



# PROJECTE FINAL DE CARRERA PLANTA DE PRODUCCIÓ DE CARBARYL

**UAB**  
Universitat Autònoma  
de Barcelona

**e** escola  
d'enginyeria

  
**REIRC**  
Enginyers

Elena Badia Elias  
Regina Carrión Montesinos  
Raquel Font Rodriguez  
Iván Martínez Monge  
Carles Puigdellívol Ayala

# **12. Manual de càlcul**

## ÍNDIX

12.MANUAL DE CÀLCUL .....	11
12.1 DISSENY DE TANCS D'EMMAGATZEMATGE .....	11
12.1.1 Introducció.....	11
12.1.1.1 Factor d'ompliment .....	11
12.1.1.2 Relació diàmetre/alçada.....	12
12.1.1.3 Material de construcció.....	13
12.1.1.4 Pressió de disseny.....	13
12.1.1.5 Temperatura de disseny.....	14
12.1.1.6 Sobre espessor per corrosió.....	14
12.1.1.7 Factor de soldadura , E .....	14
12.1.1.8 Tensió màxima admissible, S.....	14
12.1.1.9 Venteig.....	15
12.1.1.10 Connexions , càrrega i descàrrega.....	16
12.1.1.11 Boca d'home.....	17
12.1.1.12 Atmosfera inertitzada de nitrogen.....	17
12.1.1.13 Cubetes de retenció .....	19
12.1.1.14 Prova hidràulica .....	20
12.1.1.15 Velocitat del vent.....	20
12.1.1.16 Coeficient sísmic.....	20
12.1.1.17 Aïllant.....	21
12.1.2 Tanques d'emmagatzematge de fosc.....	22
12.1.2.1 Disseny funcional.....	23
12.1.2.2 Dimensionament .....	24
12.1.2.3 Disseny mecànic .....	26
12.1.2.4 Sistema de refrigeració.....	31
12.1.2.5 Pes del tanc.....	34
12.1.2.6 Venteig.....	36
12.1.2.7 Cubetes de retenció .....	37
12.1.3 Tanc d'emmagatzematge de MMA .....	38
12.1.3.1 Disseny funcional.....	40

12.1.3.2 Dimensionament .....	41
12.1.3.3 Disseny mecànic .....	42
12.1.2.4 Sistema de refrigeració.....	46
12.1.3.5 Pes del tanc.....	49
12.1.3.6 Venteig.....	50
12.1.3.7 Cubetes de retenció .....	51
12.1.4 Tanc d'emmagatzematge de toluè.....	53
12.1.4.1 Disseny funcional.....	53
12.1.4.2 Dimensionament .....	55
12.1.4.3 Disseny mecànic .....	56
12.1.4.4 Pes del tanc.....	60
12.1.4.5 Venteig.....	62
12.1.4.6 Cubetes de retenció .....	63
12.1.4.7 Aïllament .....	64
12.1.5 TANC EMMAGATZEMATGE DE MIC.....	65
12.1.5.1 Disseny funcional.....	66
12.1.5.2 Dimensionament .....	67
12.1.5.3 Disseny mecànic .....	68
12.1.5.4 Sistema de refrigeració.....	72
12.1.5.5 Pes del tanc.....	75
12.1.2.6 Venteig.....	77
12.1.5.7 Cubetes de retenció .....	78
12.2 disseny de tancs de mescla .....	80
12.2.1 Tanc de mescla de MIC.....	80
12.2.1.1 Balanç de matèria.....	80
12.2.1.2 Disseny funcional.....	81
12.2.1.3 Dimensionament .....	81
12.2.1.4 Disseny mecànic .....	82
12.2.1.5 Agitació .....	86
12.2.1.6 Pes del tanc.....	90
12.2.1.7 Aïllament .....	91
12.2.2 Tanc de mescla de nafrol.....	93



12.2.2.1	Balanç de matèria .....	93
12.2.2.2	Disseny funcional.....	94
12.2.2.3	Dimensionament .....	95
12.2.2.4	Disseny mecànic .....	96
12.2.1.5	Agitació .....	99
12.2.1.6	Intercanviador de calor .....	103
12.2.1.7	Pes del tanc.....	107
12.2.1.8	Aïllament .....	109
12.2.3	Tanc de mescla TM-601.....	110
12.2.3.1	Balanç de matèria .....	111
12.2.3.2	Disseny funcional.....	111
12.2.3.3	Dimensionament .....	112
12.2.3.4	Disseny mecànic .....	113
12.2.3.5	Agitació .....	117
12.2.1.6	Pes del tanc.....	121
12.2.3.7	Aïllament .....	122
12.3	Tancs Pulmó.....	124
12.3.1	Tanc pulmó TP-301 .....	124
12.3.1.1	Disseny funcional.....	124
12.3.1.2	Disseny mecànic .....	125
12.3.1.3	Pes del tanc.....	127
12.3.1.4	Aïllament .....	128
12.3.2	Tanc pulmó TP-302 .....	130
12.3.2.1	Disseny funcional.....	130
12.3.2.2	Disseny mecànic .....	130
12.3.2.3	Pes del tanc.....	133
12.3.3.4	Aïllament .....	134
12.3.3	Tanc pulmó TP-303 .....	136
12.3.3.1	Disseny funcional.....	136
12.3.3.2	Disseny mecànic .....	136
12.3.3.3	Pes del tanc.....	139
12.3.3.4	Aïllament .....	140

12.3.4 Tanc pulmó TP-401 .....	142
12.3.4.1 Disseny funcional.....	142
12.3.4.2 Disseny mecànic .....	143
12.3.4.3 Pes del tanc.....	145
12.3.4.4 Aïllament .....	146
12.3.5 Tanc pulmó TP-402 .....	147
12.3.5.1 Disseny funcional.....	148
12.3.5.2 Disseny mecànic .....	148
12.3.5.3 Pes del tanc.....	151
12.3.5.4 Aïllament .....	152
12.3.6 Tanc pulmó TP-601 .....	153
12.3.6.2 Disseny mecànic .....	154
12.3.6.3 Pes del tanc.....	157
12.3.6.4 Aïllament .....	158
12.3.7 Tanc pulmó TP-602 .....	159
12.3.7.1 Disseny funcional.....	159
12.3.7.2 Disseny mecànic .....	160
12.3.7.3 Pes del tanc.....	163
12.3.7.4 Aïllament .....	164
12.4 TANC SEPARADOR DE FASES .....	166
12.4.1 Introducció.....	166
12.4.2 Disseny funcional.....	167
12.4.3 Disseny mecànic .....	173
12.5 SITJES D'EMMAGATZEMATGE .....	178
12.5.1 Sitja d'emmagatzematge d' 1-naftol .....	178
12.5.1.1 Disseny funcional.....	178
12.5.1.2 Dimensionament .....	179
12.5.1.3 Disseny mecànic .....	180
12.5.1.4 Pes de la sitja .....	182
12.5.2 SITJA EMMAGATZEMATGE DE CARBARIL.....	184
12.5.2.1 Disseny funcional.....	184
12.5.2.2 Dimensionament .....	185

12.5.2.3 Disseny mecànic .....	186
12.5.2.4 Pes de la sitja .....	189
12.6 Disseny de reactors .....	191
12.6.1 Reactor multitubular de formació de MCC .....	191
11.6.1.1 Introducció.....	191
12.6.1.2 Balanç de matèria.....	192
12.6.1.3 Balanç d'energia .....	196
12.6.1.4 Disseny funcional.....	200
12.6.1.5 Disseny mecànic .....	201
DISSENY MECÀNIC .....	217
PES .....	218
12.6.2 Reactor pirolític de formació de MIC .....	218
12.6.2.1 Introducció.....	218
12.6.2.2 Balanç de matèria.....	219
12.6.2.3 Balanç d'energia .....	223
12.6.2.4 Disseny funcional.....	224
12.6.2.5 Agitació .....	225
12.6.2.6 Intercanvi de calor .....	228
12.6.2.7 Disseny mecànic .....	229
DISSENY MECÀNIC .....	236
PES .....	236
12.6.3 Reactor catalític de formació de Carbaryl .....	236
12.6.3.1 Introducció.....	236
12.6.3.2 Catalitzador.....	239
12.6.3.3 Balanç de matèria.....	246
12.6.3.4 Balanç d'energia .....	250
12.6.3.5 Disseny funcional.....	253
12.6.3.6 Disseny mecànic .....	257
DISSENY MECÀNIC .....	268
PES .....	268
12.6.3.7 Pèrdues de càrrega.....	268
12.7 DISSENY DE LES COLUMNES DE SEPARACIÓ .....	276

12.7.1	Introducció.....	276
12.7.1.1	Tipus de columnes.....	278
12.7.1.2	Comparació entre les columnes de plats i rebliment.....	280
12.7.1.3	Descripció del procés de càlcul.....	280
12.7.1.4	Decisió del paquet de propietats.....	281
12.7.2	Columna d'absorció AB-301.....	282
12.7.2.1	Disseny funcional.....	282
12.7.2.2	Dimensionat.....	286
12.7.2.3	Disseny mecànic.....	291
12.7.2.4	Pes de la columna.....	300
12.7.2.5	Aïllament.....	302
12.7.3	introducció Columnes de destil·lació.....	303
12.7.4	Columna de destil·lació CD-301.....	305
12.7.4.1	Disseny funcional.....	305
12.7.4.2	Dimensionat.....	316
12.7.4.3	Disseny mecànic.....	321
12.7.4.4	Pes de la columna.....	327
12.7.4.5	Aïllament.....	329
12.7.5	Columna de destil·lació CD-302.....	330
12.7.5.1	Disseny funcional.....	330
12.7.5.2	Dimensionat.....	342
12.7.5.3	Disseny mecànic.....	347
12.7.5.4	Pes de la columna.....	353
12.7.5.5	Aïllament.....	355
12.7.6	Columna de destil·lació CD-401.....	356
12.7.6.1	Disseny funcional.....	356
12.7.6.2	Dimensionat de la columna.....	368
12.7.6.3	Disseny mecànic.....	375
12.7.6.4	Pes de la columna.....	383
12.7.6.5	Aïllament.....	386
12.7.7	Columna de destil·lació CD-601.....	387
12.7.7.1	Disseny funcional.....	387

12.7.7.2 Dimensionat .....	399
12.7.7.3 Disseny mecànic .....	405
12.7.7.4 Pes de la columna.....	411
12.7.7.5 Aïllament .....	413
12.8 Disseny dels intercanviadors de calor .....	415
12.8.1 introducció.....	415
12.8.2 BESCOVIADORS DE CARCASSA I TUBS.....	419
12.8.2.1 Introducció.....	419
12.8.2.2 Disseny funcional i mecànic. ....	420
12.8.2.3 BESCOVIADORS DE carcassa i tubs BC-301 i BC-302.....	432
12.8.2.4 BESCOVIADOR de carcassa i tubs BC-303 .....	433
12.8.2.5 BESCOVIADOR de carcassa i tubs BC-501 .....	433
12.8.2.6 BESCOVIADOR de carcassa i tubs BC-502 .....	434
12.8.2.7 BESCOVIADOR de carcassa i tubs BC-601, BC-602 i BC-603.....	434
12.8.3 EVAPORADORS .....	434
12.8.3.1 Introducció.....	434
12.8.3.2 Disseny funcional i mecànic .....	435
12.8.3.3 Evaporadors EV-301 i EV-302 .....	436
12.8.3.4 Evaporadors EV-303, EV-304, EV-401 i EV-601. ....	436
12.8.4 CONDENSADORS .....	437
12.8.4.1 Introducció.....	437
12.8.4.2 Disseny funcional i mecànic .....	438
12.8.4.3 Condensador C-301 .....	439
12.8.4.4 Condensador C-302, C-303, C-403 i C-601 .....	439
12.8.4.5 Condensador C-401 i C-402 .....	439
12.8.5.6 Condensador C-602 .....	445
12.9 DISSENY DE CRISTALITZADORS.....	446
12.9.1 INTRODUCCIÓ.....	446
12.9.1.1 Etapa de nucleació.....	447
12.9.1.2 Etapa de creixement.....	448
12.9.1.3 Sobresaturació.....	448
12.9.1.4 Equips de cristal·lització .....	449

12.9.1.5 Tipus de cristal·litzadors .....	450
12.9.2 Sistema de purificació del Carbaryl .....	455
12.9.3 Disseny cristal·litzadors .....	458
12.9.4 Cristal·litzador de nucleació, CR-601 .....	459
12.9.4.1 Balanç de matèria .....	459
12.9.4.2 Balanç d'energia .....	461
12.9.4.3 Disseny funcional.....	465
12.9.4.4 Disseny mecànic .....	470
12.9.5 Cristal·litzador de creixement CR-602 .....	487
12.9.5.1 Balanç de matèria .....	487
12.9.5.2 Balanç d'energia .....	489
12.9.5.3 Disseny funcional.....	493
12.9.5.4 Disseny mecànic .....	498
12.9.6 Cristal·litzador de nucleació CR-603 .....	511
12.9.6.1 Balanç de matèria .....	511
12.9.6.2 Balanç d'energia .....	513
12.9.6.3 Disseny funcional.....	517
12.9.6.4 Disseny mecànic .....	521
12.9.7 Generació de buit .....	534
12.10 DISSENY DE CENTRÍFUGUES .....	538
12.11 DISSENY DE L'ASSECADOR .....	541
12.12 disseny d'equips d'Impulsió.....	543
12.12.1 Bombes .....	543
12.12.1.1 Balanç d'energia mecànica.....	543
12.12.1.2 Carrega total .....	545
12.12.1.3 Potència de la bomba.....	545
12.12.2 Compressors .....	546
12.12.3 Bufadors i Ventiladors .....	547
12.12.4 Impulsió de sòlids .....	547
12.13 equips de Neutralització de mic .....	549
12.13.1 Introducció.....	549
12.13.2 Columna d'absorció AB-801 .....	549

12.13.2.1 Disseny funcional.....	549
12.13.2.2 Disseny mecànic .....	551
12.13.3 Torre de cremat.....	560
12.13.3.1 Factors que Afecten l'Eficiència.....	562
12.13.3.2 Descripció del procés.....	562
12.13.3.3 Disseny funcional.....	566
12.13.4 Torre de venteig .....	569
12.14 Disseny d'equips de servei .....	571
12.14.1 Torre de Refrigeració.....	571
12.14.2 Grup de fred (Chiller).....	574
12.14.3 Caldera.....	576
12.14.4 Electricitat.....	580

## 12.MANUAL DE CÀLCUL

### 12.1 DISSENY DE TANCOS D'EMMAGATZEMATGE

#### 12.1.1 Introducció

En aquest apartat s'exposa el disseny dels tancos d'emmagatzematge de les matèries primes, de les intermèdies i dels productes acabats.

Cada un dels recipients té una forma característica segons el tipus de substància que s'ha d'emmagatzemar en ell, la temperatura i pressió de disseny, la seva funció i disposició a la planta, velocitat del vent i coeficient sísmic.

En tots els casos s'ha considerat un temps d'stock de 7 dies, per tal que el procés no s'hagi d'aturar per falta de reactius, ja que la planta treballa en continu, exceptuant al MIC, que és d'un dia, perquè no fa falta emmagatzemar tanta quantitat. El MIC és un producte intermedi que sempre es disposarà dins de la planta i també perquè és una substància molt tòxica i inestable que reacciona ràpidament. Per aquestes dues raons s'aconsella que s'emmagatzemi la menor quantitat possible, o que no s'emmagatzemi.

##### 12.1.1.1 Factor d'ompliment

Amb la resolució dels balanços de matèria s'obté el volum útil que es necessita per cada component, es a dir el volum mínim necessari que s'ha d'emmagatzemar. Per tal d'evitar sobreesforços deguts a variacions en el cabal o moviments de fluid per càrrega i descàrrega, se d'ha d'afegir un percentatge de seguretat o factor d'ompliment.

Com que les substàncies que s'han d'emmagatzemar són tòxiques, inflamables o les dues coses alhora, s'ha de mirar d'escollir el factor d'ompliment adient per cada tipus de substància, complint sempre amb la normativa ITC-MIE-APQ1, per substàncies inflamables i combustibles, i la normativa ITC-MIE-APQ7 per a substàncies tòxiques.

Segons la normativa APQ, per tal de determinar el factor d'ompliment, s'ha de seguir les normatives ADR per embalatge de substàncies perilloses que utilitzen la següent taula 12.1.1.1 o equació 12.1.1.1 per calcular aquest factor, trobada a l'apartat 4.1.1.4.



**Taula 12.1.1.1** Dades per determinar el factor d'ompliment (ADR apartat 4.1.1.4)

Punt d'ebullició en °C	<60	>60 <100	>100 <200	>200 <300	>300
Grua d'ompliment en % de la capacitat del envàs	90	92	94	96	98

$$\text{grau d'ompliment} = \frac{98}{1+F \cdot (50-t_f)} = \% \text{ de la capacitat del envàs} \quad \text{Equació 12.1.1.1}$$

on:

- $t_f$ : temperatura mitjana a la que entra el líquid
- F: factor calculat a partir de l'equació 12.1.1.2

$$F = \frac{d_{15} - d_{50}}{35 \cdot d_{50}} \quad \text{Equació 12.1.1.2}$$

- $d_{15}$  i  $d_{50}$ : densitat del líquid a 15°C i 50°C respectivament.

Una vegada es calcula el factor o grau d'ompliment, s'agafa el valor que sigui més restrictiu.

### 12.1.1.2 Relació diàmetre/alçada

Per tancs d'emmagatzematge cilíndrics es recomana alhora de fer el dimensionament agafar una relació entra el diàmetre i l'alçada de 1,5 a 2.

Aquesta relació ve referida a l'alçada que te el cilindre sense comptar els capçals que seran sumats a l'alçada com dimensionat del cos cilíndric.

Tot i així cal tenir en compte que els equips que superen els 4 m de diàmetre requereixen un transport especial, per tant en funció de les dimensions de l'equip s'haurà de construir *in situ*, en la planta.

### 12.1.1.3 Material de construcció

El material de construcció dels tanc d'emmagatzematge s'ha d'escollir en funció del tipus de substància que es vol emmagatzemar, per tal que el material triat sigui resistent a la corrosió, i de les propietats físiques del material ja que ha de tenir prou resistència mecànica per aguantar les condicions d'operació. Finalment es selecciona el material que sigui més econòmic sempre que compleixi les condicions d'operació i sigui resistent a la corrosió.

### 12.1.1.4 Pressió de disseny

A la pressió d'operació s'ha d'afegir un factor de seguretat per assegurar-se que el tanc aguanti aquesta pressió, i a de més s'ha d'assegurar que no entri aire a dins del tanc, mantenint una sobrepressió interna respecte l'externa. Existeixen dos criteris per calcular aquesta pressió de disseny; un és afegir un 10% a la pressió d'operació i l'altre es afegir-li 2 bar, prenent el valor més gran dels dos criteris tal com mostra l'equació 12.1.1.3:

$$P. \text{ disseny} = \max(1,1 \cdot P. \text{ operació}, P. \text{ operació} + 2 \text{ atm}) \quad \text{Equació 12.1.1.3}$$

Però alhora de calcular l'espessor de la paret del tanc amb el codi ASME, com que s'emmagatzemen líquids i aquest fluid està en repòs dins del tanc, s'ha de sumar la pressió que exerceix el líquid al tanc a la pressió de disseny calculat amb l'equació 12.1.1.4:

$$P. \text{ líquid} = g * \rho * h \quad \text{Equació 12.1.1.4}$$

on:

- g= força de la gravetat, m/s<sup>2</sup>
- ρ= densitat del fluid, Kg/m<sup>3</sup>
- h= alçada de líquid, m, calculat amb l'equació 12.1.1.5

$$h = \frac{V_{\text{líquid}}}{\frac{\pi}{4} \cdot D^2} \quad \text{Equació 12.1.1.5}$$

#### 12.1.1.5 Temperatura de disseny

Per tal que l'equip pugui suportar variacions en la temperatura, a la temperatura d'operació se li afegeix un marge de seguretat seguint l'equació 12.1.1.5 per tal d'escollir el material que agunti aquesta temperatura de disseny.

$$\text{Temperatura de disseny} = \max(80^{\circ}\text{C}, T. \text{operació}, +15^{\circ}\text{C}) \quad \text{Equació 12.1.1.6}$$

#### 12.1.1.6 Sobre espessor per corrosió

En tots els equips s'ha d'afegir un espessor de corrosió al valor de l'espessor de l'equip, calculat amb el codi ASME, per compensar el desgast que pateix el material amb el pas del temps. Aquest espessor depèn del tipus de material i correspon al màxim valor de corrosió previst per un temps determinat, en aquest cas de 15 anys.

#### 12.1.1.7 Factor de soldadura, E

La construcció del tanc es fa a partir de la unió de xapes de material mitjançant soldadura, que pot ser de tipus doble o simple sent la zona que presenta una debilitat més elevada degut a les discontinuïtats que sorgeixen a la xapa un cop s'ha soldat i que poden intensificar les tensions a les que està sotmès el material. Per tal de verificar que aquestes soldadures s'han realitzat de forma correcta i que no queda cap porus a la peça soldada, s'utilitza la tècnica del radiografiat que pot ser parcial o total. En aquest cas es consideren totes del soldadures de tipus doble i amb un radiografiat parcial, obtenint un factor de soldadura igual a 0,85.

#### 12.1.1.8 Tensió màxima admissible, S

La tensió màxima depèn del tipus de material utilitzat i de la temperatura de disseny, aquesta tensió no pot ser superada pel material quan aquest estigui en operació, ja que podria trencar-se. A continuació es mostren les característiques del tipus de material utilitzats, que són l'acer inoxidable AISI 316L i el HASTELLOY B-2

### 12.1.1.9 Venteig

Tots els tancs d'emmagatzematge han de disposar de sistemes de venteig per prevenir la formació de buit o sobrepressió dins del tanc que pugui causar deformacions al sostre o les parets del tanc, com a conseqüència de l'ompliment, el buidatge o canvis de la temperatura ambient. També són necessaris per temes de seguretat per tal d'assegurar que es podrà alleujar la pressió causada per un incendi pròxim.

Segons la normativa APQ1 i APQ7, es obligatori la instal·lació de dos tipus diferents de venteig.

#### Venteig normal

El venteig normal d'un recipient s'ha de dimensionar segons codis de reconeguda solvència o com a mínim ha de tenir un diàmetre igual al de la major de les canonades d'ompliment o buidatge, i en cap cas poden tenir un diàmetre intern inferior a 35mm.

Si un tanc o dipòsit te més d'una connexió d'ompliment o buidat, les dimensions del venteig es calculen en funció del flux màxim.

#### Venteig d'emergència

Tot recipient d'emmagatzematge en la superfície ha de tenir alguna forma constructiva o dispositiu que permeti alleujar l'excés de pressió interna causat per un foc extern. Els principals dispositius per alleujar la pressió són el disc de ruptura, les vàlvules de seguretat i les vàlvules de alleujament.

#### Càlcul del venteig

Per cada recipient a pressió, el venteig d'emergència ha de permetre que el vapor generat per l'efecte d'un calor rebut pugui sortir, sense que la pressió augmenti a l'interior del recipient més d'un 10% de la pressió màxima del disseny. Es calcula mitjançant l'equació 12.1.1.7.

$$\frac{kg}{h} \text{ de vapor de líquid} = \frac{Q}{L} \quad \text{Equació 12.1.1.7}$$

on:

- Q: Calor rebuda, calculat amb l'equació SEGÜENT, kJ/h.
- L: Calor latent de vaporització en kJ/kg en les condicions de venteig.

$$Q = 139,7 \cdot F \cdot A^{0,82} \cdot 10^3 \quad \text{Equació 12.1.1.8}$$

on:

- Q: Calor rebuda pel recipient, kJ/h.
- F: Factor de reducció sense dimensions. En aquest cas serà igual a 1.
- A: Superfície humida, m<sup>2</sup>, calculada amb l'equació 12.1.1.9

$$A = \pi \cdot D \cdot H_{cilindro} \quad \text{Equació 12.1.1.9}$$

#### 12.1.1.10 Connexions , càrrega i descàrrega

Segons l'APQ1, les connexions per les quals circuli el líquid normalment porten vàlvules internes o externes el més a prop a la paret del recipient. En aquest cas es disposaran de vàlvules externes a tots els tancs.

Les connexions per sota del nivell de líquid, on normalment no hi circula líquid, portaran un tancament estanc. Aquest tancament pot ser amb una vàlvula, un tap o una brida cega o inclús combinacions d'aquestes tres.

Les obertures per prendre mostra del nivell de líquid de forma manual , portaran un tap que només s'obrirà en el moment de fer la mesura i que no pot ser roscat.

Les connexions d'entrada a recipient que continguin líquids de la classe B, hauran d'estar dissenyades per evitar al màxim la possibilitat de generar electricitat estàtica.

Per tant, la canonada d'ompliment entra per la part superior del tanc i s'ha de prolongar dins del recipient fins a una altura menor de 150 mm del fons del recipient i s'haurà d'instal·lar de forma que eviti les vibracions excessives alhora d'omplir el tanc.

Els punts on es realitzin operacions de connexions o unions de canonades o manegues, per omplir o buidar, es situaran fora dels edificis, en una àrea lliure de fonts d'ignició i a una distància mínima de 1,5m de qualsevol obertura dels edificis. També s'han de mantenir adequadament identificats i amb un tancament estanc per quan no s'estigui fent servir.

### 12.1.1.11 Boca d'home

Tots els tancs han de disposar d'una boca d'home per executar les inspeccions, com dicta a la normativa. Aquesta obertura ha de tenir un diàmetre intern mínim perquè un operari pugui accedir al interior del tanc quan sigui necessari i de forma còmode.

Aquesta serà instal·lada en la part superior dels tanc i disposarà de 500 mm de diàmetre.

### 12.1.1.12 Atmosfera inertitzada de nitrogen

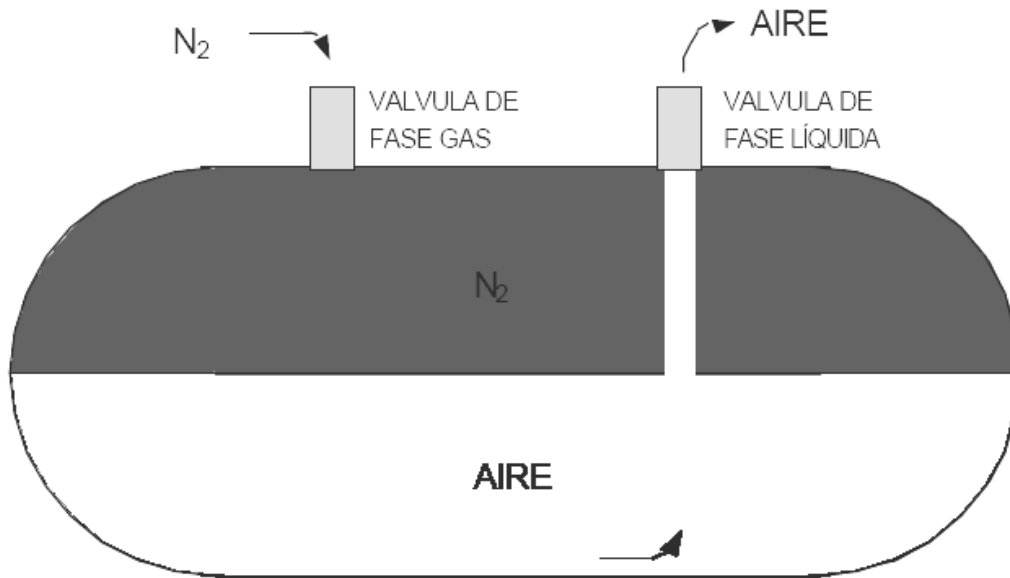
Els tancs es sotmetran a una atmosfera inertitzada de nitrogen, amb una pressió superior a l'atmosfèrica, perquè a l'emmagatzemar substàncies inflamables, s'ha d'evitar possibles explosions provocades pel contacte entre el líquid i l'oxigen atmosfèric, evitant també l'entrada d'aire al tanc.

Aquesta inertització serà efectuada en gairebé tots els tancs d'emmagatzematge per temes de seguretat, ja que les substàncies que s'emmagatzemen són inflamables o poden reaccionar amb l'aire.

El sistema d'inertització que s'efectua al tanc, serà el pas previ al primer ompliment.

La seqüència d'operació serà el següent:

- S'introdueix nitrogen fins a una proporció del 70% de volum total del dipòsit, lentament per evitar que aquest es refredi massa.
- A continuació es deixa reposar una estona per tal que el nitrogen es quedi en la part superior del tanc i l'aire quedi en la part inferior. Ja que aquest es menys dens l'aire.
- Per últim, es procedeix a l'obertura de la vàlvula de fase líquida per que surti l'aire tal com mostra la figura següent:



**Figura 12.1.1.1.** Esquema de com es produeix la inertització amb nitrogen

Una vegada s'inertitza el dipòsit es procedeix a l'ompliment amb la substància a emmagatzemar seguint els passos següents i tenint en compte si la substància es distribuïda per camions cisterna o per una canonada.

#### Camió cisterna

- 1- Es situa el camió cisterna a una distància mínima de 3m de la boca de carrega, procurant que pugui sortir de la zona de forma fàcil i segura.
- 2- Es posa la presa terra del camió cisterna en contacte amb el terra per tal de que si es crea electricitat estàtica s'hi canalitzi enlloc d'anar cap a dins del tanc.
- 3- Es connecta la manega a la boca de carrega, obrint aquesta prèviament i obrint la vàlvula d'ompliment al màxim.
- 4- S'acciona l'equip de transvasament, amb la introducció de la substància a emmagatzemar fins arribar a la pressió interna desitjada.
- 5- Una vegada es te la pressió es deixa sortir gas inert, mentre es continua omplint el dipòsit. Extraient la major quantitat de gas inert per evitar que pugui arribar als equips de procés provocant un mal funcionament d'aquests.
- 6- Es comprova d'estanqueïtat de totes les vàlvules del tanc

- 7- Es continua l'ompliment del tanc, comprovant el funcionament del mesurador de nivell.
- 8- Una vegada el tanc esta ple, es para l'equip de transvasament, es tanca la vàlvula d'ompliment, es purga la manega i es desconnecta.
- 9- Per últim es treu la presa a terra del camió cisterna.

### Canonada

- 1- En aquest cas la presa a terra sempre es troba connectada a la canonada, per tan quan es vol omplir el tanc només s'ha d'obrir la vàlvula d'entrada de líquid.
- 2- Una vegada es te la pressió es deixa sortir gas inert , mentre es continua omplint el dipòsit. Extraient la major quantitat de gas inert per evitar que pugui arribar als equips de procés, provocant un mal funcionament d'aquests.
- 3- Es comprova la estanqueïtat de totes les vàlvules del tanc
- 4- Es continua l'ompliment del tanc, comprovant el funcionament del mesurador de nivell.
- 5- Una vegada el tanc esta ple es tanca la vàlvula d'ompliment.

#### **12.1.1.13 Cubetes de retenció**

Les cubetes de retenció es dipositen normalment en la part inferior dels tancs o a una distancia propera, com a mesura de seguretat per tal de permetre recollir tota la quantitat de fluid emmagatzemat si hi ha una fuga al tanc.

La distància en projecció horitzontal entre la paret del recipient i la vora interior de la part inferior de la cubeta serà com a mínim 1,5 m.

Quan una cubeta contingui diversos recipients, la capacitat d'aquest serà un 10% de la capacitat global dels recipients, considerant que no existeixen aquests recipients o el 100% de la capacitat del recipient que pugui contenir més quantitat.

Les parets d'aquestes cubetes hauran de ser de material no combustibles, estancs, que no interactuïn amb la substancia a retenir i que resisteixin l'altura total de líquid per quan la cubeta estigui plena. En general les parets han de tenir una altura màxima de 1,8 metres respecte el nivell inferior, per aconseguir una bona ventilació.



#### 12.1.1.14 Prova hidràulica

La normativa exigeix que en tots els tancs, abans de la posada en marxa i la inertització d'aquests, s'han de sotmetre a una carrega d'aigua a una pressió d'operació superior.

Tots els tancs han de ser inspeccionats seguint l'equació 12.1.1.9.

$$P_{Hm} = 1,3 * P \frac{\sigma_d}{\sigma} \quad \text{Equació 12.1.1.9}$$

on:

- $P_{Hm}$ : Pressió hidrostàtica mínima
- $P$ : Pressió de disseny
- $\sigma_d$ : Tensió màxima admissible a la temperatura de disseny
- $\sigma$ : Tensió màxima admissible a la temperatura ambient

Aquesta prova hidràulica es fa en el moment de construcció si porten l'equip fet, es a dir, si no es construeix a la planta s'ha de comprovar en la posada en marxa que el tanc resisteix aquesta pressió.

#### 12.1.1.15 Velocitat del vent

Els tanc d'emmagatzematge situats a l'exterior els hi afecta l'acció del vent, sobretot si es construeixen de manera vertical. Aquesta acció del vent ve donada per la carrega de vent que es registri al municipi on es localitza la planta, per tant tenint en compte que ha Tarragona la carrega del vent registrada es troba entre rangs moderats i per tant no es tindrà en compte alhora de fer el disseny.

#### 12.1.1.16 Coeficient sísmic

Per solucionar els efectes sísmics característics de la zona on es vagi a construir l'equip, el reglament per obra civil (NBE) subministra un coeficient que s'ha d'afegir als esforços que sofreix el material. Però en el nostre cas a Tarragona no s'han registrat nivell sísmics d'importància i les dimensions dels tancs no son massa grans, amb el que es pot menys prear aquest coeficient.

**12.1.1.17 Aïllant**

Per tal de mantenir la temperatura dins dels tancs, ja que les substàncies han de ser emmagatzemades dins d'unes condicions que permetin ser mes o menys estables per la seva manipulació i que aquest emmagatzematge sigui el mes segur possible, es requereix el seu aïllament amb llana de roca. A més en alguns casos aquests tancs disposen d'una càmera de buit entre l'aïllant i el tanc per assegurar aquest aïllament amb el exterior o es troben mig enterrats i coberts per una capa de formigó, a part de l'aïllament. Com que l'espessor dels capçals i del cos pot ser que siguin diferents, sempre s'ha d'agafar el cas més desfavorable per calcular l'espessor d'aquest aïllant i també s'ha de tenir en compte que s'ha de dissenyar per les pitjor condicions de temperatura, per tant s'ha de comprovar en cada cas quin es el salt tèrmic més gran si a l'estiu o a l'hivern prenent com a temperatures ambient mitjanes d'estiu 30°C i de 4°C a l'hivern, calculat amb l'equació 12.1.1.10.

$$X = \frac{30}{3,6 \cdot \left(\frac{\Delta T}{D_{ext}}\right)^{\frac{1}{4}}} \quad \text{Equació 12.1.1.10}$$

on:

- X = espessor de l'aïllant (cm)
- $\Delta T$  = diferència de temperatura entre l'interior i l'exterior del recipient ( en el pitjor del casos, quan aquest valor sigui el més gran).
- $D_{ext}$  = diàmetre exterior del recipient (m)=  $D_{int}+t \cdot 2$  (més desfavorable)

Si es compara l'espessor calculat de l'aïllant amb el que es pot trobar en les conduccions, es decideix augmentar el valor obtingut pel doble per assegurar un bon aïllament.

Aquest aïllant quedarà recobert per una capa d'alumini per tal de protegir-lo de les inclemències meteorològiques.

### 12.1.2 Tancs d'emmagatzematge de foscè

El foscè és una substància gasosa a temperatura ambient i molt tòxica amb un  $LD_{50}=0.02\text{ppm}$  que, segons la normativa ITC-MIE-APQ7, es classifica com una substància de classe T<sup>+</sup>. S'hauran de prendre les mesures de seguretat i protecció necessàries, segons el reglament MIE-APQ7.

Segons la normativa APQ7 aquest tanc s'ha de mantenir a certa distància dels altres tancs. Aquesta distància, calculada com si fos un tanc que emmagatzema substàncies inflamables de classe D, és de 0,25 el diàmetre del recipient, tenint en compte que com a mínim han d'estar separats 1,5m. Respecte les altres instal·lacions es determina la distància utilitzant l'equació 12.1.2.1

$$D = d \cdot F_A \cdot F_B \cdot F_C \quad \text{Equació 12.1.2.1}$$

on:

- D= distància entre instal·lacions, (m)
- d= distancia base, (m), determinat amb la taula 12.1.2.1

**Taula 12.1.2.1.** Valors de d pels diferents equips o instal·lacions

	Clase de producto		
	T+	T	Xn
Unidades de proceso, edificios propios, hornos, calderas, estaciones contra incendios, bombas, balsas separadoras de inflamables y cargadero de inflamables (clases A y B).	15	8	4
Vallado de la planta.	10	5	3
Límites de propiedades exteriores en las que pueden edificarse y vías de comunicación pública (ver nota).	20	10	5
Locales y establecimientos exteriores de pública concurrencia (ver nota).	30	15	10

Nota: La distancia obtenida, después de aplicar los coeficientes, no podrá ser inferior a 5 m.

$F_A$ = Factor aplicable a totes les instal·lacions segons el punt d'ebullició de la substància emmagatzemada. = 2,00

$F_B$ = Factor aplicable als recipients per prevenir emissions.= 0.50

$F_C$ = Factor aplicable a totes les instal·lacions per protecció d'emissions en cas d'incendi pròxim.= 0,50.

Per tal que el seu emmagatzematge sigui segur i que el volum del tanc no hagi de ser molt gran, el foscè s'emmagatzema líquid, a una temperatura per sota del seu punt d'ebullició i pressió atmosfèrica, amb un sistema de refrigeració que consta d'un serpentí intern amb toluè com a fluid refrigerant. D'aquesta forma, si hi ha alguna fissura, com que el toluè és el dissolvent de la planta, no interactua amb la substància emmagatzemada. Per assegurar que no hi ha intercanvi de calor amb l'exterior i que no l'afectin les radiacions solars provocant que la temperatura dins del tanc augmenti, aquests tancs d'emmagatzematge de foscè són enterrats seguint la normativa APQ-7 següent.

La distància des de qualsevol punt del tanc fins a un altre tanc, a la paret més pròxima a un soterrani o fosa, o als límits de la propietat, no pot ser inferior a 1 metre. Han d'estar dotats de sistemes de detecció i contenció de fuites; com cubetes estanques amb tubs bus, doble paret amb detenció de fuites, etc.

També han d'estar envoltats per 250 mm de materials inerts no corrosius; com sorra neta y rentada o grava compactada i coberts com a mínim per 600 mm de terra o un altre material adequat, o per 300 mm de terra i 100 mm de formigó armat. Quan pugui haver tràfic per sobre dels recipients, s'han de cobrir com a mínim per 900 mm de terra o per 450 mm de terra piconada i 150 mm de formigó armat o 200 mm d'aglomerat asfàltic, que s'ha d'estendre 300 mm fora de la perifèria del tanc en totes les direccions.

#### **12.1.2.1 Disseny funcional**

Serà emmagatzemat als tancs T-101 i T-102, situats a l'àrea 100, en les següents condicions: pressió de 1 bar i a 3 °C, per tal de poder reduir la distància de seguretat que s'ha de deixar entre els altres equips, segons la normativa APQ7, i els tancs seran inertitzats amb nitrogen. La seva disposició serà horitzontal i enterrats, i tindran que ser capaços d'emmagatzemar un cabal de 833,89 Kg/dia., que es el necessari per que es produeixi la reacció 1, restant-li el foscè recirculat, així doncs en la posada en marxa seran necessaris 1045,45 kg/h a fi que la reacció 1 es pugui produir en les condicions desitjades, provocant que el tanc es buidi abans del temps estimat d'stock de 7 dies.

Una vegada es coneixi el volum de foscè a emmagatzemar, s'haurà de comprovar que en la posada en marxa de la planta es té suficient foscè emmagatzemat.

Aquest foscè ve proporcionat per una planta situada al costat, considerant un stock d'uns 7 dies per evitar problemes a conseqüència d'una parada del subministrament. A partir d'aquests dies i el cabal volumètric, calculat a partir del cabal màssic ( $Q=20013,28$  kg/dia) i la densitat del compost ( $\rho=1414,16$  kg/m<sup>3</sup>), es calcula el volum de foscè a emmagatzemar durant aquest temps.

$$V_{foscè} = Q_v \cdot t_{stock} = 99,06 \text{ m}^3$$

Aquest volum se li ha d'afegir el factor de seguretat, que en el cas del foscè:

$$\text{grau d'ompliment} = \frac{98}{1+? \cdot (50 - t_f)} = \frac{98}{1 + 0,00177 \cdot (50 - 3)} = 93,84\%$$

$$F = \frac{d_{15} - d_{50}}{35 \cdot d_{50}} = \frac{d_{15} - d_{50}}{35 \cdot d_{50}} = 0,00177$$

Per la taula, com que el foscè té un punt d'ebullició de 8°C, es del 90%. Com aquest últim és el més restrictiu, dividim el volum de foscè per aquest factor i tenim el volum mínim de tanc necessari per emmagatzemar aquesta quantitat de foscè durant el temps establert.

$$V_{mínim} = \frac{V_{foscè}}{0,9} = \frac{99,06}{0,9} = 110 \text{ m}^3$$

Com que es necessita un volum mínim de 110 m<sup>3</sup>, es decideix treballar amb dos tancs de 60 m<sup>3</sup>, per qüestions de manteniment i també perquè mentre un estigui en funcionament l'altre es pugui omplir, sense tenir que parar la planta. Una vegada es coneix el volum dels tanc, es pot dimensionar el tanc.

### 12.1.2.2 Dimensionament

Una vegada es coneix el volum del tanc, es determinen les seves dimensions segons la normativa API 620, per recipients a pressió. Només farem el dimensionament d'un

d'ells, ja que tots dos seran iguals, i aquests valors correspondran únicament al dimensionat del cos del tanc, que serà cilíndric. Tenint en compte això, i que la relació entre el diàmetre i l'altura es igual a 2, es pot determinar el diàmetre del tanc.

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

$$H = 2 \cdot D = 6,74 \text{ m}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_{tanc}}{2 \cdot \pi}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 60}{2 \cdot \pi}} = 3,37 \text{ m}$$

Una vegada determinada l'alçada, aquesta es normalitza per tal que la construcció del tanc sigui més econòmic. Així tindrem un tanc amb les següents dimensions:

Alçada= **7 m**

Diàmetre intern= **3,5 m**

Al normalitzar les dimensions s'ha de calcular el volum real del tanc i també el percentatge d'ocupació que es té realment, que serà inferior al estipulat en la normativa ADR.

$$V_{tanc,real} = \frac{\pi}{4} \cdot 3,5^2 \cdot 7 = 67,35 \text{ m}^3$$

$$\%volum ocupat = \frac{V_{fosgè}}{n^o \text{ tancs}} \cdot 100 = \frac{70,22}{2} \cdot 100 = \frac{70,22}{67,35} \cdot 100 = 73,55 \%$$

Després de determinar el volum real d'un tanc es pot calcular el temps que tarda a buidar-se en la posada en marxa i en operació.

$$t_{buidat \text{ posada en marxa}} = \frac{V_{tanc,real}}{Q_v} = \frac{67,35}{17,74} = 3,8 \text{ dies}$$

$$t_{buidat \text{ operació}} = \frac{V_{tanc,real}}{Q_v} = \frac{67,35}{14,15} = 4,8 \text{ dies}$$

Per tan es comprova que en la posada en marxa es disposa de suficient quantitat de foscè i també els dies que es trigarà en buidar un tanc en operació, permetent saber cada quant s'ha d'omplir cada tanc.

### 12.1.2.3 Disseny mecànic

El disseny mecànic dels tancs d'emmagatzematge de foscè, està fet segons la normativa ASME per recipients a pressió i la normativa ITC-MIE-APQ7 per emmagatzematge de substàncies tòxiques, tenint en compte les dimensions obtingudes en l'apartat anterior es corresponen al cos cilíndric d'aquest, ja que el tanc disposa d'un cos cilíndric amb un capçal superior toriesfèric i un fons inferior pla.

#### **Material**

Per decidir quin és el millor material pels tancs T-101 i T-102, cal tenir en compte que la substància emmagatzemada es molt corrosiva, per tant s'ha d'utilitzar un material que provoqui la menor corrosió possible davant de la substància que es manipula, consultant la Taula SEGÜENT.

*Taula 12.1.2.2 Resistència del material per diferents substàncies*





Tot per que, en el cas que el foscge arribi a assolir temperatures molt altes, es descompon en àcid clorhídric que es molt corrosiu.

### Pressió de disseny

La pressió de disseny pel tanc es calcula aplicant la norma següent:

$$Pressió\ de\ disseny = \max(1,1 \cdot P.\ operació, P.\ operació + 2bar)$$

$$Pressió\ de\ disseny = \max(10,296bar, 11,36bar) = 11,36\ bar$$

Encara que el tanc es te a pressió atmosfèrica, per tal d'assegurar que aquest tanc aguantí una pujada de pressió degut a la reacció d'aquest compost o una pujada de temperatura, en fer el disseny mecànic amb l'ASME, es determina la pressió d'operació a partir de calcular la pressió que exerceix el líquid, anomenada càrrega hidrostàtica, i a la pressió de vaporització amb l'equació d'antoiné, per una temperatura de 50°C, ja que quant reacciona la temperatura puja i per tant s'ha d'assegurar que el tanc pugui aguantar-ho. En qualsevol cas, es disposa de sistemes de seguretat per evitar que es puguin assolir aquestes condicions.

$$P_{vap} = 10^{\left[A - \left(\frac{B}{T+C}\right)\right]} = 8,41\ bar \quad \text{Equació 12.1.2.2}$$

Aquesta pressió de vapor es la mínima pressió en la qual el líquid esta en equilibri amb el vapor i per tant, per assegurar que la substància estigui líquida, s'ha de mantenir el tanc a més pressió.

Pressió vaporització= 9 bar

$$P.\ càrrega\ hidrostàtica = g * \rho * h = 9,81 \cdot 1414,16 \cdot 2,57 = 0,36 \cdot 10^5\ kg/m \cdot s^2$$

$$P.\ càrrega\ hidrostàtica = 0,36\ bar$$

$$h = \frac{V_{líquid,1tanc}}{\frac{\pi}{4} \cdot D^2} = \frac{49,53}{\frac{\pi}{4} \cdot 3,5^2} = 2,57m$$

Pressió operació = 1 bar.

Pressió de disseny = **11,36 bar**.

### Temperatura de disseny

En aquest cas, la temperatura de disseny ve donada per la temperatura d'operació augmentant-li un factor de seguretat de 20 graus.

Temperatura d'operació = 3 °C

La temperatura de disseny ve donada:

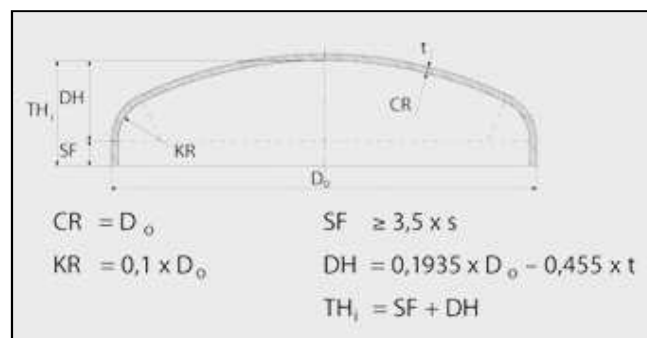
$$\text{Temperatura de disseny} = T.\text{operació} + 20^{\circ}\text{C}$$

Temperatura de disseny = **23 °C**

### Espessor del capçal. Càlcul a pressió interna

Els tipus de capçals més utilitzats són el toriesfèric, l'hemisfèric i l'el·lipsoïdal. La seva elecció depèn de les condicions d'operació i el cost econòmic; en aquest cas s'utilitza el toriesfèric.

Aquest capçal ve definit pel radi de la corona (L) i el radi del colze (r) que es calculen respecte al diàmetre del cos, tal com indica la casa "Koenig-co" en la figura següent, extreta de la seva pàgina web.



**Figura 12.1.2.1** Esquema del fons toriesfèric per tal de determinar l'alçada del fons del tanc.  $s=t$ .

Per tant,

$$L = D = 3500 \text{ mm}$$

$$r = 0,1 \cdot D = 0,1 \cdot 3500 \text{ mm} = 350 \text{ mm}$$

$$\frac{L}{r} = 10$$

Per una relació  $L/r$  menor de  $16^{2/3}$ , l'espessor es calcula amb l'equació 12.1.2.3.

$$t = \frac{P \cdot L \cdot M}{2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P} + C_1 + C_2 \quad \text{Equació 12.1.2.3}$$

on:

- t = espessor del fondo (mm)
- P = pressió de disseny del recipient (bar) = 11,36
- M = factor que depèn de la relació L/r, en aquest cas igual a 1,54
- E = factor de soldadura = 0,85 (radiografiat doble parcial)
- S = càrrega admissible del material (bar) = 7583,4 bar
- L= radi de la corona (mm) = 3500

El sobre espessor per corrosió del material és de 0,508mm/any com a màxim, suposant que la vida útil del tanc seran 15 anys, el sobre espessor serà 7,62 mm.

$C_1$  = marge per corrosió (mm) = 7,62 mm

$C_2$  = tolerància de fabricació (mm) = 10% de l'espessor

El resultat és de 12,84 mm, però donat que els espessors estàndards de xapa a Europa són: 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 15, 20..., s'agafa un espessor pel capçal de 15 mm.

***espessor del capçal = 15 mm***

#### **Espessor del cos del tanc. Càlcul a pressió interna**

L'equació 12.1.2.4 permet trobar l'espessor del cos del tanc.

$$t_1 = \frac{P \cdot R_{int}}{S \cdot E - 0,6 \cdot P} + C \cdot A \quad \text{Equació 12.1.2.4}$$

on:

- $t_1$  = espessor del cos (mm)
- P = pressió de disseny del recipient (bar) = 11,36
- $R_{int}$  = radi intern de la columna (mm) = 1750
- E = factor de soldadura = 0,85 (radiografiat doble parcial)
- S = càrrega admissible del material (bar) = 7583,4 bar
- C.A = sobreespessor (mm)

La tolerància de fabricació pel cas d'un cilindre és nul·la i el sobre espessor per corrosió del material és de 0,508mm/any com a màxim, suposant que la vida útil del tanc seran 15 anys, el sobre espessor serà 7,62 mm.

El resultat és de 10,71 mm, però donat que els espessors estàndards de xapa a Europa són: 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 15, 20..., s'agafa un espessor del cos de **12 mm**.

Per tal que el capçal es pugui soldar al cos, l'espessor d'aquest últim s'ha de sobre dimensionar ja que l'espessor del capçal es superior, i per tal que la xapa escollida per la seva construcció sigui la mateixa, s'ha d'agafar el valor d'espessor més gran que normalment sempre es el dels capçals. Per tant el cost tindrà un espessor de 15 mm.

$$\text{espessor dels cos del tanc} = 15 \text{ mm}$$

### Alçada del capçal

Una vegada determinats els espessors del cos, el fons i el capçal es pot determinar l'alçada total de l'equip, tal com indica la casa "Koenig-co" en la figura, extreta de la seva pàgina web. Per tant, es troben les equacions següents per determinar l'alçada total del tanc.

$$DH = 0,1935 \cdot D_o - 0,455 \cdot t \quad \text{Equació 12.1.2.5}$$

$$SF = 3,5 \cdot s \quad \text{Equació 12.1.2.6}$$

$$TH = SF + DH \quad \text{Equació 12.1.2.7}$$

Es calcula l'alçada del fons toriesfèric sense tenir en compte l'espessor de la xapa, tal com s'indica a continuació:

$$DH = 0,1935 \cdot 3500 \text{ mm} - 0,455 \cdot 15 \text{ mm} = 670,43 \text{ mm}$$

$$SF = 3,5 \cdot 15 \text{ mm} = 52,5 \text{ mm}$$

$$TH = 52,5 \text{ mm} + 670,43 \text{ mm} = 722,93 \text{ mm}$$

Per tant, l'alçada del tanc sense l'espessor és de **8445,86 mm**.

### 12.1.2.4 Sistema de refrigeració

Per tal de poder mantenir la temperatura de dins del tanc a 3 °C, s'instal·la un serpentí a l'interior del tanc com a sistema de refrigeració, suposant que la calor a extreure serà

com si entres un corrent a una temperatura de 30 °C amb el mateix cabal màssic de sortida del tanc. Calculat amb l'equació:

$$Q = m \cdot C_p \cdot (T_{tanc} - T_{entrada}) \quad \text{Equació 12.1.2.8}$$

on:

- Q: calor a extreure del tanc, J/s
- m: Cabal d'entrada al tanc de fosc, kg/s
- C<sub>p</sub>: Capacitat calorífica del fosc, J/kg·°C
- T<sub>tanc</sub>: temperatura de dins del tanc, °C
- T<sub>entrada</sub>: temperatura de la corrent d'entrada de fosc, °C

$$Q = 0,23 \frac{kg}{s} \cdot 916,94 \frac{J}{Kg \cdot ^\circ C} \cdot (3 ^\circ C - 30 ^\circ C) = -5735 \frac{J}{s}$$

Una vegada es determina la calor a extreure de dins del tanc, es calcula l'àrea de bescanvi i el cabal del refrigerant que circula pel serpentí. En aquest cas el refrigerant escollit és el toluè, ja que és el dissolvent que s'utilitza a la planta i per tan en cas de fissura al serpentí aquest no reacciona amb el fosc. Calculat amb les equacions i equació:

$$A_{bescanvi} = \frac{Q}{U \cdot DTML} \quad \text{Equació 12.1.2.9}$$

on:

- Q= Calor a extreure del tanc, J/s
- U= Coeficient de transferència de calor del sistema (W/m<sup>2</sup>·K). Suposat de 750 ja que es un valor típic pel cas de tindre dos líquids.
- DTML= Diferencial de temperatures mitjà logarítmic calculat com:

$$DTML = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}$$

$$\Delta T_1 = T^{\circ} \text{entrada fluid de tubs} - T^{\circ} \text{sortida fluid de carcassa}$$

$$\Delta T_2 = T^{\circ} \text{sortida fluid de tubs} - T^{\circ} \text{entrada fluid de carcassa}$$

$$\Delta T_1 = -10 - (3) = -13$$

$$\Delta T_2 = -5 - (3) = -8$$

$$DTML = \frac{-13 - (-8)}{\ln \frac{-13}{-8}} = -10,29$$

Amb aquests valors s'obté una àrea de bescanvi requerida de:

$$\text{Àrea} = \frac{-5735 \text{ J/s}}{\frac{750 \text{ W}}{\text{m}^2} \cdot K \cdot (-10,29)} = 0,74 \text{ m}^2$$

El cabal de refrigerant necessari per aconseguir aquest bescanvi de calor es pot calcular amb l'equació següent:

$$Q = m_{\text{refrigerant}} \cdot C_{p_{\text{refrigerant}}} \cdot \Delta T \quad \text{Equació 12.1.2.10}$$

on:

- $m_{\text{refrigerant}}$  = cabal màssic del refrigerant. (kg/h)
- $C_{p_{\text{refrigerant}}}$  = capacitat calorífica del refrigerant. (kJ/kg·K)
- $\Delta T$  = salt tèrmic del refrigerant entre l'entrada i la sortida. El salt tèrmic del refrigerant es fixa a 5°C.

$$m_{\text{refrigerant}} = \frac{-5735 \text{ J/h}}{\frac{355,97 \text{ J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (-5)} = 11599 \text{ kg/h}$$

Una vegada es té aquest cabal es calcula l'àrea interna a partir del cabal volumètric i la velocitat a la que circula el fluid refrigerant, es pren un valor típic de velocitat d'un líquid que circula per l'interior de tubs, igual a 1,5 m/s, i amb aquesta àrea es calcula el diàmetre intern del serpentí. Amb les equacions:

$$A = \frac{Q_v}{v} \quad \text{Equació 12.1.2.11}$$

$$A = 0,0024 \text{ m}^2$$

on:

- $Q_v$  = cabal volumètric del refrigerant
- $v$  = velocitat del refrigerant, presa com un valor típic de 1,5 m/s

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} \quad \text{Equació 12.1.2.12}$$

$$D = 0,055 \text{ m} = 55 \text{ mm}$$

Un cop determinat el cabal es calcula la longitud del serpentí amb l'àrea de bescanvi calculada amb l'equació:

$$L = \frac{A_{\text{bescanvi}}}{\pi \cdot D} \quad \text{Equació 12.1.2.13}$$

$$L = 4,27 \text{ m}$$

Una vegada es saben les dimensions del serpentí, es calcula el numero de voltes que efectua.

$$n = \frac{L}{2 \cdot \pi \cdot r_p} \quad \text{Equació 12.1.2.14}$$

$$n = 0,69 \text{ voltes} \approx 1 \text{ voltes}$$

on:

- L= longitud del serpentí
- $r_p$ = radi mitja de totes les voltes, pren un valor de 0,98
- A continuació es determina la separació entre els tubs a partir del numero de voltes i el radi del tanc.

$$S = \frac{r_{\text{tanc}}}{n} \quad \text{Equació 12.1.2.15}$$

$$S = 1,75 \text{ m}$$

Finalment es calcula el pes d'aquest serpentí, suposant que té un gruix de paret de 1,5 mm, que se li haurà de sumar al pes del tanc buit.

$$Pes = \frac{\pi}{4} \cdot (D_e^2 - D_i^2) \cdot L \cdot \rho_{\text{Hastelloy B-2}} \quad \text{Equació 12.1.2.16}$$

$$Pes = 10,55 \text{ kg}$$

#### 12.1.2.5 Pes del tanc

##### Pes del tanc buit

Es calcula el volum del capçal del tanc mitjançant l'equació:

$$V_i = 0,1 \cdot (D_{\text{tanc}})^3 \quad \text{Equació 12.1.2.17}$$

Per tant,

$$V_i = 0,1 \cdot (3500 \text{ mm})^3 = 4,29 \text{ m}^3$$

Per calcular el pes dels capçals, es calcula el volum extern del capçal, mitjançant l'equació :

$$V_e = 0,1 \cdot ((D_{\text{tanc}} + t)^3) \quad \text{Equació 12.1.2.18}$$

Per tant,

$$V_e = 0,1 \cdot (3500 \text{ mm} + 2 \cdot 15 \text{ mm})^3 = 4,40 \text{ m}^3$$

Per tant, la resta correspon al volum de la paret del capçal:

$$V_{\text{paret, capçal}} = 4,40 \text{ m}^3 - 4,29 \text{ m}^3 = 0,11 \text{ m}^3$$

Es calcula el volum intern i extern del cos del tanc, per tal de determinar el volum de paret.

$$V_i = \pi \cdot \left(\frac{D_{\text{tanc}}}{2}\right)^2 \cdot h = \pi \cdot \left(\frac{3500 \text{ mm}}{2}\right)^2 \cdot 7000 \text{ mm} = 67,35 \text{ m}^3$$

$$V_e = \pi \cdot \left(\frac{D_{\text{tanc}} + 2 \cdot t}{2}\right)^2 \cdot h = \pi \cdot \left(\frac{3500 \text{ mm} + 2 \cdot 15 \text{ mm}}{2}\right)^2 \cdot 7000 \text{ mm} \\ = 68,51 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{paret, cos}} = 68,51 \text{ m}^3 - 67,35 \text{ m}^3 = 1,16 \text{ m}^3$$

Per tant, el volum total de la paret del tanc és de **2,43 m<sup>3</sup>**.

Sabent que la densitat del Hastelloy B2 és de 9220 Kg/m<sup>3</sup>, es pot calcular el pes del tanc buit, tal com s'indica a continuació, sumant-li el pes del serpentí. Aquest s'ha de sobre dimensionar un 10 % degut al pes de les soldadures i connexions de les canonades, boques d'home, etc. Cal tenir en compte alhora d'escollir el tipus de terreny on enterrar-lo, que sigui capaç de suportar el pes total de l'equip.

$$P_{\text{esbuit}} = 1,1 \cdot (2,43 \text{ m}^3 \cdot \frac{9220 \text{ Kg}}{1 \text{ m}^3} + 10,55) = 12899 \text{ Kg}$$

### **Pes del tanc ple d'aigua**

Es calcula el volum del tanc sumant el volums del capçal i el cos:

$$V_{\text{tanc}} = 2 \cdot 4,29 \text{ m}^3 + 67,35 \text{ m}^3 = 75,92 \text{ m}^3$$

Per tant, amb la densitat de l'aigua a la temperatura d'operació mitjana i el pes del tanc buit es pot calcular el pes del tanc amb aigua:

$$P_{\text{estanc aigua}} = 12899 \text{ Kg} + 75,92 \text{ m}^3 \cdot \frac{999,965}{1 \text{ m}^3} = 100579 \text{ Kg}$$

### **Pes del tanc en operació**



A partir de la densitat mitjana del fluid d'operació, es calcula el pes del tanc en operació:

$$Pes_{tanc\ operació} = 12899\ Kg + 75,92\ m^3 \cdot \frac{1414,16\ Kg}{1\ m^3} = 132026\ K$$

### 12.1.2.6 Venteig

Tal com s'ha explicat anteriorment, es necessari dissenyar el sistema de venteig dels tancs per evitar que aquests es deformin. Tots els sistemes de venteig han de disposar d'un diàmetre que com a mínim ha de ser igual al diàmetre intern més gran de les canonades utilitzades per omplir o buidar el tanc, o tenir un diàmetre intern de 35 mm, com a mínim.

El venteig està relacionat amb la superfície humida del tanc que pot estar exposada a un foc exterior. Aquesta superfície es calcula sobre la base de càlcul següent, d'un 55% de la superfície total pel cas d'un tanc esfèric, d'un 75% de l'àrea total per un tanc horitzontal i dels primers 10 m per sobre del sol per un tanc vertical, descomptant la part de superfície que estigui en contacte amb el sol.

En aquest cas:

$$A = \pi \cdot D \cdot H_{cilindre} = 76,97\ m^2 \quad \text{Equació 12.1.2.19}$$

Com que el tanc és horitzontal, l'àrea humida es un 75% de l'àrea calculada anteriorment i per tant l'àrea humida és igual 57,73 m<sup>2</sup>.

La calor rebuda a causa d'un foc extern, Q, serà el següent, on el factor F = 1:

$$Q = 139,7 \cdot F \cdot A^{0,82} \cdot 10^3 = 139,7 \cdot 1 \cdot 57,73^{0,82} \cdot 10^3 = 4,92 \cdot 10^6\ kJ/h$$

Una vegada determinada la calor rebuda, es procedeix a calcular el venteig total per líquids estables, emmagatzemats en recipients a pressió, on L es la calor latent de vaporització en KJ/kg (extreta de les taules de la bibliografia).

$$Q_{venteig} = \frac{Q}{L} = 19445,56\ kg/h$$

### 12.1.2.7 Cubetes de retenció

En aquest cas es dissenyarà una cubeta de retenció per tal d'assegurar que en cas de fuga al tanc, pugui ser controlada. Consta d'una cubeta estanca amb un tub bus per cada tanc i ha de permetre que es pugui emmagatzemar tota la quantitat de fosc que hi ha dins d'un tanc.

$$V_{cubeta} = V_{fosc,1 tanc} = 49,53 m^3$$

El volum de la cubeta serà de 49,53 m<sup>3</sup>. Encara que el recipient s'omplirà fins a un 80% de la seva capacitat, es pren el 100% del volum per sobre dimensionar-la.

Com que els tancs de fosc es troben enterrats, s'ha de fer una cubeta individual per cada tanc i, tenint en compte que la normativa APQ-7 imposa que la paret de la cubeta ha d'estar com a mínim a 1,5 m de la paret del recipient, es poden determinar les dimensions de la cubeta per cada tanc, prenent com a distancia entre la paret de la cubeta i la paret del tanc 2m, per assegurar que la cubeta tingui suficient volum en cas de fuga.

$$L_{cubeta} = 2 \cdot 2 + (8,45 + 2 \cdot 0,015) = 12,47 \approx 12,5$$

$$W_{cubeta} = 2 \cdot 2 + (3,5 + 2 \cdot 0,015) = 7,53 m \approx 8 m$$

Per lo tant l'àrea total de la cubeta serà igual a:

$$A_{cubeto} = 12,5m \cdot 8 = 100 m^2$$

Per conèixer l'àrea útil d'aquesta, s'ha de tenir en compte l'àrea dels dos tancs

$$A_{cubeta,útil} = 100 m^2 - \left( 2 \cdot \pi \frac{(3,5+2*0,015)^2}{4} \right) m^2 = 72,91 m^2$$

Com es pot observar, l'àrea útil de la cubeta es superior a la quantitat de líquid a emmagatzemar i per tan s'ha decidit que l'alçada sigui d'1 metre.

<b>Tanc d'emmagatzematge de foscè (T-101/T-102)</b>			
Àrea	100	Material	Hastelloy B-2
Consum diari (m <sup>3</sup> /dia)	10,03	Alçada cos cilíndric (m)	7
Dies stock	7	Espessor cos (mm)	15
Capacitat (m <sup>3</sup> )	67,35	Tipus fons inferior	Fons torisfèric
Volum ocupat (%)	73,57	Espessor fons inferior (mm)	15
Diàmetre (m)	3,5	Alçada fons inferior (m)	0,72
Alçada total (m)	8,45	Tipus de fons superior	Fons toriesfèric
T operació (°C)	3	Espessor fons superior (mm)	15
T disseny (°C)	23	Alçada fons superior (m)	0,72
P operació (bar)	1	Capacitat venteig (kg/h)	19446
P disseny (bar)	11,36		
Pes buit (kg)	24658		
Pes aigua (kg)	100579		
Pes operació (kg)	132026		
<b>Cubeta de retenció</b>			
Longitud (m)	12,5		
Amplada (m)	8		
Alçada (m)	1		
<b>Sistema de refrigeració</b>			
Tipus de bescanviador	Serpentí	Material	HASTELLOY B-2
Q a extreure (J/s)	-5735	A necessària (m <sup>2</sup> )	0,74
Fluid refrigerant	toluè	D intern (m)	0,055
m refrigerant (kg/s)	3,22	L (m)	4,27
Gruix paret (mm)	1,5	Nº voltes	1
Pes (kg)	10,55	Separació entre tubs (m)	1,75

### 12.1.3 Tanc d'emmagatzematge de MMA

El MMA és una substància gasosa a temperatura ambient e inflamable, amb una punt d'ignició de 0°C , segons la normativa ITC-MIE-APQ1, es classifica com una substància de classe A, subclasse A1 . S'hauran de prendre les mesures de seguretat i protecció necessàries, segons el reglament MIE-APQ1.

Segons la normativa APQ1 aquest tanc s'han de mantenir a certa distancia d'altres tancs i d'instal·lacions properes seguint la taula:

**Taula 12.1.3.1** Distàncies mínimes a mantenir per recipients de menys de 100 m<sup>3</sup>

Capacidad global m <sup>3</sup>	Distancia a límite de propiedad que puede edificarse, vía pública de comunicación o edificios exteriores		Entre depósitos Metros	Entre depósitos y bocas de descarga Metros
	Superficie Metros	Enterrado Metros		
Hasta 0,50 .....	3	2	—	3
De 0,51 a 2,50 .....	3	3	1	3
De 2,51 a 10 .....	8	8	1	8
De 10,1 a 100 .....	15	15	1.5	15

Per tal que el seu emmagatzematge sigui de forma més segura i que el volum del tanc no hagi de ser molt gran, aquest MMA s'emmagatzema líquid, a una temperatura per sota del seu punt d'ebullició i pressió atmosfèrica o mantenint el tanc a pressió interna, permetent emmagatzemar-lo a una temperatura superior a la d'ebullició ja que, a l'augmentar la pressió la temperatura d'ebullició també augmenta. Es decideix treballar a pressió per tal d'abaratir costos d'energia ja que aquest tanc ha d'anar refrigerat conforme més baixa es la temperatura a que s'ha de mantenir el tanc, més baixa es la temperatura del fluid refrigerant i per tan s'ha de gastar més energia en refredar aquest fluid prèviament a l'entrada d'aquest al serpentí. També per assegurar que no hi hagi intercanvi de calor amb l'exterior i no l'afecti les radiacions solars provocant que la temperatura dins del tanc augmenti, aquest tancs d'emmagatzematge de MMA són enterrats seguint la normativa APQ-1 següent.

La distància des de qualsevol punt del tanc fins a un altre tanc, a la paret més pròxima, a un soterrani o fosa, o als límits de la propietat, no pot ser inferior a 1 metre.

Han d'estar dotats de sistemes de detecció i contenció de fugues com cubetes estanques amb tubs bus, doble paret amb detenció de fugues, etc.

També han d'estar rodejats per 250 mm de materials inerts, no corrosius com sorra neta y rentada o grava compactada i cobertes com a mínim per 600 mm de terra o un altre material adequat, o per 300 mm de terra i 100 mm de formigó armat. Quan pugui haver tràfic per sobre dels recipients, s'han de cobrir com a mínim per 900 mm de terra o per 450 mm de terra piconada i 150 mm de formigó armat o 200 mm d'aglomerat asfàltic que s'ha d'estendre 300 mm fora de la perifèria del tanc en totes les direccions.

### 12.1.3.1 Disseny funcional

Aquest s'emmagatzema als tancs T-103 i T-104, situats a l'àrea 100, a una pressió de 5 bar, 20°C i amb una atmosfera de nitrogen, per tal de reduir les distàncies entre equips. La seva disposició serà vertical i tindran que ser capaços d'emmagatzemar un cabal de 6302,26 Kg/dia.

Aquesta MMA ve proporcionada per camions cisterna, per tant s'ha considerat temps d'stock d'uns 7 dies, per evitar tenir problemes a conseqüència d'una parada del subministrament. A partir d'aquest dies i el cabal volumètric, calculat a partir del cabal màssic i la densitat del compost, es calcula el volum de MMA a emmagatzemar durant aquest temps.

$$V_{MMA} = Q_v \cdot t_{stock} = 64,07 \text{ m}^3$$

Aquest volum se li ha d'afegir el factor de seguretat, que en el cas del foscè:

$$\text{grau d'ompliment} = \frac{98}{1 + ? \cdot (50 - t_f)} = \frac{98}{1 + 0,00214 \cdot (50 - 0)} = 88,53\%$$

$$FS = \frac{d_{15} - d_{50}}{35 \cdot d_{50}} = \frac{d_{15} - d_{50}}{35 \cdot d_{50}} = 0,00214$$

Com el MMA té un punt d'ebullició de -6°C, es del 90%.

Com aquest calcul és el més restrictiu, dividim el volum de MMA per aquest factor i es troba el volum mínim de tanc necessari per emmagatzemar aquesta quantitat de MMA durant el temps establert.

$$V_{mínim} = \frac{V_{MMA}}{0,89} = \frac{64,07}{0,89} = 72,37 \text{ m}^3$$

Com que es necessita un volum mínim de 72,37 m<sup>3</sup>, es decideix treballar amb dos tancs de 40 m<sup>3</sup>, per qüestions de manteniment i també perquè mentre un estigui en funcionament l'altre es pugui omplir, sense tenir que parar la planta. Una vegada es coneix el volum dels tancs, es pot dimensionar el tanc.

### 12.1.3.2 Dimensionament

Una vegada es coneix el volum del tanc, es determinen les seves dimensions segons la normativa API 620, per recipients a pressió. Tenint en compte que només farem el dimensionament d'un d'ells, ja que tots dos seran iguals, i que aquest valors correspondran únicament al dimensionat del cos del tanc que serà cilíndric. Per tant tenint en compte això i que la relació entre el diàmetre i l'altura es igual a 2, es pot determinar el diàmetre del tanc.

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

$$H = 2 \cdot D = 5,88 \text{ m}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_{tanc}}{2 \cdot \pi}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 40}{2 \cdot \pi}} = 2,94 \text{ m}$$

Una vegada determinada l'alçada, aquesta es normalitza per tal que la construcció del tanc sigui més econòmica. Per tant tindrem un tanc amb les següents dimensions:

Alçada= **6 m**

Diàmetre intern= **3 m**

Al normalitzar les dimensions s'ha de calcular el volum real del tanc i també el percentatge d'ocupació que es té realment, que serà inferior a l'estipulat en la normativa ADR.

$$V_{tanc,real} = \frac{\pi}{4} \cdot 3^2 \cdot 6 = 42,41 \text{ m}^3$$

$$\%volum ocupat = \frac{V_{MMA}}{n^{\circ} \text{ tancs}} \cdot 100 = \frac{64,07}{2} \cdot 100 = 75,53 \%$$

Després de determinar el volum real d'un tanc es pot calcular el temps que tarda a buidar-se en operació, que serà el mateix que en la posada en marxa perquè el MMA no es recirculat, ja que es la substància que limita la reacció 1 i aquesta s'ha suposat que te una eficiència del 100%, per tant reacciona tot el que entra.

$$t_{buidat operació} = \frac{V_{tanc,real}}{Q_m} = \frac{42,41}{9,15} = 4,63 \text{ dies}$$

**12.1.3.3 Disseny mecànic**

El disseny mecànic dels tancs d'emmagatzematge de MMA està fet segons la normativa ASME per recipients a pressió i la normativa ITC-MIE-APQ1 per emmagatzematge de substàncies inflamables, tenint en compte les dimensions obtingudes en l'apartat anterior. Es corresponen al cos cilíndric d'aquest, ja que el tanc es un cos cilíndric amb un capçal superior torisfèric i un fons inferior pla.

**Material**

Per decidir quin és el millor material pel tanc T-103, cal tenir en compte que la substància emmagatzemada es molt corrosiva, per tant s'ha d'utilitzar un material que proporcioni la menor corrosió possible davant de la substància que es manipula, El material utilitzat en la construcció d'aquest tanc és d'acer inoxidable AISI 304L, per tal que el tanc sigui lo més resistent a la corrosió.

**Taula 12.1.3.2 Resistència dels materials per diferents substàncies**

**CHEMICAL RESISTANCE GUIDE**

CHEMICAL	FORMULAS	APPROX. SG. GRAVITY @ 100% CONC. % CONCENTRATION	PLASTIC										ELASTOMER					SEAL		METAL					
			PVC	CPVC	POLYETHYLENE FLUORIDE (FVDF)	POLYETHYLENE CROSS LINKED (XLPE)	POLYETHYLENE (PE)	DURAPLUS ABS	RYTON	HALAR	PEEK	TEFLON	EPDXY VINYLESTER	POLYSULFONE	VITON	EPDM	BUNA N (NITRILE)	NEOPRENE	304 STAINLESS STEEL	316 STAINLESS STEEL	CERAMIC	TITANIUM	HASTELLOY C		
Methyl Isobutyl Ketone	-	0.8	X	X	X	X	-	-	X	200	73	-	400	150	X	-	X	-	X	X	A	A	A	-	-
Methyl Isopropyl Ketone	CH <sub>3</sub> COCH(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0.80	X	X	X	X	-	-	X	-	-	-	400	-	-	X	-	X	X	A	A	A	-	-	
Methyl Methacrylate	-	0.94	X	X	X	100	-	-	X	-	121	-	300	100	X	-	X	X	X	A	A	-	-	-	
Methyl Propandl	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Methyl Salicylate (Wintergreen Oil)	-	1.18	72	72	73	70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Methyl Sulfate	-	-	72	72	X	-	-	-	-	250	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Methylamine	CH <sub>3</sub> NH <sub>2</sub>	-	X	X	X	X	-	-	X	73	400	-	-	-	100	70	70	X	-	A	-	-	-	-	
Methylene Bromide	CH <sub>2</sub> Br <sub>2</sub>	2.47	X	X	X	150	-	-	X	73	350	-	-	-	70	X	X	X	-	-	-	-	-	-	

**Pressió de disseny**

La pressió de disseny pel tanc es calcula aplicant la norma següent:

$$Pressió\ de\ disseny = \max(1,1 \cdot P.\ operació, P.\ operació + 2bar)$$

$$Pressió\ de\ disseny = \max(10,241\ bar, 11,31\ bar) = 11,31\ bar$$

Encara que el tanc es té a 3 bar de pressió, per tal d'assegurar que aquest tanc aguanti una pujada de pressió degut a la reacció d'aquest compost o una pujada de temperatura, a l'hora de fer el disseny mecànic amb l'ASME es determina la pressió d'operació a partir de calcular la pressió que exerceix el líquid, anomenada càrrega hidrostàtica, i la pressió de vaporització amb l'equació d'antoiné, per una temperatura de 50°C. Quant reacciona la temperatura puja i per tant s'ha d'assegurar que el tanc pugui aguantar-ho, encara que es disposa de sistemes de seguretat per evitar que es puguin assolir aquestes condicions.

$$P_{vap} = 10^{A - \left(\frac{B}{T+C}\right)} = 8,01 \text{ bar} \quad \text{Equació 12.1.3.1}$$

Aquesta pressió de vapor es la mínima pressió en la qual el líquid està en equilibri amb el vapor, per tant, per assegurar que la substància estigui líquida s'ha de mantenir el tanc a més pressió.

Pressió vaporització= 9 bar

$$P. \text{càrrega hidrostàtica} = g * \rho * h = 9,81 \cdot 688,58 \cdot 4,53 = 0,31 \cdot 10^5 \text{ kg/m} \cdot \text{s}^2$$

$$P. \text{càrrega hidrostàtica} = 0,31 \text{ bar}$$

$$h = \frac{V_{\text{liquid,1 tanc}}}{\frac{\pi}{4} \cdot D^2} = \frac{32,03}{\frac{\pi}{4} \cdot 3^2} = 4,53 \text{ m}$$

Pressió operació = 3 bar.

Pressió de disseny = **11,31 bar**.

### Temperatura de disseny

En aquest cas, la temperatura de disseny ve donada per la temperatura d'operació augmentant-li un factor de seguretat de 20 graus.

Temperatura d'operació = 0 °C

La temperatura de disseny ve donada:

$$T_{\text{disseny}} = T_{\text{operació}} + 20^\circ\text{C}$$

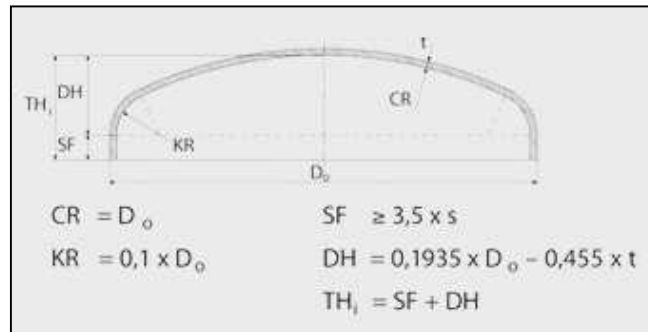
Temperatura de disseny = **20°C**



### Espessor del capçal. Càlcul a pressió interna

Els tipus capçals més utilitzats són el toriesfèric, l'hemisfèric i l'el·lipsoïdal. La seva elecció depèn de les condicions d'operació i el cost econòmic, en aquest cas s'utilitza el toriesfèric.

Aquest capçal ve definit pel radi de la corona (L) i el radi del colze (r) que es calculen respecte al diàmetre del cos, tal com indica la casa "Koenig-co" en la figura següent, extreta de la seva pàgina web.



**Figura 12.1.3.1.** Esquema del fons toriesfèric per tal de determinar l'alçada del fons del tanc.  $s=t$ .

Per tant,

$$L = D = 3000 \text{ mm}$$

$$r = 0,1 \cdot D = 0,1 \cdot 3000 \text{ mm} = 300 \text{ mm}$$

$$\frac{L}{r} = 10$$

Per una relació  $L/r$  menor de  $16^{2/3}$  l'espessor es calcula amb l'equació:

$$t = \frac{P \cdot L \cdot M}{2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P} + C_1 + C_2 \quad \text{Equació 12.1.3.3}$$

on:

- t = espessor del fondo (mm)
- P = pressió de disseny del recipient (bar) = 11,31
- M = factor que depèn de la relació  $L/r$ , en aquest cas igual a 1,54
- E = factor de soldadura = 0,85 (radiografiat doble parcial)
- S = càrrega admissible del material (bar) = 1082,46
- L = radi de la corona (mm) = 3000

El sobre espessor per corrosió del material és de 0,508 mm/any com a màxim, suposant que la vida útil del tanc seran 15 anys, el sobre espessor serà 7,62 mm.

$C_1$  = marge per corrosió (mm) = 7,62 mm

$C_2$  = tolerància de fabricació (mm) = 10% de l'espessor

El resultat és de 38,88 mm, però donat que els espessors estàndards de xapa a Europa són: 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 15, 20..., s'agafa un espessor dels fondos de 40 mm.

***espessor del capçal = 40 mm***

### **Espessor del cos del tanc. Càlcul a pressió interna**

L'equació 12.1.3.4 permet trobar l'espessor del cos del tanc.

$$t_1 = \frac{P \cdot R_{int}}{S \cdot E - 0,6 \cdot P} + C.A \quad \text{Equació 12.1.3.4}$$

on:

- $t_1$  = espessor del cos (mm)
- P = pressió de disseny del recipient (bar) = 11,36
- $R_{int}$  = radi intern de la columna (mm) = 1750
- E = factor de soldadura = 0,85 (radiografiat doble parcial)
- S = càrrega admissible del material (bar) = 7583,4 bar
- C.A = sobreessidor (mm)

La tolerància de fabricació pel cas d'un cilindre és nul·la i el sobre espessor per corrosió del material és de 0,508 mm/any com a màxim: Suposant que la vida útil del tanc seran 15 anys, el sobre espessor serà 7,62 mm.

El resultat és de 26,19 mm, però donat que els espessors estàndards de xapa a Europa són: 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 15, 20..., s'agafa un espessor del cos de **30 mm**.

Per tal que el capçal es pugui soldar al cos, l'espessor d'aquest últim s'ha de sobre dimensionar perquè l'espessor del capçal es superior i per que la xapa escollida per la seva construcció sigui la mateixa, s'ha d'agafar el valor d'espessor més gran que normalment sempre es el dels capçals per tant el cost tindrà un espessor de 40 mm.

***espessor dels cos del tanc = 40 mm***

**Alçada del capçal**

Una vegada determinats els espessors del cos, el fons i el capçal es pot determinar el capçal per determinar l'alçada total de l'equip, tal com indica la casa "Koenig-co" en la figura següent, extreta de la seva pàgina web.

$$DH = 0,1935 \cdot D_o - 0,455 \cdot t \quad \text{Equació 12.1.3.5}$$

$$SF = 3,5 \cdot s \quad \text{Equació 12.1.3.6}$$

$$TH = SF + DH \quad \text{Equació 12.1.3.7}$$

Es calcula l'alçada del fons torisfèric sense tenir en compte l'espessor de la xapa, tal com s'indica a continuació:

$$DH = 0,1935 \cdot 3000 \text{ mm} - 0,455 \cdot 40 \text{ mm} = 562,3 \text{ mm}$$

$$SF = 3,5 \cdot 40 \text{ mm} = 140 \text{ mm}$$

$$TH = 140 \text{ mm} + 562,3 \text{ mm} = 702,3 \text{ mm}$$

Per tant, l'alçada del tanc sense l'espessor és de **7404,6 mm**.

**12.1.2.4 Sistema de refrigeració**

Per tal de poder mantenir la temperatura de l'interior del tanc a 0 °C, s'instal·la un serpentí a l'interior del tanc com a sistema de refrigeració, suposant que la calor a extreure del tanc serà com si entres un corrent a una temperatura de 30 °C amb el mateix cabal màssic de sortida del tanc, calculat amb l'equació:

$$Q = m \cdot C_p \cdot (T_{tanc} - T_{entrada}) \quad \text{Equació 12.1.3.8}$$

on:

- Q: calor a extreure del tanc, J/s
- m: Cabal d'entrada al tanc de MMA, kg/s
- C<sub>p</sub>: Capacitat calorífica del MMA, J/kg·°C
- T<sub>tanc</sub>: temperatura de dins del tanc, °C
- T<sub>entrada</sub>: temperatura de la corrent d'entrada de MMA, °C

$$Q = 0,073 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 3165,2 \frac{\text{J}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot (0 ^\circ\text{C} - 30 ^\circ\text{C}) = -6926,35 \text{ J/s}$$

Una vegada es determina la calor a extreure dins del tanc, es calcula l'àrea de bescanvi i el caudal del refrigerant que circula pel serpentí. En aquest cas el refrigerant escollit és el toluè, ja que és el dissolvent que s'utilitza a la planta i per tant en cas de fissura al serpentí aquest no reacciona amb el fosc. Calculat amb les equacions :

$$A_{\text{bescanvi}} = \frac{Q}{U \cdot DTML} \quad \text{Equació 12.1.3.9}$$

on:

- Q= Calor a extreure del tanc, J/s
- U= Coeficient de transferència de calor del sistema (W/m<sup>2</sup>·K). Suposat de 750 ja que es un valor típic pel cas de tindre dos líquids.
- DTML= Diferencial de temperatures mitjà logarítmic calculat com:

$$DTML = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}$$

$$\Delta T_1 = T^{\circ}\text{entrada fluid de tubs} - T^{\circ}\text{sortida fluid de carcassa}$$

$$\Delta T_2 = T^{\circ}\text{sortida fluid de tubs} - T^{\circ}\text{entrada fluid de carcassa}$$

$$\Delta T_1 = -10 - (0) = -10$$

$$\Delta T_2 = -5 - (0) = -5$$

$$DTML = \frac{-10 - (-5)}{\ln \frac{-10}{-5}} = -7,21$$

Amb aquests valors s'obté una àrea de bescanvi requerida de:

$$\text{Àrea} = \frac{-6926,35 \text{ J/s}}{\frac{750 \text{ W}}{\text{m}^2} \cdot \text{K} \cdot (-7,21)} = 1,28 \text{ m}^2$$

El cabal de refrigerant necessari per aconseguir aquest bescanvi de calor es pot calcular amb l'equació següent:

$$Q = m_{\text{refrigerant}} \cdot C_{p_{\text{refrigerant}}} \cdot \Delta T \quad \text{Equació 12.1.3.10}$$

on:

- $m_{\text{refrigerant}}$  = cabal màssic del refrigerant. (kg/h)
- $C_{p_{\text{refrigerant}}}$  = capacitat calorífica del refrigerant. (kJ/kg·K)
- $\Delta T$  = salt tèrmic del refrigerant entre l'entrada i la sortida. El salt tèrmic del refrigerant es fixa a 5°C.

$$m_{refrigerant} = \frac{-6926,35 \text{ J/h}}{\frac{355,97 \text{ J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (-5)} = 14009,7 \text{ kg/h}$$

Una vegada es té aquest cabal es calcula l'àrea interna a partir del cabal volumètric i la velocitat a la que circula el fluid refrigerant, es pren un valor típic de velocitats d'un líquid que hi circula per l'interior de tubs, igual a 1,5 m/s, i amb aquesta àrea es calcula el diàmetre intern del serpentí. Amb les equacions :

$$A = \frac{Q_v}{v} \quad \text{Equació 12.1.3.11}$$

$$A = 0,0029 \text{ m}^2$$

on:

- $Q_v$ = cabal volumètric del refrigerant
- $v$ = velocitat del refrigerant, presa com un valor típic de 1,5 m/s

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} \quad \text{Equació 12.1.3.12}$$

$$D = 0,061 \text{ m} = 61 \text{ mm}$$

Després determinat el cabal es calcula la longitud del serpentí amb l'àrea de bescanvi calculada amb l'equació:

$$L = \frac{A_{bescanvi}}{\pi \cdot D} \quad \text{Equació 12.1.3.13}$$

$$L = 6,70 \text{ m}$$

Una vegada es saben les dimensions del serpentí es calcula el nombre de voltes que efectua.

$$n = \frac{L}{2 \cdot \pi \cdot r_p} \quad \text{Equació 12.1.3.14}$$

$$n = 1,09 \text{ voltes} \approx 2 \text{ voltes}$$

on:

- $L$ = longitud del serpentí
- $r_p$ = radi mitjà de totes les voltes, presa un valor de 0,98
- A continuació es determina la separació entre els tubs a partir del nombre de voltes i el radi del tanc.

$$S = \frac{r_{tanc}}{n} \quad \text{Equació 12.1.3.15}$$

$$S = 0,75 \text{ m}$$

Finalment es calcula el pes d'aquest serpentí, suposant que té un gruix de paret de 1,5 mm, que se li haurà de sumar al pes del tanc buit.

$$Pes = \frac{\pi}{4} \cdot (D_e^2 - D_i^2) \cdot L \cdot \rho_{Hastelloy B-2} \quad \text{Equació 12.1.3.16}$$

$$Pes = 15,55 \text{ kg}$$

### 12.1.3.5 Pes del tanc

#### Pes del tanc buit

Es calcula el volum del capçal del tanc mitjançant l'equació:

$$Vi = 0,1 \cdot (D_{tanc})^3 \quad \text{Equació 12.1.3.17}$$

Per tant,

$$Vi = 0,1 \cdot (3000 \text{ mm})^3 = 2,70 \text{ m}^3$$

Per calcular el pes dels capçals, es calcula el volum extern del capçal, mitjançant l'equació:

$$Ve = 0,1 \cdot ((D_{tanc} + t)^3) \quad \text{Equació 12.1.3.18}$$

Per tant,

$$Ve = 0,1 \cdot (3000 \text{ mm} + 2 \cdot 40 \text{ mm})^3 = 2,92 \text{ m}^3$$

Per tant, la resta correspon al volum de la paret del capçal:

$$V_{paret, capçal} = 2,92 \text{ m}^3 - 2,70 \text{ m}^3 = 0,22 \text{ m}^3$$

Es calcula el volum intern i extern del cos del tanc, per tal de determinar el volum de paret.

$$Vi = \pi \cdot \left(\frac{D_{tanc}}{2}\right)^2 \cdot h = \pi \cdot \left(\frac{3000 \text{ mm}}{2}\right)^2 \cdot 6000 \text{ mm} = 42,41 \text{ m}^3$$

$$Ve = \pi \cdot \left(\frac{D_{tanc} + 2 \cdot t}{2}\right)^2 \cdot h = \pi \cdot \left(\frac{3000 \text{ mm} + 2 \cdot 40 \text{ mm}}{2}\right)^2 \cdot 6000 \text{ mm} \\ = 44,70 \text{ m}^3$$

$$V_{paret, cos} = 44,70 \text{ m}^3 - 42,41 \text{ m}^3 = 2,29 \text{ m}^3$$

Per tant, el volum total de la paret del tanc és de **2,74 m<sup>3</sup>**.

Sabent que la densitat de l'acer inoxidable AISI 304L és de 7900 Kg/m<sup>3</sup>, es pot calcular el pes del tanc buit, tal com s'indica a continuació, sumant-li el pes del serpentí. També aquest s'ha de sobre dimensionar un 10 % degut al pes de les soldadures connexions de les canonades, boques d'home, etc. S'ha de tenir en compte a l'hora de escollir el tipus de terreny on enterrar-lo, que sigui capaç de suportar el pes total de l'equip.

$$Pes_{buit} = 1,1 \cdot (2,74 \text{ m}^3 \cdot \frac{7900 \text{ Kg}}{1 \text{ m}^3} + 15,55) = 23791 \text{ Kg}$$

### **Pes del tanc ple d'aigua**

Es calcula el volum del tanc sumant el volums del capçal i el cos:

$$V_{\text{tanc}} = 2 \cdot 2,7 \text{ m}^3 + 42,41 \text{ m}^3 = 47,81 \text{ m}^3$$

Per tant, amb la densitat de l'aigua a la temperatura d'operació mitjana i el pes del tanc buit es pot calcular el pes del tanc amb aigua:

$$Pes_{\text{tanc aigua}} = 23791 \text{ Kg} + 47,81 \text{ m}^3 \cdot \frac{999,893 \text{ Kg}}{1 \text{ m}^3} = 71597 \text{ Kg}$$

### **Pes del tanc en operació**

A partir de la densitat mitjana del fluid d'operació es calcula el pes del tanc en operació:

$$Pes_{\text{tanc operació}} = 23791 \text{ Kg} + 47,81 \text{ m}^3 \cdot \frac{688,58 \text{ Kg}}{1 \text{ m}^3} = 56713 \text{ Kg}$$

#### **12.1.3.6 Venteig**

Tal i com s'ha explicat anteriorment es necessari dissenyar el sistema de venteig dels tancs per evitar que aquest es deformin. Tots els sistemes de venteig han de disposar d'un diàmetre que com a mínim ha de ser igual al diàmetre intern més gran de les canonades d'ompliment o buidatge del tanc, o tenir un diàmetre intern de 35 mm, com a mínim.

El venteig està relacionat amb la superfície humida del tanc que pot estar exposada a un foc exterior. Aquesta superfície es calcula sobre la base de càlcul següent, d'un 55% de la superfície total pel cas d'un tanc esfèric, d'un 75% de l'àrea total per un tanc

horitzontal i dels primers 10 m per sobre del sol per un tanc vertical, descomptant la part de superfície que estigui en contacte amb el sol.

En aquest cas:

$$A = \pi \cdot D \cdot H_{cilindre} = 76,97 \text{ m}^2 \quad \text{Equació 12.1.3.19}$$

Com que el tanc és horitzontal l'àrea humida es un 75% de l'àrea calculada anteriorment per tant l'àrea humida és igual 42,41 m<sup>2</sup>.

La calor rebuda a causa d'un foc extern, Q, serà el següent, on el factor F = 1:

$$Q = 139.7 \cdot F \cdot A^{0.82} \cdot 10^3 = 139.7 \cdot 1 \cdot 42,41^{0.82} \cdot 10^3 = 3,82 \cdot 10^6 \text{ kJ/h}$$

Una vegada determinat la calor rebuda es procedeix a calcular el venteig total per líquids estables, emmagatzemats en recipients a pressió, on L es la calor latent de vaporització en KJ/kg (extreta de les taules de la bibliografia).

$$Q_{venteig} = \frac{Q}{L} = 4616,73 \text{ kg/h}$$

### 12.1.3.7 Cubetes de retenció

En aquest cas es dissenyarà una cubeta de retenció per tal d'assegurar que en cas de fuga al tanc pugui ser controlada, que consta d'una cubeta estanca amb un tub bus per cada tanc. Per lo tant aquesta cubeta a de permetre que es pugui emmagatzemar tota la quantitat de MMA que hi ha dins d'un tanc.

$$V_{cubeta} = V_{MMA,1 tanc} = 32,03 \text{ m}^3$$

El volum de la cubeta serà de 32,03 m<sup>3</sup>, encara que el recipient s'omplirà fins a un 80% de la seva capacitat, es pren el 100% del volum per sobre dimensionar-la.

Com que els tancs de MMA es troben enterrats s'ha de fer una cubeta individual per cada tanc. Tenint en compte que la normativa APQ-1 imposa que la paret de la cubeta ha d'estar com a mínim a 1,5 m de la paret del recipient, es poden determinar les dimensions de la cubeta per cada tanc, prenent com a distància entre la paret de la cubeta i la paret del tanc de 2m per assegurar que la cubeta tingui suficient volum en cas de fuga.

$$L_{cubeta} = 2 \cdot 2 + (7,4 + 2 \cdot 0,040) = 11,48 \approx 11,5$$

$$W_{cubeta} = 2 \cdot 2 + (3 + 2 \cdot 0,040) = 7,08 \text{ m} \approx 7,5 \text{ m}$$



Per lo tant l'àrea total de la cubeta serà igual a:

$$A_{cubeto} = 11,5m \cdot 7,5m = 86,25 m^2$$

Per conèixer l'àrea útil d'aquesta, s'han de tenir en compte l'àrea dels dos tancs

$$A_{cubeta,útil} = 86,25 m^2 - \left( 2 \cdot \pi \frac{(3+2 \cdot 0,040)^2}{4} \right) m^2 = 71,35 m^2$$

Com es pot observar l'àrea útil de la cubeta es superior a la quantitat de líquid a emmagatzemar per tan s'ha decidit que la altura sigui de 1m.

<b>Tanc d'emmagatzematge de MMA (T-103/T-104)</b>			
Àrea	100	Material	Acer inox. AISI 304L
Consum diari (m <sup>3</sup> /dia)	9,15	Alçada cos cilíndric (m)	6
Dies stock	7	Espessor cos (mm)	40
Capacitat (m <sup>3</sup> )	42,41	Tipus fons inferior	Fons torisfèric
Volum ocupat (%)	75,53	Espessor fons inferior (mm)	40
Diàmetre (m)	3	Alçada fons inferior (m)	0,70
Alçada total (m)	7,4	Tipus de fons superior	Fons toriesfèric
T operació (°C)	0	Espessor fons superior (mm)	40
T disseny (°C)	20	Alçada fons superior (m)	0,70
P operació (bar)	3	Capacitat venteig (kg/h)	4616,7
P disseny (bar)	11,31		
Pes buit (kg)	23791		
Pes aigua (kg)	71597		
Pes operació (kg)	56713		
<b>Cubeta de retenció</b>			
Longitud (m)	11,5		
Amplada (m)	7,5		
Alçada (m)	1		
<b>Sistema de refrigeració</b>			
Tipus de bescanviador	Serpentí	Material	Acer inox. AISI 304L
Q a extreure (J/s)	-6926	A necessària (m <sup>2</sup> )	1,28
Fluid refrigerant	toluè	D intern (m)	0,061
m refrigerant (kg/s)	3,89	L (m)	6,70
Gruix paret (mm)	1,5	Nº voltes	2
Pes (kg)	15,55	Separació entre tubs (m)	0,75

### 12.1.4 Tanc d'emmagatzematge de toluè

El toluè és una substància líquida a temperatura ambient, amb un punt d'ebullició de 110,65°C, nociva amb un LD<sub>50</sub> de 50 ppm, i inflamable amb un punt d'inflamació de 6°C, per tant seguint la normativa ITC-MIE-APQ1, es classifica com una substància de classe B i subclasse B1. I seguint la normativa ITC-MIE-APQ7, es de classe Xn.

Disposa d'un sistema de venteig, com a mesura de seguretat per si hi ha qualsevol fuga, que va dirigit a un sistema de tractament de gasos.

La distància entre tancs i els altres equips ha de seguir tant el que imposa la normativa APQ-1 com la normativa APQ-7 per tant es calculen les distàncies de les dues formes, tal com s'ha explicat anteriorment pel tanc de foscè i pel tanc de MMA i s'agafa el valor més restrictiu, es a dir, el valor que impliqui tenir una distància major entre els equips.

#### 12.1.4.1 Disseny funcional

Aquest s'emmagatzema als tancs, T-105 i T-106, a l'àrea 100. A una temperatura de 25 °C, a 1 bar de pressió i sotmès a una atmosfera de nitrogen per inertitzar el tanc, perquè com el toluè es una substància nociva, s'inertitza per tal de reduir les distàncies entre equips.

Aquest toluè es utilitzat com un dissolvent orgànic, a l'àrea 300 de formació de MCC, com en l'àrea 500 de formació de carbaril. Ja que les nostres substàncies són solubles en aquest i no interfereix amb elles, en principi a Bhopal s'utilitzava cloroform per l'àrea 300 i tetraclorur, però en la Unió Europea està prohibit utilitzar aquestes substàncies com a dissolvent d'un procés industrial. Es va escollir el toluè, que es el utilitzat per dimensionar el tercer reactor, i es va comprovar amb el programa hysys que també funciona correctament en el scrubber per tenir únicament un dissolvent a planta, que segons la patent aquestes substàncies no es poden utilitzar com a dissolvent.

Com aquest toluè es una substància necessària perquè el procés pugui funcionar correctament s'ha dimensionat com si fos un reactiu, per tant s'ha decidit prendre un temps d'stock de 7 dies, per si hi ha alguna parada en el subministrament tenir uns

quant dies d'autonomia i que la planta pugui continuar treballant en les mateixes condicions fins a solucionar el problema.

També s'ha de tenir en compte que el volum de toluè necessari que s'ha d'emmagatzemar, ve donat pel consum diari de l'àrea 300 amb la columna de absorció AB-301 i de l'àrea 500 amb el tanc de mescla per dissoldre naftol TM-502, a part del toluè necessari per fer la regeneració, ja que abans i després de passar la solució regeneradora s'ha de netejar amb toluè, per tant ha de ser el suficient perquè aquestes dues àrees funcionin correctament.

Tenint en compte que per tal que aquest tancs no siguin massa grans i abaratir costos, el toluè obtingut al final de cada àrea es recirculat. Per tant el consum diari que es té de les dues àrees en conjunt és de 7231,93 kg/dia, i el volum per regeneració es de 5,4 m<sup>3</sup>. A partir d'aquest i la densitat del compost en les condicions d'emmagatzematge (864,07 kg/m<sup>3</sup>), es calcula el volum de toluè a emmagatzemar durant aquest temps.

$$V_{toluè} = Q_v \cdot t_{stock} = 63,99 \text{ m}^3$$

Aquest volum se li ha d'afegir el factor de seguretat:

$$\text{grau d'ompliment} = \frac{98}{1 + 0,00109 \cdot (50 - t_f)} = \frac{98}{1 + 0,00109 \cdot (50 - 25)} = 95,41\%$$

$$FS = \frac{d_{15} - d_{50}}{35 \cdot d_{50}} = \frac{d_{15} - d_{50}}{35 \cdot d_{50}} = 0,00109$$

I per la taula, com el toluè té un punt d'ebullició de 110,65°C, es del 94%. Com aquest últim és el més restrictiu, dividim el volum de toluè per aquest factor i es troba el volum mínim de tanc necessari per emmagatzemar aquesta quantitat de toluè durant el temps establert.

$$V_{mínim} = \frac{V_{toluè}}{0,94} = \frac{63,99}{0,94} = 68,07 \text{ m}^3$$

A partir d'aquest volum es decideix treballar amb dos tancs de 35 m<sup>3</sup> cadascun. Per qüestions de manteniment i també perquè quan un estigui operatiu l'altre es pugui anar omplint. Una vegada determinat el volum es pot dimensionar el tanc.

### 12.1.4.2 Dimensionament

Una vegada es coneix el volum del tanc, es determinen les seves dimensions segons la normativa API 620, per recipients a pressió. Tenint en compte que només farem el dimensionament d'un d'ells, ja que tots dos són iguals, i que aquest valors correspondran únicament al dimensionat del cos del tanc que serà cilíndric. Per tant tenint en compte això i que la relació entre el diàmetre i l'altura es igual a 2, es pot determinar el diàmetre del tanc.

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

$$H = 2 \cdot D = 5,63 \text{ m}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_{tanc}}{2 \cdot \pi}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 35}{2 \cdot \pi}} = 2,81 \text{ m}$$

Una vegada determinada l'alçada, aquesta es normalitza per tal que la construcció del tanc sigui més econòmica. Per tant tindrem un tanc amb les següents dimensions:

Alçada= **6 m**

Diàmetre intern= **3 m**

Al normalitzar les dimensions, s'ha de calcular el volum real del tanc i també el percentatge d'ocupació que es té realment, que serà inferior al estipulat en la normativa ADR.

$$V_{tanc,real} = \frac{\pi}{4} \cdot 3^2 \cdot 6 = 42,41 \text{ m}^3$$

$$\%volum ocupat = \frac{V_{toluè}}{n^{\circ} \text{ tancs}} \cdot 100 = \frac{63,98}{2} \cdot 100 = 75,44 \%$$

Després de determinar el volum real d'un tanc es pot calcular el temps que tarda a buidar-se en la posada en marxa i en operació.

$$t_{buidat \text{ posada en marxa}} = \frac{V_{tanc,real}}{Q_v} = \frac{42,41}{197,34} = 0,21 \text{ dies} = 5,04 \text{ h}$$

$$t_{buidat \text{ operació}} = \frac{V_{tanc,real}}{Q_v} = \frac{42,41}{13,77} = 3,08 \text{ dies}$$

Per tant es comprova que en la posada en marxa amb els tancs que es disposen no serà suficient per disposar en les dues àrees, i per tant com primer es necessita per l'scrubber i després per el reactor 3, es pot determinar el temps de buidat que disposa per cada àrea tenint en compte el dos tancs.

$$t_{\text{buidat posada en marxa,scrubber}} = \frac{2 \cdot V_{\text{tanc,real}}}{Q_v} = \frac{2 \cdot 42,41}{63,98} = 1,33 \text{ dies}$$

$$t_{\text{buidat posada en marxa,reactor 3}} = \frac{2 \cdot V_{\text{tanc,real}}}{Q_v} = \frac{2 \cdot 42,41}{127,96} = 0,66 \text{ dies} = 15,9 \text{ h}$$

Una vegada calculat es determina que en la posada en marxa serà necessari tenir disponible bastants camions cisternes, per tal que es pugui disposar del toluè necessari per la posada en marxa fins que la planta no estigui completament en operació.

#### 12.1.4.3 Disseny mecànic

El disseny mecànic dels tancs d'emmagatzematge de toluè està fet segons la normativa ASME per recipients a pressió i la normativa ITC-MIE-APQ1 per emmagatzematge de substàncies inflamables, i ITC-MIE-APQ7 per emmagatzemar substàncies tòxiques, tenint en compte les dimensions obtingudes en l'apartat anterior. Es corresponen al cos cilíndric d'aquest, ja que el tanc consta d'un cos cilíndric amb un capçal superior i inferior toricsfèric, distribuït de forma vertical.

#### **Material**

Per decidir quin és el millor material pels tancs T-105 i T-106, cal tenir en compte que la substància emmagatzemada es una mica corrosiva, per tant s'ha d'utilitzar un material que proporcioni la menor corrosió possible davant de la substància que es manipula, consultant la Taula:

Taula 12.1.4.2 Resistència del material per diferents substàncies

### CHEMICAL RESISTANCE GUIDE

CHEMICAL	FORMULAS	PLASTIC										ELASTOMER					SEAL		METAL					
		APPROX. SP. GRAVITY @ 100% CONC.	PVC	CPVC	POLYETHYLENE FLUORIDE (FEP)	POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (PET)	DURAFLEX ABS	RYTON	MALAR	PEEK	TEFLON	EPDM	VINYL ESTER	POLYSULFONE	VITON	EPDM	NEOPRENE	BUNA N (NITRILE)	CARBON	316 STAINLESS STEEL	304 STAINLESS STEEL	CERAMIC	TITANIUM	HASTELLOY C
Tertiary Butyl Alcohol		-	88	88	80	250	-	-	X	-	-	250	-	-	70	-	-	X	-	A	-	-	-	-
Tetrachloroethane	CH <sub>2</sub> ClCHCl <sub>2</sub>	-	X	X	X	250	-	-	X	-	-	350	-	-	70	X	X	X	-	A	-	-	-	-
Tetraethyl Lead	Pb(C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>4</sub>	-	1.85	72	72	73	250	-	-	-	260	350	-	-	150	X	X	X	-	-	-	-	-	-
Tetrahydrofuran		-	-	X	X	X	X	X	X	X	200	X	350	120	100	X	X	X	X	-	-	-	X	-
Tetralin (Tetrahydronaphthalene)	C <sub>10</sub> H <sub>12</sub>	-	X	X	X	-	X	X	X	-	-	-	300	-	60	X	X	X	-	-	-	-	-	-
Thionyl Chloride	SOCl <sub>2</sub>	-	1.64	X	X	X	X	X	X	-	121	350	X	X	73	X	X	X	-	-	-	X	X	-
Thread Cutting Oils		-	140	72	120	150	-	-	-	-	250	400	-	-	70	X	-	70	-	B	B	-	-	
Titanium Tetrachloride	TiCl <sub>4</sub>	-	X	X	X	X	-	-	-	-	-	400	-	-	150	X	X	X	-	C	C	A	C	
Titanous Sulfate	Ti <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 3	-	1.47	140	150	180	250	-	-	-	-	350	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Toluene	CH <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>5</sub>	-	0.9	X	X	X	150	X	X	X	200	121	350	150	X	-	70	X	X	-	A	A	A	A

Mirant la taula 12.1.4.2 es pot comprovar que pel cas del toluè hi ha molts materials que proporcionen una bona resistència, però dins dels metalls s'ha agafat l'acer inoxidable 316L perquè proporciona aquesta resistència i es un material relativament econòmic comparat amb altres, proporcionant un factor de corrosió de 0,3 a 0,5 mm/any.

**Pressió de disseny**

La pressió de disseny pel tanc es calcula aplicant la norma següent:

$$Pressió\ de\ disseny = \max(1,1 \cdot P.\ operació, P.\ operació + 2bar)$$

$$Pressió\ de\ disseny = \max(1,49\ bar, 3,35bar) = 3,35\ bar$$

I per saber la pressió d'operació es calcula la pressió que exerceix el líquid, anomenada càrrega hidrostàtica, i a aquesta pressió se li afegeix la pressió que hi ha dins del tanc.

$$P.\ càrrega\ hidrostàtica = g * \rho * h = 9,81 \cdot 864,07 \cdot 4,14 = 0,35 \cdot 10^5\ kg/m \cdot s^2$$

$$P.\ càrrega\ hidrostàtica = 0,35\ bar$$

$$h = \frac{V_{líquid}}{\frac{\pi}{4} \cdot D^2} = \frac{29,29}{\frac{\pi}{4} \cdot 3^2} = 4,14m$$

Pressió operació = 1 bar.

Pressió de disseny = **3,15 bar**.

**Temperatura de disseny**

En aquest cas, la temperatura de disseny ve donada per la temperatura d'operació augmentar-li un factor de seguretat de 20 graus.

Temperatura d'operació = 25 °C

La temperatura de disseny ve donada:

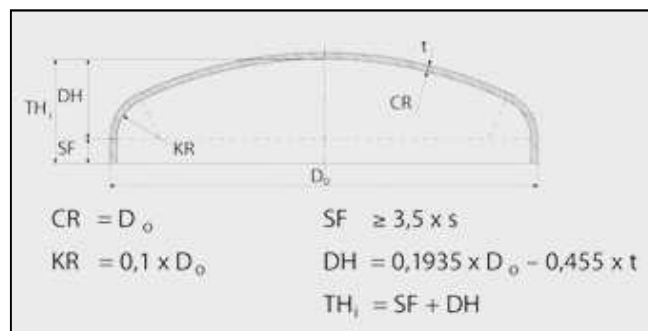
$$Temperatura\ de\ disseny = T.\ operació + 20^{\circ}C$$

Temperatura de disseny = **45 °C**

**Espessor dels capçals. Càlcul a pressió interna**

Els tipus capçals més utilitzats són el toriesfèric, l'hemisfèric i l'el·lipsoïdal, la seva elecció depèn de les condicions d'operació i el cost econòmic, en aquest cas s'utilitza el toriesfèric.

Aquest capçal ve definit pel radi de la corona (L) i el radi del colze (r) que es calculen respecte al diàmetre del cos, tal com indica la casa "Koenig-co" en la figura següent, extreta de la seva pàgina web.



**Figura 12.1.4.1** Esquema del fons toriesfèric per tal de determinar l'alçada del fons del tanc.  $s=t$ .

Per tant,

$$L = D = 3000\ mm$$

$$r = 0,1 \cdot D = 0,1 \cdot 3000\ mm = 300\ mm$$

$$\frac{L}{r} = 10$$

Per una relació  $L/r$  menor de  $16^{2/3}$  l'espessor es calcula amb l'equació següent.

$$t = \frac{P \cdot L \cdot M}{2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P} + C_1 + C_2 \quad \text{Equació 12.1.3.3}$$

on:

- t = espessor del fondo (mm)
- P = pressió de disseny del recipient (bar) = 3,35
- M = factor que depèn de la relació L/r, en aquest cas igual a 1,54
- E = factor de soldadura = 0,85 (radiografiat doble parcial)
- S = càrrega admissible del material (bar) = 1082,46
- L= radi de la corona (mm) = 3000

El sobre espessor per corrosió del material va de 0,3 a 0,5 mm/any en aquest cas s'agafa el factor més restrictiu de 0,5 mm/any, suposant que la vida útil del tanc seran 15 anys, el sobre espessor serà 7,5 mm.

C<sub>1</sub> = marge per corrosió (mm) = 7,5 mm

C<sub>2</sub> = tolerància de fabricació (mm) = 10% de l'espessor

El resultat és de 16,20 mm, però donat que els espessors estàndards de xapa a Europa són: 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 15, 20..., s'agafa un espessor dels fons de 20 mm.

***espessor dels capçals = 20 mm***

#### **Espessor del cos del tanc. Càlcul a pressió interna**

L'equació següent permet trobar l'espessor del cos del tanc.

$$t_1 = \frac{P \cdot R_{int}}{S \cdot E - 0,6 \cdot P} + C \cdot A \quad \text{Equació 12.1.4.4}$$

on:

- t<sub>1</sub> = espessor del cos (mm)
- P = pressió de disseny del recipient (bar) = 3,35
- R<sub>int</sub> = radi intern de la columna (mm) = 1500
- E = factor de soldadura = 0,85 (radiografiat doble parcial)
- S = càrrega admissible del material (bar) = 1082,46
- C.A = sobre espessor (mm)



La tolerància de fabricació pel cas d'un cilindre és nul·la i el sobre espessor per corrosió del material és de 0,5 mm/any, suposant que la vida útil del tanc seran 15 anys el sobre espessor serà 7,5 mm.

El resultat és de 13,55 mm, però donat que els espessors estàndards de xapa a Europa són: 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 15, 20..., s'agafa un espessor del cos de **15 mm**.

Però alhora de comprar la xapa per fabricar el tanc es comprara amb el mateix gruix tan pels capçals com pel cos, per tant com l'espessor dels capçals toriesfèrics es de 20mm, el cos també tindrà el mateix espessor.

$$\text{espessor dels cos del tanc} = 20 \text{ mm}$$

### Alçada dels capçals

Una vegada determinats els espessors del cos, el fons i el capçal es pot determinar el capçal per determinar l'alçada total de l'equip, tal com indica la casa "Koenig-co" en la figura següent, extreta de la seva pàgina web.

$$DH = 0,1935 \cdot D_o - 0,455 \cdot t \quad \text{Equació 12.1.4.5}$$

$$SF = 3,5 \cdot s \quad \text{Equació 12.1.4.6}$$

$$TH = SF + DH \quad \text{Equació 12.1.4.7}$$

Es calcula l'alçada del fons toriesfèric sense tenir en compte l'espessor de la xapa, tal com s'indica a continuació:

$$DH = 0,1935 \cdot 3000 \text{ mm} - 0,455 \cdot 20 \text{ mm} = 571,4 \text{ mm}$$

$$SF = 3,5 \cdot 20 \text{ mm} = 70 \text{ mm}$$

$$TH = 70 \text{ mm} + 571,4 \text{ mm} = 641,4 \text{ mm}$$

Per tant, l'alçada del tanc sense l'espessor és de **7282,8 mm**.

#### 12.1.4.4 Pes del tanc

### Pes del tanc buit

Es calcula el volum dels capçals del tanc mitjançant l'equació :

$$Vi = 0,1 \cdot (D_{tanc}^3) \quad \text{Equació 12.1.4.17}$$

Per tant,

$$V_i = 0,1 \cdot (3000 \text{ mm})^3 = 2,7 \text{ m}^3$$

Per calcular el pes dels capçals, es calcula el volum extern del capçal, mitjançant l'equació:

$$V_e = 0,1 \cdot ((D_{\text{tanc}} + t)^3) \quad \text{Equació 12.1.4.18}$$

Pertant,

$$V_e = 0,1 \cdot (3000 \text{ mm} + 20 \text{ mm})^3 = 2,809 \text{ m}^3$$

Per tant, la resta correspon al volum de la paret del capçal:

$$V_{\text{paret, capçal}} = 2,809 \text{ m}^3 - 2,7 \text{ m}^3 = 0,109 \text{ m}^3$$

Es calcula el volum intern i extern del cos del tanc, per tal de determinar el volum de paret.

$$V_i = \pi \cdot \left(\frac{D_{\text{tanc}}}{2}\right)^2 \cdot h = \pi \cdot \left(\frac{3000 \text{ mm}}{2}\right)^2 \cdot 6000 \text{ mm} = 42,412 \text{ m}^3$$

$$V_e = \pi \cdot \left(\frac{D_{\text{tanc}} + 2 \cdot t}{2}\right)^2 \cdot h = \pi \cdot \left(\frac{3000 \text{ mm} + 2 \cdot 20 \text{ mm}}{2}\right)^2 \cdot 6000 \text{ mm} \\ = 43,550 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{paret, cos}} = 43,550 \text{ m}^3 - 42,412 \text{ m}^3 = 1,138 \text{ m}^3$$

Per tant,

$$V_{\text{paret}} = 1,357 \text{ m}^3$$

Sabent que la densitat del acer inoxidable AISI 316L és de 7950 Kg/m<sup>3</sup>, es pot calcular el pes del tanc buit, i aquest s'ha de sobre dimensionar un 10 % degut al pes de les soldadures connexions de les canonades, boques d'home, etc.

S'ha de tenir en compte alhora de elegir el tipus de terreny on enterrar-lo que sigui capaç de suportar el pes total de l'equip.

$$Pes_{\text{buit}} = 1,1 \cdot (1,357 \text{ m}^3 \cdot \frac{7950 \text{ Kg}}{1 \text{ m}^3}) = 11871 \text{ Kg}$$

### **Pes del tanc ple d'aigua**

Es calcula el volum del tanc sumant el volums dels capçals i el cos:

$$V_{\text{tanc}} = 2 \cdot 2,7 \text{ m}^3 + 42,412 \text{ m}^3 = 47,81 \text{ m}^3$$

Per tant, amb la densitat de l'aigua a la temperatura d'operació mitjana i el pes del tanc buit es pot calcular el pes del tanc amb aigua:

$$Pes_{tanc\ aigua} = 11871\ Kg + 47,81\ m^3 \cdot \frac{997,13\ Kg}{1\ m^3} = 59545\ Kg$$

### **Pes del tanc en operació**

A partir de la densitat mitjana del fluid d'operació es calcula el pes del tanc en operació:

$$Pes_{tanc\ operació} = 11871\ Kg + 47,81\ m^3 \cdot \frac{864,07\ Kg}{1\ m^3} = 53183\ Kg$$

#### **12.1.4.5 Venteig**

Tal i com s'ha explicat anteriorment es necessari dissenyar el sistema de venteig dels tanc per evitar que aquest es deformin. Els diferents sistemes de venteig han de disposar d'un diàmetre que com a mínim ha de ser igual al diàmetre intern més gran de les canonades d'ompliment o buidatge del tanc, o tenir un diàmetre intern de 35 mm, com a mínim.

El venteig està relacionat amb la superfície humida del tanc que pot estar exposada a un foc exterior. Aquesta superfície es calcula sobre la base de càlcul següent, d'un 55% de la superfície total pel cas d'un tanc esfèric, d'un 75% de l'àrea total per un tanc horitzontal i dels primers 10 m per sobre del sol per un tanc vertical, descomptant la part de superfície que estigui en contacte amb el sol.

En aquest cas:

$$A = \pi \cdot D \cdot H_{cilindre} = 76,97\ m^2 \quad \text{Equació 12.1.3.19}$$

Com és un tanc vertical amb una alçada inferior a 10 m, en aquest cas l'àrea total és igual a superfície humida.

La calor rebuda a causa d'un foc extern, Q, serà el següent, on el factor F = 1:

$$Q = 139,7 \cdot F \cdot A^{0,82} \cdot 10^3 = 139,7 \cdot 1 \cdot 56,55^{0,82} \cdot 10^3 = 3,82 \cdot 10^6\ kJ/h$$

Una vegada determinat la calor rebuda es procedeix a calcular el venteig total per líquids estables, emmagatzemats en recipients a pressió, on  $L$  es la calor latent de vaporització en KJ/kg (extreta de les taules de la bibliografia).

$$Q_{venteig} = \frac{Q}{L} = 9211,07 \text{ kg/h}$$

#### 12.1.4.6 Cubetes de retenció

En aquest cas es dissenyarà una cubeta de retenció únicament pels dos tancs de toluè, ja que encara que aquest es el dissolvent escollit perquè no interactua gaire amb les altres substàncies, aquestes són molt perilloses i es recomana separar-les de les altres. Per tant aquesta cubeta ha de permetre que es pugui emmagatzemar tota la quantitat de toluè que hi ha dins d'un tanc. O un 10% de la suma de tots dos.

$$V_{cubeta} = V_{toluè,1 \text{ tanc}} = 29,29 \text{ m}^3$$

$$V_{cubeta} = \frac{10}{100} \cdot (2 \cdot V_{toluè,1 \text{ tanc}}) = 5,86 \text{ m}^3$$

El volum de la cubeta serà de  $29,29 \text{ m}^3$ , encara que el recipient s'omplirà fins a un 80% de la seva capacitat. Es pren el 100% del volum per sobredimensionar-la.

També s'ha de tenir en compte que al tenir dos tancs de toluè hi ha d'haver-hi una certa distància entre ells, tal com estipula la normativa ITC-MIE-APQ7 d'emmagatzematge de substàncies tòxiques i la normativa ITC-MIE-APQ1 d'emmagatzematge de substàncies inflamables.

Aquesta distància ha de ser com a mínim 1m. Per tant es disposaran el dos tancs amb 1,5 metres entre ells i 2 metres entre el recipient i la paret de la cubeta.

En total la longitud i amplada de la cubeta de retenció seran:

$$L_{cubeta} = 1,5 + 2 \cdot 2 + 2 \cdot (3 + 2 \cdot 0,020) = 11,58 \text{ m} \approx 12 \text{ m}$$

$$W_{cubeta} = 2 \cdot 2 + (3 + 2 \cdot 0,020) = 7,04 \approx 7 \text{ m}$$

Per tant l'àrea total de la cubeta serà igual a:

$$A_{cubeta} = 12 \cdot 7 = 84 \text{ m}^2$$

Per conèixer l'àrea útil d'aquesta, s'han de tenir en compte l'àrea dels dos tancs

$$A_{cubeta,útil} = 84 \text{ m}^2 - \left( 2 \cdot \left( \pi \cdot \left( \frac{3 + 2 \cdot 0,020}{2} \right)^2 \right) \right) \text{ m}^2 = 83,99 \text{ m}^2$$

Com es pot observar, l'àrea útil de la cubeta es superior a la quantitat de líquid a emmagatzemar per tan s'ha decidit que la altura sigui d'1 m.

#### 12.1.4.7 Aïllament

Encara que el toluè s'emmagatzemi a temperatura ambient, es necessari aïllar el tanc per tal que no hi hagi un intercanvi de calor amb l'exterior per convecció natural del material, agafant sempre les pitjors condicions de temperatura a l'exterior de forma que el salt tèrmic entre l'interior i l'exterior sigui el més gran. Com que l'espessor dels capçals i del cos no és el mateix, s'agafa el cas més desfavorable donat per l'espessor més gran. L'espessor d'aquest aïllant es pot calcular com:

$$X = \frac{30}{3,6 \cdot \left(\frac{\Delta T}{D_{\text{ext}}}\right)^{\frac{1}{4}}} = \frac{30}{3,6 \cdot \left(\frac{21}{3 + 2 \cdot 0,020}\right)^{\frac{1}{4}}} = 5,14 \text{ cm}$$

on:

- X = espessor de l'aïllant (cm)
- $\Delta T$  = diferència de temperatura entre l'interior i l'exterior del recipient (pitjors condicions).
- $D_{\text{ext}}$  = diàmetre exterior del recipient (m) (espessor més desfavorable)

En el cas del toluè no fa falta que tingui un aïllant tant estricte com en el cas de les altres substàncies, que s'han de mantenir en estat líquid perquè el seu punt d'ebullició molt baix. No fa falta duplicar aquest aïllament per assegurar que aquest intercanvi sigui pràcticament zero.

Es calcula el volum de l'aïllant calculant el volum dels fondos i del cos. Els resultats es presenten a la taula següent:

**Taula 12.1.4.3.** Càlcul del volum d'aïllant necessari en el tanc T-105/T-106

Volum aïllant capçal (m <sup>3</sup> )	0,29
Volum aïllant cos (m <sup>3</sup> )	2,99
Volum aïllant total (m <sup>3</sup> )	3,58

<b>Tanc d'emmagatzematge de Toluè (T-105/T-106)</b>			
<b>Àrea</b>	100	<b>Material</b>	Acer inoxidable AISI 316L
<b>Consum diari (m<sup>3</sup>/dia)</b>	8,35	<b>Alçada cos cilíndric (m)</b>	6
<b>Dies stock</b>	7	<b>Espessor cos (mm)</b>	20
<b>Capacitat (m<sup>3</sup>)</b>	42,41	<b>Tipus fons inferior</b>	Fons toriesfèric
<b>Volum ocupat (%)</b>	83,70	<b>Espessor fons inferior (mm)</b>	20
<b>Diàmetre (m)</b>	3	<b>Alçada fons inferior (m)</b>	0,64
<b>Alçada total (m)</b>	7,28	<b>Tipus de fons superior</b>	Fons toriesfèric
<b>T operació (°C)</b>	25	<b>Espessor fons superior (mm)</b>	20
<b>T disseny (°C)</b>	45	<b>Alçada fons superior (m)</b>	0,64
<b>P operació (bar)</b>	1,35	<b>Tipus aïllant</b>	Llana de roca
<b>P disseny (bar)</b>	3,35	<b>Gruix aïllant (cm)</b>	5,14
<b>Pes buit (kg)</b>	11871	<b>Volum aïllant (m<sup>3</sup>)</b>	3,58
<b>Pes aigua (kg)</b>	59545	<b>Capacitat venteig (kg/h)</b>	9211,07
<b>Pes operació (kg)</b>	53183		
<b>Cubeta de retenció</b>			
<b>Longitud (m)</b>			12
<b>Amplada (m)</b>			7
<b>Alçada (m)</b>			1

### 12.1.5 TANC EMMAGATZEMATGE DE MIC

El MIC és una substància líquida a temperatura ambient, però té un punt d'ebullició molt proper, igual a 39 °C, molt tòxica amb un LD<sub>50</sub> de 0,02 ppm, e inflamable amb un punt d'inflamació de -7°C, per tant seguint la normativa ITC-MIE-APQ1, es classifica com una substància de classe B i subclasse B1. I seguint la normativa ITC-MIE-APQ7, es de classe T<sup>+</sup>. També s'ha de tenir en compte que reacciona molt fàcilment amb l'aire, l'aigua, substàncies amb grups amina o alcohols i molts metalls com el ferro, de manera exotèrmica provocant que el MIC pugui passar a estat gasos i escampar-se molt ràpidament per la atmosfera.

Per tal d'assegurar la seguretat d'aquest tanc es disposa d'un sistema de refrigeració per tal de mantenir la temperatura, i serà semienterrat i cobert amb una estructura de formigó per la part superior, per tenir-lo aïllat completament amb l'exterior en cas de fuga, amb les dimensions marcades pel APQ-1 següents:

- Han d'estar envoltats de com a mínim 250 mm de material inert i no corrosiu com sorra neta i rentada o grava ben compactada.
- Es cobreixen com a mínim de 600mm de terra o un altre material adequat o be es cobreix per 300mm de terra o un altre material adequat mes una llosa de formigó armat de 100mm d'espessor.
- Si hi ha trànsit de vehicles sobre el tanc, com a mínim s'ha de cobrir per 900mm de terra o un altre material adequat, o be es cobreix per 450 mm de terra piconada més una llosa de formigó armat de 150mm o 200mm de aglomerat asfàltic i aquesta ultima s'estendrà almenys 300mm fora de la perifèria del recipient en totes les direccions.

A més també disposa d'un sistema de venteig, com a mesura de seguretat per si hi ha qualsevol fuga que va dirigit a un scrubber on el MIC es neutralitza amb sosa proporcionant productes no tòxics que poden ser tractats posteriorment.

Per si aquesta neutralització no fos suficient el corrent gasos que surt del scrubber va dirigit a una columna de venteig amb una flama al final d'aquesta per cremar-ho i, com a últim recurs, es situen unes manegues contra incendis d'aigua a pressió per acabar de dispersar les restes de MIC que no s'hagin cremat a la flama, ja que aquest amb una quantitat d'aigua molt gran es dispersa en uns 9 min aproximadament: Ja que si el MIC es troba en excés o la quantitat d'aigua no es prou gran aquesta reacciona amb el MIC de manera exotèrmica provocant que aquest últim comenci a bullir.

La distancia entre tancs i els altres equips ha de seguir tant el que imposa la normativa APQ-1 com la normativa APQ-7 per tant es calculen les distancies de les dues formes, tal com s'ha explicat anteriorment pel tanc de foscè i pel tanc de MMA i s'agafa el valor mes restrictiu, es a dir, el valor que impliqui tenir una distància major entre els equips.

#### **12.1.5.1 Disseny funcional**

Aquest s'emmagatzema als tancs, T-401 i T-402, a l'àrea 400, a una temperatura de -4 °C per assegurar que el MIC sigui líquid, a 1 bar de pressió i sotmès a una atmosfera de nitrogen per inertitzar el tanc, perquè el MIC reacciona molt fàcilment amb l'aire.

Es prenen aquestes condicions perquè segons el llibre *“The Use and Storage of Methyl Isocyanate (MIC) at Bayer CropScience”*, les condicions més segures per fer-ho són una temperatura d’entre -10 a 0 °C.

Com que aquest MIC es un producte intermedi, el temps d’stock que es dissenyarà serà per 2 dies de producció, perquè al ser una substància molt tòxica i que reacciona amb altres substàncies molt fàcilment el seu emmagatzematge es molt perillós. Per tan la finalitat d’aquest tanc es per temes de seguretat per si cal parar el procés en la part del tercer reactor més que per emmagatzemar-lo com a reactiu, per disposar sempre de la quantitat necessària, per efectuar la reacció i que la planta pugui treballar en continu.

A partir d’aquest dies i el cabal volumètric, calculat a partir del cabal màssic (9923,20 kg/dia) i la densitat del compost en les condicions d’emmagatzematge (988,62 kg/m<sup>3</sup>), es calcula el volum de MIC a emmagatzemar durant aquest temps.

$$V_{MIC} = Q_v \cdot t_{stock} = 20,07 \text{ m}^3$$

Aquest volum se li ha d’afegir el factor de seguretat, que per el cas del MIC ha de ser d’un 40% del volum total del tanc. I aquest es el volum mínim necessari per emmagatzemar aquesta quantitat de MIC durant el temps establert.

$$V_{mínim} = \frac{V_{MIC}}{0,4} = \frac{20,07}{0,4} = 50,19 \text{ m}^3$$

A partir d’aquest volum es decideix treballar amb dos tancs de 30 m<sup>3</sup> cadascun. Per tenir-los com a mesura de seguretat, encara que quan la planta estigui en operació aquests estaran buits o pot ser que un d’ells tingui una petita quantitat de MIC emmagatzemada. Una vegada es sap el volum dels tanc es pot dimensionar el tanc.

#### 12.1.5.2 Dimensionament

Una vegada es coneix el volum del tanc, es determinen les seves dimensions segons la normativa API 620, per recipients a pressió. Tenint en compte que únicament farem el dimensionament d’un d’ells, ja que tots dos són iguals, i que aquests valors correspondran només al dimensionat del cos del tanc que serà cilíndric. Per tant,



tenint en compte això i que la relació entre el diàmetre i l'altura es igual a 2, es pot determinar el diàmetre del tanc.

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

$$H = 2 \cdot D = 5,35 \text{ m}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_{tanc}}{2 \cdot \pi}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 30}{2 \cdot \pi}} = 2,67 \text{ m}$$

Una vegada determinat l'alçada, aquesta es normalitza per tal que la construcció del tanc sigui més econòmica. Per tant tindrem un tanc amb les següents dimensions:

Alçada= **6 m**

Diàmetre intern= **3 m**

Al normalitzar les dimensions s'ha de calcular el volum real del tanc i també el percentatge d'ocupació que es té realment, que serà inferior al estimat en la normativa ADR.

$$V_{tanc,real} = \frac{\pi}{4} \cdot 3^2 \cdot 6 = 42,41 \text{ m}^3$$

$$\%volum ocupat = \frac{\frac{V_{MIC}}{n^{\circ} \text{ tancs}}}{V_{tanc}} \cdot 100 = \frac{\frac{20,07}{2}}{42,41} \cdot 100 = 23,67 \%$$

### 12.1.5.3 Disseny mecànic

El disseny mecànic dels tancs d'emmagatzematge de MIC està fet segons la normativa ASME per recipients a pressió i la normativa ITC-MIE-APQ1 per emmagatzematge de substàncies inflamables, i ITC-MIE-APQ7 per emmagatzemar substàncies tòxiques, tenint en compte les dimensions obtingudes en l'apartat anterior. Es corresponen al cos cilíndric d'aquest, ja que el tanc consta d'un cos cilíndric amb un capçal superior e inferior toricsfèric, distribuït de forma horitzontal i semienterrats fins al 50% de volum total i coberts per una capa de formigó per tal d'assegurar-se que si hi ha una fuga en el tanc no pugui ser alliberada a l'atmosfera.

### Material

Per decidir quin és el millor material pels tancs T-701 i T-702, cal tenir en compte que la substància emmagatzemada es molt corrosiva i reacciona amb facilitat alliberant

molta calor i fent pujar molt la pressió, per tant s'ha d'utilitzar un material que proporcioni la menor corrosió possible davant de la substància que es manipula i aguantant molt la temperatura i la pressió. Segons el llibre "The Use and Storage of Methyl Isocyanate (MIC) at Bayer CropScience", el material més adient per fer-ho es acer o vidre, però degut a la fragilitat d'aquest últim es decideix treballar amb acer inoxidable 316L, encara que a Bhopal s'utilitzava acer inoxidable 304.

L'acer 316 es molt més resistent en termes de corrosió i als canvis bruscos de temperatura, per tant com que l'emmagatzematge d'aquest és molt perillós, s'ha de escollir aquell material més resistent.

### Pressió de disseny

La pressió de disseny pel tanc es calcula aplicant la norma següent:

$$Pressió\ de\ disseny = \max(1,1 \cdot P.\ operació, P.\ operació + 2bar)$$

$$Pressió\ de\ disseny = \max(1,27\ bar, 3,15bar) = 3,15\ bar$$

I per saber la pressió d'operació es calcula la pressió que exerceix el líquid, anomenada càrrega hidrostàtica, i a aquesta pressió se li afegeix la pressió que hi ha dins del tanc per assegurar-se que el MIC es manté líquid.

$$P.\ càrrega\ hidrostàtica = g * \rho * h = 9,81 \cdot 988,62 \cdot 1,595 = 0,15 \cdot 10^5\ kg/m \cdot s^2$$

$$P.\ càrrega\ hidrostàtica = 0,15\ bar$$

$$h_{líquid} = D = \sqrt{\frac{V_{líquid}}{\frac{\pi}{4} \cdot H}} = \sqrt{\frac{12}{\frac{\pi}{4} \cdot 6}} = 1,595\ m$$

Pressió operació = 1 bar.

Pressió de disseny = **3,15 bar**.

### Temperatura de disseny

En aquest cas, la temperatura de disseny ve donada per la temperatura d'operació augmentant-li un factor de seguretat de 20 graus.

Temperatura d'operació = -4 °C

La temperatura de disseny ve donada:

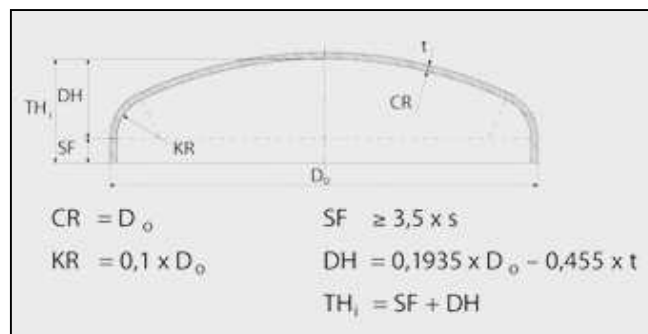
$$Temperatura\ de\ disseny = T.\ operació + 20^{\circ}C$$

Temperatura de disseny = **16 °C**

### **Espessor dels capçals. Càlcul a pressió interna**

Els tipus capçals més utilitzats són el toriesfèric, l'hemisfèric i l'el·lipsoidal, la seva elecció depèn de les condicions d'operació i el cost econòmic, en aquest cas s'utilitza el toriesfèric.

Aquest capçal ve definit pel radi de la corona (L) i el radi del colze (r) que es calculen respecte al diàmetre del cos, tal com indica la casa "Koenig-co" en la figura següent, extreta de la seva pàgina web.



**Figura 12.1.5.1** Esquema del fons toriesfèric per tal de determinar l'alçada del fons del tanc. s=t.

Per tant,

$$L = D = 3000 \text{ mm}$$

$$r = 0,1 \cdot D = 0,1 \cdot 3000 \text{ mm} = 300 \text{ mm}$$

$$\frac{L}{r} = 10$$

Per una relació L/r menor de 16<sup>2/3</sup> l'espessor es calcula amb l'equació:

$$t = \frac{P \cdot L \cdot M}{2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P} + C_1 + C_2 \quad \text{Equació 12.1.5.1}$$

on:

- t = espessor del fondo (mm)
- P = pressió de disseny del recipient (bar) = 3,15
- M = factor que depèn de la relació L/r, en aquest cas igual a 1,54
- E = factor de soldadura = 0,85 (radiografiat doble parcial)
- S = càrrega admissible del material (bar) = 1082,46
- L = radi de la corona (mm) = 3000

El sobre espessor per corrosió del material va de 0,3 a 0,5 mm/any. En aquest cas s'agafa el factor més restrictiu de 0,5 mm/any i, suposant que la vida útil del tanc seran 15 anys, el sobre espessor serà 7,5 mm.

$C_1$  = marge per corrosió (mm) = 7,5 mm

$C_2$  = tolerància de fabricació (mm) = 10% de l'espessor

El resultat és de 16,22 mm, però donat que els espessors estàndards de xapa a Europa són: 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 15, 20..., s'agafa un espessor dels fons de 20 mm.

***espessor dels capçals = 20 mm***

### **Espessor del cos del tanc. Càlcul a pressió interna**

L'equació següent permet trobar l'espessor del cos del tanc.

$$t_1 = \frac{P \cdot R_{int}}{S \cdot E - 0,6 \cdot P} + C.A \quad \text{Equació 12.1.5.2}$$

on:

- $t_1$  = espessor del cos (mm)
- P = pressió de disseny del recipient (bar) = 3,15
- $R_{int}$  = radi intern de la columna (mm) = 1500
- E = factor de soldadura = 0,85 (radiografiat doble parcial)
- S = càrrega admissible del material (bar) = 1082,46
- C.A = sobre espessor (mm)

La tolerància de fabricació pel cas d'un cilindre és nul·la i el sobre espessor per corrosió del material és de 0,5 mm/any. Suposant que la vida útil del tanc seran 15 anys, el sobre espessor serà 7,5 mm.

El resultat és de 12,65 mm, però donat que els espessors estàndards de xapa a Europa són: 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 15, 20..., s'agafa un espessor del cos de **15 mm**.

Però alhora de comprar la xapa per fabricar el tanc es comprarà amb el mateix gruix tant pels capçals com pel cos, per tant com l'espessor dels capçals torics es de 20mm el cos també tindrà el mateix espessor.

***espessor dels cos del tanc = 20 mm***

**Alçada dels capçals**

Una vegada determinats els espessors del cos, el fons i el capçal es pot determinar el capçal per determinar l'alçada total de l'equip, tal com indica la casa "Koenig-co" en la figura següent, extreta de la seva pàgina web.

$$DH = 0,1935 \cdot D_o - 0,455 \cdot t \quad \text{Equació 12.1.5.3}$$

$$SF = 3,5 \cdot s \quad \text{Equació 12.1.5.4}$$

$$TH = SF + DH \quad \text{Equació 12.1.5.5}$$

Es calcula l'alçada del fons torisfèric sense tenir en compte l'espessor de la xapa, tal com s'indica a continuació:

$$DH = 0,1935 \cdot 3000 \text{ mm} - 0,455 \cdot 20 \text{ mm} = 571,4 \text{ mm}$$

$$SF = 3,5 \cdot 20 \text{ mm} = 70 \text{ mm}$$

$$TH = 70 \text{ mm} + 571,4 \text{ mm} = 641,4 \text{ mm}$$

Per tant, l'alçada del tanc sense l'espessor és de **7282,8 mm**.

**12.1.5.4 Sistema de refrigeració**

Per tal de poder mantenir la temperatura de dins del tanc a  $-4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , s'instal·la un serpentí a l'interior del tanc com a sistema de refrigeració, ja que cal tenir en compte que el corrent que entra al tanc procedent de la columna de refinat de MIC es troba a una temperatura de  $38,79 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , per tant aquest serpentí ha de ser capaç d'endur-se la calor necessària per que el tanc sempre estigui a la mateixa temperatura.

$$Q = m \cdot C_p \cdot (T_{\text{tanc}} - T_{\text{entrada}}) \quad \text{Equació 12.1.5.6}$$

on:

- Q: calor a extreure del tanc, J/s
- m: Cabal d'entrada al tanc de MIC, kg/s
- $C_p$ : Capacitat calorífica del MIC, J/kg· $^{\circ}\text{C}$
- $T_{\text{tanc}}$ : temperatura de dins del tanc,  $^{\circ}\text{C}$
- $T_{\text{entrada}}$ : temperatura de la corrent d'entrada de MIC,  $^{\circ}\text{C}$

$$Q = 0,1148 \frac{kg}{s} \cdot 1784,37 \frac{J}{Kg \cdot ^\circ C} \cdot (-4 ^\circ C - 38,79 ^\circ C) = -8769,3 J/s$$

Una vegada es determina la calor a extreure dins del tanc es calcula l'àrea de bescanvi i el caudal del refrigerant que hi circula pel serpentí. En aquest cas el refrigerant escollit és el cloroform, ja que és el mateix que s'utilitza a Bhopal, i no interacciona amb el MIC.

$$A_{bescanvi} = \frac{Q}{U \cdot DTML} \quad \text{Equació 12.1.5.7}$$

on:

- Q= Calor a extreure del tanc, J/s
- U= Coeficient de transferència de calor del sistema (W/m<sup>2</sup>·K). S'ha escollit tenint en compte les característiques del fluid de reacció i el líquid refrigerant, cloroform, en aquest cas el valor ha d'estar entre 400 i 650 W/m<sup>2</sup>·K i s'agafa una U de 500 W/m<sup>2</sup>·K.
- DTML= Diferencial de temperatures mitjà logarítmic calculat com:

$$DTML = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}$$

$$\Delta T_1 = T^{\circ} \text{entrada fluid de tubs} - T^{\circ} \text{sortida fluid de carcassa}$$

$$\Delta T_2 = T^{\circ} \text{sortida fluid de tubs} - T^{\circ} \text{entrada fluid de carcassa}$$

$$\Delta T_1 = -15 - (-4) = -11$$

$$\Delta T_2 = -10 - (-4) = -6$$

$$DTML = \frac{-11 - (-6)}{\ln \frac{-11}{-6}} = -8,25$$

Amb aquests valors s'obté una àrea de bescanvi requerida de:

$$\text{Àrea} = \frac{-8769,3 J/s}{\frac{500W}{m^2} \cdot K \cdot (-8,25)} = 2,13 m^2$$

El cabal de refrigerant necessari per aconseguir aquest bescanvi de calor es pot calcular amb l'equació següent:

$$Q = m_{\text{refrigerant}} \cdot C_{p\text{refrigerant}} \cdot \Delta T \quad \text{Equació 12.1.5.8}$$

on:

- $m_{\text{refrigerant}}$  = cabal màssic del refrigerant. (kg/h)
- $C_{p\text{refrigerant}}$  = capacitat calorífica del refrigerant. (kJ/kg·K)
- $\Delta T$  = salt tèrmic del refrigerant entre l'entrada i la sortida. El salt tèrmic del refrigerant es fixa a 5°C.

$$m_{\text{refrigerant}} = \frac{-8769,3 \text{ J/h}}{\frac{967,51 \text{ J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (-5)} = 1,81 \text{ kg/h}$$

Una vegada es té aquest cabal es calcula l'àrea interna a partir del cabal volumètric i la velocitat a la que circula el fluid refrigerant, es pren un valor típic de velocitats d'un líquid que hi circula per l'interior de tubs, igual a 1,5 m/s, i amb aquesta àrea es calcula el diàmetre intern del serpentí.

$$A = \frac{Q_v}{v} \quad \text{Equació 12.1.5.9}$$

$$A = 0,00081 \text{ m}^2$$

on:

- $Q_v$  = cabal volumètric del refrigerant
- $v$  = velocitat del refrigerant, presa com un valor típic de 1,5 m/s

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} \quad \text{Equació 12.1.5.10}$$

$$D = 0,032 \text{ m} = 32 \text{ mm}$$

Un cop determinat el cabal es calcula la longitud del serpentí amb l'àrea de bescanvi calculada amb l'equació SEGÜENT.

$$L = \frac{A_{\text{bescanvi}}}{\pi \cdot D} \quad \text{Equació 12.1.5.11}$$

$$L = 21,01 \text{ m}$$

Una vegada es saben les dimensions del serpentí es calcula el numero de voltes que efectua.

$$n = \frac{L}{2 \cdot \pi \cdot r_p} \quad \text{Equació 12.1.5.12}$$

$$n = 3,41 \text{ voltes} \approx 4 \text{ voltes}$$

on:

- L= longitud del serpentí
- $r_p$ = radi mitja de totes les voltes, pren un valor de 0,98
- A continuació es determina la separació entre els tubs a partir del numero de voltes i el radi del tanc.

$$S = \frac{r_{tanc}}{n} \quad \text{Equació 12.1.5.13}$$

$$S = 0,38 \text{ m}$$

Finalment es calcula el pes d'aquest serpentí, suposant que té un gruix de paret de 1,5 mm, que se li haurà de sumar al pes del tanc buit.

$$Pes = \frac{\pi}{4} \cdot (D_e^2 - D_i^2) \cdot L \cdot \rho_{Hastelloy \text{ B-2}} \quad \text{Equació 12.1.5.14}$$

$$Pes = 26,54 \text{ kg}$$

### 12.1.5.5 Pes del tanc

#### Pes del tanc buit

Es calcula el volum dels capçals del tanc mitjançant l'equació següent.

$$V_i = 0,1 \cdot (D_{tanc})^3 \quad \text{Equació 12.1.5.15}$$

Per tant,

$$V_i = 0,1 \cdot (3000 \text{ mm})^3 = 2,7 \text{ m}^3$$

Per calcular el pes dels capçals, es calcula el volum extern del capçal, mitjançant l'equació:

$$V_e = 0,1 \cdot ((D_{tanc} + t)^3) \quad \text{Equació 12.1.5.16}$$

Per tant,

$$V_e = 0,1 \cdot (3000 \text{ mm} + 20 \text{ mm})^3 = 2,809 \text{ m}^3$$



Per tant, la resta correspon al volum de la paret del capçal:

$$V_{\text{paret, capçal}} = 2,809 \text{ m}^3 - 2,7 \text{ m}^3 = 0,109 \text{ m}^3$$

Es calcula el volum intern i extern del cos del tanc, per tal de determinar el volum de paret.

$$V_i = \pi \cdot \left( \frac{D_{\text{tanc}}}{2} \right)^2 \cdot h = \pi \cdot \left( \frac{3000 \text{ mm}}{2} \right)^2 \cdot 6000 \text{ mm} = 42,412 \text{ m}^3$$

$$V_e = \pi \cdot \left( \frac{D_{\text{tanc}} + 2 \cdot t}{2} \right)^2 \cdot h = \pi \cdot \left( \frac{3000 \text{ mm} + 2 \cdot 20 \text{ mm}}{2} \right)^2 \cdot 6000 \text{ mm} \\ = 43,550 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{paret, cos}} = 43,550 \text{ m}^3 - 42,412 \text{ m}^3 = 1,139 \text{ m}^3$$

Per tant,

$$V_{\text{paret}} = 1,357 \text{ m}^3$$

Sabent que la densitat del acer inoxidable AISI 316L és de 7950 Kg/m<sup>3</sup>, es pot calcular el pes del tanc buit, tal com s'indica a continuació, sumant-li el pes del serpentí. També aquest s'ha de sobre dimensionar un 10 % degut al pes de les soldadures i connexions de les canonades, boques d'home, etc.. S'ha de tenir en compte, a l'hora d'escollir el tipus de terreny on enterrar-lo, que sigui capaç de suportar el pes total de l'equip.

$$Pes_{\text{buit}} = 1,1 \cdot (1,357 \text{ m}^3 \cdot \frac{7950 \text{ Kg}}{1 \text{ m}^3} + 26,54) = 11889 \text{ Kg}$$

### **Pes del tanc ple d'aigua**

Es calcula el volum del tanc sumant el volums dels capçals i el cos:

$$V_{\text{tanc}} = 2 \cdot 2,7 \text{ m}^3 + 42,412 \text{ m}^3 = 47,81 \text{ m}^3$$

Per tant, amb la densitat de l'aigua a la temperatura d'operació mitjana i el pes del tanc buit es pot calcular el pes del tanc amb aigua:

$$Pes_{\text{tanc aigua}} = 11889 \text{ Kg} + 47,81 \text{ m}^3 \cdot \frac{999,82 \text{ Kg}}{1 \text{ m}^3} = 59692 \text{ Kg}$$

**Pes del tanc en operació**

A partir de la densitat mitjana del fluid d'operació es calcula el pes del tanc en operació:

$$Pes_{tanc\ operació} = 11889\text{ Kg} + 47,81\text{ m}^3 \cdot \frac{988,62\text{ Kg}}{1\text{ m}^3} = 59157\text{ Kg}$$

**12.1.2.6 Venteig**

Tal i com s'ha explicat anteriorment es necessari dissenyar el sistema de venteig dels tancs per evitar que aquests es deformin. Els diferents sistemes de venteig han de disposar d'un diàmetre que com a mínim ha de ser igual al diàmetre intern més gran de les canonades d'ompliment o buidatge del tanc, o tenir un diàmetre intern de 35 mm, com a mínim.

El venteig està relacionat amb la superfície humida del tanc que pot estar exposada a un foc exterior. Aquesta superfície es calcula sobre la base de càlcul següent, d'un 55% de la superfície total pel cas d'un tanc esfèric, d'un 75% de l'àrea total per un tanc horitzontal i dels primers 10 m per sobre del sol per un tanc vertical, descomptant la part de superfície que estigui en contacte amb el sol.

En aquest cas:

$$A = \pi \cdot D \cdot H_{cilindre} = 76,97\text{ m}^2 \quad \text{Equació 12.1.5.17}$$

Com és un tanc horitzontal aquesta àrea humida correspon a un 0,75 de  $A_{total}$ , per tant l'àrea humida és igual a  $42,41\text{ m}^2$ .

La calor rebuda a causa d'un foc extern,  $Q$ , serà el següent, on el factor  $F = 1$ :

$$Q = 139,7 \cdot F \cdot A^{0,82} \cdot 10^3 = 139,7 \cdot 1 \cdot 42,41^{0,82} \cdot 10^3 = 3,02 \cdot 10^6\text{ kJ/h}$$

Una vegada determinat la calor rebuda es procedeix a calcular el venteig total per líquids estables, emmagatzemats en recipients a pressió, on  $L$  es la calor latent de vaporització en KJ/kg (extreta de les taules de la bibliografia).

$$Q_{venteo} = \frac{Q}{L} = 4901,07\text{ kg/h}$$

### 12.1.5.7 Cubetes de retenció

En aquest cas es dissenyarà una cubeta de retenció només pels dos tancs de MIC, ja que aquest pot interactuar amb les altres substàncies emmagatzemades provocant reaccions no desitjades i fora de control. Per tant aquesta cubeta ha de permetre que es pugui emmagatzemar tota la quantitat de MIC que hi ha dins d'un tanc. O un 10% de la suma de tots dos.

$$V_{cubeta} = V_{MIC,1 tanc} = 12 m^3$$

$$V_{cubeta} = \frac{10}{100} \cdot (2 \cdot V_{MIC,1 tanc}) = 2,4 m^3$$

El volum de la cubeta serà de  $12 m^3$ , encara que el recipient s'omplirà fins a un 80% de la seva capacitat, es pren el 100% del volum per sobre dimensionar-la.

També s'ha de considerar que al tenir dos tancs de MIC hi ha d'haver-hi una certa distancia entre ells, tal com estipula la normativa ITC-MIE-APQ7 d'emmagatzematge de substàncies tòxiques i la normativa ITC-MIE-APQ1 d'emmagatzematge de substàncies inflamables. Aquesta distancia ha de ser com a mínim 1m. Per tant es disposaran el dos tancs amb 1,5 metres entre ells i 2 metres entre el recipient i la paret de la cubeta.

En total la longitud i amplada de la cubeta de retenció seran:

$$W_{cubeta} = 1,5 + 2 \cdot 2 + 2 \cdot (3 + 2 \cdot 0,020) = 11,58 m \approx 12 m$$

$$L_{cubeta} = 2 \cdot 2 + (7,2828 + 2 \cdot 0,020) = 11,32 \approx 11 m$$

Per tant l'àrea total de la cubeta serà igual a:

$$A_{cubeta} = 12 \cdot 11 = 132 m^2$$

Per conèixer l'àrea útil d'aquesta, s'han de tenir en compte l'àrea dels dos tancs

$$A_{cubeta,útil} = 132 m^2 - (2 \cdot ((3 + 2 \cdot 0,020) \cdot (7,2828 + 2 \cdot 0,020))) m^2 =$$

$$= 109,74 m^2$$

Com es pot observar l'àrea útil de la cubeta es superior a la quantitat de líquid a emmagatzemar, per tant s'ha decidit que la altura sigui de 1m.

<b>Tanc d'emmagatzematge de MIC (T-701/T-702)</b>			
<b>Àrea</b>	700	<b>Material</b>	Acer inoxidable AISI 316L
<b>Consum diari (m<sup>3</sup>/dia)</b>	10,04	<b>Alçada cos cilíndric (m)</b>	6
<b>Dies stock</b>	2	<b>Espessor cos (mm)</b>	20
<b>Capacitat (m<sup>3</sup>)</b>	42,41	<b>Tipus fons inferior</b>	Fons toriesfèric
<b>Volum ocupat (%)</b>	23,67	<b>Espessor fons inferior (mm)</b>	20
<b>Diàmetre (m)</b>	3	<b>Alçada fons inferior (m)</b>	0,64
<b>Alçada total (m)</b>	7,28	<b>Tipus de fons superior</b>	Fons toriesfèric
<b>T operació (°C)</b>	-4	<b>Espessor fons superior (mm)</b>	20
<b>T disseny (°C)</b>	16	<b>Alçada fons superior (m)</b>	0,64
<b>P operació (bar)</b>	1	<b>Capacitat venteig (kg/h)</b>	4901,07
<b>P disseny (bar)</b>	3,15		
<b>Pes buit (kg)</b>	11889		
<b>Pes aigua (kg)</b>	59692		
<b>Pes operació (kg)</b>	59157		
<b>Cubeta de retenció</b>			
<b>Longitud (m)</b>		12	
<b>Amplada (m)</b>		11	
<b>Alçada (m)</b>		1	
<b>Sistema de refrigeració</b>			
<b>Tipus de bescanviador</b>	Serpentí	<b>Material</b>	Acer inoxidable AISI 316L
<b>Q a extreure (J/s)</b>	-8769,3	<b>A necessària (m<sup>2</sup>)</b>	2,13
<b>Fluid refrigerant</b>	cloroform	<b>D intern (m)</b>	0,032
<b>m refrigerant (kg/s)</b>	1,81	<b>L (m)</b>	21,01
<b>Gruix paret (mm)</b>	1,5	<b>Nº voltes</b>	4
<b>Pes (kg)</b>	26,54	<b>Separació entre tubs (m)</b>	0,38

## 12.2 DISSENY DE TANCS DE MESCLA

### 12.2.1 Tanc de mescla de MIC

En aquest tanc de mescla es barreja l'1-naftol i el toluè que surt del tanc TM-501 amb les corrents recirculades dels equips CD-601 i CT-602.

Aquesta mescla té les següents condicions:

$$\rho = 770,6 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = 0,5 \cdot 10^{-4} \text{ kg/(m}\cdot\text{s)}$$

#### 12.2.1.1 Balanç de matèria

En aquest cas, com es tracta d'un tanc de mescla, el balanç de matèria s'ha de complir ja que dins del tanc no succeeix cap reacció, sinó que únicament es mesclen varies corrents per formar-ne una de sola. Per tant la suma del cabal d'entrada de totes les corrents ha de ser igual al cabal de la corrent de sortida.

*Taula 12.2.1.1. Balanç matèria TM-501*

Entrada tanc		
Nº corrent	compost	Cabal (kg/h)
X (sort TM-502)	1-naftol	1044,87
	Toluè	4273,36
X (recir. TD-601)	Toluè	290,24
	MIC	37,10
X (recir. CT-602)	1-naftol	48,12
	Toluè	84,22
	Carbaril dissolt	23,29
Total		<b>5795</b>
Sortida tanc		
Nº corrent	compost	Cabal (kg/h)
X	1-naftol	1127,36
	Toluè	4607,00
	MIC	37,10
	Carbaril dissolt	23,29
Total		<b>5795</b>

### 12.2.1.2 Disseny funcional

El tanc TM-501, es troba a 80°C, agitat amb agitador de turbina i amb mitja canya per tal que el toluè sigui capaç de dissoldre el 1-naftol i la barreja sigui lo més homogènia possible, ja que en aquest tanc es barregen moltes corrents diferents i s'ha d'assegurar que abans d'entrar als reactors la mescla sigui lo més homogènia possible.

Com que la planta es troba operant en continu i s'ha d'assegurar que el MIC quedi dissolt en el toluè, es suposa un temps de mescla d'1h, per tant a partir d'aquest temps i del cabal volumètric es pot calcular el volum de líquid al tanc per aquest temps.

$$V_{líquid} = Q_v \cdot t_{mescla} = 7,06 \text{ m}^3$$

Com es tracta d'un tanc agitat, no pot estar totalment omplert si no que s'ha de deixar un espai de almenys un 15% del volum total, perquè al accionar l'agitador es crea un petit vòrtex degut al moviment de l'agitador que provoca que a les parets del tanc augmenti l'alçada de líquid mentre que al centra d'aquest baixa. Per tant si no es deixa aquest espai el líquid sobresortiria pel tanc o provocaria que la pressió dins d'aquest segueix molt alta fent que el tanc pogués trencar-se. El percentatge d'espai buit que s'ha elegit és d'un 25% per assegurar-se que les circumstàncies esmentades anteriorment no succeeixin. Per tant per determinar el volum del tanc mínim s'ha de dividir aquest volum de líquid per 0,75.

$$V_{mínim} = \frac{V_{líquid}}{0,75} = \frac{7,06}{0,75} = 9,41 \text{ m}^3$$

Una vegada es coneix aquest volum es dimensiona el tanc.

### 12.2.1.3 Dimensionament

Una vegada es coneix el volum del tanc, es determinen les seves dimensions segons la normativa API 650 per recipients a pressió atmosfèrica, tenint en compte que aquest valors correspondran únicament al dimensionat del cos del tanc que serà cilíndric. Tenint en compte això i que la relació entre el diàmetre i l'altura es igual a 2, es pot determinar el diàmetre del tanc.

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

$$H = 2 \cdot D = 3,63 \text{ m}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_{tanc}}{2 \cdot \pi}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 11}{2 \cdot \pi}} = 1,81 \text{ m}$$

Una vegada determinada l'alçada, aquesta es normalitza per tal que la construcció del tanc sigui més econòmica. Per tan tindrem un tanc amb les següents dimensions:

Alçada= **4 m**

Diàmetre intern= **2 m**

Al normalitzar les dimensions s'ha de calcular el volum real del tanc i també el percentatge d'ocupació que es té realment, que serà inferior al estipulat en la normativa ADR.

$$V_{tanc,real} = \frac{\pi}{4} \cdot 2^2 \cdot 4 = 12,57 \text{ m}^3$$

$$\%volum ocupat = \frac{V_{mescla}}{n^{\circ} \text{ tancs}} \cdot 100 = \frac{7,06}{1} \cdot 100 = 56,14 \%$$

#### 12.2.1.4 Disseny mecànic

El disseny mecànic dels tancs de mescla està fet segons la normativa ASME per recipients a pressió i la normativa ITC-MIE-APQ1 per emmagatzematge de substàncies inflamables, i ITC-MIE-APQ7 per emmagatzemar substàncies tòxiques, tenint en compte les dimensions obtingudes en l'apartat anterior. Es corresponen al cos cilíndric d'aquest, ja que el tanc consta d'un cos cilíndric amb un capçal superior e inferior torisfèric.

#### **Material**

Per decidir quin és el millor material pel tanc TM-501, cal tenir en compte com són les substàncies que manipula i triar el material que resisteixi la substància més corrosiva de totes, encara que per les altres també ha de ser resistent.

El material utilitzat en la construcció d'aquest tanc és d'acer inoxidable AISI 316L, per tal que el tanc sigui resistent per toluè, 1-naftol, MIC i carbaril, encara que d'aquest últim no es té molta informació sobre ell.

**Pressió de disseny**

La pressió de disseny pel tanc es calcula aplicant la norma següent:

$$Pressió\ de\ disseny = \max(1,1 \cdot P.\ operació, P.\ operació + 2bar)$$

$$Pressió\ de\ disseny = \max(1,23\ bar, 3,13bar) = 3,13\ bar$$

Per saber la pressió d'operació es calcula la pressió que exerceix el líquid, anomenada càrrega hidrostàtica, i a aquesta pressió se li afegeix la pressió que hi ha dins del tanc per assegurar-se que el MIC es manté líquid.

$$P.\ càrrega\ hidrostàtica = g * \rho * h = 9,81 \cdot 770,59 \cdot 2,25 = 0,13 \cdot 10^5\ kg/m \cdot s^2$$

$$P.\ càrrega\ hidrostàtica = 0,13\ bar$$

$$h = \frac{V_{líquid}}{\frac{\pi}{4} \cdot D^2} = \frac{7,06}{\frac{\pi}{4} \cdot 2^2} = 2,25\ m$$

Pressió operació = 1,13 bar.

Pressió de disseny = **3,13 bar**.

**Temperatura de disseny**

En aquest cas, la temperatura de disseny ve donada per la temperatura d'operació augmentar-li un factor de seguretat de 20 graus.

Temperatura d'operació = 80 °C

La temperatura de disseny ve donada:

$$Temperatura\ de\ disseny = T.\ operació + 20^{\circ}C$$

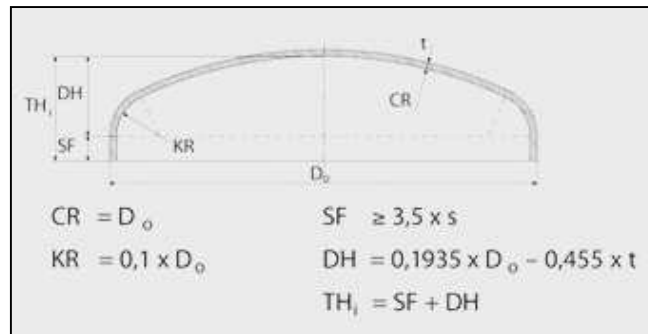
Temperatura de disseny = **100 °C**

**Espessor dels capçals. Càlcul a pressió interna**

Els tipus capçals més utilitzats són el toriesfèric, l'hemisfèric i l'el·lipsoïdal, la seva elecció depèn de les condicions d'operació i el cost econòmic, en aquest cas s'utilitza el toriesfèric.

Aquest capçal ve definit pel radi de la corona (L) i el radi del colze (r) que es calculen respecte al diàmetre del cos, tal com indica la casa "Koenig-co" en la figura següent, extreta de la seva pàgina web.





**Figura 12.2.1.1.** Esquema del fons torisfèric per tal de determinar l'alçada del fons del tanc.  $s=t$ .

Per tant,

$$L = D = 2000 \text{ mm}$$

$$r = 0,1 \cdot D = 0,1 \cdot 2000 \text{ mm} = 200 \text{ mm}$$

$$\frac{L}{r} = 10$$

Per una relació  $L/r$  menor de  $16^{2/3}$  l'espessor es calcula amb l'equació següent.

$$t = \frac{P \cdot L \cdot M}{2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P} + C_1 + C_2 \quad \text{Equació 12.2.1.1}$$

on:

- $t$  = espessor del fondo (mm)
- $P$  = pressió de disseny del recipient (bar) = 3,13
- $M$  = factor que depèn de la relació  $L/r$ , en aquest cas igual a 1,54
- $E$  = factor de soldadura = 0,85 (radiografiat doble parcial)
- $S$  = càrrega admissible del material (bar) = 1082,46
- $L$  = radi de la corona (mm) = 2000

El sobre espessor per corrosió del material va de 0,3 a 0,5 mm/any. En aquest cas s'agafa el factor més restrictiu de 0,5 mm/any. Suposant que la vida útil del tanc seran 15 anys, el sobre espessor serà 7,5 mm.

$C_1$  = marge per corrosió (mm) = 7,5 mm

$C_2$  = tolerància de fabricació (mm) = 10% de l'espessor

El resultat és de 13,28 mm, però donat que els espessors estàndards de xapa a Europa són: 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 15, 20..., s'agafa un espessor dels fons de 15 mm.

**espessor dels capçals = 15 mm**

**Espessor del cos del tanc. Càlcul a pressió interna**

L'equació següent permet trobar l'espessor del cos del tanc.

$$t_1 = \frac{P \cdot R_{int}}{S \cdot E - 0,6 \cdot P} + C.A \quad \text{Equació 12.2.1.2}$$

on:

- $t_1$  = espessor del cos (mm)
- P = pressió de disseny del recipient (bar) = 3,13
- $R_{int}$  = radi intern de la columna (mm) = 1250
- E = factor de soldadura = 0,85 (radiografiat doble parcial)
- S = càrrega admissible del material (bar) = 1082,46
- C.A = sobre espessor (mm)

La tolerància de fabricació pel cas d'un cilindre és nul·la i el sobre espessor per corrosió del material va de 0,3 a 0,5 mm/any en aquest cas s'agafa el factor més restrictiu de 0,5 mm/any, suposant que la vida útil del tanc seran 15 anys, el sobre espessor serà 7,5 mm.

El resultat és de 10,92 mm, però donat que els espessors estàndards de xapa a Europa són: 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 15, 20..., s'agafa un espessor del cos de **12 mm**.

A l'hora de comprar la xapa per fabricar el tanc es comprarà amb el mateix gruix tan pels capçals com pel cos. Per tant, com l'espessor dels capçals torics es de 15 mm, el cos també tindrà el mateix espessor.

$$\text{espessor dels cos del tanc} = 15 \text{ mm}$$

**Alçada dels capçals**

Una vegada determinats els espessors del cos, el fons i el capçal es pot determinar del capçal per determinar l'alçada total de l'equip, tal com indica la casa "Koenig-co" en la figura següent, extreta de la seva pàgina web.

$$DH = 0,1935 \cdot D_o - 0,455 \cdot t \quad \text{Equació 12.2.1.3}$$

$$SF = 3,5 \cdot s \quad \text{Equació 12.2.1.4}$$

$$TH = SF + DH \quad \text{Equació 12.2.1.5}$$

Es calcula l'alçada del fons torisfèric sense tenir en compte l'espessor de la xapa, tal com s'indica a continuació:

$$DH = 0,1935 \cdot 2000 \text{ mm} - 0,455 \cdot 15 \text{ mm} = 380,18 \text{ mm}$$

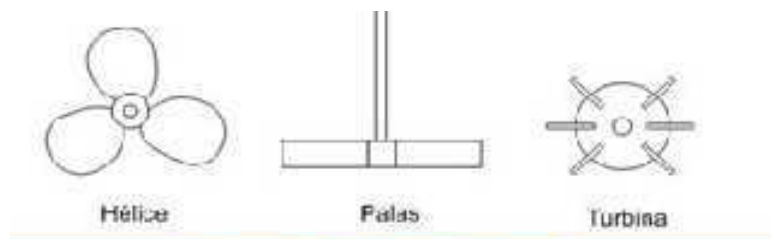
$$SF = 3,5 \cdot 15 \text{ mm} = 52,5 \text{ mm}$$

$$TH = 52,5 \text{ mm} + 380,18 \text{ mm} = 432,68 \text{ mm}$$

Per tant, l'alçada del tanc sense l'espessor és de **4865,36 mm**.

### 12.2.1.5 Agitació

El tanc de dissolució del 1-naftol en toluè és una tanc de mescla i requereix la instal·lació d'un sistema d'agitació per tal de mantenir el seu contingut homogeneïtzat. Els tipus principals d'agitadors utilitzats en la indústria són, d'hèlix, de paletes i de turbina, en el cas del reactor de piròlisis es decideix utilitzar un agitador d'hèlix.

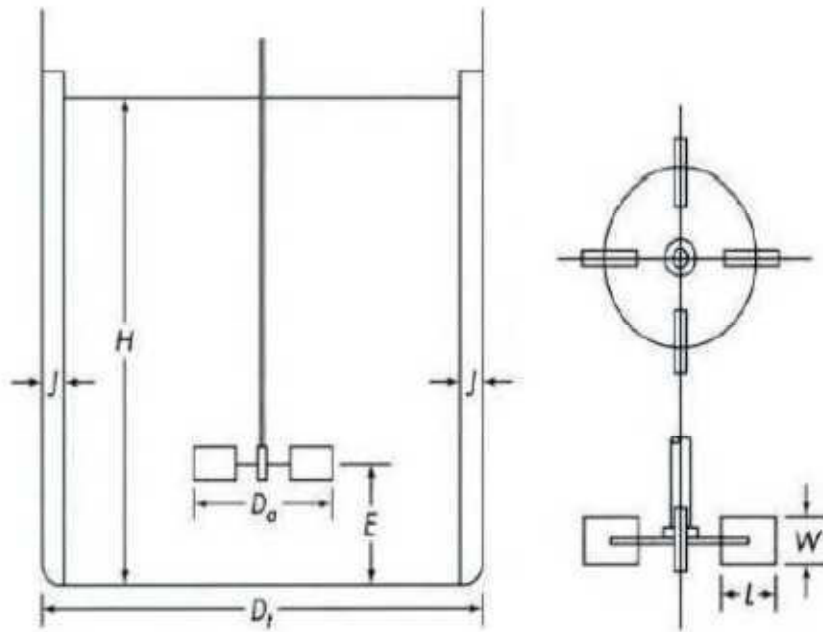


**Figura 12.2.1.2** Tipus d'agitadors més utilitzats en la indústria química.

Aquests agitadors produeixen un flux axial que opera a una velocitat elevada i és adequat per a líquids poc viscosos com el de la mescla de reacció ( $\mu = 0,50\text{cP}$ ).

S'ha escollit un agitador de tipus turbina perquè és el que funciona amb un rang de viscositat més ampli i produeix uns corrents forts afavorint a que la mescla sigui molt homogènia. Sol treballar entre 20 a 150 rpm. i tenir de 4 a 14 plaques de mescla. Encara que el més habitual és posar-li 6 o 8, en aquest cas s'agafa un agitador tipus turbina amb 6 plaques.

Un cop escollit el tipus d'agitador es calculen les seves dimensions tenint en compte les relacions geomètriques de la figura següent:



**Figura 12.2.1.3** Geometria d'un agitador de turbina.

Relacions geomètriques:

$$D_a/D_t = 1/3$$

$$j/D_t = 1/12$$

$$E/D_t = 1/3$$

$$W/D_a = 1/5$$

$$L/D_a = 1/4$$

on:

- $D_a$  = diàmetre de l'agitador (m).
- $D_t$  = diàmetre intern del reactor (m).
- $j$  = amplada de les pales deflectores (m).
- $E$  = alçada des de la turbina fins el fons del reactor (m).
- $W$  = alçada de les plaques de la turbina (m).
- $L$  = amplada de les plaques de la turbina (m).

Es col·loquen 4 plaques deflectores, valor estàndard, per evitar la formació de vòrtexs dins del reactor.

La potència que tindrà l'agitador es pot calcular a partir del Reynolds d'agitació amb l'equació següent:

$$Re = \frac{\rho \cdot n \cdot Da^2}{\mu}$$

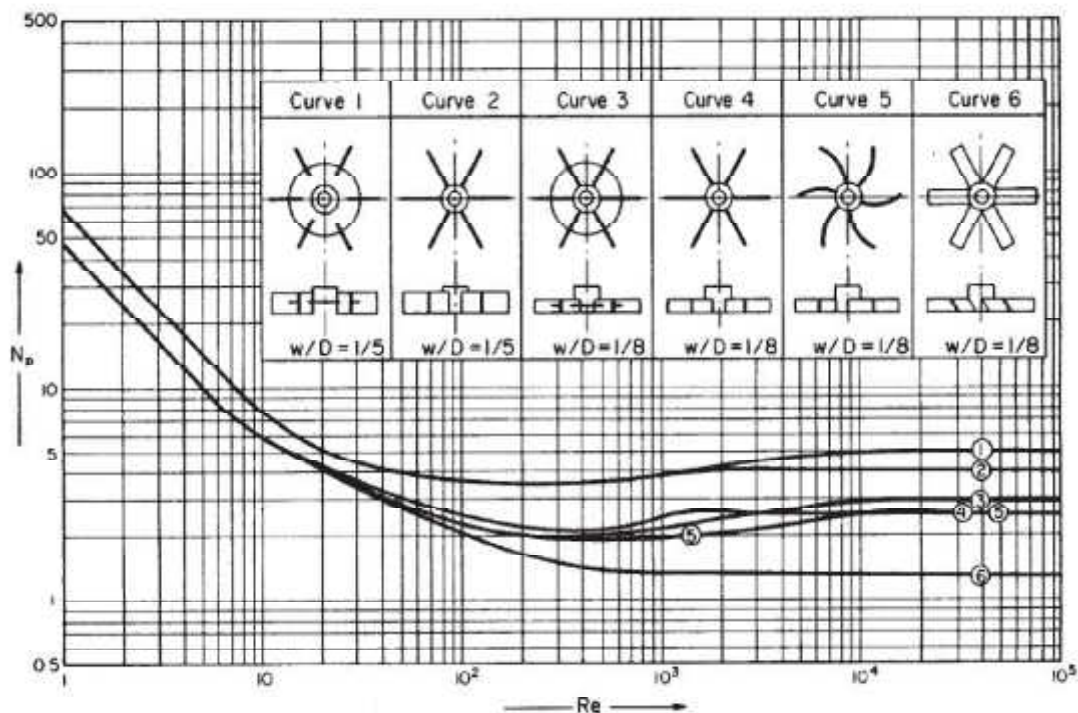
on:

- $\rho$  = densitat de la mescla. S'escull el valor més alt entre l'entrada i la sortida tenint en compte que serà el més conservador, 770,59 kg/m<sup>3</sup>.
- $n$  = revolucions de l'agitador (rps), s'ha escollit un valor de 100 rpm.
- $Da$  = diàmetre de l'agitador (0,7m).
- $\mu$  = viscositat de la mescla ( $0,5 \cdot 10^{-4}$  kg/m·s).

$$Re = \frac{770,59 \text{ kg/m}^3 \cdot 1,66 \text{ rps} \cdot 0,7^2 \text{ m}}{0,5 \cdot \frac{10^{-4} \text{ kg}}{\text{m}} \cdot \text{s}} = 1,25 \cdot 10^6$$

Amb el Reynolds es pot conèixer el valor del número de potència (Np) que permetrà saber quina potència requereix l'agitador del reactor.

Per valors de Reynolds superiors a  $10^5$ , Np agafa un valor constant. Consultant la figura següent Np és igual a 5. Tenint en compte que el tipus d'agitador escollit es el que li correspon la corba número 1.



**Figura 12.2.1.4** Relació nombre de Reynolds nombre Np. Línia 3 corresponent a agitador d'hèlix.

La potència de l'agitador serà doncs:

$$P = \frac{Np \cdot Da^5 \cdot n^3 \cdot \rho}{g \cdot 1000} = 0,3 \text{ kW}$$

Una vegada s'ha determinat la potència de l'agitador es comprova que el disseny d'aquest sigui el correcte calculant la relació de la potència amb el volum de líquid del tanc (kW/m<sup>3</sup>) i comprovar el resultat a la taula següent:

**Taula 12.2.1.2.** Relació potència volum líquid del agitador

Agitation	Applications	Power, kW/m <sup>3</sup>
Mild	Blending, mixing	0.04–0.10
	Homogeneous reactions	0.01–0.03
Medium	Heat transfer	0.03–1.0
	Liquid-liquid mixing	1.0–1.5
Severe	Slurry suspension	1.5–2.0
	Gas absorption,	1.5–2.0
	Emulsions	1.5–2.0
Violent	Fine slurry suspension	> 2.0

$$Power = \frac{P}{V_{líquid}} = \frac{0,3}{7,06} = 0,04 \text{ kW/m}^3$$

Comparant el resultat obtingut amb la taula 12.2.1.2, es comprova que el disseny de l'agitador es correcte, perquè al tenir una agitació mitja de 100 rpm i transferència de calor, aquesta relació es troba entre 0,03 a 1,0 kW/m<sup>3</sup>, ja que per dissoldre el naftol s'ha de instal·lar un sistema que escalfi el tanc.

Una vegada s'ha comprovat que el disseny de l'agitador és el correcte es calcula el temps de mescla d'aquest agitador :

$$t = 5 \cdot \frac{\pi \cdot D^2 \cdot A}{4 \cdot 0,92 \cdot n \cdot D_a^2 \cdot D} \quad \text{Equació 12.2.1.5}$$

on:

- t= Temps de mescla, s
- D= Diàmetre del tanc, m
- A= alçada de líquid, m
- Da= Diàmetre de l'agitador, m
- n= Velocitat d'agitació, rps

$$t = 5 \cdot \frac{\pi \cdot 2^2 \cdot 2,25}{4 \cdot 0,92 \cdot 1,66 \cdot 0,7^2 \cdot 2} = 11,78 \text{ s}$$

### 12.2.1.6 Pes del tanc

#### Pes del tanc buit

Es calcula el volum dels capçals del tanc mitjançant l'equació:

$$V_i = 0,1 \cdot (D_{tanc})^3 \quad \text{Equació 12.2.1.6}$$

Per tant,

$$V_i = 0,1 \cdot (2000 \text{ mm})^3 = 0,8 \text{ m}^3$$

Per calcular el pes dels capçals, es calcula el volum extern del capçal, mitjançant l'equació:

$$V_e = 0,1 \cdot ((D_{tanc} + t)^3) \quad \text{Equació 12.2.1.7}$$

Pertant,

$$V_e = 0,1 \cdot (2000 \text{ mm} + 15 \text{ mm})^3 = 0,837 \text{ m}^3$$

Per tant, la resta correspon al volum de la paret del capçal:

$$V_{paret, capçal} = 0,837 \text{ m}^3 - 0,8 \text{ m}^3 = 0,037 \text{ m}^3$$

Es calcula el volum intern i extern del cos del tanc, per tal de determinar el volum de paret.

$$V_i = \pi \cdot \left(\frac{D_{tanc}}{2}\right)^2 \cdot h = \pi \cdot \left(\frac{2000 \text{ mm}}{2}\right)^2 \cdot 4000 \text{ mm} = 12,57 \text{ m}^3$$

$$V_e = \pi \cdot \left(\frac{D_{tanc} + 2 \cdot t}{2}\right)^2 \cdot h = \pi \cdot \left(\frac{2000 \text{ mm} + 2 \cdot 15 \text{ mm}}{2}\right)^2 \cdot 4000 \text{ mm} \\ = 12,95 \text{ m}^3$$

$$V_{paret, cos} = 12,95 \text{ m}^3 - 12,57 \text{ m}^3 = 0,380 \text{ m}^3$$

Per tant,

$$V_{paret} = 0,796 \text{ m}^3$$

Sabent que la densitat de l'acer inoxidable AISI 316L és de  $7950 \text{ Kg/m}^3$ , es pot calcular el pes del tanc buit, tal com s'indica a continuació:

$$Pes_{buit} = 1,1 \cdot (0,796 m^3 \cdot \frac{7950 Kg}{1 m^3}) = 6963 Kg$$

### **Pes del tanc ple d'aigua**

Es calcula el volum del tanc sumant el volums dels capçals i el cos:

$$V_{tanc} = 2 \cdot 0,8 m^3 + 12,57 m^3 = 14,17 m^3$$

Per tant, amb la densitat de l'aigua a la temperatura d'operació mitjana i el pes del tanc buit, es pot calcular el pes del tanc amb aigua:

$$Pes_{tanc aigua} = 6963 Kg + 14,17 m^3 \cdot \frac{971,6 Kg}{1 m^3} = 20727 Kg$$

### **Pes del tanc en operació**

A partir de la densitat mitjana del fluid d'operació es calcula el pes del tanc en operació:

$$Pes_{tanc operació} = 6963 Kg + 14,17 m^3 \cdot \frac{770,59 Kg}{1 m^3} = 17879 Kg$$

#### **12.2.1.7 Aïllament**

Es necessari aïllar el tanc per seguretat, ja que si algun operari toqués la paret d'aquest tanc, podria cremar-se per les altes temperatures assolides en aquest. Per assegurar que no hi hagi un intercanvi de calor amb l'exterior per convecció natural del material, agafem sempre les pitjors condicions de temperatura a l'exterior de forma que el salt tèrmic entre l'interior i l'exterior sigui el més gran. Com que l'espessor dels capçals i del cos no és el mateix, s'agafa el cas més desfavorable donat per l'espessor més gran. L'espessor d'aquest aïllant es pot calcular com:

$$X = \frac{30}{3,6 \cdot (\frac{\Delta T}{D_{ext}})^{\frac{1}{4}}} = 3,37 cm$$



on:

- X = espessor de l'aïllant (cm)
- $\Delta T$  = diferència de temperatura entre l'interior i l'exterior del recipient (pitjors condicions).
- $D_{ext}$  = diàmetre exterior del recipient (m) (espessor més desfavorable)

Al espessor determinat es sobre dimensiona multiplicant per dos per assegurar que no hi hagi un intercanvi de calor amb l'exterior i així que si algun operari toca la paret del tanc no es cremi.

$$X= 6,74 \text{ cm}$$

S'obté el volum de l'aïllant calculant el volum als fondos i al cos. Els resultats es presenten a la taula:

**Taula 12.2.1.3 Càlcul del volum d'aïllant necessari en el tancTM-501**

Volum aïllant capçal (m <sup>3</sup> )	0,18
Volum aïllant cos (m <sup>3</sup> )	1,78
Volum aïllant total (m <sup>3</sup> )	2,13

<b>Tanc de mescla naftol, toluè i MIC (TM-501)</b>			
<b>Àrea</b>	500	<b>Material</b>	Acer inoxidable AISI 316L
<b>Consum (m<sup>3</sup>/h)</b>	7,06	<b>Alçada cos cilíndric (m)</b>	4
<b>Temps mescla (h)</b>	1	<b>Espessor cos (mm)</b>	15
<b>Capacitat (m<sup>3</sup>)</b>	12,57	<b>Tipus fons inferior</b>	Fons toriesfèric
<b>Volum ocupat (%)</b>	56,14	<b>Espessor fons inferior (mm)</b>	15
<b>Diàmetre (m)</b>	2	<b>Alçada fons inferior (m)</b>	0,43
<b>Alçada total (m)</b>	4,86	<b>Tipus de fons superior</b>	Fons toriesfèric
<b>T operació (°C)</b>	80	<b>Espessor fons superior (mm)</b>	15
<b>T disseny (°C)</b>	100	<b>Alçada fons superior (m)</b>	0,43
<b>P operació (bar)</b>	1,13	<b>Tipus aïllant</b>	Llana de roca
<b>P disseny (bar)</b>	3,13	<b>Gruix aïllant (cm)</b>	6,74
<b>Pes buit (kg)</b>	6963	<b>Volum aïllant (m<sup>3</sup>)</b>	2,13
<b>Pes aigua (kg)</b>	20727	<b>Capacitat venteig (kg/h)</b>	
<b>Pes operació (kg)</b>	17879		

Sistema d'escalfament			
Tipus de bescanviador	Mitja canya	Material	Acer inoxidable AISI 316L
Q a extreure (J/s)	$7,57 \cdot 10^4$	A necessària (m <sup>2</sup> )	3,89
Fluid tèrmic	Oli tèrmic	D intern (m)	0,06
m <sub>oli</sub> (kg/s)	3,69	L (m)	81,06
Gruix paret (mm)	1,5	Nº voltes	13
Alçada (m)	2,26	Separació entre voltes (m)	0,12

### 12.2.2 Tanc de mescla de nafrol

En aquest tanc de mescla es barreja l'1-naftol i el toluè abans d'entrar al reactor 3, ja que l'1-naftol es un reactiu subministrat per una planta situada al costat de la nostre que ens subministra el 1-naftol en big-bags de 1000Kg, que hauran de ser dissolts en toluè abans d'entrar al reactor R-501 i R-502.

Aquesta mescla té les següents condicions:

$$\rho = 768,26 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = 5,035 \cdot 10^{-4} \text{ kg/(m}\cdot\text{s)}$$

#### 12.2.2.1 Balanç de matèria

Com es tracta d'un tanc de mescla, el balanç de matèria s'ha de complir ja que dins del tanc no succeeix cap reacció, sinó que únicament es mesclen varies corrents per formar-ne una de sola. Per tant la suma del cabal d'entrada de totes les corrents ha de ser igual al cabal de la corrent de sortida.

**Taula 12.2.2.1. Balanç matèria TM-502**

<b>Entrada tanc</b>		
Nº corrent	compost	Cabal (kg/h)
X	1-naftol	1044,87
X (fresc)	Toluè	341,22
X (vapors 3 cristal)	Toluè	3932,14
Total		<b>5318,23</b>
<b>Sortida tanc</b>		
Nº corrent	compost	Cabal (kg/h)
X	1-naftol	1044,87
	Toluè	4273,36
Total		<b>5318,23</b>

### 12.2.2.2 Disseny funcional

El tanc TM-501, es troba a 80°C, agitat i amb mitja canya amb agitador de turbina, per tal que el toluè sigui capaç de dissoldre el 1-naftol i la barreja sigui lo més homogènia possible, ja que aquest toluè probe de dos corrents diferents; una que proporciona toluè fresc i l'altre es la recirculació de les corrents de sortida en forma vapor dels 3 cristal·litzadors que prèviament s'hauran de condensar.

Com que la planta es troba operant en continu i s'ha d'assegurar que el toluè tingui suficient temps per dissoldre totalment l'1-naftol, es suposa que el temps de mescla es de 1h, per tant a partir d'aquest temps i del cabal volumètric es pot calcular el volum de líquid al tanc per aquest temps.

$$V_{líquid} = Q_v \cdot t_{mescla} = 6,92 \text{ m}^3$$

Com es tracta d'un tanc agitat, no pot estar totalment omplert si no que s'ha de deixar un espai de almenys un 15% del volum total, perquè al accionar l'agitador es crea un petit vòrtex degut al moviment de l'agitador que provoca que a les parets del tanc augmenti l'alçada de líquid mentre que al centra d'aquest baixa. Per tant si no es deixa aquest espai el líquid sobresortiria pel tanc o provocaria que la pressió dins d'aquest segueix molt alta fent que el tanc pogués trencar-se. El percentatge d'espai buit que s'ha escollit és d'un 25% per assegurar-se que les circumstàncies esmentades

anteriorment no succeeixin. Per determinar el volum del tanc mínim s'ha de dividir aquest volum de líquid per 0,75.

$$V_{\text{mínim}} = \frac{V_{\text{líquid}}}{0,75} = \frac{6,92}{0,75} = 9,23 \text{ m}^3$$

Una vegada es coneix aquest volum es pot dimensionar el tanc.

### 12.2.2.3 Dimensionament

Una vegada es coneix el volum del tanc, es determinen les seves dimensions segons la normativa API 650, per recipients a pressió atmosfèrica.

Tenint en compte que únicament farem el dimensionament d'un d'ells, ja que tots dos seran igual, i que aquest valors correspondran només al dimensionat del cos del tanc que serà cilíndric. Tenint en compte això, i que la relació entre el diàmetre i l'altura es igual a 2, es pot determinar el diàmetre del tanc.

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

$$H = 2 \cdot D = 3,6 \text{ m}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_{\text{tanc}}}{2 \cdot \pi}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 10}{2 \cdot \pi}} = 1,80 \text{ m}$$

Una vegada determinat l'alçada, aquesta es normalitza per tal que la construcció del tanc sigui més econòmica. Per tant tindrem un tanc amb les següents dimensions:

Alçada= **4 m**

Diàmetre intern= **2 m**

Al normalitzar les dimensions s'ha de calcular el volum real del tanc i també el percentatge d'ocupació que es té realment, que serà inferior al estimat en la normativa ADR.

$$V_{\text{tanc,real}} = \frac{\pi}{4} \cdot 2^2 \cdot 4 = 12,57 \text{ m}^3$$

$$\% \text{volum ocupat} = \frac{V_{\text{mescla}}}{n^{\circ} \text{ tancs}} \cdot 100 = \frac{6,93}{1} \cdot 100 = 55,13 \%$$

### 12.2.2.4 Disseny mecànic

El disseny mecànic dels tancs de mescla està fet segons la normativa ASME per recipients a pressió i la normativa ITC-MIE-APQ1 per emmagatzematge de substàncies inflamables, i ITC-MIE-APQ7 per emmagatzemar substàncies tòxiques, tenint en compte les dimensions obtingudes en l'apartat anterior es corresponen al cos cilíndric d'aquest, ja que el tanc consta d'un cos cilíndric amb un capçal superior e inferior toriesfèric.

#### Material

Per decidir quin és el millor material pel tanc TM-502, cal tenir en compte com són les substàncies que manipula i agafar el material que resisteixi la substància més corrosiva de totes, encara que per les altres també ha de ser resistent. El material utilitzat en la construcció d'aquest tanc és d'acer inoxidable AISI 316L, per tal que el tanc sigui resistent per toluè i 1-naftol.

#### Pressió de disseny

La pressió de disseny pel tanc es calcula aplicant la norma següent:

$$Pressió\ de\ disseny = \max(1,1 \cdot P.\text{operació}, P.\text{operació} + 2bar)$$

$$Pressió\ de\ disseny = \max(1,23\ bar, 3,12bar) = 3,12\ bar$$

Per saber la pressió d'operació es calcula la pressió que exerceix el líquid, anomenada càrrega hidrostàtica, i a aquesta pressió se li afegeix la pressió que hi ha dins del tanc per assegurar que el MIC es manté líquid.

$$P.\text{càrrega hidrostàtica} = g * \rho * h = 9,81 \cdot 768,26 \cdot 2,20 = 0,12 \cdot 10^5\ kg/m \cdot s^2$$

$$P.\text{càrrega hidrostàtica} = 0,12\ bar$$

$$h = \frac{V_{líquid}}{\frac{\pi}{4} \cdot D^2} = \frac{6,92}{\frac{\pi}{4} \cdot 2,2^2} = 2,20\ m$$

Pressió operació = **1,12 bar**.

Pressió de disseny = **3,12 bar**.

**Temperatura de disseny**

En aquest cas, la temperatura de disseny ve donada per la temperatura d'operació augmentant-li un factor de seguretat de 20 graus.

Temperatura d'operació = 80 °C

La temperatura de disseny ve donada:

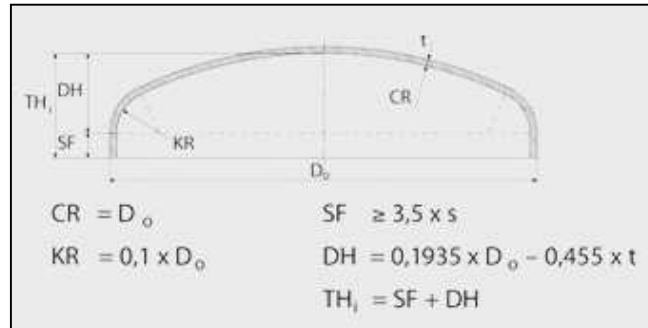
$$\text{Temperatura de disseny} = T. \text{operació} + 20^{\circ}\text{C}$$

Temperatura de disseny = **100 °C**

**Espessor dels capçals. Càlcul a pressió interna**

Els tipus capçals més utilitzats són el toriesfèric, l'hemisfèric i l'el·lipsoidal, la seva elecció depèn de les condicions d'operació i el cost econòmic, en aquest cas s'utilitza el toriesfèric.

Aquest capçal ve definit pel radi de la corona (L) i el radi del colze (r) que es calculen respecte al diàmetre del cos, tal com indica la casa "Koenig-co" en la figura següent, extreta de la seva pàgina web.



**Figura 12.2.2.1** Esquema del fons toriesfèric per tal de determinar l'alçada del fons del tanc.  $s=t$ .

Per tant,

$$L = D = 2000 \text{ mm}$$

$$r = 0,1 \cdot D = 0,1 \cdot 2000 \text{ mm} = 200 \text{ mm}$$

$$\frac{L}{r} = 10$$

Per una relació  $L/r$  menor de  $16^{2/3}$  l'espessor es calcula amb l'equació:

$$t = \frac{P \cdot L \cdot M}{2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P} + C_1 + C_2 \quad \text{Equació 12.2.2.1}$$

on:

- $t$  = espessor del fondo (mm)
- $P$  = pressió de disseny del recipient (bar) = 3,12
- $M$  = factor que depèn de la relació  $L/r$ , en aquest cas igual a 1,54
- $E$  = factor de soldadura = 0,85 (radiografiat doble parcial)
- $S$  = càrrega admissible del material (bar) = 1082,46
- $L$  = radi de la corona (mm) = 2000

El sobre espessor per corrosió del material va de 0,3 a 0,5 mm/any. En aquest cas s'agafa el factor més restrictiu de 0,5 mm/any. Suposant que la vida útil del tanc seran 15 anys, el sobre espessor serà 7,5 mm.

$C_1$  = marge per corrosió (mm) = 7,5 mm

$C_2$  = tolerància de fabricació (mm) = 10% de l'espessor

El resultat és de 13,28 mm, però donat que els espessors estàndards de xapa a Europa són: 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 15, 20..., s'agafa un espessor dels fons de 15 mm.

***espessor dels capçals = 15 mm***

### **Espessor del cos del tanc. Càlcul a pressió interna**

L'equació següent permet trobar l'espessor del cos del tanc.

$$t_1 = \frac{P \cdot R_{int}}{S \cdot E - 0,6 \cdot P} + C \cdot A \quad \text{Equació 12.2.2.2}$$

on:

- $t_1$  = espessor del cos (mm)
- $P$  = pressió de disseny del recipient (bar) = 3,12
- $R_{int}$  = radi intern de la columna (mm) = 1250
- $E$  = factor de soldadura = 0,85 (radiografiat doble parcial)
- $S$  = càrrega admissible del material (bar) = 1082,46
- $C \cdot A$  = sobre espessor (mm)

La tolerància de fabricació pel cas d'un cilindre és nul·la i el sobre espessor per corrosió del material va de 0,3 a 0,5 mm/any. En aquest cas s'agafa el factor més restrictiu de 0,5 mm/any. Suposant que la vida útil del tanc seran 15 anys, el sobre espessor serà 7,5 mm.

El resultat és de 10,91 mm, però donat que els espessors estàndards de xapa a Europa són: 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 15, 20..., s'agafa un espessor del cos de **12 mm**.

A l'hora de comprar la xapa per fabricar el tanc es comprarà amb el mateix gruix tant pels capçals com pel cos. Com l'espessor dels capçals toriesfèrics es de 15 mm, el cos també tindrà el mateix espessor

$$\text{espessor dels cos del tanc} = 15 \text{ mm}$$

### Alçada dels capçals

Una vegada determinats els espessors del cos, el fons i el capçal es pot determinar el capçal per determinar l'alçada total de l'equip, tal com indica la casa "Koenig-co" en la figura següent, extreta de la seva pàgina web.

$$DH = 0,1935 \cdot D_o - 0,455 \cdot t \quad \text{Equació 12.2.2.3}$$

$$SF = 3,5 \cdot s \quad \text{Equació 12.2.2.4}$$

$$TH = SF + DH \quad \text{Equació 12.2.2.5}$$

Es calcula l'alçada del fons toriesfèric sense tenir en compte l'espessor de la xapa, tal com s'indica a continuació:

$$DH = 0,1935 \cdot 2000 \text{ mm} - 0,455 \cdot 15 \text{ mm} = 380,18 \text{ mm}$$

$$SF = 3,5 \cdot 15 \text{ mm} = 31,3 \text{ mm}$$

$$TH = 31,3 \text{ mm} + 380,18 \text{ mm} = 411,51 \text{ mm}$$

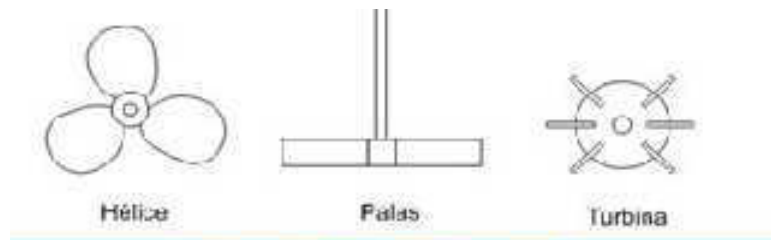
Per tant, l'alçada del tanc sense l'espessor és de **4823,02 mm**.

### 12.2.1.5 Agitació

El tanc de dissolució del 1-naftol en toluè és una tanc de mescla i requereix la instal·lació d'un sistema d'agitació per tal de mantenir el seu contingut homogeneïtat.



Els tipus principals d'agitadors utilitzats en la indústria són, d'hèlix, de paletes i de turbina. En el cas del reactor de piròlisis es decideix utilitzar un agitador d'hèlix.

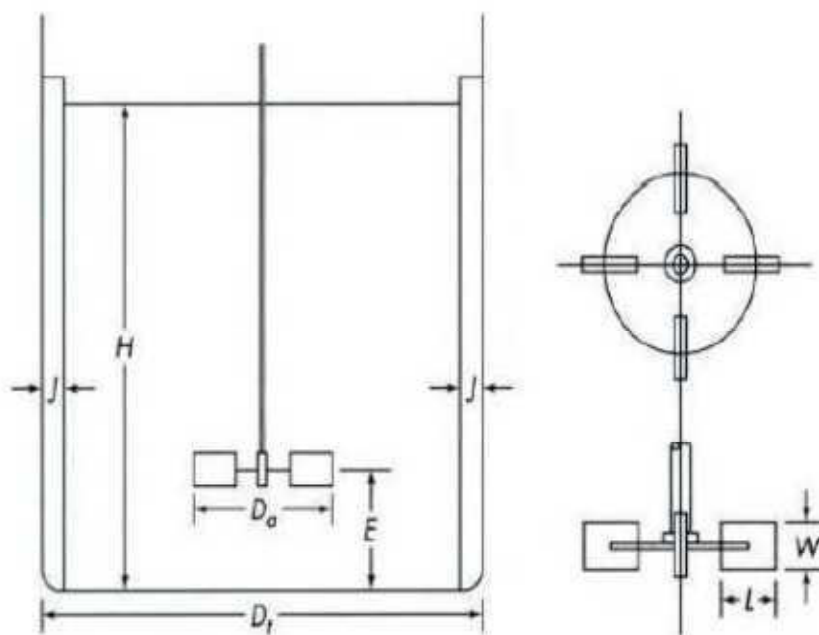


**Figura 12.2.2.2** Tipus d'agitadors més utilitzats en la indústria química.

Aquests agitadors produeixen un flux axial que opera a una velocitat elevada i és adequat per a líquids poc viscosos com el de la mescla de reacció ( $\mu = 0,25\text{cP}$ ).

S'ha escollit un agitador de tipus turbina perquè és el que funciona amb un rang de viscositat més ampli i produeix uns corrents forts afavorint que la mescla sigui molt homogènia. Sol treballar entre 20 a 150 rpm. , i tenir de 4 a 14 plaques de mescla, encara que el més habitual és posar-li 6 o 8. En aquest cas s'agafa un agitador tipus turbina amb 6 plaques.

Un cop escollit el tipus d'agitador es calculen les seves dimensions tenint en compte les relacions geomètriques de la figura següent:



**Figura 12.2.2.3** Geometria d'un agitador de turbina.

Relacions geomètriques:

$$D_a/D_t = 1/3$$

$$j/D_t = 1/12$$

$$E/D_t = 1/3$$

$$W/D_a = 1/5$$

$$L/D_a = 1/4$$

on:

- $D_a$  = diàmetre de l'agitador (m).
- $D_t$  = diàmetre intern del reactor (m).
- $j$  = amplada de les pales deflectores (m).
- $E$  = alçada des de la turbina fins el fons del reactor (m).
- $W$  = alçada de les plaques de la turbina (m).
- $L$  = amplada de les plaques de la turbina (m).

Es col·loquen 4 plaques deflectores, valor estàndard, per evitar la formació de vòrtexs dins del reactor.

La potència que tindrà l'agitador es pot calcular a partir del Reynolds d'agitació amb l'equació següent:

$$Re = \frac{\rho \cdot n \cdot D_a^2}{\mu}$$

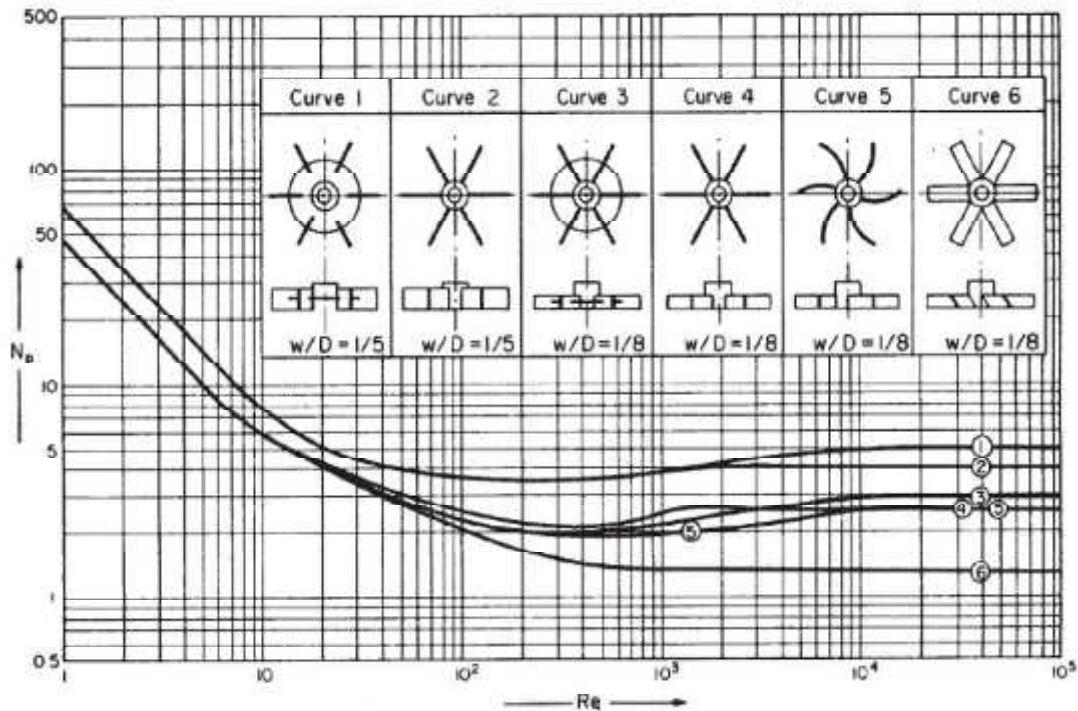
on:

- $\rho$  = densitat de la mescla. S'escull el valor més alt entre l'entrada i la sortida tenint en compte que serà el més conservador, 768,26 kg/m<sup>3</sup>.
- $n$  = revolucions de l'agitador (rps), s'ha escollit un valor de 100 rpm.
- $D_a$  = diàmetre de l'agitador (0,7m).
- $\mu$  = viscositat de la mescla (5,03·10<sup>-4</sup> kg/m·s).
- 

$$Re = \frac{768,26 \text{ kg/m}^3 \cdot 1,66 \text{ rps} \cdot 0,7^2 \text{ m}}{5,03 \cdot \frac{10^{-4} \text{ kg}}{\text{m}} \cdot \text{s}} = 1,24 \cdot 10^6$$

Amb el Reynolds es pot conèixer el valor del número de potència (Np) que permetrà saber quina potència requereix l'agitador del reactor.

Per valors de Reynolds superiors a  $10^6$ ,  $N_p$  agafa un valor constant. Consultant la figura següent  $N_p$  és igual a 5. Tenint en compte que el tipus d'agitador escollit es el que li correspon la corba número 1.



**Figura 12.2.2.4** Relació nombre de Reynolds nombre  $N_p$ . Línia 3 corresponent a agitador d'hèlix.

La potència de l'agitador serà doncs:

$$P = \frac{N_p \cdot Da^5 \cdot n^3 \cdot \rho}{g \cdot 1000} = 0,3kW$$

Una vegada s'ha determinat la potència de l'agitador es comprova que el disseny d'aquest sigui el correcte calculant la relació de la potència amb el volum de líquid del tanc (kW/m<sup>3</sup>) i comprovar el resultat a la taula 12.2.2.2.

**Taula 12.2.2.2.** Relació potencia volum líquid del agitador

Agitation	Applications	Power, kW/m <sup>3</sup>
Mild	Blending, mixing	0.04–0.10
	Homogeneous reactions	0.01–0.03
Medium	Heat transfer	0.03–1.0
	Liquid-liquid mixing	1.0–1.5
Severe	Slurry suspension	1.5–2.0
	Gas absorption,	1.5–2.0
	Emulsions	1.5–2.0
Violent	Fine slurry suspension	> 2.0

$$Power = \frac{P}{V_{liquid}} = \frac{0,3}{6,92} = 0,043 \text{ kW/m}^3$$

Comparant el resultat obtingut amb la taula 12.2.2.2, es comprova que el disseny de l'agitador es correcte, perquè al tenir una agitació mitja de 100 rpm i transferència de calor, aquesta relació es troba entre 0,03 a 1,0 kW/m<sup>3</sup>, ja que per dissoldre el naftol s'ha de instal·lar un sistema que escalfi el tanc.

Una vegada s'ha comprovat que el disseny de l'agitador és el correcte es calcula el temps de mescla d'aquest agitador:

$$t = 5 \cdot \frac{\pi \cdot D^2 \cdot A}{4 \cdot 0,92 \cdot n \cdot D_a^2 \cdot D} \quad \text{Equació 12.2.2.5}$$

on:

- t= Temps de mescla, s
- D= Diàmetre del tanc, m
- A= alçada de líquid, m
- Da= Diàmetre de l'agitador, m
- n= Velocitat d'agitació, rps.

$$t = 5 \cdot \frac{\pi \cdot 2^2 \cdot 4}{4 \cdot 0,92 \cdot 1,66 \cdot 0,7^2 \cdot 2} = 11,56 \text{ s}$$

### 12.2.1.6 Intercanviador de calor

Per tal de poder mantenir la temperatura de dins del tanc a 80 °C, s'instal·la un mitja canya com a sistema per escalfar.

S'ha triat una mitja canya perquè la instal·lació d'un serpentí a l'interior del tanc quan hi ha presència de sòlids, poden causar incrustacions i a part al tenir un agitador aquest pot xocar amb el serpentí i trencar-se, ja que el tanc no és massa gran. Aquesta mitja canya s'ha de dissenyar amb dimensions necessàries per aportar la calor necessària calculat amb l'equació presentada, ja que el corrent d'entrada de toluè procedent del tanc d'emmagatzematge és de 25 °C.

$$Q = m \cdot C_p \cdot (T_{tanc} - T_{entrada}) \quad \text{Equació 12.2.2.6}$$

on:

- Q: calor a aportar al tanc, J/s
- m: Cabal d'entrada al tanc de mescla, kg/s
- C<sub>p</sub>: Capacitat calorífica de la mescla, J/kg·°C
- T<sub>tanc</sub>: temperatura de dins del tanc, °C
- T<sub>entrada</sub>: temperatura de la corrent d'entrada, °C

$$Q = 1,593 \frac{kg}{s} \cdot 1463,69 \frac{J}{Kg \cdot ^\circ C} \cdot (80 ^\circ C - 25 ^\circ C) = 3,1 \cdot 10^4 J/s$$

Una vegada es determina la calor a extreure dins del tanc es calcula l'àrea de bescanvi i el caudal de l'oli tèrmic que hi circula per la mitja canya. Calculat amb les equacions:

$$A_{bescanvi} = \frac{Q}{U \cdot DTML} \quad \text{Equació 12.2.2.7}$$

on:

- Q= Calor a extreure del tanc, J/s
- U= Coeficient de transferència de calor del sistema (W/m<sup>2</sup>·K). S'ha escollit tenint en compte les característiques del fluid de reacció i l'oli tèrmic, prenent un valor de 300 W/m<sup>2</sup>·K.
- DTML= Diferencial de temperatures mitjà logarítmic calculat com:

$$DTML = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}$$

$$\Delta T_1 = T^{\circ}entrada \text{ fluid de tubs} - T^{\circ}sortida \text{ fluid de carcassa}$$

$$\Delta T_2 = T^{\circ}\text{sortida fluid de tubs} - T^{\circ}\text{entrada fluid de carcassa}$$

$$\Delta T_1 = 150 - 80 = 70$$

$$\Delta T_2 = 140 - 80 = 60$$

$$DTML = \frac{70 - 60}{\ln \frac{70}{60}} = 64,87$$

Amb aquests valors s'obté una àrea de bescanvi requerida de:

$$\text{Àrea} = \frac{3,1 \cdot 10^4 \text{ J/s}}{\frac{300\text{W}}{\text{m}^2} \cdot K \cdot 64,87} = 1,59 \text{ m}^2$$

El cabal d'oli necessari per aconseguir aquest bescanvi de calor es pot calcular amb l'equació següent:

$$Q = m_{oli} \cdot C_{p_{oli}} \cdot \Delta T \quad \text{Equació 12.2.2.7}$$

on:

- $m_{oli}$  = cabal màssic de l'oli tèrmic. (kg/h)
- $C_{p_{oli}}$  = capacitat calorífica de l'oli tèrmic. (kJ/kg·K)
- $\Delta T$  = salt tèrmic de l'oli entre l'entrada i la sortida. El salt tèrmic del l'oli es fixa a 10°C.

$$m_{oli} = \frac{3,1 \cdot 10^4 \text{ J/h}}{\frac{2050\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (10)} = 1,51 \text{ kg/h}$$

er la mitja canya haurà de circular el cabal d'oli tèrmic calculat anteriorment .

Les velocitats típiques de líquid per l'interior de la mitja canya estan entre 2 i 5 m/s, per assegurar que el coeficient de transferència de matèria no es veurà afectat degut a una velocitat molt baixa i que les pèrdues de càrrega no seran molt elevades degut a una velocitat molt alta. Així doncs caldrà calcular el diàmetre intern de la mitja canya per treballar amb una velocitat del oli tèrmic de 3 m/s.

$$D_i = \sqrt{\frac{m_{oli} / \rho_{oli} \cdot 4 \cdot 2}{\pi \cdot v_{oli}}}$$

on:

- $D_i$ = Diàmetre intern mitja canya (m)
- $v_{oli}$ = Velocitat oli tèrmic (m/s). Es fixa a 3 m/s
- $m_{oli}$  = Cabal màssic oli tèrmic (kg/s)
- $\rho_{oli}$ = Densitat oli tèrmic (kg/m<sup>3</sup>)

$$D_i = \sqrt{\frac{1,51/850 \cdot 4 \cdot 2}{\pi \cdot 3}} = 0,0388 \text{ m}$$

S'utilitzarà una mitja canya d'un diàmetre intern de 0,04 m

La longitud requerida de la mitja canya amb el diàmetre escollit, considerant que es sobre dimensiona un 25% l'àrea de bescanvi mínima requerida, es calcula amb l'equació següent:

$$L = \frac{A_{bes} \cdot 1,25}{D_i}$$

on:

$A_{bes}$ = Àrea de bescanvi mínima requerida (m<sup>2</sup>)

$D_i$ = Diàmetre intern mitja canya (m)

$$L = \frac{1,59 \cdot 1,25}{0,04} = 49,78 \text{ m}$$

El numero de voltes vindrà donat per el diàmetre del tanc i es calcula com es mostra a continuació:

$$n^{\circ} \text{ voltes} = \frac{L}{\pi \cdot D}$$

on:

- L= longitud de la mitja canya (m)
- D= diàmetre del cilindre (m)

$$n^{\circ} \text{ voltes} = \frac{49,78}{\pi \cdot 2} = 7,92 \approx 8 \text{ voltes}$$

Per tal de que la mitja canya ocupi tota la altura del líquid en el cilindre (H) es deixa un espai entre voltes, aquest espai es calcula amb l'equació següent:

$$\text{espai entre voltes} = \frac{H - (D_e \cdot n^{\circ} \text{ voltes})}{n^{\circ} \text{ voltes}}$$

on:

- H= Alçada del líquid (m)
- D<sub>e</sub>= Diàmetre extern mitja canya, considerant un gruix de la xapa de 1,5 mm

$$\text{espai entre voltes} = \frac{2,20 - ((0,04 + 2 \cdot 0,0015) \cdot 8)}{8} = 0,23m$$

Una vegada es sap el diàmetre de la mitja canya i la separació es calcula l'alçada d'aquesta mitja canya.

$$\text{Alçada mitja canya} = D_e \cdot n^{\circ} \text{ voltes} + \text{espai entre voltes} \cdot n^{\circ} \text{ espais}$$

$$\text{Alçada mitja canya} = (0,04 + 2 \cdot 0,0015) \cdot 8 + 0,23 \cdot 7 = 1,95 m$$

La mitja canya ocupa la meitat del cos cilíndric del tanc ja que l'alçada d'aquest és de 4m.

### 12.2.1.7 Pes del tanc

#### Pes del tanc buit

Es calcula el volum dels capçals del tanc mitjançant l'equació:

$$V_i = 0,1 \cdot (D_{tanc}^3) \quad \text{Equació 12.2.2.8}$$

Per tant,

$$V_i = 0,1 \cdot (2000 \text{ mm})^3 = 0,8 \text{ m}^3$$

Per calcular el pes dels capçals, es calcula el volum extern del capçal, mitjançant l'equació:

$$V_e = 0,1 \cdot ((D_{tanc} + t)^3) \quad \text{Equació 12.2.1.9}$$

Pertant,

$$V_e = 0,1 \cdot (2000 \text{ mm} + 15 \text{ mm})^3 = 0,837 \text{ m}^3$$

Per tant, la resta correspon al volum de la paret del capçal:

$$V_{\text{paret, capçal}} = 0,837 \text{ m}^3 - 0,8 \text{ m}^3 = 0,037 \text{ m}^3$$



Es calcula el volum intern i extern del cos del tanc, per tal de determinar el volum de paret.

$$V_i = \pi \cdot \left( \frac{D_{tanc}}{2} \right)^2 \cdot h = \pi \cdot \left( \frac{2000 \text{ mm}}{2} \right)^2 \cdot 4000 \text{ mm} = 12,57 \text{ m}^3$$

$$V_e = \pi \cdot \left( \frac{D_{tanc} + 2 \cdot t}{2} \right)^2 \cdot h = \pi \cdot \left( \frac{2000 \text{ mm} + 2 \cdot 15 \text{ mm}}{2} \right)^2 \cdot 4000 \text{ mm} \\ = 12,95 \text{ m}^3$$

$$V_{paret,cos} = 12,95 \text{ m}^3 - 12,57 \text{ m}^3 = 0,38 \text{ m}^3$$

Per tant,

$$V_{paret} = 0,796 \text{ m}^3$$

Sabent que la densitat del acer inoxidable AISI 316L és de 7950 Kg/m<sup>3</sup>, es pot calcular el pes del tanc buit, tal com s'indica a continuació:

$$Pes_{buit} = 1,1 \cdot \left( 0,796 \text{ m}^3 \cdot \frac{7950 \text{ Kg}}{1 \text{ m}^3} \right) = 6963 \text{ Kg}$$

### **Pes del tanc ple d'aigua**

Es calcula el volum del tanc sumant el volums dels capçals i el cos:

$$V_{tanc} = 2 \cdot 0,8 \text{ m}^3 + 12,57 \text{ m}^3 = 14,17 \text{ m}^3$$

Per tant, amb la densitat de l'aigua a la temperatura d'operació mitjana i el pes del tanc buit es pot calcular el pes del tanc amb aigua:

$$Pes_{tanc \text{ aigua}} = 6963 \text{ Kg} + 14,17 \text{ m}^3 \cdot \frac{971,6 \text{ Kg}}{1 \text{ m}^3} = 20727 \text{ Kg}$$

### **Pes del tanc en operació**

A partir de la densitat mitjana del fluid d'operació es calcula el pes del tanc en operació:

$$Pes_{tanc \text{ operació}} = 6963 \text{ Kg} + 14,17 \text{ m}^3 \cdot \frac{768,26 \text{ Kg}}{1 \text{ m}^3} = 17824 \text{ Kg}$$

### 12.2.1.8 Aïllament

Es necessari aïllar el tanc per seguretat, ja que si algun operari toqués la paret d'aquest tanc podria cremar-se per les altes temperatures assolides. Per assegurar que no hi hagi un intercanvi de calor amb l'exterior per convecció natural del material, agafem sempre les pitjors condicions de temperatura a l'exterior de forma que el salt tèrmic entre l'interior i l'exterior sigui el més gran. Com que l'espessor dels capçals i del cos no és el mateix, s'agafa el cas més desfavorable donat per l'espessor més gran. L'espessor d'aquest aïllant es pot calcular com:

$$X = \frac{30}{3,6 \cdot \left(\frac{\Delta T}{D_{\text{ext}}}\right)^{\frac{1}{4}}} = 3,37 \text{ cm}$$

on:

- X = espessor de l'aïllant (cm)
- $\Delta T$  = diferència de temperatura entre l'interior i l'exterior del recipient (pitjors condicions).
- $D_{\text{ext}}$  = diàmetre exterior del recipient (m) (espessor més desfavorable)

Al espessor determinat es sobre dimensiona multiplicant per dos per assegurar que no hi hagi un intercanvi de calor amb l'exterior i així que si algun operari toca la paret del tanc no es cremi.

$$X = 6,74 \text{ cm}$$

Es calcula el volum de l'aïllant calculant el volum als fondos i al cos, els resultats es presenten a la taula següent:

**Taula 12.2.2.3 Càlcul del volum d'aïllant necessari en el tancTM-502**

Volum aïllant capçal (m <sup>3</sup> )	0,18
Volum aïllant cos (m <sup>3</sup> )	1,78
Volum aïllant total (m <sup>3</sup> )	2,13

<b>Tanc de mescla naftol i toluè (TM-502)</b>			
<b>Àrea</b>	500	<b>Material</b>	Acer inoxidable AISI 316L
<b>Consum (m<sup>3</sup>/h)</b>	6,92	<b>Alçada cos cilíndric (m)</b>	4
<b>Temps mescla (h)</b>	1	<b>Espessor cos (mm)</b>	15
<b>Capacitat (m<sup>3</sup>)</b>	12,57	<b>Tipus fons inferior</b>	Fons toriesfèric
<b>Volum ocupat (%)</b>	55,13	<b>Espessor fons inferior (mm)</b>	15
<b>Diàmetre (m)</b>	2	<b>Alçada fons inferior (m)</b>	0,41
<b>Alçada total (m)</b>	4,82	<b>Tipus de fons superior</b>	Fons toriesfèric
<b>T operació (°C)</b>	80	<b>Espessor fons superior (mm)</b>	15
<b>T disseny (°C)</b>	100	<b>Alçada fons superior (m)</b>	0,41
<b>P operació (bar)</b>	1,12	<b>Tipus aïllant</b>	Llana de roca
<b>P disseny (bar)</b>	3,12	<b>Gruix aïllant (cm)</b>	6,74
<b>Pes buit (kg)</b>	6963	<b>Volum aïllant (m<sup>3</sup>)</b>	2,13
<b>Pes aigua (kg)</b>	20727	<b>Capacitat venteig (kg/h)</b>	
<b>Pes operació (kg)</b>	17824		
<b>Sistema d'escalfament</b>			
<b>Tipus de bescanviador</b>	Mitja canya	<b>Material</b>	Acer inoxidable AISI 316L
<b>Q a extreure (J/s)</b>	3,01·10 <sup>4</sup>	<b>A necessària (m<sup>2</sup>)</b>	1,51
<b>Fluid tèrmic</b>	Oli tèrmic	<b>D intern (m)</b>	0,04
<b>m refrigerant (kg/s)</b>	1,51	<b>L (m)</b>	49,78
<b>Gruix paret (mm)</b>	1,5	<b>Nº voltes</b>	8
<b>Alçada (m)</b>	1,95	<b>Separació entre voltes (m)</b>	0,23

### 12.2.3 Tanc de mescla TM-601

En aquest tanc de mescla es barreja el cabal de sòlid que surt de la centrifuga CT-602 amb una part del toluè evaporat del cristal·litzador CR-602, que prèviament ha estat condensat. Una vegada aquests dos corrent estiguin barrejats es torna a entrar al cristal·litzador CR-602.

Aquesta mescla té les següents condicions:

$$\rho = 899,71 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = 4,8 \cdot 10^{-4} \text{ kg/(m}\cdot\text{s)}$$

### 12.2.3.1 Balanç de matèria

En aquest cas, com es tracta d'un tanc de mescla, el balanç de matèria s'ha de complir ja que dins del tanc no succeeix cap reacció, sinó que únicament es mesclen varies corrents per formar una de sola. Per tant la suma del cabal d'entrada de totes les corrents ha de ser igual al cabal de la corrent de sortida.

**Taula 12.2.3.1** Balanç matèria TM-601

<b>Entrada tanc</b>		
Nº corrent	Compost	Cabal (kg/h)
X (sort CT-602)	1-naftol	32,08
	Toluè	56,15
	Carbaril	134,29
X (vap CR-602)	Toluè	429,58
Total		<b>652,1</b>
<b>Sortida tanc</b>		
Nº corrent	Compost	Cabal (kg/h)
X	1-naftol	32,08
	Toluè	485,73
	Carbaril dissolt	134,39
Total		<b>652,1</b>

### 12.2.3.2 Disseny funcional

El tanc TM-601, es troba a 65°C, agitat amb agitador de turbina, per tal que la barreja sigui lo més homogènia possible. Ja que en aquest tanc es barregen dos corrents diferents, s'ha d'assegurar que abans d'entrar als cristal·litzador CR-602 el carbaril estigui dissolt en el toluè.

Com que la planta es troba operant en continu i s'ha d'assegurar que el carbaril quedi dissolt en el toluè, es suposa un temps de mescla d'1 h, per tant a partir d'aquest temps i del cabal volumètric es pot calcular el volum de líquid al tanc per aquest temps.

$$V_{\text{líquid}} = Q_v \cdot t_{\text{mescla}} = 0,75 \text{ m}^3$$

Com es tracta d'un tanc agitat aquest no pot estar totalment ple si no que s'ha de deixar un espai de almenys un 15% del volum total, perquè al accionar l'agitador es crea un petit vòrtex degut al moviment de l'agitador que provoca que a les parets del tanc augmenti l'alçada de líquid mentre que al centre d'aquest baixa. Si no es deixa aquest espai el líquid sobresortiria pel tanc o provocaria que la pressió dins d'aquest fos molt alta, fent que el tanc pogués trencar-se. El percentatge d'espai buit que s'ha elegit és d'un 25% per assegurar-se que les circumstàncies esmentades anteriorment no succeeixin, per tant per determinar el volum del tanc mínim s'ha de dividir aquest volum de líquid per 0,75.

$$V_{\text{mínim}} = \frac{V_{\text{líquid}}}{0,75} = \frac{0,75}{0,75} = 1,00 \text{ m}^3$$

Una vegada es coneix aquest volum es dimensiona el tanc.

### 12.2.3.3 Dimensionament

Una vegada es coneix el volum del tanc, es determinen les seves dimensions segons la normativa API 650, per recipients a pressió atmosfèrica, tenint en compte que aquest valors correspondran únicament al dimensionat del cos del tanc que serà cilíndric.

En funció d'això i de que la relació entre el diàmetre i l'altura es igual a 2, es pot determinar el diàmetre del tanc.

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

$$H = 2 \cdot D = 1,36 \text{ m}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_{\text{tanc}}}{2 \cdot \pi}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 0,5}{2 \cdot \pi}} = 0,68 \text{ m}$$

Una vegada determinada l'alçada, aquesta es normalitza per tal que la construcció del tanc sigui més econòmica per tant tindrem un tanc amb les següents dimensions:

Alçada= **2 m**

Diàmetre intern= **1 m**

Al normalitzar les dimensions, s'ha de calcular el volum real del tanc i també el percentatge d'ocupació que es té realment que serà inferior al estipulat en la normativa ADR.

$$V_{tanc,real} = \frac{\pi}{4} \cdot 1^2 \cdot 2 = 1,57 \text{ m}^3$$

$$\%volum ocupat = \frac{V_{mescla}}{n^{\circ} \text{ tancs}} \cdot 100 = \frac{0,75}{1} \cdot 100 = 47,70 \%$$

#### 12.2.3.4 Disseny mecànic

El disseny mecànic dels tancs de mescla està fet segons la normativa ASME per recipients a pressió i la normativa ITC-MIE-APQ1 per emmagatzematge de substàncies inflamables, i ITC-MIE-APQ7 per emmagatzemar substàncies tòxiques. Tenint en compte les dimensions obtingudes en l'apartat anterior, es corresponen al cos cilíndric d'aquest, ja que el tanc consta d'un cos cilíndric amb un capçal superior e inferior toriesfèric.

#### Material

Per decidir quin és el millor material pel tanc TM-601, cal tenir en compte com són les substàncies que manipula i agafar el material que resisteixi la substància més corrosiva de totes, encara que per les altres també ha de ser resistent. El material utilitzat en la construcció d'aquest tanc és d'acer inoxidable AISI 304, ja que és el utilitzat en el cristal·litzador.

#### Pressió de disseny

La pressió de disseny pel tanc es calcula aplicant la norma següent:

$$Pressió \text{ de disseny} = \max(1,1 \cdot P. \text{operació}, P. \text{operació} + 2\text{bar})$$

$$Pressió \text{ de disseny} = \max(1,19 \text{ bar}, 3,08\text{bar}) = 3,08 \text{ bar}$$

I per saber la pressió d'operació es calcula la pressió que exerceix el líquid, anomenada càrrega hidrostàtica, i se li afegeix la pressió que hi ha dins del tanc per assegurar-se que el MIC es manté líquid.

$$P. \text{ càrrega hidrostàtica} = g * \rho * h = 9,81 \cdot 899,7 \cdot 0,95 = 0,08 \cdot 10^5 \text{ kg/m} \cdot \text{s}^2$$

$$P. \text{ càrrega hidrostàtica} = 0,08 \text{ bar}$$

$$h = \frac{V_{\text{líquid}}}{\frac{\pi}{4} \cdot D^2} = \frac{0,75}{\frac{\pi}{4} \cdot 1^2} = 0,95 \text{ m}$$

Pressió operació = 1,08 bar.

Pressió de disseny = **3,08 bar**.

### Temperatura de disseny

En aquest cas, la temperatura de disseny ve donada per la temperatura d'operació augmentar-li un factor de seguretat de 20 graus.

Temperatura d'operació = 65 °C

La temperatura de disseny ve donada:

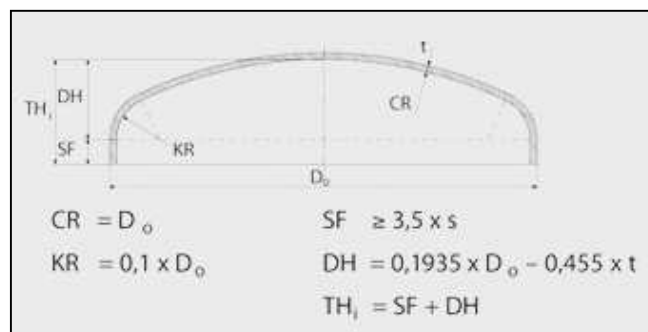
$$\text{Temperatura de disseny} = T. \text{ operació} + 20^\circ\text{C}$$

Temperatura de disseny = **85 °C**

### Espessor dels capçals. Càlcul a pressió interna

Els tipus capçals més utilitzats són el toriesfèric, l'hemisfèric i l'el·lipsoïdal, la seva elecció depèn de les condicions d'operació i el cost econòmic, en aquest cas s'utilitza el toriesfèric.

Aquest capçal ve definit pel radi de la corona (L) i el radi del colze (r) que es calculen respecte al diàmetre del cos, tal com indica la casa "Koenig-co" en la figura següent, extreta de la seva pàgina web.



**Figura 12.2.3.1.** Esquema del fons toriesfèric per tal de determinar l'alçada del fons del tanc.  $s=t$ .

Per tant,

$$L = D = 1000 \text{ mm}$$

$$r = 0,1 \cdot D = 0,1 \cdot 1000 \text{ mm} = 100 \text{ mm}$$

$$\frac{L}{r} = 10$$

Per una relació L/r menor de  $16^{2/3}$  l'espessor es calcula amb l'equació:

$$t = \frac{P \cdot L \cdot M}{2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P} + C_1 + C_2 \quad \text{Equació 12.2.3.1}$$

on:

- t = espessor del fondo (mm)
- P = pressió de disseny del recipient (bar) = 3,08
- M = factor que depèn de la relació L/r, en aquest cas igual a 1,54
- E = factor de soldadura = 0,85 (radiografiat doble parcial)
- S = càrrega admissible del material (bar) = 1296,19
- L = radi de la corona (mm) = 1000

El sobre espessor per corrosió del material és de 0,508 mm/any. Suposant que la vida útil del tanc seran 15 anys, el sobre espessor serà 7,62 mm.

$C_1$  = marge per corrosió (mm) = 7,62 mm

$C_2$  = tolerància de fabricació (mm) = 10% de l'espessor

El resultat és de 8,02 mm, però donat que els espessors estàndards de xapa a Europa són: 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 15, 20..., s'agafa un espessor dels fons de 10 mm.

$$\text{espessor dels capçals} = 10 \text{ mm}$$

### Espessor del cos del tanc. Càlcul a pressió interna

L'equació següent permet trobar l'espessor del cos del tanc.

$$t_1 = \frac{P \cdot R_{int}}{S \cdot E - 0,6 \cdot P} + C \cdot A \quad \text{Equació 12.2.3.2}$$

on:

- $t_1$  = espessor del cos (mm)
- P = pressió de disseny del recipient (bar) = 3,08
- $R_{int}$  = radi intern de la columna (mm) = 500



- E = factor de soldadura = 0,85 (radiografiat doble parcial)
- S = càrrega admissible del material (bar) = 1296,19
- C.A = sobre espessor (mm)

La tolerància de fabricació pel cas d'un cilindre és nul·la i el sobre espessor per corrosió del material és de 0,508 mm/any. Suposant que la vida útil del tanc seran 15 anys, el sobre espessor serà 7,62 mm.

El resultat és de 7,86 mm, però donat que els espessors estàndards de xapa a Europa són: 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 15, 20..., s'agafa un espessor del cos de **8 mm**.

A l'hora de comprar la xapa per fabricar el tanc es comprarà amb el mateix gruix tan pels capçals com pel cos, per tant com l'espessor dels capçals toriesfèrics es de 10 mm el cos també tindrà el mateix espessor.

$$\text{espessor dels cos del tanc} = 10 \text{ mm}$$

### Alçada dels capçals

Una vegada determinats els espessors del cos, el fons i el capçal, es pot determinar el capçal per determinar l'alçada total de l'equip, tal com indica la casa "Koenig-co" en la figura següent, extreta de la seva pàgina web. Per tant, es troben les equacions següents per tal de determinar l'alçada total del tanc

$$DH = 0,1935 \cdot D_o - 0,455 \cdot t \quad \text{Equació 12.2.3.3}$$

$$SF = 3,5 \cdot s \quad \text{Equació 12.2.3.4}$$

$$TH = SF + DH \quad \text{Equació 12.2.3.5}$$

Es calcula l'alçada del fons toriesfèric sense tenir en compte l'espessor de la xapa, tal com s'indica a continuació:

$$DH = 0,1935 \cdot 1000 \text{ mm} - 0,455 \cdot 10 \text{ mm} = 188,95 \text{ mm}$$

$$SF = 3,5 \cdot 10 \text{ mm} = 35 \text{ mm}$$

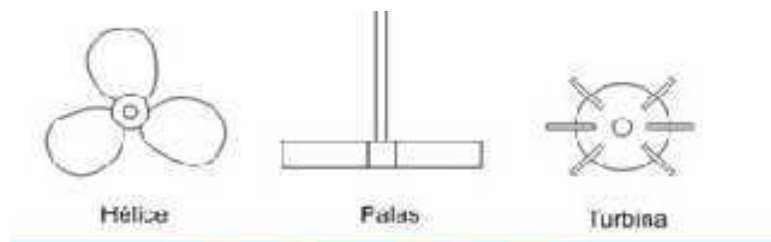
$$TH = 35 \text{ mm} + 188,95 \text{ mm} = 223,95 \text{ mm}$$

Per tant, l'alçada del tanc sense l'espessor és de **2447,9 mm**.

### 12.2.3.5 Agitació

El tanc de dissolució del 1-naftol en toluè és una tanc de mescla i requereix la instal·lació d'un sistema d'agitació per tal de mantenir el seu contingut homogeneïtzat.

Els tipus principals d'agitadors utilitzats en la indústria són, d'hèlix, de paletes i de turbina, en el cas del reactor de piròlisis es decideix utilitzar un agitador d'hèlix.

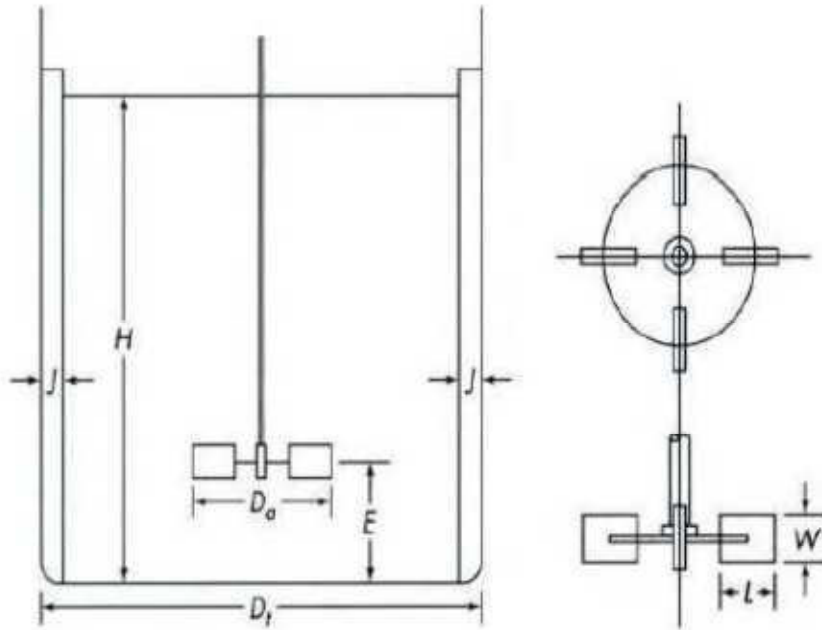


**Figura 12.2.3.2** Tipus d'agitadors més utilitzats en la indústria química.

Aquests agitadors produeixen un flux axial que opera a una velocitat elevada i és adequat per a líquids poc viscosos com el de la mescla de reacció ( $\mu = 0,48\text{cP}$ ).

S'ha escollit un agitador de tipus turbina perquè és el que funciona amb un rang de viscositat més ampli i que produeix uns corrents forts, afavorint que la mescla sigui molt homogènia. Sol treballar entre 20 a 150 rpm. i tenen de 4 a 14 plaques de mescla, encara que el més habitual és posar-li 6 o 8. En aquest cas s'agafa un agitador tipus turbina amb 6 plaques.

Un cop escollit el tipus d'agitador es calculen les seves dimensions tenint en compte les relacions geomètriques de la figura.



**Figura 12.2.3.3** Geometria d'un agitador de turbina.

Relacions geomètriques:

$$D_a/D_t = 1/3$$

$$j/D_t = 1/12$$

$$E/D_t = 1/3$$

$$W/D_a = 1/5$$

$$L/D_a = 1/4$$

on:

- $D_a$  = diàmetre de l'agitador (m).
- $D_t$  = diàmetre intern del reactor (m).
- $j$  = amplada de les pales deflectores (m).
- $E$  = alçada des de la turbina fins el fons del reactor (m).
- $W$  = alçada de les plaques de la turbina (m).
- $L$  = amplada de les plaques de la turbina (m).

Es col·loquen 4 plaques deflectores, valor estàndard, per evitar la formació de vòrtexs dins del reactor.

La potència que tindrà l'agitador es pot calcular a partir del Reynolds d'agitació amb l'equació següent:

$$Re = \frac{\rho \cdot n \cdot Da^2}{\mu}$$

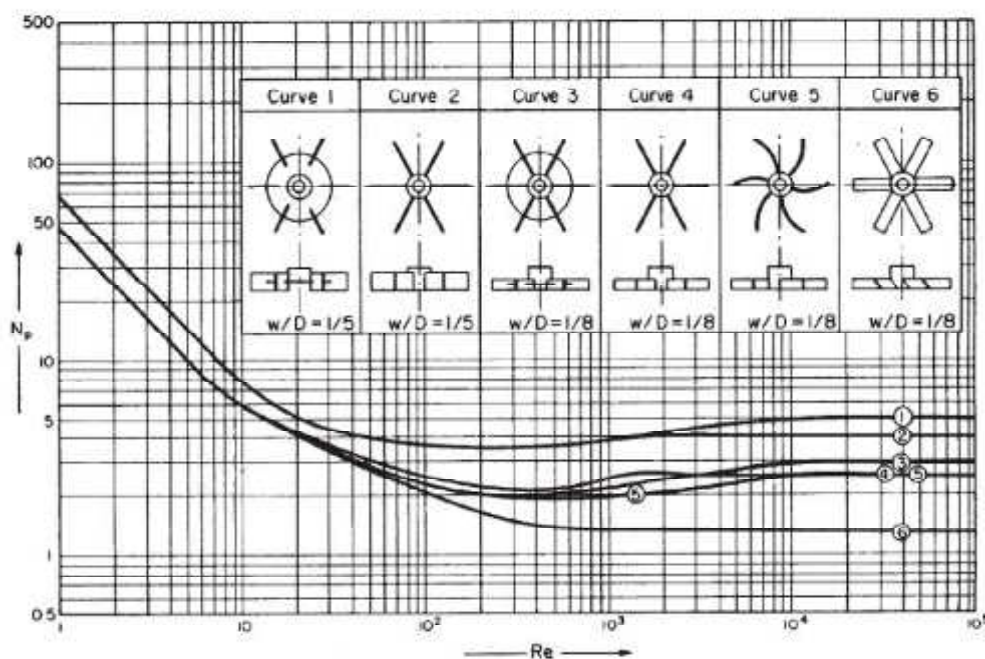
on:

- $\rho$  = densitat de la mescla. S'escull el valor més alt entre l'entrada i la sortida tenint en compte que serà el més conservador, 899,7 kg/m<sup>3</sup>.
- $n$  = revolucions de l'agitador (rps), s'ha escollit un valor de 100 rpm.
- $Da$  = diàmetre de l'agitador (0,4m).
- $\mu$  = viscositat de la mescla ( $4,81 \cdot 10^{-4}$  kg/m·s).

$$Re = \frac{899,7 \text{ kg/m}^3 \cdot 1,66 \text{ rps} \cdot 0,4^2 \text{ m}}{4,81 \cdot \frac{10^{-4} \text{ kg}}{\text{m}} \cdot \text{s}} = 4,9 \cdot 10^5$$

Amb el Reynolds es pot conèixer el valor del número de potència (Np) que permetrà saber quina potència requereix l'agitador del reactor.

Per valors de Reynolds superiors a  $10^5$ , Np agafa un valor constant. Consultant la figura següent Np és igual a 5. Tenint en compte que el tipus d'agitador escollit es el que li correspon la corba número 1.



**Figura 12.2.3.4** Relació nombre de Reynolds nombre Np. Línia 3 corresponent a agitador d'hèlix.

La potència de l'agitador serà doncs:

$$P = \frac{Np \cdot Da^5 \cdot n^3 \cdot \rho}{g \cdot 1000} = 0,02kW$$

Una vegada s'ha determinat la potència de l'agitador es comprova que el disseny d'aquest sigui el correcte, calculant la relació de la potència amb el volum de líquid del tanc (kW/m<sup>3</sup>) i comprovar el resultat a la taula 12.2.3.2.

**Taula 12.2.3.2** Relació potència volum líquid del agitador

Agitation	Applications	Power, kW/m <sup>3</sup>
Mild	Blending, mixing	0.04–0.10
	Homogeneous reactions	0.01–0.03
Medium	Heat transfer	0.03–1.0
	Liquid-liquid mixing	1.0–1.5
Severe	Slurry suspension	1.5–2.0
	Gas absorption,	1.5–2.0
	Emulsions	1.5–2.0
Violent	Fine slurry suspension	> 2.0

$$Power = \frac{P}{V_{liquid}} = \frac{0,2}{0,75} = 0,023 kW/m^3$$

Comparant el resultat obtingut amb la taula 12.2.3.2, es comprova que el disseny de l'agitador es correcte, perquè al tenir una agitació suau i mescla corrents, aquesta relació es troba entre 0,01-0,03 kW/m<sup>3</sup>.

Una vegada s'ha comprovat que el disseny de l'agitador és el correcte es calcula el temps de mescla d'aquest agitador amb l'equació següent:

$$t = 5 \cdot \frac{\pi \cdot D^2 \cdot A}{4 \cdot 0,92 \cdot n \cdot D_a^2 \cdot D} \quad \text{Equació 12.2.3.5}$$

on:

- t= Temps de mescla, s
- D= Diàmetre del tanc, m
- A= alçada de líquid, m
- Da= Diàmetre de l'agitador, m
- n= Velocitat d'agitació, rps

$$t = 5 \cdot \frac{\pi \cdot 1^2 \cdot 0,95}{4 \cdot 0,92 \cdot 1,66 \cdot 0,4^2 \cdot 2} = 15,33 \text{ s}$$

### 12.2.1.6 Pes del tanc

#### Pes del tanc buit

Es calcula el volum dels capçals del tanc mitjançant l'equació:

$$V_i = 0,1 \cdot (D_{tanc})^3 \quad \text{Equació 12.2.3.6}$$

Per tant,

$$V_i = 0,1 \cdot (1000 \text{ mm})^3 = 0,1 \text{ m}^3$$

Per calcular el pes dels capçals, es calcula el volum extern del capçal, mitjançant l'equació:

$$V_e = 0,1 \cdot ((D_{tanc} + t))^3 \quad \text{Equació 12.2.3.7}$$

Pertant,

$$V_e = 0,1 \cdot (1000 \text{ mm} + 10 \text{ mm})^3 = 0,106 \text{ m}^3$$

P

er tant, la resta correspon al volum de la paret del capçal:

$$V_{paret, capçal} = 0,106 \text{ m}^3 - 0,1 \text{ m}^3 = 0,006 \text{ m}^3$$

Es calcula el volum intern i extern del cos del tanc, per tal de determinar el volum de paret.

$$V_i = \pi \cdot \left(\frac{D_{tanc}}{2}\right)^2 \cdot h = \pi \cdot \left(\frac{1000 \text{ mm}}{2}\right)^2 \cdot 2000 \text{ mm} = 1,57 \text{ m}^3$$

$$V_e = \pi \cdot \left(\frac{D_{tanc} + 2 \cdot t}{2}\right)^2 \cdot h = \pi \cdot \left(\frac{1000 \text{ mm} + 2 \cdot 10 \text{ mm}}{2}\right)^2 \cdot 2000 \text{ mm} \\ = 1,63 \text{ m}^3$$

$$V_{paret, cos} = 1,63 \text{ m}^3 - 1,57 \text{ m}^3 = 0,063 \text{ m}^3$$

Per tant,

$$V_{paret} = 0,133 \text{ m}^3$$

Sabent que la densitat del acer inoxidable AISI 304 és de 7900 Kg/m<sup>3</sup>, es pot calcular el pes del tanc buit, tal com s'indica a continuació:

$$Pes_{buit} = 1,1 \cdot (0,133 \text{ m}^3 \cdot \frac{7900 \text{ Kg}}{1 \text{ m}^3}) = 1156 \text{ Kg}$$

### **Pes del tanc ple d'aigua**

Es calcula el volum del tanc sumant el volums dels capçals i el cos:

$$V_{\text{tanc}} = 2 \cdot 0,1 \text{ m}^3 + 1,57 \text{ m}^3 = 1,77 \text{ m}^3$$

Per tant, amb la densitat de l'aigua a la temperatura d'operació mitjana i el pes del tanc buit es pot calcular el pes del tanc amb aigua:

$$Pes_{\text{tanc aigua}} = 1156 \text{ Kg} + 1,77 \text{ m}^3 \cdot \frac{980,45 \text{ Kg}}{1 \text{ m}^3} = 2892 \text{ Kg}$$

### **Pes del tanc en operació**

A partir de la densitat mitjana del fluid d'operació es calcula el pes del tanc en operació:

$$Pes_{\text{tanc operació}} = 1156 \text{ Kg} + 1,77 \text{ m}^3 \cdot \frac{899,71 \text{ Kg}}{1 \text{ m}^3} = 2749 \text{ Kg}$$

#### **12.2.3.7 Aïllament**

Es necessari aïllar el tanc per seguretat, ja que si algun operari toqués la paret d'aquest tanc aquest pot cremar-se per les altes temperatures assolides, i també per assegurar que no hi hagi un intercanvi de calor amb l'exterior per convecció natural del material, agafant sempre les pitjors condicions de temperatura a l'exterior de forma que el salt tèrmic entre l'interior i l'exterior sigui el més gran. Com que l'espessor dels capçals i del cos no és el mateix, s'agafa el cas més desfavorable donat per l'espessor més gran. L'espessor d'aquest aïllant es pot calcular com:

$$X = \frac{30}{3,6 \cdot \left(\frac{\Delta T}{D_{\text{ext}}}\right)^{\frac{1}{4}}} = 3,00 \text{ cm}$$

on:

- X = espessor de l'aïllant (cm)
- $\Delta T$  = diferència de temperatura entre l'interior i l'exterior del recipient (pitjors condicions).

- $D_{ext}$  = diàmetre exterior del recipient (m) (espessor més desfavorable)

L'espessor determinat es sobre dimensiona multiplicant-lo per dos per assegurar que no hi hagi un intercanvi de calor amb l'exterior. Així si algun operari toqués la paret del tanc no es cremaria.

$$X= 6,00 \text{ cm}$$

Es calcula el volum de l'aïllant calculant el volum als fondos i al cos. Els resultats es presenten a la taula.

**Taula 12.2.3.3** Càlcul del volum d'aïllant necessari en el tanc TM-601

Volum aïllant capçal (m <sup>3</sup> )	0,02
Volum aïllant cos (m <sup>3</sup> )	0,20
Volum aïllant total (m <sup>3</sup> )	0,24

Tanc de mescla (TM-601)			
Àrea	600	Material	Acer inoxidable AISI 304
Consum (m <sup>3</sup> /h)	0,749	Alçada cos cilíndric (m)	2
Temps mescla (min)	30	Espessor cos (mm)	10
Capacitat (m <sup>3</sup> )	1,57	Tipus fons inferior	Fons toriesfèric
Volum ocupat (%)	47,7	Espessor fons inferior (mm)	10
Diàmetre (m)	1	Alçada fons inferior (m)	0,22
Alçada total (m)	2,44	Tipus de fons superior	Fons toriesfèric
T operació (°C)	65	Espessor fons superior (mm)	10
T disseny (°C)	85	Alçada fons superior (m)	0,22
P operació (bar)	1,04	Tipus aïllant	Llana de roca
P disseny (bar)	3,04	Gruix aïllant (cm)	6
Pes buit (kg)	1156	Volum aïllant (m <sup>3</sup> )	0,24
Pes aigua (kg)	2892	Capacitat venteig (kg/h)	
Pes operació (kg)	2749		



## 12.3 TANCS PULMÓ

### 12.3.1 Tanc pulmó TP-301

Per el correcte funcionament de les columnes d'absorció (scrubber) es recomana instal·lar un tanc pulmó a la entrada líquida de dissolvent per poder controlar la quantitat necessària de toluè frec que entra segons el cabal de reciclat i així assegurar que la entrada d'aquest dissolvent líquid és constant. Per tant abans de l'scrubber AB-301, es col·locarà un tanc pulmó.

#### 12.3.1.1 Disseny funcional

Per el dimensionament d'aquest tipus de tanc un temps de residència petit és suficient,

$$V = Q \cdot \tau \quad \text{Equació 12.3.1.1}$$

$$h = 2 \cdot D \quad \text{Equació 12.3.1.2}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V}{2 \cdot \pi}} \quad \text{Equació 12.3.1.3}$$

on:

- $\tau$  = Temps de residència (s).
- Q=Caudal de d'entrada del tanc (m<sup>3</sup>/s).
- D= Diàmetre tanc (m).
- h= Alçada tanc (m)

A continuació se presenten las dimensions del tanc.

**h= 3m**

**D= 1,5m**

Aquestes dimensions han sigut sobre dimensionades, primer perquè el tant pulmó quedi omplert fins al 50 % de la seva capacitat total i segon per utilitzar unes mesures de xapa precises per tal que la construcció d'aquest tanc sigui més econòmica.

### 12.3.1.2 Disseny mecànic

El material utilitzat pel tanc serà el mateix que s'ha utilitzat en el scrubber, Hasteloy B-2, ja que aquest tanc pulmó s'haurà d'omplir amb toluè i amb petites quantitats de MCC i HCl. Pel càlcul de l'espessor es necessari conèixer la pressió i temperatura d'operació, el diàmetre intern del tanc, el factor de soldadura y el factor de tensió màxima del material.

Per el càlcul de la pressió i temperatura de disseny s'han utilitzat les següents equacions.

$$P_{disseny} = \max\{1,1 \cdot P_{operació}, P_{trabajo} + 2\}$$

$$T_{disseny} = T_{operació} + 20^{\circ}\text{C}$$

$P_{operació}=1,02$  bar, en aquest valor de pressió es té en compte la carrega hidrostàtica que tal com s'ha comentat en apartats anteriors es calcula a partir de l'alçada de líquid de dins del tanc.

$$P_{disseny} = \mathbf{3,02 \text{ bar}}$$

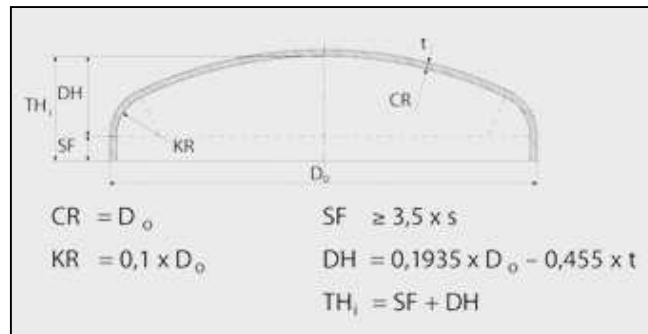
$$T_{operació}=97^{\circ}\text{C}$$

$$T_{disseny} = \mathbf{117^{\circ}\text{C}}$$

#### Espessor dels capçals. Càlcul a pressió interna

Els tipus capçals més utilitzats són el toriesfèric, l'hemisfèric i l'el·lipsoïdal, la seva elecció depèn de les condicions d'operació i el cost econòmic, en aquest cas s'utilitza el toriesfèric.

Aquest capçal ve definit pel radi de la corona (L) i el radi del colze (r) que es calculen respecte al diàmetre del cos, tal com indica la casa "Koenig-co" en la figura, extreta de la seva pàgina web.



**Figura 12.3.1.1** Esquema del fons toriesfèric per tal de determinar l'alçada del fons del tanc.  $s=t$ .

Per tant,

$$L = D$$

$$r = 0,1 \cdot D$$

$$\frac{L}{r} = 10$$

Per una relació  $L/r$  menor de  $16^{2/3}$  l'espessor es calcula amb l'equació següent.

$$t = \frac{P \cdot L \cdot M}{2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P} + C_1 + C_2 \quad \text{Equació 12.3.1.1}$$

on:

- $t$  = espessor del fondo (mm)
- $P$  = pressió de disseny del recipient (bar)
- $M$  = factor que depèn de la relació  $L/r$ , en aquest cas igual a 1,54
- $E$  = factor de soldadura = 0,85 (radiografiat doble parcial)
- $S$  = càrrega admissible del material (bar)
- $L$  = radi de la corona (mm)
- $C_1$  = marge per corrosió (mm)
- $C_2$  = tolerància de fabricació (mm) = 10% de l'espessor

El sobre espessor per corrosió del material és de 0,508 mm/any, suposant que la vida útil del tanc seran 15 anys, el sobre espessor serà 7,62 mm.

### **Espessor del cos del tanc. Càlcul a pressió interna**

L'equació següent permet trobar l'espessor del cos del tanc.

$$t_1 = \frac{P \cdot R_{int}}{S \cdot E - 0,6 \cdot P} + C \cdot A \quad \text{Equació 12.3.1.2}$$

on:

- $t_1$  = espessor del cos (mm)
- $P$  = pressió de disseny del recipient (bar)
- $R_{int}$  = radi intern de la columna (mm)
- $E$  = factor de soldadura = 0,85 (radiografiat doble parcial)
- $S$  = càrrega admissible del material (bar)
- $C.A$  = sobre espessor (mm)

La tolerància de fabricació pel cas d'un cilindre és nul·la i el sobre espessor per corrosió del material és de 0,508 mm/any. Suposant que la vida útil del tanc seran 15 anys, el sobre espessor serà 7,62 mm.

### **Alçada dels capçals**

Una vegada determinats els espessors del cos, el fons i el capçal, es pot determinar el capçal per determinar l'alçada total de l'equip, tal com indica la casa "Koenig-co" en la figura següent, extreta de la seva pàgina web. Per tant, es troben les equacions següents per tal de determinar l'alçada total del tanc

$$DH = 0,1935 \cdot D_o - 0,455 \cdot t \quad \text{Equació 12.3.1.3}$$

$$SF = 3,5 \cdot s \quad \text{Equació 12.3.1.4}$$

$$TH = SF + DH \quad \text{Equació 12.3.1.5}$$

$$E = 0,85$$

$$S \text{ (bar)} = 7583,40$$

$$\text{Espessor cos (mm)} = 10$$

$$\text{Espessor capçals (mm)} = 10$$

$$\text{Alçada capçals (m)} = 0,32$$

### **12.3.1.3 Pes del tanc**

#### **Pes del tanc buit**

Es calcula el volum dels capçals del tanc mitjançant l'equació:

$$Vi = 0,1 \cdot (D_{tanc}^3) \quad \text{Equació 12.3.1.6}$$

Per calcular el pes dels capçals, es calcula el volum extern del capçal, mitjançant l'equació:

$$V_e = 0,1 \cdot ((D_{tanc} + t)^3) \quad \text{Equació 12.3.1.7}$$

I la resta del volum extern menys l'intern correspon al volum de la paret del capçal.

Es calcula el volum intern i extern del cos del tanc, per tal de determinar el volum de paret.

$$V_i = \pi \cdot \left(\frac{D_{tanc}}{2}\right)^2 \cdot h$$

$$V_e = \pi \cdot \left(\frac{D_{tanc} + 2 \cdot t}{2}\right)^2 \cdot h$$

La resta del volum extern menys l'intern correspon al volum de la paret del cos.

Una vegada determinat el volum total de paret, que serà igual a la suma del volum del cos més els dos capçals, és pot calcular el pes del tanc buit, sobre dimensionant-lo un 10 % per tal de tenir en compte el pes de les soldadures, cargols, brides, boques d'home i similars.

$$Pes_{buit} = 1,1(V_{total,paret} \cdot \rho_{material})$$

Una vegada és coneix el pes de l'equip buit es calcula el volum del tanc com la suma del volum intern del cos i els dos capçals i es pot determinar el pes del tanc omplert d'aigua i en operació.

$$Pes_{tanc,aigua} = Pes_{buit} + V_{total,intern} \cdot \rho_{aigua}$$

$$Pes_{tanc,operació} = Pes_{buit} + V_{total,intern} \cdot \rho_{fluid,procès}$$

Pes tanc buit (kg) = 2609

Pes tanc ple aigua (kg) = 8331

Pes tanc operació (kg) = 7109

#### 12.3.1.4 Aïllament

Com que el tanc TP-301 assoleix temperatures molt elevades ha de ser aïllat per seguretat, ja que en cas que un operari toques el tanc aquest es podria cremar.

Així també s'evita que hi hagi un intercanvi de calor amb l'exterior per convecció natural del material, agafant sempre les pitjors condicions de temperatura a l'exterior de forma que el salt tèrmic entre l'interior i l'exterior sigui el més gran. Com que l'espessor dels capçals i del cos no és el mateix, s'agafa el cas més desfavorable donat per l'espessor més gran. L'espessor d'aquest aïllant es pot calcular com:

$$X = \frac{30}{3,6 \cdot \left(\frac{\Delta T}{D_{\text{ext}}}\right)^{\frac{1}{4}}}$$

on:

- X = espessor de l'aïllant (cm)
- $\Delta T$  = diferència de temperatura entre l'interior i l'exterior del recipient
- $D_{\text{ext}}$  = diàmetre exterior del recipient (m) (espessor més desfavorable)

Per tal d'assegurar que l'aïllament sigui suficient, es duplica l'espessor de l'aïllant.

$$X = 5,96 \text{ cm}$$

Es calcula el volum de l'aïllant calculant el volum als fondos i al cos. Els resultats es presenten a la taula següent:

**Taula 12.3.1.3** Càlcul del volum d'aïllant necessari en el tanc.

Volum aïllant capçal (m <sup>3</sup> )	0,09
Volum aïllant cos (m <sup>3</sup> )	0,86
Volum aïllant total (m <sup>3</sup> )	1,03

<b>Tanc pulmó, TP-301</b>			
Àrea	300	Material	HASTELLOY B-2
Consum diari (m <sup>3</sup> /h)	2,85	Alçada cos cilíndric (m)	3
Temps residència (min)	10	Espessor cos (mm)	10
Capacitat (m <sup>3</sup> )	5,3	Tipus fons inferior	Fons toriesfèric
Volum ocupat (%)	9,68	Espessor fons inferior (mm)	10
Diàmetre (m)	1,5	Alçada fons inferior (m)	0,32
Alçada total (m)	3,64	Tipus de fons superior	Fons toriesfèric
T operació (°C)	97	Espessor fons superior (mm)	10
T disseny (°C)	117	Alçada fons superior (m)	0,32
P operació (bar)	1,02	Tipus aïllant	Llana de roca
P disseny (bar)	3,02	Gruix aïllant (cm)	5,96
Pes buit (kg)	2609	Volum aïllant (m <sup>3</sup> )	1,03
Pes aigua (kg)	8331	Capacitat venteig (kg/h)	
Pes operació (kg)	7109		

### 12.3.2 Tanc pulmó TP-302

El tanc pulmó TP-302 és el tanc que es troba després del condensador C-302, corresponent al condensador total de la columna de destil·lació CD-301. La funció d'aquest tanc es controlar la relació de reflux i acumular una quantitat de condensat necessària per la posada en marxa.

#### 12.3.2.1 Disseny funcional

Per el dimensionament d'aquest tipus de tanc un temps de residència d'uns 1 min, es considera suficient.

$$V = Q \cdot \tau \quad \text{Equació 12.3.2.1}$$

$$h = 2 \cdot D \quad \text{Equació 12.3.2.2}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V}{2 \cdot \pi}} \quad \text{Equació 12.3.2.3}$$

on:

- $\tau$  = Temps de residència (s).
- Q=Caudal de d'entrada del tanc (m<sup>3</sup>/s).
- D= Diàmetre tanc (m).
- h= Alçada tanc (m)

A continuació se presenten las dimensions del tanc.

**h= 4m**

**D= 2m**

Aquestes dimensions han estat sobre dimensionades, primer, perquè el tanc pulmó quedi omplert fins al 50 % de la seva capacitat total i, segon, per utilitzar unes mesures de xapa precises per tal que la construcció d'aquest tanc sigui més econòmica.

#### 12.3.2.2 Disseny mecànic

El material utilitzat pel tanc serà el mateix que s'ha utilitzat en a la columna Hastelloy B-2, ja que aquest tanc pulmó s'omple amb les mateixes substàncies que aquesta columna. Pel càlcul de l'espessor es necessari conèixer la pressió i temperatura

d'operació, el diàmetre intern del tanc, el factor de soldadura y el factor de tensió màxima del material.

Per el càlcul de la pressió i temperatura de disseny s'han utilitzat les següents equacions.

$$P_{disseny} = \max\{1,1 \cdot P_{operació}, P_{trabajo} + 2\}$$

$$T_{disseny} = T_{operació} + 20^{\circ}\text{C}$$

$P_{operació}=26,36$  bar, en aquest valor de pressió es té en compte la carrega hidrostàtica que tal com s'ha comentat en apartats anteriors es calcula a partir de l'alçada de líquid de dins del tanc.

$$P_{disseny} = 29 \text{ bar}$$

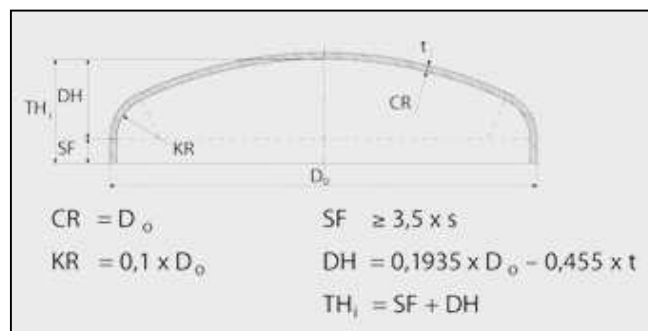
$$T_{operació} = 1,1^{\circ}\text{C}$$

$$T_{disseny} = 21,1^{\circ}\text{C}$$

### Espessor dels capçals. Càlcul a pressió interna

Els tipus capçals més utilitzats són el toriesfèric, l'hemisfèric i l'el·lipsoïdal, la seva elecció depèn de les condicions d'operació i el cost econòmic, en aquest cas s'utilitza el toriesfèric.

Aquest capçal ve definit pel radi de la corona (L) i el radi del colze (r) que es calculen respecte al diàmetre del cos, tal com indica la casa "Koenig-co" en la figura següent, extreta de la seva pàgina web.



**Figura 12.3.2.1** Esquema del fons toriesfèric per tal de determinar l'alçada del fons del tanc .  $s=t$ .



Per tant,

$$L = D$$

$$r = 0,1 \cdot D$$

$$\frac{L}{r} = 10$$

Per una relació L/r menor de  $16 \frac{2}{3}$  l'espessor es calcula amb l'equació següent:

$$t = \frac{P \cdot L \cdot M}{2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P} + C_1 + C_2 \quad \text{Equació 12.3.2.1}$$

on:

- t = espessor del fondo (mm)
- P = pressió de disseny del recipient (bar)
- M = factor que depèn de la relació L/r, en aquest cas igual a 1,54
- E = factor de soldadura = 0,85 (radiografiat doble parcial)
- S = càrrega admissible del material (bar)
- L = radi de la corona (mm)
- C<sub>1</sub> = marge per corrosió (mm)
- C<sub>2</sub> = tolerància de fabricació (mm) = 10% de l'espessor

El sobre espessor per corrosió del material és de 0,508 mm/any. Suposant que la vida útil del tanc seran 15 anys, el sobre espessor serà 7,62 mm.

### **Espessor del cos del tanc. Càlcul a pressió interna**

L'equació 12.3.2.2 permet trobar l'espessor del cos del tanc.

$$t_1 = \frac{P \cdot R_{int}}{S \cdot E - 0,6 \cdot P} + C \cdot A \quad \text{Equació 12.3.2.2}$$

on:

- t<sub>1</sub> = espessor del cos (mm)
- P = pressió de disseny del recipient (bar)
- R<sub>int</sub> = radi intern de la columna (mm)
- E = factor de soldadura = 0,85 (radiografiat doble parcial)

- S = càrrega admissible del material (bar)
- C.A = sobre espessor (mm)

La tolerància de fabricació pel cas d'un cilindre és nul·la i el sobre espessor per corrosió del material és de 0,508 mm/any. Suposant que la vida útil del tanc seran 15 anys, el sobre espessor serà 7,62 mm.

### **Alçada dels capçals**

Una vegada determinats els espessors del cos, el fons i el capçal es pot determinar el capçal per determinar l'alçada total de l'equip, tal com indica la casa "Koenig-co" en la figura anterior, extreta de la seva pàgina web.

$$DH = 0,1935 \cdot D_o - 0,455 \cdot t \quad \text{Equació 12.3.2.3}$$

$$SF = 3,5 \cdot s \quad \text{Equació 12.3.2.4}$$

$$TH = SF + DH \quad \text{Equació 12.3.2.5}$$

$$E = 0,85$$

$$S \text{ (bar)} = 7583,40$$

$$\text{Espessor cos (mm)} = 10$$

$$\text{Espessor capçals (mm)} = 10$$

$$\text{Alçada capçals (m)} = 0,42$$

### **12.3.2.3 Pes del tanc**

#### **Pes del tanc buit**

Es calcula el volum dels capçals del tanc mitjançant l'equació:

$$Vi = 0,1 \cdot (D_{tanc}^3) \quad \text{Equació 12.3.2.6}$$

Per calcular el pes dels capçals, es calcula el volum extern del capçal, mitjançant l'equació:

$$Ve = 0,1 \cdot ((D_{tanc} + t)^3) \quad \text{Equació 12.3.2.7}$$

I la resta del volum extern menys l'intern correspon al volum de la paret del capçal.

Es calcula el volum intern i extern del cos del tanc, per tal de determinar el volum de paret.

$$V_i = \pi \cdot \left( \frac{D_{tanc}}{2} \right)^2 \cdot h$$

$$V_e = \pi \cdot \left( \frac{D_{tanc} + 2 \cdot t}{2} \right)^2 \cdot h$$

I la resta del volum extern menys l'intern correspon al volum de la paret del cos.

Una vegada determinat el volum total de paret, que serà igual a la suma del volum del cos mes els dos capçals, és pot calcular el pes del tanc buit, sobre dimensionant-lo un 10 % per tal de tindre en compte el pes de les soldadures, cargols, brides, boques d'home i similars.

$$Pes_{buit} = 1,1(V_{total,paret} \cdot \rho_{material})$$

Una vegada és coneix el pes de l'equip buit es calcula el volum del tanc com la suma del volum intern del cos i els dos capçals i es pot determinar el pes del tanc omplert d'aigua i en operació.

$$Pes_{tanc,aigua} = Pes_{buit} + V_{total,intern} \cdot \rho_{aigua}$$

$$Pes_{tanc,operació} = Pes_{buit} + V_{total,intern} \cdot \rho_{fluid,procès}$$

Pes tanc buit (kg) = 5369

Pes tanc ple aigua (kg) = 19007

Pes tanc operació (kg) = 18098

#### 12.3.3.4 Aïllament

Com que el tanc TP-302 assoleix temperatures bastant baixes, ha de ser aïllat per temes de seguretat, ja que en cas que un operari toques el tanc es podria quedar enganxat. I així també s'evita que hi hagi un intercanvi de calor amb l'exterior per convecció natural del material. Agafant sempre les pitjors condicions de temperatura a l'exterior, de forma que el salt tèrmic entre l'interior i l'exterior sigui el més gran. Com que l'espessor dels capçals i del cos no és el mateix, s'agafa el cas més desfavorable donat per l'espessor més gran. L'espessor d'aquest aïllant es pot calcular com:

$$X = \frac{30}{3,6 \cdot \left(\frac{\Delta T}{D_{\text{ext}}}\right)^{\frac{1}{4}}}$$

on:

- X = espessor de l'aïllant (cm)
- $\Delta T$  = diferència de temperatura entre l'interior i l'exterior del recipient (pitjors condicions).
- $D_{\text{ext}}$  = diàmetre exterior del recipient (m) (espessor més desfavorable)

Per tal d'assegurar que l'aïllament sigui suficient, es duplica l'espessor de l'aïllant.

$$X = 8,57 \text{ cm}$$

Es calcula el volum de l'aïllant calculant el volum als fondos i al cos, els resultats es presenten a continuació:

**Taula 12.3.2.3** Càlcul del volum d'aïllant necessari en el tanc.

Volum aïllant capçal (m <sup>3</sup> )	0,23
Volum aïllant cos (m <sup>3</sup> )	2,27
Volum aïllant total (m <sup>3</sup> )	2,72

Tanc pulmó, TP-302			
Àrea	300	Material	HASTELLOY B-2
Consum diari (m <sup>3</sup> /h)	1,12	Alçada cos cilíndric (m)	4
Temps residència (h)	4	Espessor cos (mm)	10
Capacitat (m <sup>3</sup> )	12,57	Tipus fons inferior	Fons toriesfèric
Volum ocupat (%)	35,5	Espessor fons inferior (mm)	10
Diàmetre (m)	2	Alçada fons inferior (m)	0,42
Alçada total (m)	4,84	Tipus de fons superior	Fons toriesfèric
T operació (°C)	1,1	Espessor fons superior (mm)	10
T disseny (°C)	21,1	Alçada fons superior (m)	0,42
P operació (bar)	26,36	Tipus aïllant	Llana de roca
P disseny (bar)	29	Gruix aïllant (cm)	8,57
Pes buit (kg)	5369	Volum aïllant (m <sup>3</sup> )	2,72
Pes aigua (kg)	19007	Capacitat venteig (kg/h)	
Pes operació (kg)	18098		

### 12.3.3 Tanc pulmó TP-303

El tanc pulmó TP-303 és el tanc que es troba després del condensador C-303, corresponent al condensador total de la columna de destil·lació CD-302. La funció d'aquest tanc es poder controlar la relació de reflux i acumular una quantitat de condensat necessària per la posada en marxa.

#### 12.3.3.1 Disseny funcional

Per el dimensionament d'aquest tipus de tanc un temps de residència d'uns 1 min, es considera suficient.

$$V = Q \cdot \tau \quad \text{Equació 12.3.3.1}$$

$$h = 2 \cdot D \quad \text{Equació 12.3.3.2}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V}{2 \cdot \pi}} \quad \text{Equació 12.3.3.3}$$

on:

- $\tau$  = Temps de residència (s).
- Q=Caudal de d'entrada del tanc (m<sup>3</sup>/s).
- D= Diàmetre tanc (m).
- h= Alçada tanc (m)

A continuació se presenten las dimensions del tanc.

**h= 3 m**

**D= 1,5 m**

Aquestes dimensions han sigut sobre dimensionades. Primer, perquè el tanc pulmó quedi omplert fins al 50 % de la seva capacitat total i, segon, per utilitzar unes mesures de xapa precises per tal que la construcció d'aquest tanc sigui més econòmica.

#### 12.3.3.2 Disseny mecànic

El material utilitzat pel tanc serà el mateix que s'ha utilitzat en a la columna, Hastelloy B-2, ja que aquest tanc pulmó s'omple amb les mateixes substàncies que aquesta columna.

Pel càlcul de l'espessor es necessari conèixer la pressió i temperatura d'operació, el diàmetre intern del tanc, el factor de soldadura y el factor de tensió màxima del material.

Per el càlcul de la pressió i temperatura de disseny s'han utilitzat les següents equacions.

$$P_{disseny} = \max\{1,1 \cdot P_{operació}, P_{trabajo} + 2\}$$

$$T_{disseny} = T_{operació} + 20^{\circ}\text{C}$$

$P_{operació}=3,06$  bar, en aquest valor de pressió es te en compte la carrega hidrostàtica que tal com s'ha comentat en apartats anteriors es calcula a partir de l'alçada de líquid de dins del tanc.

**$P_{disseny}= 5,06$  bar**

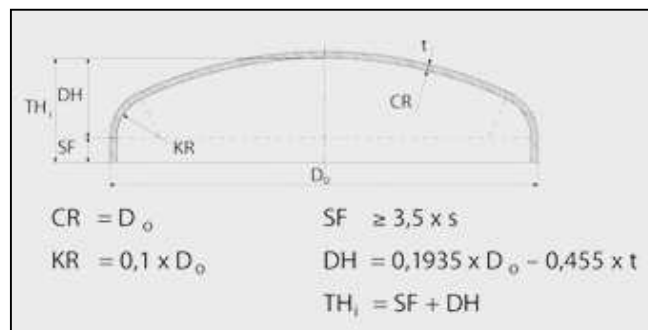
$T_{operació}=11,82$  °C

**$T_{disseny}= 31,82$  °C**

### **Espessor dels capçals. Càlcul a pressió interna**

Els tipus capçals més utilitzats són el toriesfèric, l'hemisfèric i l'el·lipsoïdal, la seva elecció depèn de les condicions d'operació i el cost econòmic, en aquest cas s'utilitza el toriesfèric.

Aquest capçal ve definit pel radi de la corona (L) i el radi del colze (r) que es calculen respecte al diàmetre del cos, tal com indica la casa "Koenig-co" en la figura següent, extreta de la seva pàgina web.



**Figura 12.3.3.1** Esquema del fons toriesfèric per tal de determinar l'alçada del fons del tanc.  $s=t$ .

Per tant,

$$L = D$$

$$r = 0,1 \cdot D$$

$$\frac{L}{r} = 10$$

Per una relació L/r menor de  $16 \frac{2}{3}$  l'espessor es calcula amb l'equació següent.

$$t = \frac{P \cdot L \cdot M}{2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P} + C_1 + C_2 \quad \text{Equació 12.3.3. 1}$$

on:

- t = espessor del fondo (mm)
- P = pressió de disseny del recipient (bar)
- M = factor que depèn de la relació L/r, en aquest cas igual a 1,54
- E = factor de soldadura = 0,85 (radiografiat doble parcial)
- S = càrrega admissible del material (bar)
- L= radi de la corona (mm)
- C<sub>1</sub> = marge per corrosió (mm)
- C<sub>2</sub> = tolerància de fabricació (mm) = 10% de l'espessor

El sobre espessor per corrosió del material és de 0,508 mm/any. Suposant que la vida útil del tanc seran 15 anys, el sobre espessor serà 7,62 mm.

### **Espessor del cos del tanc. Càlcul a pressió interna**

L'equació següent permet trobar l'espessor del cos del tanc.

$$t_1 = \frac{P \cdot R_{int}}{S \cdot E - 0,6 \cdot P} + C \cdot A \quad \text{Equació 12.3.3.2}$$

on:

- t<sub>1</sub> = espessor del cos (mm)
- P = pressió de disseny del recipient (bar)
- R<sub>int</sub> = radi intern de la columna (mm)
- E = factor de soldadura = 0,85 (radiografiat doble parcial)

- S = càrrega admissible del material (bar)
- C.A = sobre espessor (mm)

La tolerància de fabricació pel cas d'un cilindre és nul·la i el sobre espessor per corrosió del material és de 0,508 mm/any. Suposant que la vida útil del tanc seran 15 anys, el sobre espessor serà 7,62 mm.

### **Alçada dels capçals**

Una vegada determinats els espessors del cos, el fons i el capçal, es pot determinar el capçal per determinar l'alçada total de l'equip, tal com indica la casa "Koenig-co" en la figura anterior, extreta de la seva pàgina web.

$$DH = 0,1935 \cdot D_o - 0,455 \cdot t \quad \text{Equació 12.3.3.3}$$

$$SF = 3,5 \cdot s \quad \text{Equació 12.3.3.4}$$

$$TH = SF + DH \quad \text{Equació 12.3.3.5}$$

$$E = 0,85$$

$$S \text{ (bar)} = 7583,40$$

$$\text{Espessor cos (mm)} = 10$$

$$\text{Espessor capçals (mm)} = 10$$

$$\text{Alçada capçals (m)} = 0,32$$

### **12.3.3.3 Pes del tanc**

#### **Pes del tanc buit**

s calcula el volum dels capçals del tanc mitjançant l'equació:

$$Vi = 0,1 \cdot (D_{tanc}^3) \quad \text{Equació 12.3.3.6}$$

Per calcular el pes dels capçals, es calcula el volum extern del capçal, mitjançant l'equació:

$$Ve = 0,1 \cdot ((D_{tanc} + t)^3) \quad \text{Equació 12.3.3.7}$$

I la resta del volum extern menys l'intern correspon al volum de la paret del capçal.

Es calcula el volum intern i extern del cos del tanc, per tal de determinar el volum de paret.



$$V_i = \pi \cdot \left( \frac{D_{tanc}}{2} \right)^2 \cdot h$$

$$V_e = \pi \cdot \left( \frac{D_{tanc} + 2 \cdot t}{2} \right)^2 \cdot h$$

La resta del volum extern menys l'intern correspon al volum de la paret del cos.

Una vegada determinat el volum total de paret que serà igual a la suma del volum del cos mes els dos capçals, és pot calcular el pes del tanc buit, sobre dimensionant-lo un 10 % per tal de tenir en compte el pes de les soldadures, cargols, brides, boques d'home i similars.

$$Pes_{buit} = 1,1(V_{total,paret} \cdot \rho_{material})$$

Una vegada és coneix el pes de l'equip buit es calcula el volum del tanc com la suma del volum intern del cos i els dos capçals i es pot determinar el pes del tanc omplert d'aigua i en operació.

$$Pes_{tanc,aigua} = Pes_{buit} + V_{total,intern} \cdot \rho_{aigua}$$

$$Pes_{tanc,operació} = Pes_{buit} + V_{total,intern} \cdot \rho_{fluid,procès}$$

Pes tanc buit (kg) = 3025

Pes tanc ple aigua (kg) = 8710

Pes tanc operació (kg) = 10896

#### 12.3.3.4 Aïllament

Com que el tanc TP-303 assoleix temperatures bastant baixes, ha de ser aïllat per temes de seguretat, ja que en cas que un operari toques el tanc aquest es podria quedar enganxat. I així també s'evita que hi hagi un intercanvi de calor amb l'exterior per convecció natural del material, agafant sempre les pitjors condicions de temperatura a l'exterior de forma que el salt tèrmic entre l'interior i l'exterior sigui el més gran. Com que l'espessor dels capçals i del cos no és el mateix, s'agafa el cas més desfavorable donat per l'espessor més gran. L'espessor d'aquest aïllant es por calcular com:

$$X = \frac{30}{3,6 \cdot \left(\frac{\Delta T}{D_{\text{ext}}}\right)^{\frac{1}{4}}}$$

on:

- X = espessor de l'aïllant (cm)
- ΔT = diferència de temperatura entre l'interior i l'exterior del recipient (pitjors condicions).
- D<sub>ext</sub> = diàmetre exterior del recipient (m) (espessor més desfavorable)

Per tal d'assegurar que l'aïllament sigui suficient, es duplica l'espessor de l'aïllant.

$$X = 8,96 \text{ cm}$$

Es calcula el volum de l'aïllant calculant el volum als fondos i al cos, els resultats es presenten a la taula següent:

**Taula 12.3.1.3** Càlcul del volum d'aïllant necessari en el tanc TP-303

Volum aïllant capçal (m <sup>3</sup> )	0,13
Volum aïllant cos (m <sup>3</sup> )	1,36
Volum aïllant total (m <sup>3</sup> )	1,63

Tanc pulmó, TP-302			
Àrea	300	Material	HASTELLOY B-2
Consum diari (m <sup>3</sup> /h)	0,49	Alçada cos cilíndric (m)	3
Temps residència (h)	4	Espessor cos (mm)	10
Capacitat (m <sup>3</sup> )	5,30	Tipus fons inferior	Fons toriesfèric
Volum ocupat (%)	36,67	Espessor fons inferior (mm)	10
Diàmetre (m)	1,5	Alçada fons inferior (m)	0,32
Alçada total (m)	3,64	Tipus de fons superior	Fons toriesfèric
T operació (°C)	11,82	Espessor fons superior (mm)	10
T disseny (°C)	31,82	Alçada fons superior (m)	0,32
P operació (bar)	3,06	Tipus aïllant	Llana de roca
P disseny (bar)	5,06	Gruix aïllant (cm)	8,96
Pes buit (kg)	3025	Volum aïllant (m <sup>3</sup> )	1,63
Pes aigua (kg)	8710	Capacitat venteig (kg/h)	
Pes operació (kg)	10896		

### 12.3.4 Tanc pulmó TP-401

Per el correcte funcionament del reactor de piròlisis es recomana instal·lar un tanc pulmó a la entrada, per poder assegurar que la entrada a aquest reactor és constant i també per poder fer-lo servir com a mesclador de la corrent de sortida de la columna de destil·lació, TD-302 amb les recirculacions procedents de la columna de refinat de MIC, TD-401 i del condensador, C-402. Per tant abans del reactor R-401 i R-402 hi haurà un tanc pulmó.

#### 12.3.4.1 Disseny funcional

Per el dimensionament d'aquest tipus de tanc un temps de residència petit és suficient.

$$V = Q \cdot \tau \quad \text{Equació 12.3.4.1}$$

$$h = 2 \cdot D \quad \text{Equació 12.3.4.2}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V}{2 \cdot \pi}} \quad \text{Equació 12.3.4.3}$$

on:

- $\tau$  = Temps de residència (s).
- Q=Caudal de d'entrada del tanc ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).
- D= Diàmetre tanc (m).
- h= Alçada tanc (m)

A continuació se presenten las dimensions del tanc.

**h= 3 m**

**D= 1,5 m**

Aquestes dimensions han estat sobre dimensionades, primer, perquè el tanc pulmó quedi omplert fins al 50 % de la seva capacitat total i, segon, per utilitzar unes mesures de xapa precises per tal que la construcció d'aquest tanc sigui més econòmica.

### 12.3.4.2 Disseny mecànic

El material utilitzat pel tanc serà el mateix que l'utilitzat al reactor, Hasteloy B-2, ja que aquest tanc pulmó tracta les mateixes substàncies que aquest. Pel càlcul de l'espessor es necessari conèixer la pressió i temperatura d'operació, el diàmetre intern del tanc, el factor de soldadura y el factor de tensió màxima del material.

Per el càlcul de la pressió i temperatura de disseny s'han utilitzat les següents equacions.

$$P_{disseny} = \max\{1,1 \cdot P_{operació}, P_{trabajo} + 2\}$$

$$T_{disseny} = T_{operació} + 20^{\circ}\text{C}$$

$P_{operació} = 1,04$  bar, en aquest valor de pressió es té en compte la carrega hidrostàtica que tal com s'ha comentat en apartats anteriors es calcula a partir de l'alçada de líquid de dins del tanc.

**$P_{disseny} = 3,04$  bar**

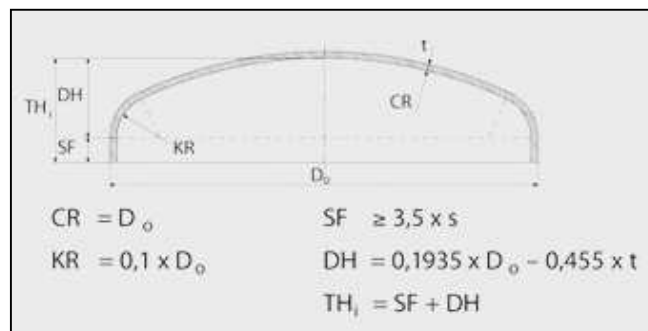
$T_{operació} = 101$  °C

**$T_{disseny} = 121$  °C**

#### Espessor dels capçals. Càlcul a pressió interna

Els tipus capçals més utilitzats són el toriesfèric, l'hemisfèric i l'el·lipsoïdal, la seva elecció depèn de les condicions d'operació i el cost econòmic, en aquest cas s'utilitza el toriesfèric.

Aquest capçal ve definit pel radi de la corona (L) i el radi del colze (r) que es calculen respecte al diàmetre del cos, tal com indica la casa "Koenig-co" en la figura següent extreta de la seva pàgina web.



**Figura 12.3.4.1** Esquema del fons toriesfèric per tal de determinar l'alçada del fons del tanc  $s=t$

Per tant,

$$L = D$$

$$r = 0,1 \cdot D$$

$$\frac{L}{r} = 10$$

Per una relació L/r menor de  $16^2/3$  l'espessor es calcula amb l'equació següent.

$$t = \frac{P \cdot L \cdot M}{2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P} + C_1 + C_2 \quad \text{Equació 12.3.4.1}$$

on:

- t = espessor del fondo (mm)
- P = pressió de disseny del recipient (bar)
- M = factor que depèn de la relació L/r, en aquest cas igual a 1,54
- E = factor de soldadura = 0,85 (radiografiat doble parcial)
- S = càrrega admissible del material (bar)
- L= radi de la corona (mm)
- C<sub>1</sub> = marge per corrosió (mm)
- C<sub>2</sub> = tolerància de fabricació (mm) = 10% de l'espessor

El sobre espessor per corrosió del material és de 0,508 mm/any. Suposant que la vida útil del tanc seran 15 anys, el sobre espessor serà 7,62 mm.

### **Espessor del cos del tanc. Càlcul a pressió interna**

L'equació següent permet trobar l'espessor del cos del tanc.

$$t_1 = \frac{P \cdot R_{int}}{S \cdot E - 0,6 \cdot P} + C \cdot A \quad \text{Equació 12.3.4.2}$$

on:

- t<sub>1</sub> = espessor del cos (mm)
- P = pressió de disseny del recipient (bar)
- R<sub>int</sub> = radi intern de la columna (mm)
- E = factor de soldadura = 0,85 (radiografiat doble parcial)

- S = càrrega admissible del material (bar)
- C.A = sobre espessor (mm)

La tolerància de fabricació pel cas d'un cilindre és nul·la i el sobre espessor per corrosió del material és de 0,508 mm/any. Suposant que la vida útil del tanc seran 15 anys, el sobre espessor serà 7,62 mm.

### **Alçada dels capçals**

Una vegada determinats els espessors del cos, el fons i el capçal es pot determinar el capçal per determinar l'alçada total de l'equip, tal com indica la casa "Koenig-co" en la figura anterior extreta de la seva pàgina web.

$$DH = 0,1935 \cdot D_o - 0,455 \cdot t \quad \text{Equació 12.3.4.3}$$

$$SF = 3,5 \cdot s \quad \text{Equació 12.3.4.4}$$

$$TH = SF + DH \quad \text{Equació 12.3.4.5}$$

$$E = 0,85$$

$$S \text{ (bar)} = 7583,40$$

$$\text{Espessor cos (mm)} = 10$$

$$\text{Espessor capçals (mm)} = 10$$

$$\text{Alçada capçals (m)} = 0,32$$

### **12.3.4.3 Pes del tanc**

#### **Pes del tanc buit**

Es calcula el volum dels capçals del tanc mitjançant l'equació:

$$Vi = 0,1 \cdot (D_{tanc}^3) \quad \text{Equació 12.3.4.6}$$

Per calcular el pes dels capçals, es calcula el volum extern del capçal, mitjançant l'equació:

$$Ve = 0,1 \cdot ((D_{tanc} + t)^3) \quad \text{Equació 12.3.4.7}$$

I la resta del volum extern menys l'intern correspon al volum de la paret del capçal.

Es calcula el volum intern i extern del cos del tanc, per tal de determinar el volum de paret.

$$V_i = \pi \cdot \left( \frac{D_{tanc}}{2} \right)^2 \cdot h$$

$$V_e = \pi \cdot \left( \frac{D_{tanc} + 2 \cdot t}{2} \right)^2 \cdot h$$

I la resta del volum extern menys l'intern correspon al volum de la paret del cos.

Una vegada determinat el volum total de paret que serà igual a la suma del volum del cos mes els dos capçals, és pot calcular el pes del tanc buit. Que s'ha de sobre dimensionar un 10% per incloure el pes de les soldadures connexions fetes i les possibles boques d'home instal·lades, entre altres coses.

$$Pes_{buit} = 1,1 \cdot (V_{total,paret} \cdot \rho_{material})$$

Una vegada és coneix el pes de l'equip buit es calcula el volum del tanc com la suma del volum intern del cos i els dos capçals i es pot determinar el pes del tanc omplert d'aigua i en operació.

$$Pes_{tanc,aigua} = Pes_{buit} + V_{total,intern} \cdot \rho_{aigua}$$

$$Pes_{tanc,operació} = Pes_{buit} + V_{total,intern} \cdot \rho_{fluid,procès}$$

Pes tanc buit (kg) = 2609

Pes tanc ple aigua (kg) = 8334

Pes tanc operació (kg) = 7238

#### 12.3.4.4 Aïllament

Com que el tanc TP-401 assoleix temperatures molt elevades ha de ser aïllat per temes de seguretat, ja que en cas que un operari toques el tanc aquest es podria cremar. I així també s'evita que hi hagi un intercanvi de calor amb l'exterior per convecció natural del material, agafant sempre les pitjors condicions de temperatura a l'exterior de forma que el salt tèrmic entre l'interior i l'exterior sigui el més gran. Com que l'espessor dels capçals i del cos no és el mateix, s'agafa el cas més desfavorable donat per l'espessor més gran. L'espessor d'aquest aïllant es por calcular com:

$$X = \frac{30}{3,6 \cdot \left( \frac{\Delta T}{D_{ext}} \right)^{\frac{1}{4}}}$$

on:

- X = espessor de l'aïllant (cm)
- $\Delta T$  = diferència de temperatura entre l'interior i l'exterior del recipient
- $D_{ext}$  = diàmetre exterior del recipient (m) (espessor més desfavorable)

Per tal d'assegurar que l'aïllament sigui suficient, es duplica l'espessor de l'aïllant.

$$X = 5,70 \text{ cm}$$

Es calcula el volum de l'aïllant calculant el volum als fondos i al cos, els resultats es presenten a la taula següent:

**Taula 12.3.4.3** Càlcul del volum d'aïllant necessari en el tanc.

Volum aïllant capçal (m <sup>3</sup> )	0,09
Volum aïllant cos (m <sup>3</sup> )	0,85
Volum aïllant total (m <sup>3</sup> )	1,02

Tanc pulmó, TP-401			
Àrea	400	Material	HASTELLOY B-2
Consum diari (m <sup>3</sup> /h)	5,81	Alçada cos cilíndric (m)	3
Temps residència (min)	10	Espessor cos (mm)	10
Capacitat (m <sup>3</sup> )	5,3	Tipus fons inferior	Fons toriesfèric
Volum ocupat (%)	18,26	Espessor fons inferior (mm)	10
Diàmetre (m)	1,5	Alçada fons inferior (m)	0,32
Alçada total (m)	3,64	Tipus de fons superior	Fons toriesfèric
T operació (°C)	101	Espessor fons superior (mm)	10
T disseny (°C)	121	Alçada fons superior (m)	0,32
P operació (bar)	1,04	Tipus aïllant	Llana de roca
P disseny (bar)	3,04	Gruix aïllant (cm)	5,70
Pes buit (kg)	2609	Volum aïllant (m <sup>3</sup> )	1,02
Pes aigua (kg)	8334	Capacitat venteig (kg/h)	
Pes operació (kg)	7238		

### 12.3.5 Tanc pulmó TP-402

El tanc pulmó TP-402 és el tanc que es troba després del condensador C-403, corresponent al condensador total de la columna de destil·lació CD-401. La funció d'aquest tanc es poder controlar la relació de reflux, acumular una quantitat de



condensat necessària per la posada en marxa i també controlar la puresa del MIC abans de portar-lo a reaccionar al reactor R-501 o R-502.

### 12.3.5.1 Disseny funcional

Per el dimensionament d'aquest tipus de tanc un temps de residència d'uns 1 min, es considera suficient.

$$V = Q \cdot \tau \quad \text{Equació 12.3.5.1}$$

$$h = 2 \cdot D \quad \text{Equació 12.3.5.2}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V}{2 \cdot \pi}} \quad \text{Equació 12.3.5.3}$$

on:

- $\tau$  = Temps de residència (s).
- $Q$ =Caudal de d'entrada del tanc ( $m^3/s$ ).
- $D$ = Diàmetre tanc (m).
- $h$ = Alçada tanc (m)

A continuació se presenten las dimensions del tanc.

**h= 3 m**

**D= 1,5 m**

Aquestes dimensions han estat sobre dimensionades, primer, perquè el tant pulmó quedi omplert fins al 50 % de la seva capacitat total i, segon, per utilitzar unes mesures de xapa precises per tal que la construcció d'aquest tanc sigui més econòmica.

### 12.3.5.2 Disseny mecànic

El material utilitzat pel tanc serà el mateix que s'ha utilitzat en a la columna, Hastelloy B-2, ja que aquest tanc pulmó s'omple amb les mateixes substàncies que aquesta columna. Pel càlcul de l'espessor es necessari conèixer la pressió i temperatura d'operació, el diàmetre intern del tanc, el factor de soldadura y el factor de tensió màxima del material.

Per el càlcul de la pressió i temperatura de disseny s'han utilitzat les següents equacions.

$$P_{disseny} = \max\{1,1 \cdot P_{operació}, P_{trabajo} + 2\}$$

$$T_{disseny} = T_{operació} + 20^{\circ}C$$

$P_{operació}=1,02$  bar, en aquest valor de pressió es té en compte la carrega hidrostàtica que tal com s'ha comentat en apartats anteriors es calcula a partir de l'alçada de líquid de dins del tanc.

$$P_{disseny} = 3,02 \text{ bar}$$

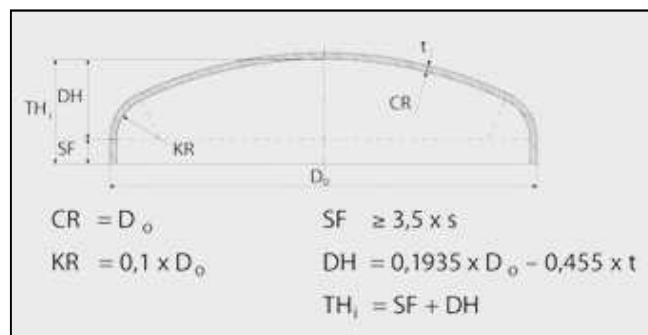
$$T_{operació}=38,8^{\circ}C$$

$$T_{disseny} = 58,8^{\circ}C$$

### Espessor dels capçals. Càlcul a pressió interna

Els tipus capçals més utilitzats són el toriesfèric, l'hemisfèric i l'el·lipsoïdal, la seva elecció depèn de les condicions d'operació i el cost econòmic, en aquest cas s'utilitza el toriesfèric.

Aquest capçal ve definit pel radi de la corona (L) i el radi del colze (r) que es calculen respecte al diàmetre del cos, tal com indica la casa "Koenig-co" en la figura següent, extreta de la seva pàgina web.



**Figura 12.3.5.1** Esquema del fons toriesfèric per tal de determinar l'alçada del fons dels tancs.  $s=t$ .

Per tant,

$$L = D$$

$$r = 0,1 \cdot D$$

$$\frac{L}{r} = 10$$

Per una relació  $L/r$  menor de  $16^{2/3}$  l'espessor es calcula amb l'equació següent.

$$t = \frac{P \cdot L \cdot M}{2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P} + C_1 + C_2 \quad \text{Equació 12.3.5.1}$$

on:

- t = espessor del fondo (mm)
- P = pressió de disseny del recipient (bar)
- M = factor que depèn de la relació L/r, en aquest cas igual a 1,54
- E = factor de soldadura = 0,85 (radiografiat doble parcial)
- S = càrrega admissible del material (bar)
- L= radi de la corona (mm)
- C<sub>1</sub> = marge per corrosió (mm)
- C<sub>2</sub> = tolerància de fabricació (mm) = 10% de l'espessor

El sobre espessor per corrosió del material és de 0,508 mm/any. Suposant que la vida útil del tanc seran 15 anys, el sobre espessor serà 7,62 mm.

### **Espessor del cos del tanc. Càlcul a pressió interna**

L'equació següent permet trobar l'espessor del cos del tanc.

$$t_1 = \frac{P \cdot R_{int}}{S \cdot E - 0,6 \cdot P} + C \cdot A \quad \text{Equació 12.3.5.2}$$

on:

- t<sub>1</sub> = espessor del cos (mm)
- P = pressió de disseny del recipient (bar)
- R<sub>int</sub> = radi intern de la columna (mm)
- E = factor de soldadura = 0,85 (radiografiat doble parcial)
- S = càrrega admissible del material (bar)
- C.A = sobre espessor (mm)

La tolerància de fabricació pel cas d'un cilindre és nul·la i el sobre espessor per corrosió del material és de 0,508 mm/any. Suposant que la vida útil del tanc seran 15 anys, el sobre espessor serà 7,62 mm.

**Alçada dels capçals**

Una vegada determinats els espessors del cos, el fons i el capçal es pot determinar el capçal per determinar l'alçada total de l'equip, tal com indica la casa "Koenig-co" en la figura anterior, extreta de la seva pàgina web.

$$DH = 0,1935 \cdot D_o - 0,455 \cdot t \quad \text{Equació 12.3.5.3}$$

$$SF = 3,5 \cdot s \quad \text{Equació 12.3.5.4}$$

$$TH = SF + DH \quad \text{Equació 12.3.5.5}$$

$$E = 0,85$$

$$S \text{ (bar)} = 7583,40$$

$$\text{Espessor cos (mm)} = 10$$

$$\text{Espessor capçals (mm)} = 10$$

$$\text{Alçada capçals (m)} = 0,32$$

**12.3.5.3 Pes del tanc****Pes del tanc buit**

Es calcula el volum dels capçals del tanc mitjançant l'equació:

$$Vi = 0,1 \cdot (D_{tanc}^3) \quad \text{Equació 12.3.5.6}$$

Per calcular el pes dels capçals, es calcula el volum extern del capçal, mitjançant l'equació:

$$Ve = 0,1 \cdot ((D_{tanc} + t)^3) \quad \text{Equació 12.3.5.7}$$

I la resta del volum extern menys l'intern correspon al volum de la paret del capçal.

Es calcula el volum intern i extern del cos del tanc, per tal de determinar el volum de paret.

$$Vi = \pi \cdot \left(\frac{D_{tanc}}{2}\right)^2 \cdot h$$

$$Ve = \pi \cdot \left(\frac{D_{tanc} + 2 \cdot t}{2}\right)^2 \cdot h$$

I la resta del volum extern menys l'intern correspon al volum de la paret del cos.

Una vegada determinat el volum total de paret que serà igual a la suma del volum del cos mes els dos capçals, és pot calcular el pes del tanc buit, sobre dimensionant-lo un

10 % per tal de tindre en compte el pes de les soldadures, cargols, brides, boques d'home i similars.

$$Pes_{buit} = 1,1(V_{total,paret} \cdot \rho_{material})$$

Una vegada és coneix el pes de l'equip buit es calcula el volum del tanc com la suma del volum intern del cos i els dos capçals i es pot determinar el pes del tanc omplert d'aigua i en operació.

$$Pes_{tanc,aigua} = Pes_{buit} + V_{total,intern} \cdot \rho_{aigua}$$

$$Pes_{tanc,operació} = Pes_{buit} + V_{total,intern} \cdot \rho_{fluid,procès}$$

Pes tanc buit (kg) = 3025

Pes tanc ple aigua (kg) = 8710

Pes tanc operació (kg) = 7307

#### 12.3.5.4 Aïllament

Com que el tanc TP-402 assoleix temperatures moderades, ha de ser aïllat per evitar que hi hagi un intercanvi de calor amb l'exterior per convecció natural del material, agafant sempre les pitjors condicions de temperatura a l'exterior de forma que el salt tèrmic entre l'interior i l'exterior sigui el més gran. Com que l'espessor dels capçals i del cos no és el mateix, s'agafa el cas més desfavorable donat per l'espessor més gran. L'espessor d'aquest aïllant es pot calcular com:

$$X = \frac{30}{3,6 \cdot \left(\frac{\Delta T}{D_{ext}}\right)^{\frac{1}{4}}}$$

on:

- X = espessor de l'aïllant (cm)
- $\Delta T$  = diferència de temperatura entre l'interior i l'exterior del recipient (pitjors condicions).
- $D_{ext}$  = diàmetre exterior del recipient (m) (espessor més desfavorable)

Per tal d'assegurar que l'aïllament sigui suficient, es duplica l'espessor de l'aïllant.

**X= 7,62 cm.**

Es calcula el volum de l'aïllant calculant el volum als fondos i al cos, els resultats es presenten a la taula següent.

**Taula 12.3.5.3** Càlcul del volum d'aïllant necessari en el tanc.

Volum aïllant capçal (m <sup>3</sup> )	0,12
Volum aïllant cos (m <sup>3</sup> )	1,11
Volum aïllant total (m <sup>3</sup> )	1,35

Tanc pulmó, TP-402			
Àrea	400	Material	Hastelloy B-2
Consum diari (m <sup>3</sup> /h)	0,394	Alçada cos cilíndric (m)	3
Temps residència (h)	4	Espessor cos (mm)	10
Capacitat (m <sup>3</sup> )	5,30	Tipus fons inferior	Fons toriesfèric
Volum ocupat (%)	29,73	Espessor fons inferior (mm)	10
Diàmetre (m)	1,5	Alçada fons inferior (m)	0,32
Alçada total (m)	3,64	Tipus de fons superior	Fons toriesfèric
T operació (°C)	38,8	Espessor fons superior (mm)	10
T disseny (°C)	58,8	Alçada fons superior (m)	0,32
P operació (bar)	1,02	Tipus aïllant	Llana de roca
P disseny (bar)	3,02	Gruix aïllant (cm)	7,62
Pes buit (kg)	3025	Volum aïllant (m <sup>3</sup> )	1,35
Pes aigua (kg)	8710	Capacitat venteig (kg/h)	
Pes operació (kg)	7307		

### 12.3.6 Tanc pulmó TP-601

Per poder tenir un correcte funcionament del cristal·litzador CR-603, s'instal·la un tanc pulmó a la entrada de licor mare que prové de la sortida líquida de la centrifuga CT-601, perquè així s'assegura que la entrada de licor mare a aquest cristal·litzador es fa de manera continua. Per lo tant abans del cristal·litzador CR-603, es col·locarà un tanc pulmó.

#### 12.3.6.1 Disseny funcional

Per el dimensionament d'aquest tipus de tanc un temps de residència petit és suficient,

$$V = Q \cdot \tau \quad \text{Equació 12.3.6.1}$$

$$h = 2 \cdot D \quad \text{Equació 12.3.6.2}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V}{2 \cdot \pi}} \quad \text{Equació 12.3.6.3}$$

on:

- $\tau$  = Temps de residència (s).
- Q=Caudal de d'entrada del tanc (m<sup>3</sup>/s).
- D= Diàmetre tanc (m).
- h= Alçada tanc (m)

A continuació se presenten las dimensions del tanc.

**h= 1,5 m**

**D= 0,75 m**

Aquestes dimensions han estat sobre dimensionades, primer, perquè el tant pulmó quedi omplert fins al 50 % de la seva capacitat total i, segon, per utilitzar unes mesures de xapa precises per tal que la construcció d'aquest tanc sigui més econòmic.

### 12.3.6.2 Disseny mecànic

El material utilitzat pel tanc serà el mateix que s'ha utilitzat en el cristal·litzador, acer inoxidable AISI 304, ja que tots dos tracten les mateixes substàncies.

Pel càlcul de l'espessor es necessari conèixer la pressió i temperatura d'operació, el diàmetre intern del tanc, el factor de soldadura y el factor de tensió màxima del material.

Per el càlcul de la pressió i temperatura de disseny s'han utilitzat les següents equacions.

$$P_{disseny} = \max\{1,1 \cdot P_{operació}, P_{trabajo} + 2\}$$

$$T_{disseny} = T_{operació} + 20^{\circ}C$$

$P_{operació}$ = 1,03 bar, en aquest valor de pressió es te en compte la carrega hidrostàtica que tal com s'ha comentat en apartats anteriors es calcula a partir de l'alçada de líquid de dins del tanc.

**$P_{disseny}$ = 3,03 bar**

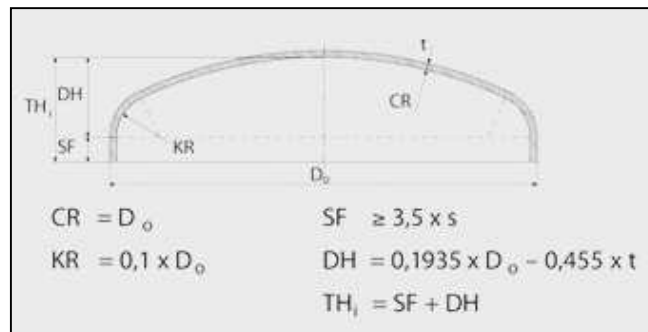
$T_{operació}$ = 65 °C

$$T_{\text{disseny}} = 85 \text{ } ^\circ\text{C}$$

### Espessor dels capçals. Càlcul a pressió interna

Els tipus capçals més utilitzats són el toriesfèric, l'hemisfèric i l'el·lipsoïdal, la seva elecció depèn de les condicions d'operació i el cost econòmic, en aquest cas s'utilitza el toriesfèric.

Aquest capçal ve definit pel radi de la corona (L) i el radi del colze (r) que es calculen respecte al diàmetre del cos, tal com indica la casa "Koenig-co" en la figura següent, extreta de la seva pàgina web.



**Figura 12.3.6.1** Esquema del fons toriesfèric per tal de determinar l'alçada del fons dels tancs.  $s=t$ .

Per tant,

$$L = D$$

$$r = 0,1 \cdot D$$

$$\frac{L}{r} = 10$$

Per una relació  $L/r$  menor de  $16^{2/3}$  l'espessor es calcula amb l'equació següent.

$$t = \frac{P \cdot L \cdot M}{2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P} + C_1 + C_2 \quad \text{Equació 12.3.6.1}$$

on:

- $t$  = espessor del fondo (mm)
- $P$  = pressió de disseny del recipient (bar)
- $M$  = factor que depèn de la relació  $L/r$ , en aquest cas igual a 1,54
- $E$  = factor de soldadura = 0,85 (radiografiat doble parcial)



- S = càrrega admissible del material (bar)
- L= radi de la corona (mm)
- C<sub>1</sub> = marge per corrosió (mm)
- C<sub>2</sub> = tolerància de fabricació (mm) = 10% de l'espessor

### **Espessor del cos del tanc. Càlcul a pressió interna**

L'equació següent permet trobar l'espessor del cos del tanc.

$$t_1 = \frac{P \cdot R_{int}}{S \cdot E - 0,6 \cdot P} + C \cdot A \quad \text{Equació 12.3.6.2}$$

on:

- t<sub>1</sub> = espessor del cos (mm)
- P = pressió de disseny del recipient (bar)
- R<sub>int</sub> = radi intern de la columna (mm)
- E = factor de soldadura = 0,85 (radiografiat doble parcial)
- S = càrrega admissible del material (bar)
- C.A = sobre espessor (mm)

La tolerància de fabricació pel cas d'un cilindre és nul·la.

### **Alçada dels capçals**

Una vegada determinats els espessors del cos, el fons i el capçal es pot determinar del capçal per determinar l'alçada total de l'equip, tal com indica la casa "Koenig-co" en la figura anterior, extreta de la seva pàgina web.

$$DH = 0,1935 \cdot D_o - 0,455 \cdot t \quad \text{Equació 12.3.6.3}$$

$$SF = 3,5 \cdot s \quad \text{Equació 12.3.6.4}$$

$$TH = SF + DH \quad \text{Equació 12.3.6.5}$$

$$E = 0,85$$

$$S \text{ (bar)} = 1296,19$$

$$\text{Espessor cos (mm)} = 10$$

$$\text{Espessor capçals (mm)} = 10$$

$$\text{Alçada capçals (m)} = 0,18$$

### 12.3.6.3 Pes del tanc

#### Pes del tanc buit

Es calcula el volum dels capçals del tanc mitjançant l'equació:

$$V_i = 0,1 \cdot (D_{tanc}^3) \quad \text{Equació 12.3.6.6}$$

Per calcular el pes dels capçals, es calcula el volum extern del capçal, mitjançant l'equació:

$$V_e = 0,1 \cdot ((D_{tanc} + t)^3) \quad \text{Equació 12.3.6.7}$$

I la resta del volum extern menys l'intern correspon al volum de la paret del capçal.

Es calcula el volum intern i extern del cos del tanc, per tal de determinar el volum de paret.

$$V_i = \pi \cdot \left(\frac{D_{tanc}}{2}\right)^2 \cdot h$$

$$V_e = \pi \cdot \left(\frac{D_{tanc} + 2 \cdot t}{2}\right)^2 \cdot h$$

I la resta del volum extern menys l'intern correspon al volum de la paret del cos.

Una vegada determinat el volum total de paret que serà igual a la suma del volum del cos mes els dos capçals, és pot calcular el pes del tanc buit.

$$Pes_{buit} = 1,1 \cdot (V_{total,paret} \cdot \rho_{material})$$

Una vegada és coneix el pes de l'equip buit es calcula el volum del tanc com la suma del volum intern del cos i els dos capçals i es pot determinar el pes del tanc ple d'aigua i en operació.

$$Pes_{tanc,aigua} = Pes_{buit} + V_{total,intern} \cdot \rho_{aigua}$$

$$Pes_{tanc,operació} = Pes_{buit} + V_{total,intern} \cdot \rho_{fluid,procès}$$

Pes tanc buit (kg) = 593,24

Pes tanc ple aigua (kg) = 1327,7

Pes tanc operació (kg) = 1253,65

### 12.3.6.4 Aïllament

Com que el tanc TP-601 assoleix temperatures molt elevades ha de ser aïllat per temes de seguretat, ja que en cas que un operari toques el tanc aquest es podria cremar. Així també s'evita que hi hagi un intercanvi de calor amb l'exterior per convecció natural del material, agafant sempre les pitjors condicions de temperatura a l'exterior de forma que el salt tèrmic entre l'interior i l'exterior sigui el més gran. Com que l'espessor dels capçals i del cos no és el mateix, s'agafa el cas més desfavorable donat per l'espessor més gran. L'espessor d'aquest aïllant es pot calcular com:

$$X = \frac{30}{3,6 \cdot \left(\frac{\Delta T}{D_{\text{ext}}}\right)^{\frac{1}{4}}}$$

on:

- X = espessor de l'aïllant (cm)
- $\Delta T$  = diferència de temperatura entre l'interior i l'exterior del recipient (pitjors condicions).
- $D_{\text{ext}}$  = diàmetre exterior del recipient (m) (espessor més desfavorable)

Per tal d'assegurar que l'aïllament sigui suficient, es duplica l'espessor de l'aïllant.

$$X = 5,59 \text{ cm}$$

Es calcula el volum de l'aïllant calculant el volum als fondos i al cos, els resultats es presenten a la taula següent:

**Taula 12.3.6.3** Càlcul del volum d'aïllant necessari en el tanc TP-601

Volum aïllant capçal (m <sup>3</sup> )	0,02
Volum aïllant cos (m <sup>3</sup> )	0,21
Volum aïllant total (m <sup>3</sup> )	0,26

<b>Tanc pulmó, TP-601</b>			
<b>Àrea</b>	600	<b>Material</b>	Acer inoxidable AISI 304
<b>Consum diari (m<sup>3</sup>/h)</b>	1,01	<b>Alçada cos cilíndric (m)</b>	1,5
<b>Temps residència (min)</b>	10	<b>Espessor cos (mm)</b>	10
<b>Capacitat (m<sup>3</sup>)</b>	0,66	<b>Tipus fons inferior</b>	Fons toriesfèric
<b>Volum ocupat (%)</b>	23,89	<b>Espessor fons inferior (mm)</b>	10
<b>Diàmetre (m)</b>	0,75	<b>Alçada fons inferior (m)</b>	0,18
<b>Alçada total (m)</b>	1,86	<b>Tipus de fons superior</b>	Fons toriesfèric
<b>T operació (°C)</b>	65	<b>Espessor fons superior (mm)</b>	10
<b>T disseny (°C)</b>	85	<b>Alçada fons superior (m)</b>	0,18
<b>P operació (bar)</b>	1,03	<b>Tipus aïllant</b>	Llana de roca
<b>P disseny (bar)</b>	3,03	<b>Gruix aïllant (cm)</b>	5,59
<b>Pes buit (kg)</b>	593,24	<b>Volum aïllant (m<sup>3</sup>)</b>	0,26
<b>Pes aigua (kg)</b>	1327,7	<b>Capacitat venteig (kg/h)</b>	
<b>Pes operació (kg)</b>	1253,65		

### 12.3.7 Tanc pulmó TP-602

El tanc pulmó TP-602 és el tanc que es troba després del condensador C-601, corresponent al condensador total de la columna de destil·lació CD-601. La funció d'aquest tanc es poder controlar la relació de reflux i acumular una quantitat de condensat necessària per la posada en marxa.

#### 12.3.7.1 Disseny funcional

Per el dimensionament d'aquest tipus de tanc un temps de residència d'uns 1 min, es considera suficient.

$$V = Q \cdot \tau \quad \text{Equació 12.3.7.1}$$

$$h = 2 \cdot D \quad \text{Equació 12.3.7.2}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V}{2 \cdot \pi}} \quad \text{Equació 12.3.7.3}$$

on:

- $\tau$  = Temps de residència (s).
- $Q$  = Caudal de d'entrada del tanc (m<sup>3</sup>/s).

- D= Diàmetre tanc (m).
- h= Alçada tanc (m)

A continuació se presenten las dimensions del tanc.

**h= 4 m**

**D= 2 m**

Aquestes dimensions han estat sobre dimensionades, primer, perquè el tanc pulmó quedi omplert fins al 50 % de la seva capacitat total i, segon, per utilitzar unes mesures de xapa precises per tal que la construcció d'aquest tanc sigui més econòmic.

### 12.3.7.2 Disseny mecànic

El material utilitzat pel tanc serà el mateix que s'ha utilitzat en a la columna, Hastelloy B-2, ja que aquest tanc pulmó s'omple amb les mateixes substàncies que aquesta columna.

Pel càlcul de l'espessor es necessari conèixer la pressió i temperatura d'operació, el diàmetre intern del tanc, el factor de soldadura y el factor de tensió màxima del material.

Per el càlcul de la pressió i temperatura de disseny s'han utilitzat les següents equacions.

$$P_{disseny} = \max\{1,1 \cdot P_{operació}, P_{trabajo} + 2\}$$

$$T_{disseny} = T_{operació} + 20^{\circ}C$$

$P_{operació}=1,02$  bar, en aquest valor de pressió es te en compte la carrega hidrostàtica que tal com s'ha comentat en apartats anteriors es calcula a partir de l'alçada de líquid de dins del tanc.

**$P_{disseny}= 3,02$  bar**

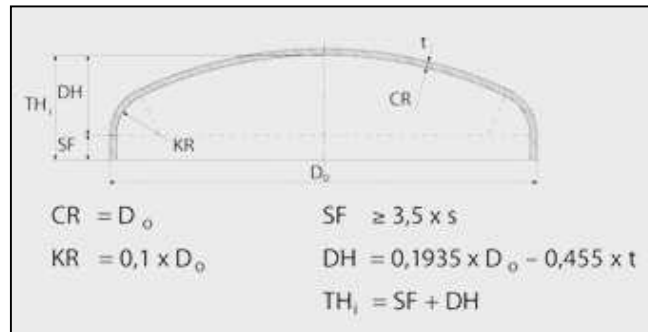
$T_{operació}=82,37$  °C

**$T_{disseny}= 102,37$  °C**

**Espessor dels capçals. Càlcul a pressió interna**

Els tipus capçals més utilitzats són el toriesfèric, l'hemisfèric i l'el·lipsoidal, la seva elecció depèn de les condicions d'operació i el cost econòmic, en aquest cas s'utilitza el toriesfèric.

Aquest capçal ve definit pel radi de la corona (L) i el radi del colze (r) que es calculen respecte al diàmetre del cos, tal com indica la casa "Koenig-co" en la figura següent, extreta de la seva pàgina web.



**Figura 12.3.7.1** Esquema del fons toriesfèric per tal de determinar l'alçada del fons dels tancs.  $s=t$ .

Per tant,

$$L = D$$

$$r = 0,1 \cdot D$$

$$\frac{L}{r} = 10$$

Per una relació  $L/r$  menor de  $16^{2/3}$  l'espessor es calcula amb l'equació següent.

$$t = \frac{P \cdot L \cdot M}{2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P} + C_1 + C_2 \quad \text{Equació 12.3.7.1}$$

on:

- $t$  = espessor del fondo (mm)
- $P$  = pressió de disseny del recipient (bar)
- $M$  = factor que depèn de la relació  $L/r$ , en aquest cas igual a 1,54
- $E$  = factor de soldadura = 0,85 (radiografiat doble parcial)
- $S$  = càrrega admissible del material (bar)
- $L$  = radi de la corona (mm)
- $C_1$  = marge per corrosió (mm)
- $C_2$  = tolerància de fabricació (mm) = 10% de l'espessor

El sobre espessor per corrosió del material és de 0,508 mm/any. Suposant que la vida útil del tanc seran 15 anys, el sobre espessor serà 7,62 mm.

### **Espessor del cos del tanc. Càlcul a pressió interna**

L'equació següent permet trobar l'espessor del cos del tanc.

$$t_1 = \frac{P \cdot R_{int}}{S \cdot E - 0,6 \cdot P} + C \cdot A \quad \text{Equació 12.3.7.2}$$

on:

- $t_1$  = espessor del cos (mm)
- P = pressió de disseny del recipient (bar)
- $R_{int}$  = radi intern de la columna (mm)
- E = factor de soldadura = 0,85 (radiografiat doble parcial)
- S = càrrega admissible del material (bar)
- C.A = sobre espessor (mm)

La tolerància de fabricació pel cas d'un cilindre és nul·la i el sobre espessor per corrosió del material és de 0,508 mm/any. Suposant que la vida útil del tanc seran 15 anys, el sobre espessor serà 7,62 mm.

### **Alçada dels capçals**

Una vegada determinats els espessors del cos, el fons i el capçal es pot determinar el capçal per determinar l'alçada total de l'equip, tal com indica la casa "Koenig-co" en la figura anterior, extreta de la seva pàgina web.

$$DH = 0,1935 \cdot D_o - 0,455 \cdot t \quad \text{Equació 12.3.1.3}$$

$$SF = 3,5 \cdot s \quad \text{Equació 12.3.1.4}$$

$$TH = SF + DH \quad \text{Equació 12.3.1.5}$$

$$E = 0,85$$

$$S \text{ (bar)} = 7583,40$$

$$\text{Espessor cos (mm)} = 10$$

$$\text{Espessor capçals (mm)} = 10$$

$$\text{Alçada capçals (m)} = 0,41$$

### 12.3.7.3 Pes del tanc

#### Pes del tanc buit

Es calcula el volum dels capçals del tanc mitjançant l'equació:

$$V_i = 0,1 \cdot (D_{tanc}^3) \quad \text{Equació 12.3.7.6}$$

Per calcular el pes dels capçals, es calcula el volum extern del capçal, mitjançant l'equació:

$$V_e = 0,1 \cdot ((D_{tanc} + t)^3) \quad \text{Equació 12.3.7.7}$$

I la resta del volum extern menys l'intern correspon al volum de la paret del capçal.

Es calcula el volum intern i extern del cos del tanc, per tal de determinar el volum de paret.

$$V_i = \pi \cdot \left(\frac{D_{tanc}}{2}\right)^2 \cdot h$$

$$V_e = \pi \cdot \left(\frac{D_{tanc} + 2 \cdot t}{2}\right)^2 \cdot h$$

I la resta del volum extern menys l'intern correspon al volum de la paret del cos.

Una vegada determinat el volum total de paret que serà igual a la suma del volum del cos més els dos capçals, és pot calcular el pes del tanc buit, sobre dimensionant-lo un 10 % per tal de tenir en compte el pes de les soldadures, cargols, brides, boques d'home i similars.

$$Pes_{buit} = 1,1(V_{total,paret} \cdot \rho_{material})$$

Una vegada és coneix el pes de l'equip buit, es calcula el volum del tanc com la suma del volum intern del cos i els dos capçals i es pot determinar el pes del tanc omplert d'aigua i en operació.

$$Pes_{tanc,aigua} = Pes_{buit} + V_{total,intern} \cdot \rho_{aigua}$$

$$Pes_{tanc,operació} = Pes_{buit} + V_{total,intern} \cdot \rho_{fluid,procès}$$

Pes tanc buit (kg) = 5369

Pes tanc ple aigua (kg) = 19007

Pes tanc operació (kg) = 16213



### 12.3.7.4 Aïllament

Com que el tanc TP-602 assoleix temperatures bastant altes, ha de ser aïllat per temes de seguretat, ja que en cas que un operari toques el tanc, es podria cremar. Així també s'evita que hi hagi un intercanvi de calor amb l'exterior per convecció natural del material, agafant sempre les pitjors condicions de temperatura a l'exterior de forma que el salt tèrmic entre l'interior i l'exterior sigui el més gran. Com que l'espessor dels capçals i del cos no és el mateix, s'agafa el cas més desfavorable donat per l'espessor més gran. L'espessor d'aquest aïllant es pot calcular com:

$$X = \frac{30}{3,6 \cdot \left(\frac{\Delta T}{D_{\text{ext}}}\right)^{\frac{1}{4}}}$$

on:

- X = espessor de l'aïllant (cm)
- $\Delta T$  = diferència de temperatura entre l'interior i l'exterior del recipient (pitjors condicions).
- $D_{\text{ext}}$  = diàmetre exterior del recipient (m) (espessor més desfavorable)

Per tal d'assegurar que l'aïllament sigui suficient, es duplica l'espessor de l'aïllant.

$$X = 6,68 \text{ cm}$$

Es calcula el volum de l'aïllant calculant el volum als fondos i al cos, els resultats es presenten a la taula segent:

**Taula 12.3.7.3** Càlcul del volum d'aïllant necessari en el tanc.

Volum aïllant capçal (m <sup>3</sup> )	0,17
Volum aïllant cos (m <sup>3</sup> )	1,75
Volum aïllant total (m <sup>3</sup> )	2,10

..

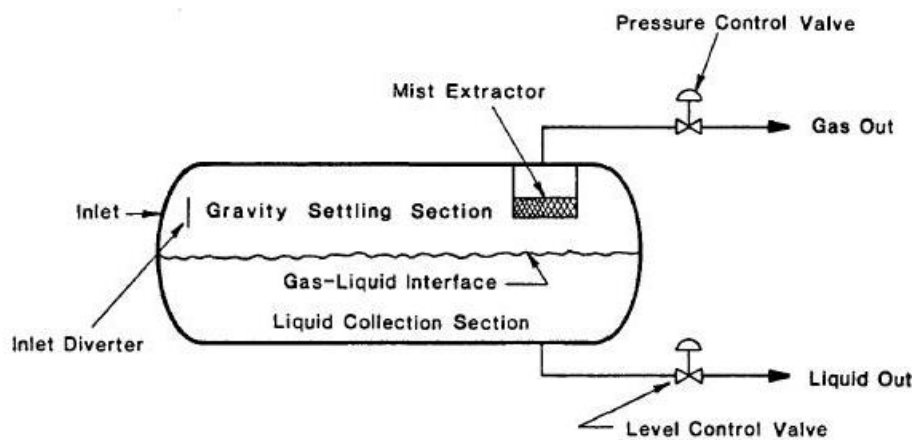
<b>Tanc pulmó, TP-602</b>			
<b>Àrea</b>	600	<b>Material</b>	HASTELLOY B-2
<b>Consum diari (m<sup>3</sup>/h)</b>	1,46	<b>Alçada cos cilíndric (m)</b>	4
<b>Temps residència (h)</b>	4	<b>Espessor cos (mm)</b>	10
<b>Capacitat (m<sup>3</sup>)</b>	12,57	<b>Tipus fons inferior</b>	Fons toriesfèric
<b>Volum ocupat (%)</b>	47,43	<b>Espessor fons inferior (mm)</b>	10
<b>Diàmetre (m)</b>	2	<b>Alçada fons inferior (m)</b>	0,42
<b>Alçada total (m)</b>	4,84	<b>Tipus de fons superior</b>	Fons toriesfèric
<b>T operació (°C)</b>	82,37	<b>Espessor fons superior (mm)</b>	10
<b>T disseny (°C)</b>	102,37	<b>Alçada fons superior (m)</b>	0,42
<b>P operació (bar)</b>	1,02	<b>Tipus aïllant</b>	Llana de roca
<b>P disseny (bar)</b>	3,02	<b>Gruix aïllant (cm)</b>	6,68
<b>Pes buit (kg)</b>	5369	<b>Volum aïllant (m<sup>3</sup>)</b>	2,10
<b>Pes aigua (kg)</b>	19007	<b>Capacitat venteig (kg/h)</b>	
<b>Pes operació (kg)</b>	16213		

## 12.4 TANC SEPARADOR DE FASES

### 12.4.1 Introducció

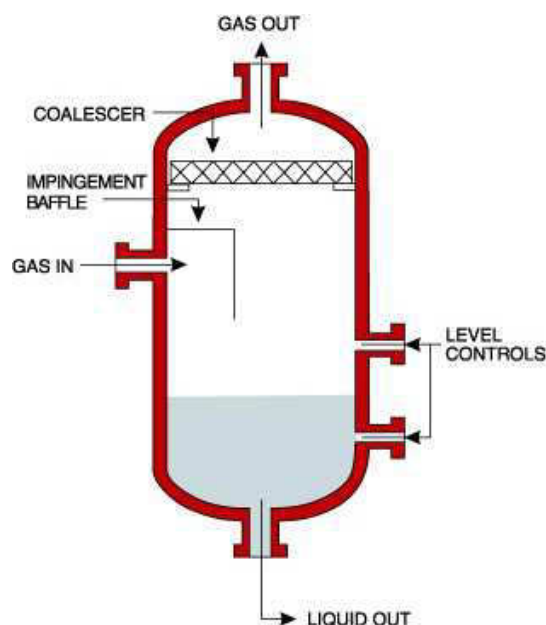
El tanc separador de fases s'utilitza industrialment per separar mescles vapor-líquid. Existeixen tres tipus de separadors segons la seva forma, tal com es mostra a continuació, en aquest cas s'utilitza un separador vertical:

- Separador horitzontal, presentat a la figura següent.



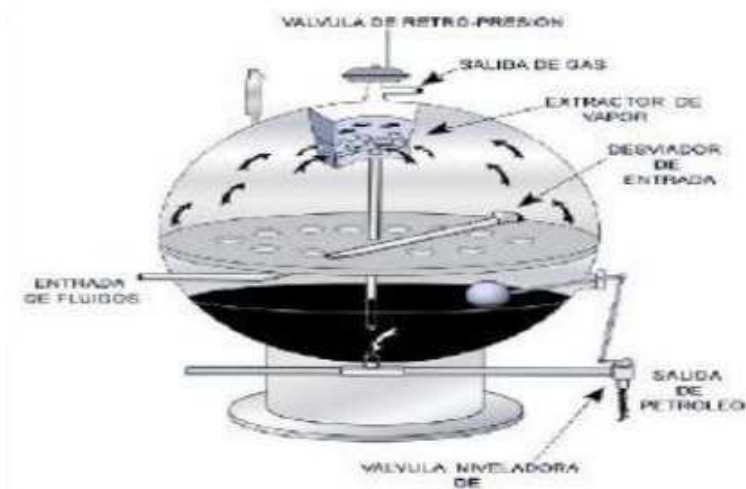
*Figura 12.4.1.1. Esquema del separador gas-líquid horitzontal.*

- Separador vertical, presentat a la figura següent.



*Figura 12.4.1.2. Esquema del separador gas-líquid vertical.*

- Separador esfèric, presentat a la figura 12.4.1.3.



**Figura 12.4.1.3.** Esquema del separador gas-líquid esfèric.

En aquests dispositius la separació de fases es dona principalment pel canvi de velocitat que experimenta el fluid al entrar al tanc i per l'acció de la gravetat. Al principi les partícules de líquid que se separen cauen a contra flux del gas per gravetat fins que la força d'arrossegament s'iguali amb la gravitacional. Les partícules continuen caient assolint una velocitat constant anomenada velocitat terminal.

### 12.4.2 Disseny funcional

Per al dimensionament del tanc separador vertical s'utilitza l'article bibliogràfic "*Design Two-Phase Separator Within the Right Limits*". A la figura següent es presenta l'esquema de la columna.

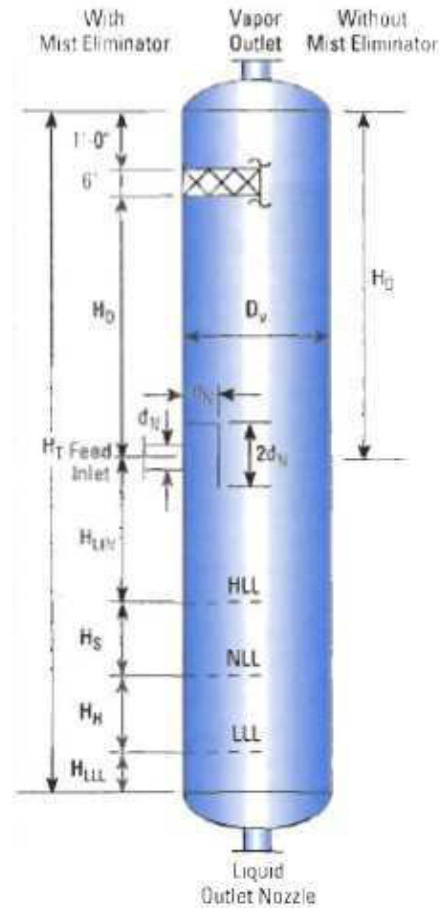


Figura 12.4.2.1 Esquema de la columna de separació de fases vertical.

Primerament, es calcula la velocitat terminal de vapor ( $U_T$ ), segons l'equació 12.4.2.1.

$$U_T = K \cdot \left( \frac{\rho_L - \rho_V}{\rho_V} \right)^{1/2} \quad \text{Equació 12.4.2.1}$$

on,

- K: constant terminal de velocitat (m/s), que es troba utilitzant el procediment presentat a continuació:

Mist Eliminator	$K = 0.1821 + 0.0029P + 0.0460 \ln(P)$	$P, \text{psia}$
$1 \leq P \leq 15$	$K = 0.35$	
$40 \leq P \leq 5,500$	$K = 0.430 - 0.023 \ln(P)$	

En aquest cas es té una pressió d'operació de 3 atm, per tant 44,088 psia. S'utilitza l'equació pertinent segons la pressió per trobar el valor de K.

$$K = 0,430 - 0,023 \cdot \ln(P) = 0,430 - 0,023 \cdot \ln(44,088 \text{ psia}) = 0,3429 \text{ ft/s} \\ = 0,1045 \text{ m/s}$$

- $\rho_L$ : densitat del líquid ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ )= 745,7  $\text{Kg}/\text{m}^3$
- $\rho_V$ : densitat del vapor ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ )= 8,966  $\text{Kg}/\text{m}^3$

Per tant,

$$U_T = 0,1045 \frac{m}{s} \cdot \left( \frac{745,7 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} - 8,966 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}{8,966 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}} \right)^{\frac{1}{2}} = 0,947 \text{ m/s}$$

Per a dissenys conservatius s'escull  $U_V = 0,75 \cdot U_T = 0,75 \cdot 0,947 \frac{m}{s} = 0,711 \text{ m/s}$ , on  $U_V$  correspon a la velocitat del vapor.

Seguidament es calcula el cabal de vapor  $Q_V$  mitjançant l'equació 12.4.2.2.

$$Q_V = \frac{W_V}{\rho_V} \quad \text{Equació 12.4.2.2}$$

on,

- $W_V$ : cabal màssic de vapor ( $\text{Kg}/\text{s}$ ) = 576,5  $\text{Kg}/\text{h}$  = 0,160  $\text{Kg}/\text{s}$

Per tant,

$$Q_V = \frac{0,160 \text{ Kg/s}}{8,966 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}} = 0,0179 \text{ m}^3/\text{s}$$

Es calcula el diàmetre interior del tanc:

$$D_V = \left( \frac{4 \cdot Q_V}{\pi \cdot U_V} \right)^{1/2} = \left( \frac{4 \cdot 0,0179 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi \cdot 0,711 \text{ m/s}} \right)^{1/2} = 0,1789 \text{ m}$$

Com que hi ha un eliminador de boires, s'afegeixen 5 polzades al diàmetre tal com indica el procediment. Per tant s'obté  $D = 0,3059 \text{ m}$ .

Es calcula el cabal de líquid tal com indica l'equació 12.4.2.3.

$$Q_L = \frac{W_L}{\rho_L} \quad \text{Equació 12.4.2.3}$$

on,

- $W_L$ : cabal màssic de líquid ( $\text{Kg}/\text{s}$ ) = 405,1  $\text{Kg}/\text{h}$  = 0,1125  $\text{Kg}/\text{s}$

Per tant,

$$Q_L = \frac{0,1125 \text{ Kg/s}}{745,7 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}} = 0,000151 \text{ m/s}$$

Es selecciona el “holdup time  $T_H$ ” segons la taula 12.4.2.1 i es calcula el “holdup volume  $V_H$ ” segons l’equació 12.4.2.4.

**Taula 12.4.2.1.** Selecció del “holdup time” i del “surge time”.

Services	Holdup Times (NLL-HLL) min.	Surge Time (NLL-LLL) min.
A. Unit Feed Drum	10	5
B. Separators		
1. Feed to column	5	3
2. Feed to other drum or tankage		
a) with pump or through exchanger	5	2
b) without pump	2	1
3. Feed to fired heater	10	3

Obtenint un “holdup time” de 5 min ja que es té un separador que és aliment d’una columna.

$$V_H = T_H \cdot Q_L \quad \text{Equació 12.4.2.4}$$

$$V_H = 5 \text{ min} \cdot \frac{60 \text{ seg}}{1 \text{ min}} \cdot 0,000151 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 0,0453 \text{ m}$$

Es selecciona el “surge time  $T_S$ ” segons la taula 12.4.2.1 i es calcula el “surge volume  $V_S$ ” segons l’equació 12.4.2.5.

Obtenint un “surge time” de 3 min ja que es té un separador que és aliment d’una columna.

$$V_S = T_S \cdot Q_L \quad \text{Equació 12.4.2.5}$$

$$V_S = 3 \text{ min} \cdot \frac{60 \text{ seg}}{1 \text{ min}} \cdot 0,000151 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 0,0272 \text{ m}$$

S’obté l’alçada de líquid inferior  $H_{LLL}$  de la taula 12.4.2.2.

**Taula 12.4.2.2.** Selecció de l'alçada de líquid inferior al tanc separador.

Vessel diameter	Vertical LLL		Horizontal LLL
	< 300 psia	> 300 psia	
≤ 4 ft	15 in.	6 in.	9 in.
6 ft	15 in.	6 in.	10 in.
8 ft	15 in.	6 in.	11 in.
10 ft	6 in.	6 in.	12 in.
12 ft	6 in.	6 in.	13 in.
16 ft	6 in.	6 in.	15 in.

Obtenint una  $H_{LLL}$  de 15 polzades segons els paràmetres del tanc, corresponent a 0,381 metres.

Es calcula normal de líquid  $H_H$  a partir de l'equació 12.4.2.6.

$$H_H = \frac{V_H}{\left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot D_V^2} \quad \text{Equació 12.4.2.6}$$

$$H_H = \frac{0,0453 \text{ m}}{\left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot 0,1789^2 \text{ m}^2} = 1,8011 \text{ m}$$

Es calcula el nivell de líquid superior segons l'equació 12.4.2.7.

$$H_S = \frac{V_S}{\left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot D_V^2} \quad \text{Equació 12.4.2.7}$$

$$H_S = \frac{0,0272 \text{ m}}{\left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot 0,1789^2 \text{ m}^2} = 1,0807 \text{ m}$$

Es calcula el valor de  $H_{LIN}$  presentant a la figura 12.4.2.2, segons l'equació 12.4.2.8.

$$H_{LIN} = 12 \cdot 0,0254 + \frac{1}{2} \cdot d_N \quad \text{Equació 12.4.2.8}$$

on  $d_N$  es calcula amb les equacions indicades a continuació:

$$d_N \geq \left( \frac{4Q_m}{\pi 60 \sqrt{\rho_m}} \right)^{1/2}, \text{ ft}$$

$$Q_m = Q_i + Q_v, \text{ ft}^3/\text{s}$$

$$\rho_m = \rho_l \lambda + \rho_v (1 - \lambda), \text{ lb}/\text{ft}^3$$

$$\lambda = \frac{Q_i}{Q_i + Q_v}$$

Obtenint un  $d_N = 0,0386$  metres i  $H_{LIN} = 0,3241$  metres.



Es calcula segons l'equació 12.4.2.9.

$$H_D = 24 \cdot 0,0254 + 1/2 \cdot d_N \quad \text{Equació 12.4.2.9}$$

Obtenint un  $H_D = 0,6289$  metres.

S'afegeixen 6 polzades a l'alçada per a l'eliminador de boires i 1 polzada com espai entre l'eliminador i la part superior de la columna.

S'obté una alçada total de **4,3935 metres**.

En aquest cas, s'obté una relació alçada/diàmetre de 14,36, i segons la bibliografia aquest hauria de estar entre 3 i 5. Per tant, es decideix augmentar el diàmetre fins a 0,527 metres, obtenint una relació de 3,96. Els resultats es presenten a la taula 12.4.2.3.

**Taula 12.4.2.3.** Paràmetres obtinguts pel tanc imposant un diàmetre de 0,527 metres.

P (atm)	3
P (psi)	44,088
K (m/s)	0,1045
pV (Kg/m3)	8,966
pL (Kg/m3)	745,7
UT (m/s)	0,947
UV (m/s)	0,711
Wv (Kg/h)	576,5
Qv (m3/s)	0,0179
Dv (m)	0,4000
D (m)	<b>0,5270</b>
WL (Kg/h)	405,1
QL (m3/s)	0,000151
TH (min)	5
VH (m3)	4,53E-02
TS (min)	3
VS (m3)	2,716E-02
HLLL (m)	0,381
HH (m)	0,3603
HS (m)	0,2162
dN (m)	0,0386
HLIN (m)	0,3241
HD (m)	0,6289
Mist (m)	0,1524
Espai (m)	0,0254
HTOTAL (m)	<b>2,0882</b>

### 12.4.3 Disseny mecànic

El disseny mecànic del tanc separador està fet segons la normativa ASME per recipients a pressió, tenint en compte les dimensions obtingudes en l'apartat anterior. El tanc disposa d'un cos cilíndric amb dos capçals toriesfèrics.

#### Material

Per decidir quin és el millor material pel tanc, cal tenir en compte les característiques del fluid de procés, en la mescla que passa per l'interior del tanc hi ha HCl i com en els casos d'equips en condicions similars, el material escollit ha estat Hastelloy B-2.

#### Pressió de disseny

La pressió de disseny pel tanc es calcula aplicant la norma següent:

$$Pressió\ de\ disseny = \max(1,1 \cdot P.\ operació, P.\ operació + 2bar)$$

$$Pressió\ de\ disseny = \max(3,3bar, 5bar) = 5\ bar$$

Es calcula la contribució de pressió associada a l'alçada de líquid, pressió de càrrega hidrostàtica:

$$P.\ càrrega\ hidrostàtica = g * \rho * h = 9,81 \cdot 745,8 \cdot 0,36 = 0,26 \cdot 10^5\ \frac{kg}{m \cdot s^2}$$

$$P.\ càrrega\ hidrostàtica = 0,26\ bar$$

Pressió de disseny: 5,26 bar.

#### Temperatura de disseny

La temperatura de disseny es considera 20 graus superior a la temperatura d'operació:

$$Temperatura\ d'operació = 138\ ^\circ C$$

La temperatura de disseny:

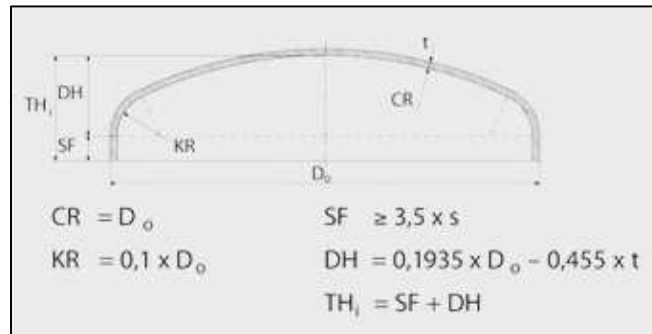
$$Temperatura\ de\ disseny = T.\ operació + 20^\circ C$$

$$Temperatura\ de\ disseny = \mathbf{158\ ^\circ C}$$

**Espessor del capçal. Càlcul a pressió interna**

Els tipus capçals més utilitzats són el toriesfèric, l'hemisfèric i l'el·lipsoidal, la seva elecció depèn de les condicions d'operació i el cost econòmic, en aquest cas s'utilitza el toriesfèric.

Aquest capçal ve definit pel radi de la corona (L) i el radi del colze (r) que es calculen respecte al diàmetre del cos, tal com indica la casa "Koenig-co" en la figura següent, extreta de la seva pàgina web.



**Figura 12.4.3.1.** Esquema del fons toriesfèric

Per tant,

$$L = D = 527 \text{ mm}$$

$$r = 0,1 \cdot D = 0,1 \cdot 527 \text{ mm} = 52,7 \text{ mm}$$

$$\frac{L}{r} = 10$$

Per una relació L/r menor de  $16^{2/3}$  l'espessor es calcula amb l'equació :

$$t = \frac{P \cdot L \cdot M}{2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P} + C_1 + C_2 \quad \text{Equació 12.4.3.1}$$

on:

- t = espessor del fondo (mm)
- P = pressió de disseny del recipient (bar) = 5,26
- M = factor que depèn de la relació L/r, en aquest cas igual a 1,54
- E = factor de soldadura = 0,85 (radiografiat doble parcial)
- S = càrrega admissible del material (bar) = 7583,4 bar
- L = radi de la corona (mm) = 527

El sobre espessor per corrosió del material és de 0,508mm/any com a màxim, suposant que la vida útil del tanc seran 15 anys, el sobreespessor serà 7,62 mm.

$C_1 = \text{marge per corrosió (mm)} = 7,62 \text{ mm}$

$C_2 = \text{tolerància de fabricació (mm)} = 10\% \text{ de l'espessor}$

El resultat és de 7,95 mm, però donat que els espessors estàndards de xapa a Europa són: 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 15, 20..., s'agafa un espessor pel capçal de 10 mm.

***espessor del capçal = 10 mm***

### **Espessor del cos del tanc. Càlcul a pressió interna**

L'equació 12.4.3.2 permet trobar l'espessor del cos del tanc.

$$t_1 = \frac{P \cdot R_{int}}{S \cdot E - 0,6 \cdot P} + C \cdot A \quad \text{Equació 12.4.3.2}$$

on:

- $t_1 = \text{espessor del cos (mm)}$
- $P = \text{pressió de disseny del recipient (bar)} = 5,26$
- $R_{int} = \text{radi intern de la columna (mm)} = 263$
- $E = \text{factor de soldadura} = 0,85 \text{ (radiografiat doble parcial)}$
- $S = \text{càrrega admissible del material (bar)} = 7583,4 \text{ bar}$
- $C \cdot A = \text{sobreespessor (mm)}$

La tolerància de fabricació pel cas d'un cilindre és nul·la i el sobre espessor per corrosió del material és de 0,508mm/any com a màxim, suposant que la vida útil del tanc seran 15 anys el sobreespessor serà 7,62 mm.

El resultat és de 7,92 mm, però donat que els espessors estàndards de xapa a Europa són: 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 15, 20..., s'agafa un espessor del cos de **10 mm**.

### **Alçada del capçal**

Una vegada determinats els espessors del cos, el fons i el capçal es pot determinar l'alçada del capçal per calcular l'alçada total de l'equip, tal com indica la casa "Koenig-co" en la figura 12.4.3.3, extreta de la seva pàgina web.

$$DH = 0,1935 \cdot D_o - 0,455 \cdot t \quad \text{Equació 12.4.3.3}$$

$$SF = 3,5 \cdot s \quad \text{Equació 12.4.3.4}$$

$$TH = SF + DH \quad \text{Equació 12.4.3.5}$$

Es calcula l'alçada del fons torisfèric sense tenir en compte l'espessor de la xapa, tal com s'indica a continuació:

$$DH = 0,1935 \cdot 527 \text{ mm} - 0,455 \cdot 10 \text{ mm} = 97,42 \text{ mm}$$

$$SF = 3,5 \cdot 10 \text{ mm} = 35 \text{ mm}$$

$$TH = 35 \text{ mm} + 97,42 \text{ mm} = 132,42 \text{ mm}$$

Per tant, l'alçada del tanc sense l'espessor és de **2220,42 mm**.

### Pes del tanc buit

Es calcula el volum del capçal del tanc mitjançant l'equació:

$$Vi = 0,1 \cdot (D_{tanc})^3 \quad \text{Equació 12.4.3.6}$$

Per tant,

$$Vi = 0,1 \cdot (527 \text{ mm})^3 = 0,014 \text{ m}^3$$

Per calcular el pes dels capçals, es calcula el volum extern del capçal, mitjançant l'equació 12.4.3.7.

$$Ve = 0,1 \cdot ((D_{tanc} + t))^3 \quad \text{Equació 12.4.3.7}$$

Per tant,

$$Ve = 0,1 \cdot (527 \text{ mm} + 2 \cdot 10 \text{ mm})^3 = 0,016 \text{ m}^3$$

Per tant, la resta correspon al volum de la paret del capçal:

$$V_{\text{paret, capçal}} = 0,016 \text{ m}^3 - 0,014 \text{ m}^3 = 0,002 \text{ m}^3$$

Es calcula el volum intern i extern del cos del tanc, per tal de determinar el volum de paret.

$$Vi = \pi \cdot \left(\frac{D_{tanc}}{2}\right)^2 \cdot h = \pi \cdot \left(\frac{527 \text{ mm}}{2}\right)^2 \cdot 2088 \text{ mm} = 0,455 \text{ m}^3$$

$$Ve = \pi \cdot \left(\frac{D_{tanc} + 2 \cdot t}{2}\right)^2 \cdot h = \pi \cdot \left(\frac{527 + 2 \cdot 15}{2}\right)^2 \cdot 2088 = 0,509 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{paret, cos}} = 0,509 \text{ m}^3 - 0,455 \text{ m}^3 = 0,054 \text{ m}^3$$

Per tant, el volum total de la paret del tanc és de **0,056 m<sup>3</sup>**.

Sabent que la densitat del Hastelloy B2 és de  $9220 \text{ Kg/m}^3$ , es pot calcular el pes del tanc buit, tal com s'indica a continuació sobredimensionant un 10 % per tenir en compte el pes de les soldadures, connexions amb canonades, boques d'home, etc.

$$Pes_{buit} = 1,1 \cdot (0,056 \text{ m}^3 \cdot \frac{9220 \text{ Kg}}{1 \text{ m}^3}) = 565,73 \text{ Kg}$$

### **Pes del tanc ple d'aigua**

Es calcula el volum del tanc sumant el volums del capçal i el cos:

$$V_{\text{tanc}} = 2 \cdot 0,014 \text{ m}^3 + 0,455 \text{ m}^3 = 0,483 \text{ m}^3$$

Per tant, amb la densitat de l'aigua i el pes del tanc buit es pot calcular el pes del tanc amb aigua:

$$Pes_{\text{tanc aigua}} = 565,73 \text{ Kg} + 0,483 \text{ m}^3 \cdot \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ m}^3} = 1.048,73 \text{ Kg}$$

### **Pes del tanc en operació**

A partir de la densitat mitjana del líquid es calcula el pes del tanc en operació ja que es decideix menysprear el pes del gas:

$$Pes_{\text{tanc operació}} = 565,73 \text{ Kg} + 0,072 \text{ m}^3 \cdot \frac{745,7 \text{ Kg}}{1 \text{ m}^3} = 619,78 \text{ Kg}$$

*Taula 12.4.3.1 Resum de dades de disseny de TS-301*

<b>Tanc separador TS-301</b>			
<b>Volum (m<sup>3</sup>)</b>	0,483	<b>Alçada cos cilíndric (m)</b>	2,09
<b>Diàmetre (m)</b>	0,527	<b>Espessor cos (mm)</b>	10
<b>Alçada total (m)</b>	2,22	<b>Tipus de capçals</b>	torisfèrics
<b>T operació (°C)</b>	138	<b>Espessor dels capçals (mm)</b>	10
<b>T disseny (°C)</b>	158	<b>Alçada dels capçals (m)</b>	0,32
<b>P operació (bar)</b>	3	<b>Pes buit (kg)</b>	565
<b>P disseny (bar)</b>	5,26	<b>Pes aigua (kg)</b>	1.048
<b>Material</b>	Hastelloy B-2	<b>Pes operació (kg)</b>	619,78

## 12.5 SITJES D'EMMAGATZEMATGE

### 12.5.1 Sitja d'emmagatzematge d' 1-naftol

L' 1- naftol és un dels reactius necessaris en la planta, concretament per dur a terme la reacció de formació de Carbaril. S'emmagatzema en estat sòlid i a temperatura ambient i arriba a la planta en big-bags de 1000Kg.

#### 12.5.1.1 Disseny funcional

Aquesta matèria s'emmagatzema a les sitges, S-101 i S-102, a l'àrea 100. A una temperatura de 25 °C i a 1 bar de pressió.

En primer s'ha de determinar el volum de naftol que es vol tenir emmagatzemat a la planta, tenint en compte que aquest és necessari per la reacció 3 i que arriba a la planta en sacs de 1000 kg des d'una planta propera, es fixa un temps d'stock d'uns 7 dies per tal de tenir uns dies d'autonomia en cas de que es donés qualsevol problema en el subministrament. Per tant, a partir d'aquest temps d'stock i el consum diari de naftol:

$$V_{1-naftol} = Q_v \cdot t_{stock} = 173 \text{ m}^3$$

A partir d'aquest volum es decideix treballar amb sitges de 100 m<sup>3</sup>, tenint en compte que només es podran omplir fins al 80% del seu volum. I es calcula el nombre de sitges que seran necessàries per emmagatzemar tota la quantitat de carbaril produïda.

$$N^{\circ} \text{ sitges} = \frac{V_{carbaril}}{V_{1sitja} \cdot 0,8} = \frac{173}{100 \cdot 0,8} = 2,16 \approx 2 \text{ sitges}$$

Una vegada es coneix el numero de sitges es pot calcular el percentatge de volum ocupat per cadascuna.

$$\% \text{ volum ocupat} = \frac{V_{carbaril}}{N^{\circ} \text{ sitges} \cdot V_{1sitja}} \cdot 100 = \frac{173}{2 \cdot 100} \cdot 100 = 85,86 \%$$

També cal determinar la quantitat de sacs diaris que s'han de demanar i els camions diaris que han de venir a descarregar. Tenint en compte que els sacs tenen una capacitat de 1000 kg i els camions transporten 25000 kg.

$$N_{camions} = \frac{27057 \frac{kg}{dia}}{25000 \frac{kg}{camió}} = 1,08 \text{ camions}/dia \approx 1 \text{ camió}/dia$$

$$N_{sacs} = \frac{27057 \frac{kg}{dia}}{1000 \frac{kg}{sac}} = 27,057 \text{ sacs}/dia \approx 28 \text{ sacs}/dia$$

### 12.5.1.2 Dimensionament

Un cop conegut el volum de la sitja es determinen les seves dimensions. Aquesta sitja consta d'un cos cilíndric, d'un capçal inferior cònic i d'una tapa plana com a capçal superior.

$$V_{sitja} = V_{cilindre} + V_{con}$$

$$V_{cilindre} = \pi \frac{D^2}{4} H_{cilindre}$$

$$H_{cilindre} = 1.5 D$$

$$V_{con} = \pi \frac{D^2}{12} H_{con}$$

$$H_{con} = \frac{D}{2 \cdot \tan(\alpha)}$$

Es considera que el valor d' $\alpha$ , correspon a l'angle d'inclinació del con respecte eix horitzontal, i es pren un valor de  $45^\circ$ . Una vegada resoltes les equacions anteriors, s'obtenen els següents resultats.

**Taula 12.5.1.1** Valors dimensionament sitges d'emmagatzematge del carbaril

Paràmetre	Valor
$V_{sitja}$ (m <sup>3</sup> )	100
D (m)	4,3
$H_{cilindre}$ , (m)	6,5
$H_{con}$ , (m)	1,3
$V_{cilindre}$ , (m)	94,39
$V_{con}$ , (m)	6,29
$H_{total,sitja}$ (m)	7,8



### 12.5.1.3 Disseny mecànic

El disseny mecànic de les sitges d'emmagatzematge d'1-naftol segueix la normativa ASME per a recipients a pressió. Considerant les dimensions del cos de l'apartat anterior.

#### Material

El material utilitzat per fer les sitges serà d'acer inoxidable 316L, ja que és un material resistent a la corrosió i als canvis bruscos de temperatura.

#### Pressió de disseny

La pressió de disseny del tanc es calcula aplicant la norma següent:

$$Pressió\ de\ disseny = \max(1,1 \cdot P.\ operació, P.\ operació + 2bar)$$

$$Pressió\ de\ disseny = \max(1,804\ bar, 3,64bar) = 3,64\ bar$$

Per saber la pressió d'operació es calcula la pressió que exerceix el sòlid, anomenada càrrega hidrostàtica, i se li afegeix la pressió que de l'interior de la sitja.

$$P_{càrrega\ hidrostàtica} = g * \rho * h_{sòlid} = 9,81 \cdot 1095,4 \cdot 5,95 = 0,64 \cdot 10^5\ kg/m \cdot s^2$$

$$P_{càrrega\ hidrostàtica} = 0,64\ bar$$

$$h_{sòlid} = H_{cilindre} = \frac{(100\ m^2 \cdot 0,85)}{\pi \frac{4,3^2}{4}} = 5,95\ m$$

Pressió operació = 1 bar.

Pressió de disseny = **3,64 bar**.

#### Temperatura de disseny

En aquest cas la temperatura de disseny ve donada per la temperatura d'operació i un factor de seguretat de 20 graus.

Temperatura d'operació = 25 °C

La temperatura de disseny ve donada per:

$$Temperatura\ de\ disseny = T.\ operació + 20°C$$

Temperatura de disseny = **45 °C**

**Espessor del cos cònic. Càlcul a pressió interna**

L'equació 12.5.1.1 permet trobar l'espessor del cos del cònic.

$$t_1 = \frac{P \cdot D}{2 \cdot \cos(\alpha) \cdot (S \cdot E - 0,6 \cdot P)} + C.A \quad \text{Equació 12.5.1.1}$$

on:

- $t_1$  = espessor del cos (mm)
- P = pressió de disseny del recipient (bar) = 3,64
- D= diàmetre intern de la sitja (mm) = 4300
- $\alpha$ = angle d'inclinació del con respecte l'eix horitzontal= 45°
- E = factor de soldadura = 0,85 (radiografiat doble parcial)
- S = càrrega admissible del material (bar) = 1082,46
- C.A = sobreessessor (mm)

La tolerància de fabricació pel cas d'un cilindre és nul·la i el sobreessessor per corrosió del material és de 0,5 mm/any, suposant que la vida útil del tanc seran 15 anys el sobreessessor serà 7,5 mm.

El resultat és de 23,73 mm, però donat que els espessors estàndards de xapa a Europa són: 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 15, 20..., s'agafa un espessor del cos de 25 mm.

$$\text{espessor dels cos cònic} = 25 \text{ mm}$$

**Espessor del cos cilíndric. Càlcul a pressió interna**

L'equació 12.5.1.2 permet trobar l'espessor del cos del cilíndric.

$$t_1 = \frac{P \cdot R_{int}}{S \cdot E - 0,6 \cdot P} + C.A \quad \text{Equació 12.5.1.2}$$

on:

- $t_1$  = espessor del cos (mm)
- P = pressió de disseny del recipient (bar) = 3,64
- $R_{int}$  = radi intern de la columna (mm) = 2150
- E = factor de soldadura = 0,85 (radiografiat doble parcial)
- S = càrrega admissible del material (bar) = 1082,46
- C.A = sobreessessor (mm)

La tolerància de fabricació pel cas d'un cilindre és nul·la i el sobreessor per corrosió del material és de 0,5 mm/any, suposant que la vida útil del tanc seran 15 anys el sobreessor serà 7,5 mm.

El resultat és de 16,03 mm, però donat que els espessors estàndards de xapa a Europa són: 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 15, 20..., s'agafa un espessor del cos de **20 mm**.

La xapa per a fabricar la sitja es comprà del mateix gruix pels capçals i pels dos cossos, l'espessor del cos cònic és de 25 mm i per tant el cos cilíndric tindrà el mateix espessor.

$$\text{espessor dels cos cilíndric} = 25 \text{ mm}$$

#### **Espessor del capçal superior. Càlcul a pressió interna**

El capçal superior consta d'una tapa circular plana i es comprarà una xapa amb el mateix espessor que la del cos.

$$\text{espessor tapa plana} = 25 \text{ mm}$$

#### **12.5.1.4 Pes de la sitja**

##### **Pes del tanc buit**

Es calcula el volum intern del cos cònic de la sitja mitjançant l'equació 12.5.1.3.

$$V_i = \pi \frac{D^2}{12} H_{con} \quad \text{Equació 12.5.1.3}$$

Per tant,

$$V_i = \pi \frac{4,3^2}{12} \cdot 1,3 = 6,29 \text{ m}^3$$

Per calcular el pes dels capçals, es calcula el volum extern del capçal, mitjançant l'equació 12.5.1.4.

$$V_e = \pi \frac{(D+2 \cdot t)^2}{12} H_{con} \quad \text{Equació 12.5.1.4}$$

Per tant,

$$V_e = \pi \frac{(4,3 + 2 \cdot 0,025)^2}{12} \cdot 1,3 = 6,44 \text{ m}^3$$

La diferència correspondrà al volum de la paret del capçal:

$$V_{\text{paret, cos cònic}} = 6,44 \text{ m}^3 - 6,29 \text{ m}^3 = 0,15 \text{ m}^3$$

Es calcula el volum intern i extern del cos cilíndric de la sitja, per tal de determinar el volum de paret.

$$V_i = \pi \cdot \left(\frac{D_{tanc}}{2}\right)^2 \cdot h = \pi \cdot \left(\frac{4300 \text{ mm}}{2}\right)^2 \cdot 6500 \text{ mm} = 94,39 \text{ m}^3$$

$$V_e = \pi \cdot \left(\frac{D_{tanc} + 2 \cdot t}{2}\right)^2 \cdot h = \pi \cdot \left(\frac{4500 \text{ mm} + 2 \cdot 25 \text{ mm}}{2}\right)^2 \cdot 6500 \text{ mm}$$

$$= 96,6 \text{ m}^3$$

$$V_{paret, \text{cos cilíndric}} = 96,6 \text{ m}^3 - 94,39 \text{ m}^3 = 2,21 \text{ m}^3$$

I es calcula el volum de la paret de la tapa circular plana.

$$V_{paret, \text{tapa plana}} = \pi \cdot \left(\frac{D_{tanc}}{2}\right)^2 \cdot t = \pi \cdot \left(\frac{4300 \text{ mm}}{2}\right)^2 \cdot 25 \text{ mm} = 0,36$$

Per tant,

$$V_{paret} = 2,72 \text{ m}^3$$

Sabent que la densitat del acer inoxidable AISI 316L és de 7950 Kg/m<sup>3</sup>, es pot calcular el pes del tanc buit i es sobredimensiona un 10 % per tenir en compte el pes de les soldadures connexions de les canonades, boques d'home, etc.

$$PeS_{buit} = 1,1 \cdot (2,72 \text{ m}^3 \cdot \frac{7950 \text{ Kg}}{1 \text{ m}^3}) = 23771 \text{ Kg}$$

### **Pes del tanc ple d'aigua**

Es calcula el volum del tanc sumant el volums del cos cònic i del cos cilíndric:

$$V_{tanc} = 6,29 \text{ m}^3 + 94,39 \text{ m}^3 = 100,68 \text{ m}^3$$

Per tant, amb la densitat de l'aigua a la temperatura d'operació mitjana i el pes del tanc buit es pot calcular el pes del tanc amb aigua:

$$PeS_{tanc \text{ aigua}} = 23771 \text{ Kg} + 100,68 \text{ m}^3 \cdot \frac{997,13 \text{ Kg}}{1 \text{ m}^3} = 124168 \text{ Kg}$$

### **Pes del tanc en operació**

A partir de la densitat mitjana del fluid d'operació es calcula el pes del tanc en operació:

$$PeS_{tanc \text{ operació}} = 23771 \text{ Kg} + 100,68 \text{ m}^3 \cdot \frac{1095,4 \text{ Kg}}{1 \text{ m}^3} = 134062 \text{ Kg}$$

Sitja d'emmagatzematge d'1-naftol (S-101/S-102)			
Àrea	100	Material	Acer inox. AISI 316L
Producció diària (m <sup>3</sup> /dia)	24,70	Alçada cos cilíndric (m)	6,5
Dies stock	7	Espessor cos cilíndric(mm)	25
Capacitat (m <sup>3</sup> )	100	Alçada cos cònic (m)	1,3
Volum ocupat (%)	85,86	Espessor cos cònic(mm)	25
Diàmetre (m)	4,3	Tipus de fons superior	Fons pla
Alçada total (m)	7,8	Espessor fons superior (mm)	25
T operació (°C)	25	Pes buit (kg)	23771
T disseny (°C)	45	Pes aigua (kg)	124168
P operació (bar)	1	Pes operació (kg)	134062
P disseny (bar)	3,59		

## 12.5.2 SITJA EMMAGATZEMATGE DE CARBARIL

El carbaril és el producte de la planta i s'emmagatzema en estat sòlid a temperatura ambient per després distribuir-ho en big-bags de 1000Kg.

### 12.5.2.1 Disseny funcional

Aquest producte s'emmagatzema a les sitges, S-201 i S-202, a l'àrea 200, a una temperatura de 25 °C i a 1 bar de pressió

Primerament s'ha de determinar el volum de carbaril que es vol tenir emmagatzemat a la planta, tenint en compte que aquest es distribueix en sacs de 1000 kg, que seran transportat mitjançant camions als nostres compradors, es fixa un temps d'stock d'uns 5 dies. A partir del temps d'stock i la producció diària de carbaril:

$$V_{carbaril} = Q_v \cdot t_{stock} = 142 \text{ m}^3$$

A partir d'aquest volum es decideix treballar amb sitges de 100 m<sup>3</sup>, tenint en compte que tant sols podran omplir-se fins al 80% del seu volum total. El nombre de sitges que faran falta per emmagatzemar tota la quantitat de carbaril produïda serà:

$$N^{\circ} \text{ sitges} = \frac{V_{carbaril}}{V_{1sitja} \cdot 0,8} = \frac{142}{100 \cdot 0,8} = 1,78 \approx 2 \text{ sitges}$$

Una vegada es coneix el nombre de sitges es pot calcular el percentatge de volum ocupat de cadascuna.

$$\% \text{ volum ocupat} = \frac{V_{\text{carbaril}}}{N^{\circ} \text{ sitges} \cdot V_{\text{sitja}}} \cdot 100 = \frac{142}{2} \cdot 100 = 71 \%$$

També cal determinar la quantitat de sacs diaris que s'omplen i els camions diaris que venen a carregar el nostre producte, una vegada posat en els sacs. Tenint en compte que els sacs tenen una capacitat de 1000 kg i els camions transporten 25000 kg.

$$N_{\text{camions}} = \frac{35000 \frac{\text{kg}}{\text{dia}}}{25000 \frac{\text{kg}}{\text{camió}}} = 1,4 \text{ camions/dia} \sim 1 \text{ camió/dia}$$

$$N_{\text{sacs}} = \frac{35000 \frac{\text{kg}}{\text{dia}}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{sac}}} = 35 \text{ sacs/dia}$$

### 12.5.2.2 Dimensionament

Amb el volum del tanc ja es poden determinar les seves dimensions. Les sitges estan formades per un cos superior cilíndric i inferior cònic amb una tapa plana com a capçal superior.

$$V_{\text{sitja}} = V_{\text{cilindre}} + V_{\text{con}}$$

$$V_{\text{cilindre}} = \pi \frac{D^2}{4} H_{\text{cilindre}}$$

$$H_{\text{cilindre}} = 1.5 D$$

$$V_{\text{con}} = \pi \frac{D^2}{12} H_{\text{con}}$$

$$H_{\text{con}} = \frac{D}{2 \cdot \tan(\alpha)}$$

Es considera que el valor d' $\alpha$ , correspon a l'angle d'inclinació del con respecte eix horitzontal, i es pren un valor de  $45^{\circ}$ . Una vegada resoltes les equacions anteriors, s'obtenen els següents resultats.

**Taula 12.5.2.1** Valors dimensionament sitges d'emmagatzematge del carbaril

Paràmetre	Valor
V <sub>sitja</sub> (m <sup>3</sup> )	100
D (m)	4,3
H <sub>cilindre</sub> (m)	6,5
H <sub>con</sub> (m)	1,3
V <sub>cilindre</sub> (m)	94,39
V <sub>con</sub> (m)	6,29
H <sub>total, sitja</sub> (m)	7,8

### 12.5.2.3 Disseny mecànic

El disseny mecànic de les sitges d'emmagatzematge de carbaril segueix la normativa ASME per a recipients a pressió. Considerant les dimensions del cos de l'apartat anterior.

#### Material

El material utilitzat per a les sitges és l'acer inoxidable 316L ja que és un material resistent a la corrosió i als canvis bruscos de temperatura.

#### Pressió de disseny

La pressió de disseny del tanc es calcula aplicant la norma següent:

$$Pressió\ de\ disseny = \max(1,1 \cdot P.\ operació, P.\ operació + 2bar)$$

$$Pressió\ de\ disseny = \max(1,75\ bar, 3,59bar) = 3,59\ bar$$

I per saber la pressió d'operació es calcula la pressió que exerceix el sòlid, anomenada càrrega hidrostàtica, i a aquesta pressió se li afegeix la pressió que hi ha dins de la sitja.

$$P_{càrrega\ hidrostàtica} = g * \rho * h_{sòlid} = 9,81 \cdot 1232 \cdot 4,89 = 0,59 \cdot 10^5\ kg/m \cdot s^2$$

$$P_{càrrega\ hidrostàtica} = 0,59\ bar$$

$$h_{sòlid} = H_{cilindre} = \frac{(100\ m^2 \cdot 0,71)}{\pi \frac{4,3^2}{4}} = 4,89\ m$$

Pressió operació = 1 bar.

Pressió de disseny = **3,59 bar**.

### **Temperatura de disseny**

En aquest cas, la temperatura de disseny ve donada per la temperatura d'operació i un factor de seguretat de 20 graus.

Temperatura d'operació = 25 °C

La temperatura de disseny ve donada per:

$$Temperatura\ de\ disseny = T.\ operació + 20^{\circ}C$$

Temperatura de disseny = **45 °C**

### **Espessor del cos cònic. Càlcul a pressió interna**

L'equació 12.5.2.1 permet trobar l'espessor del cos del cònic.

$$t_1 = \frac{P \cdot D}{2 \cdot \cos(\alpha) \cdot (S \cdot E - 0,6 \cdot P)} + C.A \quad \text{Equació 12.5.2.1}$$

on:

- $t_1$  = espessor del cos (mm)
- P = pressió de disseny del recipient (bar) = 3,59
- D= diàmetre intern de la sitja (mm) = 4300
- $\alpha$ = angle d'inclinació del con respecte l'eix horitzontal= 45°
- E = factor de soldadura = 0,85 (radiografiat doble parcial)
- S = càrrega admissible del material (bar) = 1082,46
- C.A = sobreessessor (mm)

La tolerància de fabricació pel cas d'un cilindre és nul·la i el sobreessessor per corrosió del material és de 0,5 mm/any, suposant que la vida útil del tanc seran 15 anys el sobreessessor serà 7,5 mm.

El resultat és de 23,51 mm, però donat que els espessors estàndards de xapa a Europa són: 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 15, 20..., s'agafa un espessor del cos de 25 mm.

$$\text{espessor dels cos cònic} = 25 \text{ mm}$$



**Espessor del cos cilíndric. Càlcul a pressió interna**

L'equació 12.5.2.2 permet trobar l'espessor del cos del cilíndric.

$$t_1 = \frac{P \cdot R_{\text{int}}}{S \cdot E - 0,6 \cdot P} + C.A \quad \text{Equació 12.5.2.2}$$

on:

- $t_1$  = espessor del cos (mm)
- P = pressió de disseny del recipient (bar) = 3,59
- $R_{\text{int}}$  = radi intern de la columna (mm) = 2150
- E = factor de soldadura = 0,85 (radiografiat doble parcial)
- S = càrrega admissible del material (bar) = 1082,46
- C.A = sobreessessor (mm)

La tolerància de fabricació pel cas d'un cilindre és nul·la i el sobreessessor per corrosió del material és de 0,5 mm/any, suposant que la vida útil del tanc seran 15 anys el sobreessessor serà 7,5 mm.

El resultat és de 15,91 mm, però donat que els espessors estàndards de xapa a Europa són: 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 15, 20..., s'agafa un espessor del cos de **20 mm**.

La xapa per fabricar la sitja es compra amb el mateix gruix tan pels capçals com pels dos cossos, tenint en compte que l'espessor del cos cònic és de 25 mm, el cos cilíndric també tindrà el mateix espessor.

$$\textit{espessor dels cos cilíndric} = 25 \textit{ mm}$$

**Espessor del capçal superior. Càlcul a pressió interna**

Com que el capçal superior consta d'una tapa circular plana aquesta es compra una xapa amb el mateix espessor que la del cos per tant l'espessor de la tapa plana és igual a 25mm.

$$\textit{espessor tapa plana} = 25 \textit{ mm}$$

### 12.5.2.4 Pes de la sitja

#### Pes del tanc buit

Es calcula el volum intern del cos cònic de la sitja mitjançant l'equació 12.5.2.3.

$$Vi = \pi \frac{D^2}{12} H_{con} \quad \text{Equació 12.5.2.3}$$

Per tant,

$$Vi = \pi \frac{4,3^2}{12} \cdot 1,3 = 6,29 \text{ m}^3$$

Per calcular el pes dels capçals, es calcula el volum extern del capçal, mitjançant l'equació 12.5.2.4.

$$Ve = \pi \frac{(D+2 \cdot t)^2}{12} H_{con} \quad \text{Equació 12.5.2.4}$$

Per tant,

$$Ve = \pi \frac{(4,3 + 2 \cdot 0,025)^2}{12} \cdot 1,3 = 6,44 \text{ m}^3$$

La diferència correspon al volum de la paret del capçal:

$$V_{paret,cos\ cònic} = 6,44 \text{ m}^3 - 6,29 \text{ m}^3 = 0,15 \text{ m}^3$$

Es calcula el volum intern i extern del cos cilíndric de la sitja, per tal de determinar el volum de paret.

$$Vi = \pi \cdot \left(\frac{D_{tanc}}{2}\right)^2 \cdot h = \pi \cdot \left(\frac{4300 \text{ mm}}{2}\right)^2 \cdot 6500 \text{ mm} = 94,39 \text{ m}^3$$

$$Ve = \pi \cdot \left(\frac{D_{tanc} + 2 \cdot t}{2}\right)^2 \cdot h = \pi \cdot \left(\frac{4500 \text{ mm} + 2 \cdot 25 \text{ mm}}{2}\right)^2 \cdot 6500 \text{ mm} \\ = 96,6 \text{ m}^3$$

$$V_{paret,cos\ cilíndric} = 96,6 \text{ m}^3 - 94,39 \text{ m}^3 = 2,21 \text{ m}^3$$

I es calcula el volum de la paret de la tapa circular plana.

$$V_{paret,tapa\ plana} = \pi \cdot \left(\frac{D_{tanc}}{2}\right)^2 \cdot t = \pi \cdot \left(\frac{4300 \text{ mm}}{2}\right)^2 \cdot 25 \text{ mm} = 0,36$$

Per tant,

$$V_{paret} = 2,72 \text{ m}^3$$

Sabent que la densitat del acer inoxidable AISI 316L és de 7950 Kg/m<sup>3</sup>, es pot calcular el pes del tanc buit aplicant un sobredimensionament del 10 % per tenir en compte el pes de les soldadures connexions de les canonades, boques d'home, etc.

$$Pes_{buit} = 1,1 \cdot (2,72 m^3 \cdot \frac{7950 Kg}{1 m^3}) = 23771 Kg$$

### Pes del tanc ple d'aigua

Es calcula el volum del tanc sumant el volums del cos cònic i del cos cilíndric:

$$V_{tanc} = 6,29 m^3 + 94,39 m^3 = 100,68 m^3$$

Per tant, amb la densitat de l'aigua a la temperatura d'operació mitjana i el pes del tanc buit es pot calcular el pes del tanc amb aigua:

$$Pes_{tanc aigua} = 23771 Kg + 100,68 m^3 \cdot \frac{997,13 Kg}{1 m^3} = 124168 Kg$$

### Pes del tanc en operació

A partir de la densitat mitjana del fluid d'operació es calcula el pes del tanc en operació:

$$Pes_{tanc operació} = 23771 Kg + 100,68 m^3 \cdot \frac{1232 Kg}{1 m^3} = 147816 Kg$$

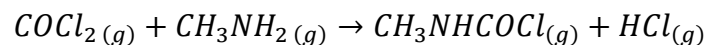
Sitja d'emmagatzematge de carbaril (S-201/S-202)			
Àrea	200	Material	Acer inox. AISI 316L
Producció diària (m <sup>3</sup> /dia)	28,41	Alçada cos cilíndric (m)	6,5
Dies stock	5	Espessor cos cilíndric(mm)	25
Capacitat (m <sup>3</sup> )	100	Alçada cos cònic (m)	1,3
Volum ocupat (%)	71	Espessor cos cònic(mm)	25
Diàmetre (m)	4,3	Tipus de fons superior	Fons pla
Alçada total (m)	7,8	Espessor fons superior (mm)	25
T operació (°C)	25	Pes buit (kg)	23771
T disseny (°C)	45	Pes aigua (kg)	124168
P operació (bar)	1	Pes operació (kg)	147816
P disseny (bar)	3,59		

## 12.6 DISSENY DE REACTORS

### 12.6.1 Reactor multitubular de formació de MCC

#### 11.6.1.1 Introducció

La formació de MCC te lloc a partir de foscè i MMA, en fase gas, a 260°C i pressió atmosfèrica, la seva estequiometria ve definida per la següent equació:

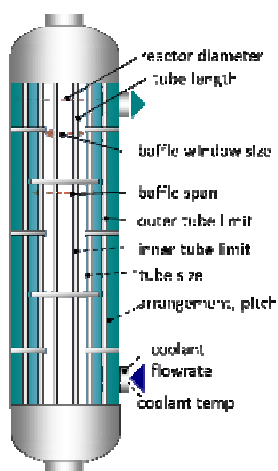


La major part de les reaccions que tenen lloc en fase gas es donen en reactors tubulars, aquests reactors poden estar constituïts per un o per múltiples tubs, en aquest cas, el procés es du a terme en un reactor multitubular.

Els tubs poden estar buits, per a reaccions homogènies, o empacats amb partícules de catalitzador per reaccions heterogènies, en aquest cas no es requereix catalitzador i per tant els tubs estan buits.

El seu disseny mecànic és molt similar al d'un bescanviador de carcassa i tubs ja que l'espai entre la carcassa i els tubs s'aprofita per fer circular el fluid que bescanvia la calor generada.

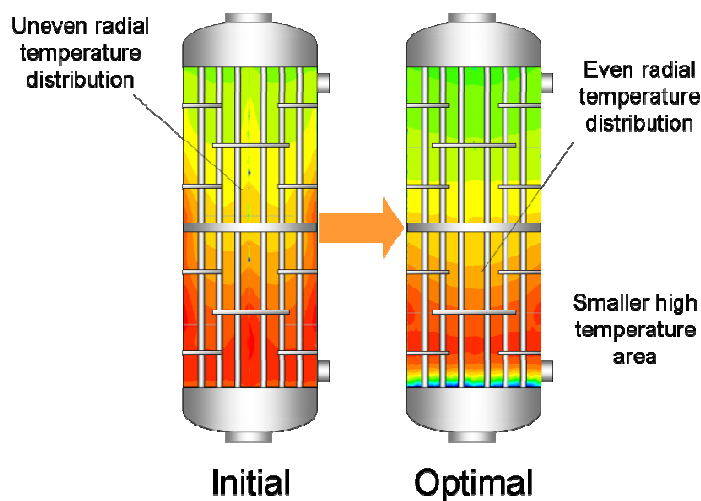
Els sistemes de reactors tubulars són personalitzables i es poden dissenyar amb diferents longituds i diàmetres segons el cas així com per a diferents pressions i temperatures d'operació.



**Figura 12.6.1** Esquema d'un reactor multitubular i les seves parts [www.psenterprise.com].

Una de les desavantatges més importants d'aquests reactors és el difícil control de la temperatura en el seu interior, per modelitzar aquest tipus de reactors s'assumeix que el flux és turbulent ( $Re > 3000$ ) de manera que es pugui considerar que opera com un flux pistó.

Suposar flux pistó implica que en qualsevol secció transversal normal al fluid la velocitat, pressió, temperatura i composició son uniformes i no existeixen variacions radials. En la realitat, aquests tipus de reactors mostren gradients de velocitat, temperatura i concentració i és difícil fer-ne un seguiment així que, per tal de tenir-los en compte, el reactor es sobredimenciona un 35% aconseguint també que l'àrea de bescanvi de la que es disposa sigui superior a la requerida i asseguri una bona eliminació de calor.



**Figura 12.6.1.2** Gradients de temperatura que es poden formar en un reactor multitubular  
[www.psenderprise.com]

### 12.6.1.2 Balanç de matèria

Fer el balanç de matèria en el reactor és el primer pas per tal de fer-ne el disseny, d'aquesta manera es coneixen els cabals d'entrada i de sortida del sistema així com la seva composició i es pot comprovar com el cabal màssic es conserva segons l'equació següent:

$$E + G = S + A \quad \text{Equació 12.6.1.1}$$

Els termes de l'equació es defineixen com:

- **ENTRADA (E).** El balanç de matèria de la planta s'ha fet a partir de la producció anual requerida i els equips s'han caracteritzat des de la seva sortida, així doncs, l'entrada es calcula a partir de la quantitat de MCC necessària per complir els requeriments de producció finals tenint en compte les eficiències dels equips intermedis.

El corrent d'entrada esta format pel cabal de foscè, el cabal de MMA i una petita part de HCl, provinent de la recirculació del foscè no reaccionat, que no ha pogut ser eliminat en els equips de separació (AB-301, TD-301 i TD-302).

A continuació es presenten de forma detallada els càlculs per a l'entrada.

$$\mathbf{Entrada R1 = M_{fosgè} + M_{MMA} + M_{HCl\ recirculat} \quad \text{Equació 12.6.1.2}}$$

on:

$$\mathbf{M_{fosgè} = (1,25 * N_{MMA}) \cdot PM_{fosgè} \quad \text{Equació 12.6.1.3}}$$

$$M_{fosgè} = (1,25 * 8,57\text{kmol/h}) \cdot 98,92\text{kg/kmol} = 1.059,17 \text{ kg/h}$$

on:

- $M_{fosgè}$  = cabal màssic de foscè (kg/h)
- 1,25 = excés molar de foscè respecte MMA a l'entrada
- $N_{MMA}$  = cabal molar de MMA a l'entrada (kmol/h)
- $PM_{fosgè}$  = mes molecular del foscè (kg/kmol)

$$\mathbf{M_{MMA} = N_{MCC\ sortida} \cdot X_{MMA} \cdot PM_{MMA} \quad \text{Equació 12.6.1.4}}$$

$$M_{MMA} = 8,57\text{kmol/h} \cdot 1 \cdot 31,06\text{kg/kmol} = 266,04 \text{ kg/h}$$

on:

- $M_{MMA}$  = cabal màssic de MMA (kg/h)
- $N_{MCC}$  = cabal molar de MCC produït (kmol/h)
- $X_{MMA}$  = grau de conversió de la reacció respecte l'MMA.
- $PM_{MMA}$  = mes molecular de l'MMA (kg/kmol)

$$\mathbf{M_{HCl} = N_{HCl\ format} \cdot X_{AB-301} \cdot X_{TD-301} \cdot X_{TD-302} \cdot PM_{HCl} \quad \text{Equació 12.6.1.5}}$$

$$M_{HCl} = \frac{8,57 \text{ kmol}}{h} \cdot 1,4\% \cdot 100\% \cdot 100\% \cdot \frac{36,46 \text{ kg}}{\text{kmol}} = 4,51 \text{ kg/h}$$

on:

- $M_{HCl}$  = cabal màssic de HCl (kg/h)
- $N_{HCl}$  = cabal molar de HCl produït (kmol/h)
- $X_{AB-301}$ ,  $X_{TD-301}$ ,  $X_{TD-302}$  = percentatge de HCl que surt de l'equip de separació corresponent respecte el que entra.
- $PM_{HCl}$  = mes molecular de l'HCl (kg/kmol)

$$\text{Entrada R1} = 1.059,17 \frac{\text{kg}}{h} + 266,04 \frac{\text{kg}}{h} + 4,51 \text{ kg/h} = \mathbf{1.329,73 \text{ kg/h}}$$

- **GENERACIÓ (G).** Quantitat de producte que es genera en la reacció.

Normalment la generació ve definida per la velocitat de reacció però en aquest cas la seva equació és desconeguda. El que si que es coneix és el grau de conversió (100% per l'MMA) i amb aquesta dada i l'entrada de dit component es calcula la generació de MCC i HCl (productes).

$$\text{Generació R1} = M_{MCC} + M_{HCl} \quad \text{Equació 12.6.1.6}$$

on:

$$M_{MCC} = N_{MMA} \cdot 100\% \cdot PM_{MCC} \quad \text{Equació 12.6.1.7}$$

$$M_{MCC} = \frac{8,57 \text{ kmol}}{h} \cdot 100\% \cdot \frac{93,51 \text{ kg}}{\text{kmol}} = 801,05 \text{ kg/h}$$

on:

- $N_{MMA}$  = cabal molar de MMA a l'entrada (kmol/h)
- $PM_{MCC}$  = mes molecular de l'MCC (kg/kmol)

$$M_{HCl} = N_{MMA} \cdot 100\% \cdot PM_{HCl} \quad \text{Equació 12.6.1.8}$$

$$M_{HCl} = \frac{8,57 \text{ kmol}}{h} \cdot 100\% \cdot \frac{36,46 \text{ kg}}{\text{kmol}} = 316,85 \text{ kg/h}$$

on:

- $N_{MMA}$  = cabal molar de MMA a l'entrada (kmol/h)
- $PM_{HCl}$  = mes molecular de l'HCl (kg/kmol)

$$\text{Generació R1} = 801,02 \frac{\text{kg}}{\text{h}} + 316,846 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = \mathbf{1117,87\text{kg/h}}$$

- **SORTIDA (S).** La sortida del sistema esta formada per tot l'MCC i l'HCl formats i una part de foscè que entra en excés i surt sense reaccionar que es recircula de nou a l'entrada.

$$\text{Sortida R1} = M_{MCC} + M_{HCl} + M_{foscè} \quad \text{Equació 12.6.1.9}$$

on:

$$M_{foscè} = 0,25 \cdot N_{foscè} \cdot PM_{foscè} \quad \text{Equació 12.6.1.10}$$

$$M_{foscè} = 0,25 \cdot \frac{10,70\text{kmol}}{\text{h}} \cdot \frac{98,92\text{kg}}{\text{kmol}} = 211,84\text{kg/h}$$

on:

- $N_{foscè}$  = cabal molar de foscè a l'entrada (kmol/h)
- $P_{foscè}$  = pes molecular del foscè (kg/kmol)

$$\text{Sortida R1} = \frac{801,02\text{kg}}{\text{h}} + \frac{312,32\text{kg}}{\text{h}} + \frac{211,84\text{kg}}{\text{h}} = \mathbf{1.329,73\text{kg/h}}$$

- **ACUMULACIÓ (A).** En aquest cas es treballa en estat estacionari i per tant el terme d'acumulació és igual a zero.

$$\text{Acumulació R1} = \mathbf{0,00\text{kg/h}}$$

Les taules següents recullen els resultats d'aquest balanç així com algunes de les seves propietats i les condicions d'operació del reactor.



**Taula 12.6.1.1** Cabals màssics d'entrada i sortida del reactor de formació de MCC.

COMPONENT	Cabal d'ENTRADA (kg/h)	Cabal de SORTIDA(kg/h)
MCC	-	801,05
ÀCID CLORHÍDRIC	4,51	316,85
FOSGÈ	1.059,17	211,84
MMA	266,04	-
<b>TOTAL</b>	<b>1.329,73</b>	<b>1.329,73</b>

**Taula 12.6.1.2** Condicions d'operació i grau de conversió en el reactor de formació de MCC.

Temperatura d'operació (°C)	260
Pressió d'operació (atm)	1
Grau de conversió respecte MMA (%)	100

**Taula 12.6.1.3** Propietats dels corrents d'entrada i de sortida del reactor de formació de MCC

	PROPIETATS DEL FLUID	
	ENTRADA	SORTIDA
Densitat (kg/m <sup>3</sup> )	1,95	1,92
Viscositat (cP)	0,02	0,02
Cp (J/mol·K)	72,50	47,30

Coneixent el cabal màssic total d'entrada al reactor i la densitat de la mescla gasosa es pot obtenir el valor del cabal volumètric d'entrada al reactor amb l'equació 12.6.1.11, aquest cabal serà utilitzat més endavant pel càlcul del volum del reactor :

$$Ql \text{ volumètric} = \frac{Ql_{\text{màssic}}}{\rho_{\text{mescla}}} \quad \text{Equació 12.6.1.11}$$

$$Ql \text{ volumètric} = \frac{1.329,73 \text{ kg/h}}{1,95 \text{ kg/m}^3} = 682,61 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 0,19 \text{ m}^3/\text{s}$$

### 12.6.1.3 Balanç d'energia

Juntament amb el balanç de matèria és imprescindible realitzar el balanç d'energia del reactor. La formació de MCC és una reacció exotèrmica que té lloc a 260°C, una temperatura elevada, i caldrà eliminar l'energia produïda si es vol treballar a una temperatura tant constant com sigui en un reactor multitubular.

De forma ideal es considera que el reactor és isoterm, es dissenya un bescanvi de calor i un control del mateix partint d'aquesta base i dotant al reactor d'una superfície de bescanvi superior a la necessària per tal de treballar amb marge d'eliminació de calor.

El primer pas per al disseny del bescanvi de calor és conèixer la calor que cal eliminar, tenint en compte que la reacció es dona de forma quasi instantània, (1,5 segons) els reactius són prescalfats fins a temperatures properes a la d'operació, 205°C pel cas del foscè i 240°C per l'MMA, en els bescanviadors BC-301 i BC-302 respectivament, tot i així s'aprofita la pròpia calor de reacció per fer arribar ambdós productes a 260°C i per tant la calor a eliminar serà la calor generada per la reacció menys la que sigui absorbida pels gasos d'entrada seguint l'equació 12.6.1.12

$$Q = N_{MCC} \cdot \Delta H_{reacció} - [\sum N_j \cdot C_{p_j} \cdot (T_r - T_e)] \quad \text{Equació 1.6.1.12}$$

on:

- $N_{MCC}$  = mols de MCC que es formen (kmol)
- $\Delta H_{reacció}$  = entalpia de reacció (J/kmol)
- $N_j$  = mols de reactius que entren (kmol)
- $C_{p_j}$  = capacitat calorífica del reactiu (J/kmol)
- $T_r$  = temperatura de reacció (260 °C)
- $T_e$  = temperatura d'entrada (205°C foscè i 240°C MMA)

La taula 12.6.1.4 recull la capacitat calorífica i els mols que entren de reactius.

**Taula 12.6.1.1** Cp i cabal molar d'entrada pels reactius de formació de MCC.

	Cp gas (kJ/kmol)	Mols d'entrada (kmol/h)
<b>MMA</b>	77,11	8,57
<b>Foscè</b>	69,30	10,71

El valor de la part de calor generada per la reacció que és absorbida pels gasos d'entrada és:

$$Q_{abs} = (N_{MMA} \cdot C_{p_{MMA}} + N_{foscè} \cdot C_{p_{foscè}}) \cdot (T_r - T_e) = 54.800,00 \text{ kJ/h}$$

Per determinar la calor de reacció ( $\Delta H_r$ ) s'utilitzen les entalpies de formació de les espècies que intervenen en la reacció a la temperatura d'operació i l'equació 12.6.1.13

**Taula 12.6.1.5** Entalpies de formació a 260°C per les espècies que participen a la reacció de formació de MCC.

	<b>ΔH formació a (260°C) (kJ/kmol)</b>
<b>MMA</b>	-4.880,00
<b>Fosgè</b>	-203.000,00
<b>MCC</b>	-129.000,00
<b>HCl</b>	-90.600,00

$$\Delta H_{reacció} = \sum (n_j \cdot \Delta H_{formació,j})_{productes} - \sum (n_j \cdot \Delta H_{formació,j})_{reactius} \quad \text{Equació 12.6.1.13}$$

on:

- j = espècies que intervenen en la reacció.
- $\Delta H_{reacció}$  = entalpia de reacció (J/mol)
- n = mols de component j formats
- $\Delta H_{formació}$  = entalpia de formació (J/mol) calculada com:

$$\Delta H_{formació} = \Delta H_{formació}^0 + C_p(T_{operació} - T_{ref}) \quad \text{Equació 2}$$

on:

- $\Delta H_{formació}^0$  = entalpia estàndard de formació (298K)(J/mol)
- $C_p$  = capacitat calorífica (J/mol·K). Considerada constant amb la temperatura però diferent quan la substància es troba en estat líquid o gasós.
- $T_{operació}$  = temperatura a la que es dona la reacció (K).
- $T_{referència}$  = 298K

$$\Delta H_{reacció} = -12.000.000,00 \text{ kJ/kmol}$$

La calor generada per la reacció tenint en compte els mols de MCC que es formen és igual a:

$$Q_{gen} = N_{MCC} \cdot \Delta H_{reacció} \quad \text{Equació 12.6.1.14}$$

$$Q_{gen} = 8,57 \text{ kmols/h} \cdot \left( -1,2 \cdot \frac{10^7 \text{ J}}{\text{kmol}} \right) = -104.000,00 \text{ kJ/h}$$

Coneixent els dos termes de l'equació que determina la calor que cal eliminar el seu valor final és:

$$Q = Q_{gen} - Q_{abs} = -48.500,00 \text{ kJ/h}$$

Un cop quantificada l'energia produïda pel procés es determina l'àrea de bescanvi de calor requerida pel sistema per tal de que l'eliminació sigui possible amb l'equació:

$$\text{\textit{Àrea}} = \frac{Q}{U \cdot DTML} \text{ Equació 12.6.1.15}$$

on:

- Àrea = àrea de bescanvi de calor requerida ( $m^2$ )
- U = coeficient de transferència de calor del sistema ( $W/m^2 \cdot K$ ). S'ha escollit tenint en compte les característiques del fluid de reacció i el toluè, quan es treballa amb gasos aquest coeficient acostuma a ser petit i s'agafa un valor de  $60 W/m^2 \cdot K$ .
- DTML = diferencial de temperatures mitjà logarítmic calculat com:

$$DTML = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}$$

$$\Delta T_1 = T^{\circ} \text{entrada fluid de tubs} - T^{\circ} \text{sortida fluid de carcassa}$$

$$\Delta T_2 = T^{\circ} \text{sortida fluid de tubs} - T^{\circ} \text{entrada fluid de carcassa}$$

$$\Delta T_1 = 260 - 38 = 222$$

$$\Delta T_2 = 260 - 35 = 225$$

$$DTML = \frac{222 - 225}{\ln \frac{222}{225}} = -223$$

Amb aquests valors s'obté una àrea de bescanvi requerida de:

$$\text{\textit{Àrea}} = \frac{-1,36 \cdot 10^4 J/s}{\frac{60W}{m^2} \cdot K \cdot -223} = 1,00m^2$$

El cabal de toluè necessari per aconseguir aquest bescanvi de calor es pot calcular amb l'equació següent: