4			
		86.90	10S	7.62	23.4	23.4	23.4	21.6	20.3	19.3	18.0	16.5	15.2	14.0	12.8	11.7	10.5	12.2	12.1	12.2	11.7	10.5	8.4	6.3	4.9	3.7	2.8	2.1	1.5	1.1	0.8	0.6				
90	3 1/2	101.90	10S	2.11	5.1	5.1	5.1	4.9	4.6	4.4	4.3	4.2	4.1	4.1	4.0	4.0	3.9	3.9	3.8	3.5	3.0	2.4	1.9	1.4	1.1	0.8	0.6	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0				
		101.90	10S	3.05	7.4	7.4	7.4	7.2	6.7	6.4	6.3	6.2	6.0	6.0	5.9	5.8	5.8	5.7	5.7	5.5	5.1	4.4	3.5	2.7	2.1	1.6	1.2	0.8	0.6	0.4	0.3					
		101.90	10S	5.74	14.4	14.4	14.4	13.8	13.0	12.4	12.2	11.9	11.6	11.5	11.4	11.2	11.1	11.0	11.0	10.7	9.9	8.4	6.8	5.2	4.1	3.1	2.3	1.7	1.2	0.8	0.6	0.4				
		101.90	10S	8.06	20.8	20.8	20.8	19.9	18.7	17.8	17.5	17.1	16.6	16.6	16.2	16.2	16.0	15.9	15.9	15.4	14.2	12.1	9.7	7.5	5.8	4.5	3.4	2.6	2.0	1.5	1.1	0.8	0.6			
100	4	114.30	10S	2.11	4.5	4.5	4.5	4.4	4.1	3.9	3.8	3.7	3.7	3.6	3.6	3.5	3.5	3.5	3.5	3.4	3.1	2.7	2.1	1.6	1.3	1.0	0.7	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1				
		114.30	10S	3.05	6.8	6.8	6.8	6.4	6.0	5.7	5.6	5.5	5.4	5.3	5.2	5.1	5.1	5.1	5.1	4.9	4.5	3.9	3.1	2.4	1.9	1.4	1.0	0.7	0.5	0.4	0.3					
		114.30	10S	6.02	13.3	13.3	13.3	12.9	12.1	11.5	11.3	11.0	10.8	10.7	10.6	10.4	10.3	10.2	10.2	10.0	9.2	7.8	6.3	4.8	3.8	2.9	2.2	1.6	1.2	0.8	0.6	0.4				
		114.30	10S	8.96	19.4	19.4	19.4	18.7	17.5	16.7	16.4	16.0	15.7	15.6	15.4	15.1	15.0	14.9	14.8	14.4	13.3	11.4	9.1	7.0	5.5	4.2	3.2	2.4	1.8	1.2	0.8	0.6				
125	5	141.30	10S	2.77	4.8	4.8																														

Important - refer to the associated Notes to this table.

Taula 11.10.5. Màxima pressió admissible en funció del diàmetre nominal, i la temperatura a la qual circula el fluid, per al AISI316L.

		ALLOWABLE WORKING PRESSURE AT TEMPERATURE																			
Temperature (°C)																					
Design Strength (MPa)																					
		Allowable Working Pressure (MPa)																			
DN	NPS	mm	Wt	115	115	115	100	101	95	92	91	89	87	86	84	82	80	78	76	74	72
10	½	17.15	105	1.85	21.1	21.1	21.1	19.9	18.8	17.5	16.9	16.7	16.4	16.0	15.8	15.4	15.1	14.7	14.3	14.0	13.6
		17.15	400	2.31	30.7	30.7	30.7	28.9	27.0	25.4	24.6	24.3	23.8	23.2	22.0	22.4	21.9	21.4	20.8	20.5	20.0
		17.15	800	3.20	44.9	44.9	44.9	42.1	39.4	37.1	36.9	36.5	34.7	34.0	33.8	32.8	32.0	31.2	30.4	29.6	28.4
15	¾	21.34	105	1.85	18.7	18.7	18.7	15.7	14.7	13.8	13.4	13.2	12.9	12.8	12.5	12.2	11.8	11.3	11.1	10.8	10.5
		21.34	400	2.11	21.8	21.8	21.8	20.5	19.1	18.0	17.4	17.2	16.9	16.5	16.3	15.9	15.5	15.2	14.8	14.5	14.0
		21.34	800	2.77	29.5	29.5	29.5	27.7	25.9	24.3	23.6	23.3	22.8	22.3	22.0	21.5	21.0	20.5	20.0	19.5	19.0
20	1	21.34	105	1.85	15.3	15.3	15.3	12.4	11.8	10.9	10.5	10.4	10.3	10.0	9.8	9.8	9.4	9.3	8.9	8.7	8.3
		26.67	105	2.11	17.1	17.1	17.1	16.1	15.0	14.1	13.7	13.5	13.2	12.9	12.8	12.5	12.2	11.8	11.3	11.0	10.6
		26.67	400	2.87	23.9	23.9	23.9	22.5	21.0	19.8	19.1	18.9	18.5	18.1	17.9	17.5	17.0	16.6	16.2	15.8	15.4
		26.67	800	3.81	33.8	33.8	33.8	31.8	29.7	28.0	27.1	26.8	26.2	25.6	25.3	24.7	24.1	23.5	22.9	22.3	21.7
25	1 ¼	33.40	105	1.85	10.4	10.4	10.4	9.8	9.1	8.8	8.3	8.0	7.9	7.8	7.6	7.4	7.2	7.0	6.8	6.6	6.4
		33.40	400	2.77	18.0	18.0	18.0	16.9	15.8	14.9	14.4	14.2	13.9	13.8	13.5	13.1	12.8	12.5	12.2	11.9	11.6
		33.40	800	3.36	22.3	22.3	22.3	21.0	19.6	18.5	17.9	17.7	17.3	16.9	16.7	16.3	15.9	15.5	15.2	14.8	14.5
32	1 ½	42.16	105	1.85	8.2	8.2	8.2	7.7	7.2	6.7	6.5	6.5	6.3	6.2	6.1	6.0	5.8	5.7	5.5	5.3	5.1
		42.16	400	2.77	14.0	14.0	14.0	13.2	12.3	11.8	11.2	11.1	10.9	10.8	10.5	10.2	10.0	9.8	9.5	9.3	9.1
		42.16	800	3.58	18.3	18.3	18.3	17.2	16.1	15.2	14.7	14.5	14.2	13.9	13.7	13.4	13.1	12.8	12.4	12.2	12.0
40	1 ¾	42.16	105	1.85	7.1	7.1	7.1	6.7	6.2	5.9	5.7	5.6	5.5	5.4	5.3	5.2	5.1	4.9	4.8	4.6	4.4
		42.16	400	2.77	12.2	12.2	12.2	11.4	10.7	10.0	9.7	9.6	9.4	9.2	9.1	8.9	8.7	8.5	8.2	8.0	7.8
		42.16	800	3.80	16.4	16.4	16.4	15.4	14.4	13.8	13.2	13.0	12.7	12.4	12.3	12.0	11.7	11.4	11.2	11.0	10.8
50	2	60.33	105	1.85	5.8	5.8	5.8	5.3	5.0	4.7	4.5	4.5	4.4	4.3	4.2	4.1	4.0	3.9	3.8	3.6	3.4
		60.33	400	2.77	9.8	9.8	9.8	9.0	8.5	8.0	7.7	7.6	7.5	7.3	7.2	7.0	6.9	6.7	6.5	6.3	6.1
		60.33	800	3.81	13.8	13.8	13.8	13.0	12.1	11.4	11.1	10.9	10.7	10.5	10.3	10.1	9.9	9.6	9.4	9.2	9.0
65	2 ½	73.03	105	1.85	5.4	5.4	5.4	5.0	4.6	4.3	4.2	4.1	4.0	3.9	3.8	3.7	3.6	3.5	3.4	3.3	3.2
		73.03	400	3.05	8.7	8.7	8.7	8.2	7.7	7.2	7.0	6.9	6.8	6.6	6.5	6.4	6.2	6.1	5.9	5.7	5.5
		73.03	800	5.18	15.2	15.2	15.2	14.2	13.3	12.5	12.1	12.0	11.7	11.5	11.3	11.1	10.8	10.5	10.3	10.1	9.9
80	3	86.90	105	1.85	7.0	7.0	7.0	6.5	6.1	5.7	5.6	5.5	5.4	5.3	5.2	5.1	5.0	4.8	4.7	4.5	4.3
		86.90	400	3.49	13.1	13.1	13.1	12.3	11.5	10.9	10.5	10.4	10.2	9.9	9.8	9.6	9.4	9.1	8.9	8.7	8.5
		86.90	800	7.62	18.8	18.8	18.8	17.5	16.4	15.4	14.9	14.6	14.4	14.1	13.9	13.6	13.3	13.0	12.7	12.4	12.1
90	3 ½	101.60	105	1.85	6.3	6.3	6.3	5.8	5.4	5.1	5.0	4.9	4.8	4.7	4.6	4.5	4.4	4.3	4.2	4.0	3.8
		101.60	400	3.05	8.2	8.2	8.2	7.6	7.1	6.6	6.5	6.4	6.3	6.2	6.1	6.0	5.8	5.7	5.5	5.3	5.1
		101.60	800	5.74	12.0	12.0	12.0	11.2	10.5	9.9	9.6	9.5	9.3	9.0	8.9	8.7	8.5	8.3	8.1	7.9	7.7
100	4	114.30	105	1.85	5.8	5.8	5.8	5.3	4.9	4.6	4.5	4.4	4.3	4.2	4.1	4.0	3.9	3.8	3.6	3.4	3.2
		114.30	400	3.05	9.8	9.8	9.8	9.0	8.5	8.0	7.7	7.6	7.5	7.3	7.2	7.0	6.9	6.7	6.5	6.3	6.1
		114.30	800	5.74	12.0	12.0	12.0	11.2	10.5	9.9	9.6	9.5	9.3	9.0	8.9	8.7	8.5	8.3	8.1	7.9	7.7
125	5	141.30	105	1.85	5.0	5.0	5.0	4.6	4.2	3.9	3.8	3.7	3.6	3.5	3.4	3.3	3.2	3.1	3.0	2.9	2.8
		141.30	400	2.77	4.0	4.0	4.0	3.8	3.5	3.3	3.2	3.2	3.1	3.0	3.0	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4
		141.30	800	5.05	9.7	9.7	9.7	9.1	8.5	8.0	7.8	7.7	7.5	7.4	7.3	7.1	6.9	6.8	6.6	6.4	6.2
150	6	168.28	105	1.85	4.4	4.4	4.4	4.0	3.7	3.4	3.3	3.2	3.1	3.0	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3
		168.28	400	3.40	4.1	4.1	4.1	3.9	3.6	3.4	3.3	3.3	3.2	3.1	3.1	3.0	3.0	2.9	2.8	2.7	2.6
		168.28	800	10.67	13.9	13.9	13.9	13.1	12.3	11.5	11.1	11.0	10.8	10.5	10.4	10.2	9.9	9.7	9.4	9.2	9.0
200	8	219.08	105	1.85	3.7	3.7	3.7	3.4	3.1	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9	1.8
		219.08	400	3.79	3.5	3.5	3.5	3.3	3.1	2.9	2.8	2.8	2.7	2.7	2.6	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1
		219.08	800	12.70	12.3	12.3	12.3	11.5	10.8	10.2	9.8	9.7	9.5	9.3	9.2	9.0	8.8	8.5	8.3	8.1	7.9
250	10	273.05	105	1.85	3.4	3.4	3.4	3.1	2.8	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6	1.5
		273.05	400	4.19	3.1	3.1	3.1	2.9	2.7	2.6	2.5	2.5	2.4	2.4	2.3	2.3	2.2	2.2	2.1	2.0	1.9
		273.05	800	12.70	9.0	9.0	9.0	8.2	7.6	6.8	6.6	6.6	6.4	6.3	6.2	6.1	5.9	5.7	5.5	5.3	5.1
300	12	323.85	105	1.85	3.0	3.0	3.0	2.7	2.5	2.3	2.2	2.1	2.0	2.0	1.9	1.9	1.8	1.8	1.7	1.7	1.6
		323.85	400	4.79	3.0	3.0	3.0	2.8	2.6	2.5	2.4	2.4	2.3	2.3	2.2	2.2	2.1	2.1	2.0	1.9	1.8
		323.85	800	12.70	8.2	8.2	8.2	7.3	6.8	6.1	5.9	5.9	5.7	5.6	5.5	5.4	5.3	5.2	5.1	5.0	4.9
350	14	355.60	105	1.85	2.7	2.7	2.7	2.4	2.2	2.1	2.0	1.9	1.9	1.8	1.8	1.8	1.7	1.7	1.7	1.6	1.5
		355.60	400	4.79	2.4	2.4	2.4	2.2	2.1	2.0	1.9	1.9	1.8	1.8	1.8	1.7	1.7	1.7	1.6	1.5	1.4
		355.60	800	12.70	7.4	7.4	7.4	6.5	6.1	5.4	5.2	5.2	5.0	4.9	4.8	4.7	4.6	4.5	4.4	4.3	4.2
400	16	406.40	105	1.85	2.4	2.4	2.4	2.1	1.9	1.8	1.7	1.7	1.6	1.6	1.6	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.3
		406.40	400	4.79	2.4	2.4	2.4	2.2	2.1	2.0	1.9	1.9	1.8	1.8	1.8	1.7	1.7	1.7	1.6	1.5	1.4
		406.40	800	12.70	6.5	6.5	6.5	5.6	5.2	4.5	4.3	4.3	4.1	4.0	3.9	3.8	3.7	3.6	3.5	3.4	3.3
450	18	457.20	105	1.85	2.1	2.1	2.1	1.8	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0
		457.20	400	4.79	2.1	2.1	2.1	1.9	1.8	1.7	1.6	1.6	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2
		457.20	800	12.70	5.7	5.7	5.7	4.8	4.4	3.7	3.5	3.5	3.3	3.2	3.2	3.1	3.0	3.0	2.9	2.8	2.7
500	20	508.00	105	1.85	1.9	1.9	1.9	1.6	1.4	1.3	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8
		508.00	400	4.79	1.9	1.9	1.9	1.7	1.6	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2	1.2	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0
		508.00	800	12.70	5.1	5.1	5.1	4.3	4.0	3.3	3.1	3.1	3.0	2.9	2.9	2.8	2.7	2.7	2.6	2.5	2.4
550	22	558.80	105	1.85	1.7	1.7	1.7	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6
		558.80	400	4.79	1.7	1.7	1.7	1.5	1.4	1.3	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8
		558.80	800	12.70	4.3	4.3	4.3	3.6	3.3	2.7	2.5	2.5	2.4	2.3	2.3	2.2	2.1	2.1	2.0	1.9	1.8
600	24	609.60	105	1.85	1.5	1.5	1.5	1.2	1.0	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4
		609.60	400	4.79	1.5	1.5	1.5	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.5
		609.60	800	12.70	4.3</																

Un cop en aquest punt, s'ha de determinar el diàmetre exterior (OD) de la canonada, el gruix en funció de l'schedule escollit (Wall thickness) i el diàmetre interior de la canonada (ID). A la següent taula (x.x...) es troben els valors necessaris per a determinar aquestes variables:

Taula 11.10.6- Diàmetres nominals de les canonades i gruix de paret segons l'schedule i el nominal pipe size.

NOMINAL PIPE SIZE	OD	SCHEDULE DESIGNATIONS		WALL THICKNESS		WEIGHT		ID	
INCH MM	INCH MM	ASME		INCH	MM	LBS/ FOOT	KG/ METER	INCH	MM
1/8	0.405	10	10S	0.049	1.24	0.19	0.28	0.307	7.82
6	10.3	STD	40	0.068	1.73	0.24	0.37	0.269	6.84
		XS	80	0.095	2.41	0.31	0.47	0.215	5.84
1/4	0.540	10	10S	0.065	1.65	0.33	0.49	0.410	10.40
8	13.7	STD	40	0.088	2.24	0.43	0.63	0.364	9.22
		XS	80	0.119	3.02	0.54	0.80	0.302	7.66
3/8	0.675	10	10S	0.065	1.65	0.42	0.63	0.545	13.80
10	17.1	STD	40	0.091	2.31	0.57	0.84	0.493	12.48
		XS	80	0.126	3.20	0.74	1.10	0.423	10.70
1/2	0.840	5	5S	0.065	1.65	0.54	0.80	0.710	18.00
15	21.3	10	10S	0.083	2.11	0.67	1.00	0.674	17.08
		STD	40	0.109	2.77	0.85	1.27	0.622	15.76
		XS	80	0.147	3.73	1.09	1.62	0.546	13.84
		160		0.188	4.78	1.31	1.95	0.464	11.74
		XK		0.294	7.47	1.72	2.55	0.252	6.36
3/4	1.050	5	5S	0.065	1.65	0.69	1.03	0.920	23.40
20	26.7	10	10S	0.083	2.11	0.86	1.28	0.884	22.48
		STD	40	0.113	2.87	1.13	1.69	0.824	20.96
		XS	80	0.154	3.91	1.48	2.20	0.742	18.88
		160		0.219	5.56	1.95	2.90	0.612	15.58
		XK		0.308	7.82	2.44	3.64	0.434	11.06
1	1.315	5	5S	0.065	1.65	0.87	1.29	1.185	30.10
25	33.4	10	10S	0.109	2.77	1.41	2.09	1.097	27.86
		STD	40	0.133	3.38	1.68	2.50	1.049	26.64
		XS	80	0.179	4.55	2.17	3.24	0.957	24.30
		160		0.250	6.35	2.85	4.24	0.815	20.70
		XK		0.358	9.09	3.66	5.45	0.599	15.22
1-1/4	1.660	5	5S	0.065	1.65	1.11	1.65	1.530	38.90
32	42.2	10	10S	0.109	2.77	1.81	2.69	1.442	36.66
		STD	40	0.140	3.56	2.27	3.39	1.380	35.08
		XS	80	0.191	4.85	3.00	4.47	1.278	32.50
		160		0.250	6.35	3.77	5.61	1.160	29.50
		XK		0.382	9.70	5.22	7.77	0.896	22.80
1-1/2	1.900	5	5S	0.065	1.65	1.28	1.90	1.770	45.00
40	48.3	10	10S	0.109	2.77	2.09	3.11	1.682	42.76
		STD	40	0.145	3.68	2.72	4.05	1.610	40.94
		XS	80	0.200	5.08	3.63	5.41	1.500	38.14
		160		0.281	7.14	4.86	7.25	1.338	34.02
		XK		0.400	10.15	6.41	9.55	1.100	28.00
2	2.375	5	5S	0.065	1.65	1.61	2.39	2.245	57.00
50	60.3	10	10S	0.109	2.77	2.64	3.93	2.157	54.76
		STD	40	0.154	3.91	3.66	5.44	2.067	52.48
		XS	80	0.218	5.54	5.03	7.48	1.939	49.22
		160		0.344	8.74	7.47	11.11	1.687	42.82
		XK		0.436	11.07	9.04	13.44	1.503	38.16
2-1/2	2.875	5	5S	0.083	2.11	2.48	3.69	2.709	68.78
65	73.0	10	10S	0.120	3.05	3.53	5.26	2.635	66.90
		STD	40	0.203	5.16	5.80	8.63	2.469	62.68
		XS	80	0.276	7.01	7.67	11.41	2.323	58.98
		160		0.375	9.53	10.02	14.92	2.125	53.94
		XK		0.552	14.02	13.71	20.39	1.771	44.96
3	3.500	5	5S	0.083	2.11	3.03	4.52	3.334	84.68
80	88.9	10	10S	0.120	3.05	4.34	6.46	3.260	82.80
		STD	40	0.216	5.49	7.58	11.29	3.068	77.92
		XS	80	0.300	7.62	10.26	15.27	2.900	73.66
		160		0.438	11.13	14.34	21.35	2.624	66.64
		XK		0.600	15.24	18.60	27.68	2.300	58.42
3-1/2	4.000	5	5S	0.083	2.11	3.48	5.18	3.834	97.38
90	101.6	10	10S	0.120	3.05	4.98	7.41	3.760	95.50
		STD	40	0.226	5.74	9.12	13.57	3.548	90.12
		XS	80	0.318	8.08	12.52	18.64	3.364	85.44
		XK		0.636	16.15	22.87	34.03	2.728	69.30
4	4.500	5	5S	0.083	2.11	3.92	5.84	4.334	110.08
100	114.3	10	10S	0.120	3.05	5.62	8.37	4.260	108.20
		STD	40	0.156	3.96	7.24	10.78	4.188	106.38
		XS	80	0.188	4.78	8.67	12.91	4.124	104.74
		160		0.237	6.02	10.80	16.08	4.026	102.26
		XK		0.337	8.56	15.00	22.32	3.826	97.18
		120		0.438	11.13	19.02	28.32	3.624	92.04
		160		0.531	13.49	22.53	33.54	3.438	87.32
		XK		0.674	17.12	27.57	41.03	3.152	80.06
4-1/2	5.000	5	5S	0.083	2.11	4.27	6.27	4.506	114.46
115	127.0	10	10S	0.120	3.05	6.35	9.26	4.290	108.96
		STD	40	0.156	3.96	8.12	11.92	4.188	106.38
		XS	80	0.203	5.16	10.78	15.84	4.026	102.26
		160		0.281	7.14	14.34	21.35	3.826	97.18
		XK		0.400	10.15	18.60	27.68	3.624	92.04
		120		0.531	13.49	22.53	33.54	3.438	87.32
		XK		0.710	18.03	32.56	48.45	3.580	90.94

Per finalitzar, s'ha de comprovar que la velocitat a la que el fluid circula per la canonada es troba dins del rang de velocitats típiques. Mitjançant l'equació x.x. es determina la velocitat i s'aprova si està dins del rang, en cas contrari, se suposa una nova velocitat típica inicial i es torna a realitzar el mateix procediment.

11.10.2. Càlcul diàmetre nominal (2 fases)

Pel càlcul del diàmetre nominal de les canonades bifàsiques es segueix el mateix sistema que pel càlcul de canonades d'una sola fase, un procés iteratiu.

La velocitat típica de circulació en canonades bifàsiques es troba entre 15 i 30 m/s, determinat en funció del percentatge de vapor i líquid que hi circuli.

El procediment es basa en la suposició d'una velocitat típica i el càlcul del diàmetre mitjançant l'equació 1.1., alhora s'han de conèixer una sèrie de dades, com la capacitat calorífica i la viscositat de les diferents fases que s'hi troben, així com la densitat dels mateixos. Tot seguit s'han de calcular uns paràmetres segons les equacions de Baker per a comprovar que es doni una correcta circulació per la canonada (flux anular és l'òptim).

A la planta de producció d'àcid fòrmic s'hi troben les següents canonades bifàsiques:

300-AISI304L-M3-024A

400-AISI317L-M2-0313B

Equacions emprades:

$$G' = \frac{G}{A}$$

$$L' = \frac{L}{A}$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{\rho_L \cdot \rho_G}{\rho_{aigua} \cdot \rho_{aire}}}$$

$$\varphi = \frac{\sigma_{aigua}}{\sigma_{líquid}} \sqrt[3]{\frac{\mu_{líquid}}{\mu_{aigua}}} \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{\rho_{aigua}}{\rho_{líquid}}\right)^2}$$

On

G és velocitat màssica del gas (kg/s)

L és velocitat màssica del líquid (kg/s)

ρ és densitat (kg/m³)

σ és capacitat calorífica (J/mol·K)

μ és viscositat (cP)

Amb el càlcul d'aquests paràmetres, s'ha de fer una lectura visual al següent gràfic (Baker):

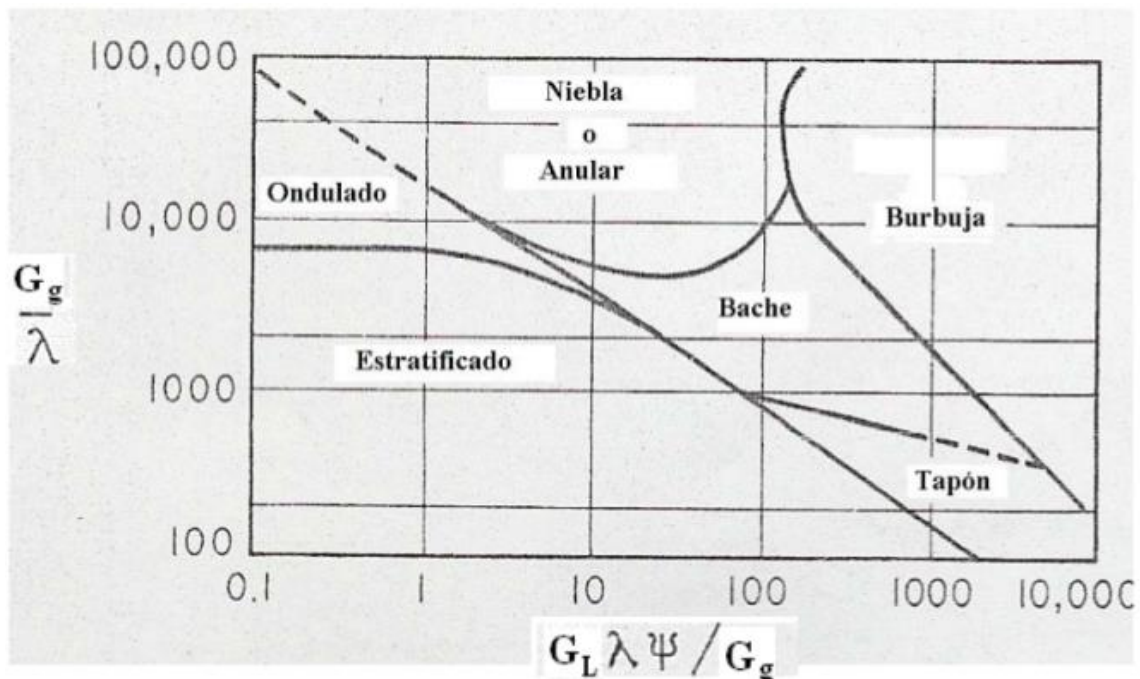


Figura x.x.- Gràfica de Baker per a canonades bifàsiques.

S'ha d'evitar (i en cas afirmatiu tornar a suposar una velocitat inicial) el flux tipus bache o embassat ja que dona lloc a condicions no estacionaries, sent preferible realitzar el disseny per a flux anular.

11.10.3. Gruix d'aïllant

Per a escollir el gruix de l'aïllant s'empren les taules que es mostren a continuació³:

Taula 11.10.7. Espessor de la llana de roca en funció del diàmetre i la temperatura de disseny.

Dexterior (mm)	Temperatura de disseny (°C)			
	40-65	66-100	101-150	151-200
D<35	20	20	30	40
35<D<60	20	30	40	40
60<D<90	30	30	40	50
90<D<140	30	40	50	50
140<D	30	40	50	60

Taula 11.10.8.-Espessor del poliuretà en funció del diàmetre i la temperatura de disseny.

³ Dades extretes de Rockwool.es

Dexterior (mm)	Temperatura de disseny (°C)								
	-70 a -60	-60 a -50	-50 a -40	-40 a -30	-30 a -20	-20 a -10	-10 a 0	0 a 10	10 a 25
D<35	85,25	78	70,75	63,5	56,25	49	41,75	34,5	34,5
35<D<60	92,5	85,25	78	70,75	63,5	56,25	49	41,75	34,5
60<D<90	92,5	85,25	78	70,75	63,5	56,25	49	41,75	41,75
90<D<140	99,75	92,5	85,25	78	70,75	63,5	56,25	49	41,75
140<D	99,75	92,5	85,25	78	70,75	63,5	56,25	49	41,75

11.11 Compressors

Els compressors de la planta seran de tipus centrífug. Un compressor és un dispositiu mecànic accionat per un motor elèctric. L'energia elèctrica és transformada en energia mecànica la qual impulsa al fluid una determinada velocitat i pressió. Cal destacar que l'energia es transforma és cinètica en arribar al fluid. Com a conseqüència de produir-se un canvi importat en la pressió del gas, també es produeix un canvi en la temperatura i densitat del vapor o gas a comprimir.

A continuació es detallen els càlculs realitzats per determinar la potencia necessària que tindrà el compressor. Per dur a terme la realització d'aquests càlculs s'ha tingut en compte el cabal, temperatura i canvi de pressió.

Número d'etapes

Primer de tot, s'ha de determinar el numero d'etapes que tindrà el compressor, en funció de la relació de compressió d'aquest. Una relació de compressió adequada per un compressor tipus centrífug, va des de 2.5 a 5.

$$r = \frac{P_n}{P_o} \quad \text{Equació 11.10.1}$$

On

R és relació de compressió

Pn és pressió impulsió (bar)

Po és pressió aspiració (bar)

La relació de compressió del compressor que necessita la planta es troba aplicant l'equació 11.10.1 es 2.5, per tant, per reduir aquesta relació, s'escull un relació que estigui dins del rang i es determina el número d'etapes mitjançant la següent equació:

$$R = 2.5 = \sqrt[n]{\frac{P_n}{P_o}} \quad \text{Equació 11.10.2}$$

On

R és relació de compressió per etapa (valor suposat)

N és numero de etapes

P_n és pressió impulsió (bar)

P_o és pressió aspiració (bar)

Seguidament, es determina la potència que necessita el compressor mitjançant les següents equacions:

$$w = N \cdot \frac{\gamma}{\gamma-1} \cdot \frac{ZRT}{PM} \cdot \left(\left(\frac{P_n}{P_o} \right)^{\frac{\gamma-1}{N \cdot \gamma}} - 1 \right) \quad \text{Equació 11.x.3}$$

On:

N és número de etapes

P_n és pressió impulsió (bar)

P_o és pressió aspiració (bar)

$\gamma = \frac{c_p}{c_v}$ = relació adiabàtica

Z és factor de comprensibilidad

R és 8.314 J/° Kmol

PM és pes molecular

Seguidament es determina la potència:

$$W = w \cdot m \quad \text{Equació 11.X.4}$$

On:

m és cabal màssic (kg/h)

W és potència (W)

Per últim, tenint en compte el rendiment del compressor, es determina la potència real:

$$P_{real} = \frac{W}{\eta} \quad \text{Equació 11.x.5}$$

On:

η és rendiment del compressor

P_{real} és potencia real (W)

Mitjançant les dades i les equacions esmentades anteriorment, es troba la potència que necessita el compressor.

Taula 11.x.1: dades pel càlcul de compressor.

P1 (atm)	18
P2 (atm)	45
T1(°C)	251.15
T2(°C)	353.15
γ (Cp/Cv)	3.002
PM	30
Z	1
R(KJ/Kmol)	8.314
Q (kg/h)	7563
Q(kg/s)	2.10

Taula 11.x.1: potencia obtinguda pel compressor.

r	2.5
w	87.919
Pteòrica(kw)	184.703
Preal (Kw)	246.27

11.12 Bombes

11.12.1 Selecció de bombes

Pel disseny i selecció de una bomba és necessari calcular la potència que ha de subministrar aquesta per transportar el fluid fins el punt on es requereixi i a la pressió establerta.

Per calcular la potència de la bomba s'ha de realitzar un balanç d'energia mecànica des de el punt inicial fins el punt final, mitjançant la següent equació:

$$\frac{\Delta P}{\rho} + g(z_2 - z_1) + \frac{1}{2} \left(\frac{v_2^2}{\alpha} - \frac{v_1^2}{\alpha} \right) = \hat{w} - e_v \quad \text{Equació 11.12.1}$$

On

ΔP és la diferència de pressió entre els dos punts de la línia estudiada.

ρ és la densitat del fluid (kg/m³)

g és l'acceleració de la gravetat (m/s²)

z_1 i z_2 és l'altura del líquid en els dos punts estudiats (m)

v_1 i v_2 és la velocitat del punt inicial i final (m/s), aquestes es consideren constants, per tant $\Delta v = (v_2 - v_1) = 0$.

Alfa (α) és el factor de correcció de la energia cinètica. Per Reynolds menors que 2100 el factor $\alpha = 0.5$ i per Reynolds majors que 2100 és igual 1-

$\hat{w}$ és el treball per unitat de massa (J/Kg)

e_v són les pèrdues de treball per fricció (J/kg)

Pel que fa a les pèrdues de càrrega que es produeixen en trams rectes per la fricció del fluids amb les parts de les canonades i la turbulència d'aquestes, i en trams com accidents o accessoris que distorsionen el recorregut del fluid, s'han calculat mitjançant la següent equació 11.12.2:

$$e_v = (e_v)_r + (e_v)_{acc} \quad \text{Equació 11.12.2}$$

On pel càlcul dels trams rectes es determinen a partir de la següent equació 11.11.3:

$$(e_v)_r = 4f \frac{v^2 L}{2D} \quad \text{Equació 11.12.3}$$

On

L és longitud de la canonada del tram recte (m).

D és diàmetre intern de la canonada (m).

V és velocitat a la que circula el fluid per l'interior de la canonada (m/s).

F és factor de fricció de Fanning. Aquest factor es determina mitjançant l'àbac de Moody.

Per dur a terme aquest càlcul és necessari establir la rugositat relativa del material i el numero de Reynolds.

Amb l'objectiu de simplificar càlculs, s'ha decidit determinar les pèrdues per fricció totals de canonada del tram que en té més. Aquest tram correspon a la distància que hi ha del bescanviador de calor E-503, el qual produeix una pèrdua de càrrega elevada, fins al mesclador M-601. Aquest tram presenta una diferència d'alçada de 2 metres i té una longitud de 28 metres. S'han obtingut unes pèrdues per fricció totals de 43,62 m²/s².

Per determinar la rugositat relativa (ϵ/D), es calcula dividint la rugositat absoluta, on aquesta depèn del material utilitzat a la canonada i el diàmetre interna d'aquesta.

Seguidament es calcula el numero adimensional de Reynolds a partir de la següent equació 11.12.4

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} \quad \text{Equació 11.12.4}$$

On

P és densitat del fluid (kg/m³)

V és velocitat del fluid que circula per l'interior de la canonada (m/s)

D és diàmetre interna de la canonada (m)

μ és viscositat del fluid (kg/m·s⁻¹)

Un cop determinat el numero de Reynolds i la rugositat relativa i mitjançant el gràfic de Moody (figura 11.12.1) es determina el coeficient de fricció 4f.

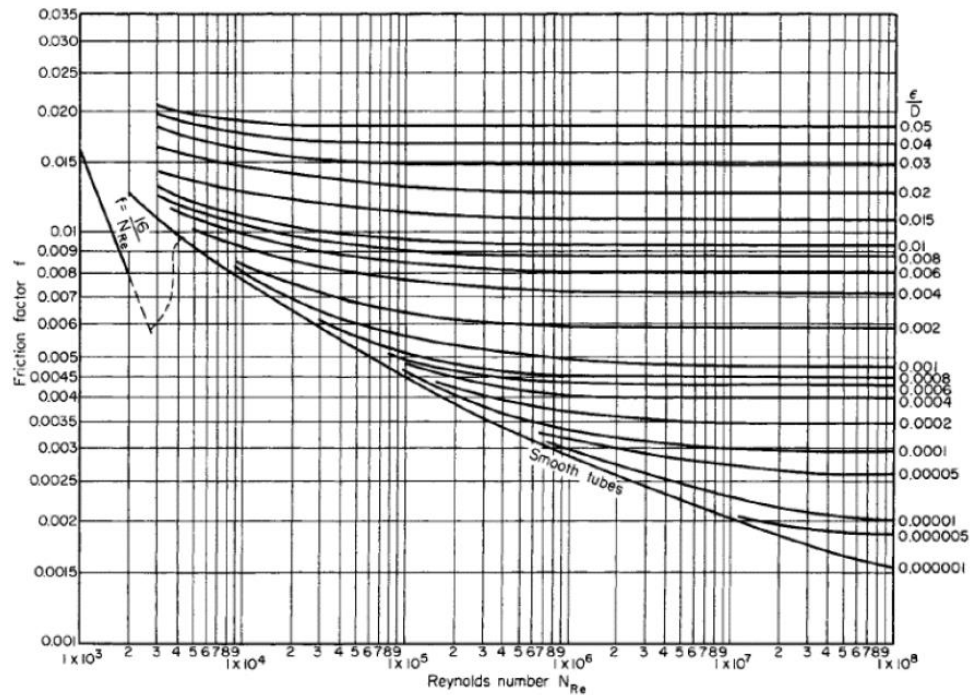


Figura 11.11.1: Factors de Fannig en funció del numero de Reynolds i la rugositat relativa. Font: Perry,2008.

Un cop obtingut el coeficient de fricció $4f$, es determinen les pèrdues de càrrega per trams rectes.

Pel que fa a la determinació de les pèrdues de càrrega per accidents es calculen mitjançant l'equació 11.12.5

$$(e_v)_{acc} = K \cdot \frac{v^2}{2} \quad \text{Equació 11.12.5}$$

On

K , factor de pèrdues per fricció, és un paràmetre que depèn dels diferents accessoris. El valor d'aquest paràmetre en funció de l'accessori es pot trobar a partir de la figura 11.12.2.

Type of fitting or valve	Additional friction loss, equivalent no. of velocity heads, K
45° ell, standard ^{b,c,d,e,f}	0.35
45° ell, long radius ^o	0.2
90° ell, standard ^{b,c,e,f,g,h}	0.75
Long radius ^{b,c,d,e}	0.45
Square or miter ^h	1.3
180° bend, close return ^{b,c,e}	1.5
Tee, standard, along run, branch blanked off ^e	0.4
Used as ell, entering run ^{g,i}	1.0
Used as ell, entering branch ^{c,g,i}	1.0
Branching flow ^{i,j,k}	1 ⁱ
Coupling ^{c,e}	0.04
Union ^e	0.04
Gate valve, ^{b,e,m} open	0.17
¾ open	0.9
½ open	4.5
¼ open	24.0
Diaphragm valve, open	2.3
¾ open	2.6
½ open	4.3
¼ open	21.0
Globe valve, ^{e,m}	
Bevel seat, open	6.0
½ open	9.5
Composition seat, open	6.0
½ open	8.5
Plug disk, open	9.0
¾ open	13.0
½ open	36.0
¼ open	112.0
Angle valve, ^{b,e} open	2.0
Y or blowoff valve, ^{b,m} open	3.0
Plug cock	
θ = 5°	0.05
θ = 10°	0.29
θ = 20°	1.56
θ = 40°	17.3
θ = 60°	206.0
Butterfly valve	
θ = 5°	0.24
θ = 10°	0.52
θ = 20°	1.54
θ = 40°	10.8
θ = 60°	118.0
Check valve, ^{b,e,m} swing	2.0
Disk	10.0
Ball	70.0
Foot valve ^e	15.0
Water meter, ^h disk	7.0
Piston	15.0
Rotary (star-shaped disk)	10.0
Turbine-wheel	6.0

Figura 11.12.2 Valors de K segons l'accessori o vàlvula. Font: Perry, 2008.

11.12.2 Càlcul de la potència de la Bomba

La determinació de la potència de cada bomba es calcula fent el producte del valor del treball $\hat{w}$, obtingut a partir de l'equació 11.12.1 i el cabal màssic de la canonada. Aquest càlcul es realitza a partir de la següent equació 11.12.6,

$$P_{teòrica} = \hat{w} \cdot Q \quad \text{Equació 11.11.6}$$

On

$P_{teòrica}$ és potència teòrica de la bomba (W).

$\hat{w}$ és el treball per unitat de massa (J/Kg).

Q és cabal màssic del fluid que ha d'impulsar la bomba (kg/s).

S'ha de tenir en compte que no tota l'energia subministrada de la bomba s'utilitza per impulsar el fluid, ja que part d'aquesta energia es dissipa en forma de calor. Per tant, se suposa que totes les bombes tinguin un rendiment donat pel programa utilitzat, obtingut així la potència real a la que ha d'operar la bomba. Per tant, la potència real es calcula mitjançant la següent equació 11.12.7

$$P_{real} = \frac{P_{teòrica}}{\eta} \quad \text{Equació 11.12.7}$$

La selecció del tipus de bomba a utilitzar i la potencia d'aquesta, s'ha realitzat a través de dos programes, un anomenat Ebara i un altre anomenat Durcomex, els quals proporcionen totes les característiques necessàries per realitzar els càlculs esmentats i obtenir tota la informació per a conèixer amb profunditat les bombes utilitzades. Algunes bombes de la planta s'han escollit mirant en diferents catàlegs degut a que aquestes se sortien dels rangs de càrrega i dels rangs de cabal permesos pels programes esmentats.

11.13. Serveis

A continuació es presenten els diferents serveis necessaris per operar en planta.

11.13.1 Caldera de vapor

A la planta es necessiten calderes de vapor per proporcionar vapor a diferents equips. Tant la caldera com la resta d'equips és compren directament al proveïdor a partir d'un balanç de consumidors. En aquest cas, s'ha decidit treballar amb una caldera pirotubular de 3 passos.

A continuació és detallà el balanç de consumidors de vapors. Els equips que requereixen vapor, són els bescanviadors de calors de carcassa i tubs, els termosifons verticals, la funció dels quals és evaporar o escalfar el fluid de procés, i per la mitja canya del reactor de hidròlisi, en el qual la seva funció és també escalfar el fluid.

Taula 11.13.1: balanç de consumidor del vapor de caldera

Equip	Qvapor (kg/h)	T entrada (°C)	Estat	T sortida (°C)	Estat
E101					
E301	2790	180	Vapor	165	Condensat
E302	5651	180	Vapor	165	Condensat
E303	3887	180	Vapor	165	Condensat
E402	1195	180	Vapor	165	Condensat
E404	15980	180	Vapor	165	Condensat
E503	16474	180	Vapor	165	Condensat
E506	16214	180	Vapor	165	Condensat
E508	15108	180	Vapor	165	Condensat
E601	2676	180	Vapor	165	Condensat
E605	3725	180	Vapor	165	Condensat
R301	1966.57	180	Vapor	165	Condensat
T701	31.27	180	Vapor	165	Condensat
T702	31.27	180	Vapor	165	Condensat
T703	31.27	180	Vapor	165	Condensat
T704	31.27	180	Vapor	165	Condensat
T705	31.27	180	Vapor	165	Condensat
T706	31.27	180	Vapor	165	Condensat
Total	85854.19	180	Vapor	165	Condensat

Tal i com es pot observar en la taula, és necessiten un total de kg/h de vapor a una temperatura de 180 °C, els quals es condensen en els equips de calor i retornen a la caldera a 165°C en estat líquid. Tenint en compte que s'utilitza vapor a 10 bar i d'acord amb les característiques esmentades, és decideix comprar tres calderes a Bosch Industriales, concretament el model Universal ZFR-X. Les característiques detallades del equips es poden consultar en l'apartat 2-Equips, del present projecte.

11.13.2 Torre de refrigeració

El disseny de la torre de refrigeració, depèn de la quantitat d'aigua requerida a la planta de les condicions climàtiques, del tipus i la velocitat del vent, de la humitat ambiental, entre altres.

És decideix treballar amb una torre de refrigeració de tir induït en contracorrent, ja que l'aire més fred es posa en contacte amb l'aigua més calenta, generant-se així una força impulsora gran (deguda a la diferència tèrmica), fet que permet una millor transferència de calor.

Al llarg del procés de producció de l'àcid fòrmic és necessari diferents fluids de refrigeració per realitzar les transferència de energia que es donen en diferents etapes del procés. Aquest fluids és l'aigua, on la seva funció és actua com a fluid refredant.

Igual que el cas de la caldera de vapor és fa un balanç de consumidors, que es detalla a continuació:

Taula11.13.2: balanç de consumidor pel aigua

Equip	QAigua (kg/h)	T entrada (° C)	Estat	T sortida (° C)	Estat
E201	69398	20	Líquid	30	Líquid
E502	316780	20	Líquid	30	Líquid
E507	369717	20	Líquid	30	Líquid
E602	282177	20	Líquid	30	Líquid
E604	44980	20	Líquid	30	Líquid
Total (kg/h)	1083052	20	Líquid	30	Líquid

La torre de refrigeració s'escull entre els models de catàlegs de fabricants de reconeguda solvència. En el nostre cas, s'escull com a proveïdor per les torres de refrigeració de circuit tancat la empresa EWK©, Equipos de Refrigeración, S.A.

Per la bona selecció de la torre de refrigeració és necessari establir uns criteris de selecció basats en els següents paràmetres de disseny:

- Cabal de fluid (aigua) a refredar (m^3/h)
- Temperatura d'entrada del fluid
- Temperatura de sortida del aigua
- Salt tèrmic del aigua d'entrada i sortida

D'acord amb aquest paràmetres, el salt tèrmic i el cabal d'aigua a refredar, és compra un equip de capacitat de proporcionar aquestes condicions.

El model que s'escull per tant, i que s'explica detalladament en el full d'especificacions, és el model **EWB model 4600**.

11.13.3 Equips de fred (chillers)

De la mateixa manera que els casos anteriors, l'equip es compra directament al un proveïdor a partir de un balanç de consumidors. En aquest cas l'equip treballa amb aigua glicolada, el qual s'utilitza com a refrigerant en els següents equips:

- Bescanviadors de carcassa i tubs
- Condensadors
- Camisa de refrigeració del reactor
- Serpents del reactor

El consum es detalla a continuació:

Taula11.13.3: balanç de consumidor pel aigua glicolada

Equip	Qaiguaglico (kg/h)	T entrada (° C)	Estat	T sortida (° C)	Estat
E403	554612	-10	líquid	5	Líquid
E401	65981	-10	líquid	5	líquid
E504	327503	-10	líquid	5	líquid
E505	603793	-10	líquid	5	líquid

E603	197685	-10	líquid	5	líquid
E606	134734	-10	líquid	5	líquid
R201	137645.44	-10	líquid	5	líquid
Total (kg/h)	1467341.44	-10	líquid	5	líquid

D'aquesta manera l'aigua glicolada que surt dels equips és escalfada fins als 5 graus, per poder tornar a utilitzar el refrigerant, l'equip de fred ha de ser capaç de refredar fins al -10 graus per poder fer servir el refrigerant.

Per determinar quin equip s'ha de comprar, primer és calcula la potencia requerida per abastir tota la planta, aquesta és determina mitjançant la següent equació:

$$Q = -m \cdot Cp \cdot \Delta T \text{ Equació 11.13.1}$$

On

m= cabal de aigua glicolada total (kg/h)

Cp= capacitat calorífica d'aigua glicolada (KJ/kg·K), 3.626 KJ/kgK

$\Delta T = (T_{\text{sortida}} - T_{\text{entrada}}) (^{\circ}\text{K})$

Aplicant la equació 11.X.3.1 és determina que és necessita una potencia 30497.79 KW

Amb les característiques esmentades anteriorment i amb la potencia requerida s'escull l'equip de refredament de la empresa **JONSON CONTROLS** i el model **YD centrifigal chiller**, usant les característiques del chiller, és determina que és necessiten 2 equips de refredament.

11.13.4 Servei de Nitrogen

El nitrogen s'utilitza en la planta, principalment per a mantenir els tancs en condicions anhidres, és a dir inertitzant l'ambient, o per a mentir-los a pressió. Per tant degut a que a la planta és necessiten tancs amb atmosfera nitrogenada és necessari disposar d'un servei subministrament de nitrogen.

Per determinar la quantitat de nitrogen necessària, es calcula el cabal volumètric de reactius emmagatzemat que entra o surt del tanc, i és realitzar un factor de conversió mitjançant la densitat del nitrogen. Aquest càlcul és recull en la següent taula:

Taula 11.12.4

ITEM	cabal (kg/h)	densitat (kg/m³)	cabal (m³/h)	cabal N2 (m³/h)
T101	756.3	792	0.955	1.25
T102	756.3	792	0.955	1.25
T103	756.3	792	0.955	1.25
T104	756.3	792	0.955	1.25
T105	57.024	792	0.072	1.25
T106	89.64	830	0.108	1.25
T302	40017.709	826.3	48.43	1.145
Total				8.645

Observant a taula, s'observa que és necessiten 8.645 m³/h de nitrogen, al dia és necessiten

$$8.645 \frac{m^3}{h} \cdot \frac{24 \text{ hores}}{\text{dia}} = 207.48 \text{ m}^3/\text{dia de nitrogen}$$

Tenint en compte els 4 dies d'estoc

$$207.48 \text{ m}^3/\text{dia de nitrogen} \cdot 4 \text{ dies} = 829.92 \text{ m}^3 \text{ Nitrogen}$$

El subministrament de nitrogen es fa mitjançant un tanc de nitrogen líquid a pressió. Aquest subministrament és subministrar per l'empresa LINDE, del la qual s'encarrega del manteniment, subministrament i control del tanc criogènic, on des de aquest surt una línia de nitrogen de procés, a partir de la qual s'abasteix tota la planta.

11.13.5 Descalcificadors

Tota l'aigua utilitzada al procés o com a fluid calefactor en forma de vapor s'haurà de tractar amb descalcificadors per tal d'eliminar calç i magnesi que poden danyar els equips. Per a les calderes de vapor, a la posada en marxa s'haurà de descalcificar 83597.19 kg/h d'aigua, però quan el procés està en estat estacionari només farà falta introduir descalcificada la quantitat d'aigua que ha estat purgada. Per tant, es requereix poder descalcificar el cabal inicial d'aigua per després, a l'estat estacionari, utilitzar el descalcificador només quan s'hagi de reintroduir aigua.

La següent taula mostra els requeriments d'aigua al procés.

Taula 11.12.5 Requeriments d'aigua descalcificada

Cabal aigua caldera (m ³ /h)	Cabal aigua procés (m ³ /h)	Cabal total a descalcificar (m ³ /h)
91.25	8.22	99.47

Sabent que es necessita aquesta aigua descalcificada al procés, s'haurà de comprar un (o varis) descalcificadors per cobrir aquesta demanda. S'ha decidit comprar el descalcificador a l'empresa **Culligan**. Aquest descalcificador és el model **HB 1700** i tindrà capacitat per donar cabals fins a **114 m³/h**.

Els descalcificadors funcionen gràcies a resines d'intercanvi iònic on es bescanvia els ions de calci i magnesi per ions de sodi. Per tant, les principals operacions a realitzar en el sistema de descalcificació seran la regeneració de la resina de bescanvi iònic a partir de la introducció de salmorra.

11.13.6. Aire comprimit

El procés requereix d'aire comprimit principalment per les vàlvules de control. Aquestes vàlvules necessiten aire comprimit a 6 bar, per tant, es requereix l'adquisició d'un compressor que proporcioni el cabal necessari d'aire comprimit a la pressió desitjada.

Es dota la planta amb un sistema d'aire comprimit que proporcionarà aquest cabal necessari per al correcte funcionament de tots els elements de control que ho requereixin.

11.13.7. Gas natural

El gas natural s'emptra per a la caldera de vapor majoritàriament, és per això que el càlcul de les necessitats de gas natural comença a partir dels kg/h de vapor.

$$85854,19 \frac{Kg}{h} \cdot 500 \frac{Kcal}{1kg} = 42927095 Kcal/h$$

$$42927095 \frac{Kcal}{h} \cdot \frac{1kw}{860Kcal} = 49915,23 Kw$$

$$49915,23 Kw \cdot 24h \cdot 300d \cdot 0,75 (factor caldera) = 269542224,4 kwh$$

Sabent que 1Nm³= 9500 Kcal/h

$$E = \frac{269542224,4Kwh}{9500 Kcal/h / 860Kcal/1Kw} = 24400664,53Nm^3$$

$$Preu = 24400664,53 Nm^3 \cdot \frac{0,4€}{kg} = 9760265,81€$$