

PLANTA DE PRODUCCIÓ D'ÀCID ACETILSALICÍLIC

PROJECTE FINAL DE CARRERA

Enginyeria Química



Autors: Brenda Baena Diaz

Cesar Castellón Felipez

Bernat Cots Escudé

Yago Domínguez Muñoz

Daniel Ruiz Granados

Tutor: Josep A. Torà

Cerdanyola del Vallès | Juny 2019

PLANTA DE PRODUCCIÓ D'ÀCID ACETILSALICÍLIC
PROJECTE FINAL DE CARRERA
Enginyeria Química



CAPITOL 11
MANUAL DE CÀLCULS

ÍNDEX

11.1. TANCS D'EMMAGatzEMATGE	5
11.1.1. Consideracions de disseny	5
11.1.2. Disseny mecànic segons API 650	6
11.1.2.1 Disseny del fons del tanc	7
11.1.2.2 Disseny del cos del tanc	8
11.1.2.3 Disseny del sostre del tanc	10
11.1.2.4 Càlcul de les dimensions del tanc	10
11.1.2.5 Determinació del pes del tanc	12
11.1.3. Disseny mecànic segons ASME.....	14
11.1.3.1 Disseny del fons del tanc	17
11.1.3.2 Disseny del cos del tanc	17
11.1.3.3 Disseny del sostre del tanc	18
11.1.3.4 Càlcul de les dimensions del tanc	18
11.1.3.5 Determinació del pes del tanc	21
11.1.5. Suport	22
11.1.6. Boca d'home	23
11.1.7. Escales.....	23
11.1.8. Cubeta de retenció.....	24
11.1.9. Ventilació	26
.....	27
11.1.10. Aïllament.....	27
11.1.11. Sistema de calefacció	28
11.1.12. Resistència al terreny.....	34
11.1.13. Resultats del diferents dissenys dels tancs	34
11.1.13.1. Tanc de fenol nou (T-001 i T-002)	35
11.1.13.2. Tanc de fenol recirculat (T-010)	45
11.1.13.3. Tanc d'hidròxid sodi al 50% (T-003 i T-004).....	49
11.1.13.4. Tanc d'àcid sulfúric al 60% (T-006 i T-007)	51
11.1.13.5. Tanc d'anhidre acètic (T-008 i T-009).....	52

11.1.13.6. Tanques diòxid de carboni (T-005)	53
11.1.13.7. Tanca de sulfat de sodi en solució aquosa (T-601 i T-602).....	56
11.1.13.8. Tanca de l'isòmer en solució aquosa (T-603)	57
11.1.13.9. Tanca d'àcid acètic (T-604 i 605).....	58
11.2. MESCLADORS	60
11.2.1. Disseny mecànic d'un agitador	61
11.2.2. Disseny de la mescladora M-101.....	64
11.2.1. Disseny de la mescladora M-105.....	68
11.3. REACTORS.....	71
11.3.1. Definició del volum dels reactors.....	71
11.3.2. Dimensions dels fons Kloppe	72
11.3.3. Espessor dels reactors.....	73
11.3.3.1. Valors per al càlcul del reactor R-103.....	73
11.3.3.2. Valors per al càlcul del reactor R-301.....	73
11.3.4. Pes del reactor	73
11.3.5. Dimensions del reactor	74
11.3.5.1. Dimensions del reactor R-103.....	74
11.3.5.2. Dimensions del reactor R-301.....	74
11.3.6. Balanç d'energia dels reactors	75
11.3.6.1. Càlcul de l'energia alliberada durant el procés	75
11.3.6.2. Càlcul del cabal d'aigua necessari	76
11.3.6.3. Càlcul de l'àrea de bescanvi necessària	76
11.4. BESCOVIADORS DE CALOR	78
11.4.1 Disseny del bescanviador B-109.....	78
11.4.2 Disseny del condensador B-108	84
11.4.3 Disseny dels evaporadors.	86

11.5. CRISTAL·LITZADORS	88
11.5.1 Balanç de matèria	89
11.5.2 Dimensions dels equips	91
11.5.3 Càlcul del volum del cristal·litzador	91
11.5.2.2 Disseny del l'agitador	94
11.5.3. Balanç d'energia	95
11.5.4 Refrigeració i àrea total de transmissió	97
11.5.5 Disseny mecànic del cristal·litzador	99
11.4.6 Pes cristal·litzador	102
11.6. TANCS DE PROCÈS	106
11.7. PRECIPITADOR	107
11.7.1. Disseny del tanc de precipitació Pr-201	108
11.8. CANONADES	114
11.8.1. Exemple de càlcul.....	114
11.9. EQUIPS D'IMPULSIÓ DE FLUIDS	117
11.9.1. Disseny de bombes	117
11.9.1. Exemple de càlcul.....	121
11.10. SERVEIS.....	125
11.10.1. Necessitats de Nitrogen	125
11.10.1. Necessitats de vapor d'aigua	126
11.10.1. Necessitats d'aigua de refrigeració	127
11.11. BIBLIOGRAFIA	128

11.1. TANCs D'EMMAGatzEMATGE

11.1.1. Consideracions de disseny

En aquest apartat s'explicarà com es realitza el disseny dels tancs destinats a preservar en bones condicions tant matèries primeres com productes. Però abans, es farà una explicació dels requisits amb els quals han de comptar aquest tipus d'equips i en què consisteixen.

Un tanc d'emmagatzematge és un recipient, normalment, de geometria cilíndrica utilitzat quan hi ha la necessitat de reservar, a una certa temperatura i pressió, determinades substàncies per a tenir-les disponibles en un futur proper. Aquestes substàncies poden ser de naturalesa líquida, gas o sòlida. I en funció de l'estat en el que es trobi la matèria es té els següents tipus d'emmagatzematge:

- Per a líquids es fan servir tancs d'emmagatzematge com a tal
- Per a gasos o líquids a elevada pressió s'utilitza recipients sotmesos a pressió
- Per a sòlids es fan servir les sitges

Es important que els dipòsits, a més, de complir amb la seva funció d'emmagatzematge han de garantir la seguretat estructural i la seguretat davant de qualsevol perill de fuga o de contaminació ambiental.

La configuració de qualsevol dipòsit d'emmagatzematge estàndard ha de comptar, com a mínim, amb els següents elements:

- Venteig: Accessori imprescindible (sobretot per productes inflamables) donat que permeten el flux d'entrada i sortida d'aire en un dipòsit tancat.
- Orelletes: S'utilitzen per donar suport a la base del tanc en cas de que es requereixi la elevació del mateix.
- Boca d'home: Aquest element es una entrada que permet l'accés del personal de treball a dins del tanc per a la realització de qualsevol operació que es requereixi fer en el seu interior. Aquestes poden estar situades tant en el cos com en el sostre.
- Entrada i sortida de la matèria: S'ha de realitzar un orifici pel qual pugui accedir la matèria a emmagatzemar i un altre per a que hi pugui sortir quan es requereixi la seva utilització.

- Nivell: Instrument de vital importància donat que es l'encarregat de mesurar el nivell de matèria que es troba contingut dins el tanc. La seva senyal pot ser visual o elèctrica.

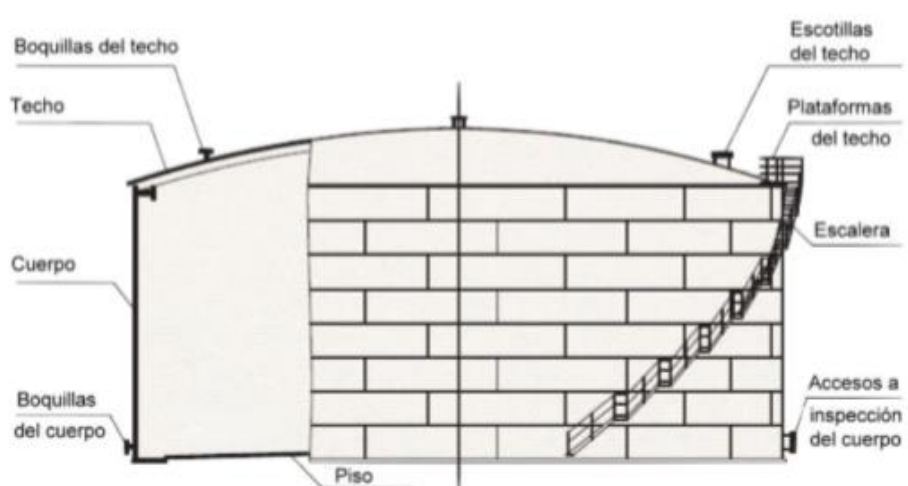


Figura 11.1.1: Elements d'un tanc d'emmagatzematge

Els dipòsits poden ser horitzontals o verticals. En aquest cas es dissenyaran verticals degut a que es desitja emmagatzemar un volum elevat de matèria i si es troben orientats d'aquesta forma tenen bastant més capacitat que no pas horitzontals

Existeixen diferents codis de disseny dels tancs en funció dels requeriments necessaris per preservar la substància desitjada.

Per al disseny del tancs que emmagatzemen líquids es fa ús del codi API 650 (American Petroleum Institute de l'any 2007). Per aquelles substàncies que requereixen ser preservades a elevades pressions (gasos) s'utilitza el codi ASME del 2015 (American Society of Mechanical Engineers) i per a sòlids es fa servir l'Eurocodi el qual dona les directrius per construir estructures metàl·liques com les sitges.

11.1.2. Disseny mecànic segons API 650

Cada normativa API es destina a un tipus de tanc diferent. El codi API 650 està orientat a cobrir les necessitat mínimes de dissenys d'aquells tancs que siguin cilíndrics verticals, amb sostre obert o tancat i construïts amb xapes d'acer soldades.

Capítol 11: Manual de Càlculs

A més, també, contempla el disseny d'aquells tanc que tinguin la finalitat d'emmagatzemar líquids a pressió atmosfèrica i a baixes pressions, a més de, a temperatures no més grans dels 93°C.

Cal dir que tots els espessors calculats amb aquesta normativa estan exempts del factor de corrosió admissible, per tant, després de cada càlcul se li ha d'afegir.

Tots els espessors mínims que seran citats en els següents subapartats són sense aquest factor. Cal dir que aquest factor s'afegeix al càlculs dels espessors per tal de compensar l'abradió mecànica que pateix el material del qual esta format el tanc per la contenció de la substancia a emmagatzemar. La corrosió admissible es troba entre 1 i 6 mm, s'agafa un valor de 2 mm.

11.1.2.1 Disseny del fons del tanc

Consideracions que recull l'API 650 i s'han de tenir en compte a l'hora de fer el disseny dels fons:

- Aquesta normativa dissenya, en general els tancs cilíndrics amb una base (o fons) plana. La resistència permissibile del sòl ha de ser $1,465 \text{ Kg/cm}^2$, per poder suportar tots els esforços que s'originen quan el tanc es ple. La planta disposa d'una resistència al terreny de 2 Kg/cm^2 , per tant, es pot aplicar aquest tipus de fons sense problemes.
- Aquests tancs hauran d'estar uniformement suportats per un llit amb una altura aproximada de 30 cm per sobre del sol de sorra, grava, entre d'altres. Es posa aquest llit per ajudar a la base del tanc a suportar tot el pes de sobre.
- El gruix mínim que ha de tenir el fons varia segons l'espessor del cos del cilindre i de l'esforç del mateix. En el cas que toca serà com a mínim de 6,35mm.

A continuació es presenta la taula on es dispositen tots el espessors mínims referents al fons d'un tanc en funció l'espessor del cos del cilindre i de l'esforç del mateix.

Taula 11.1.2.1: Espessor mínim del fons d'un tanc a baixes pressions

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

Per conèixer l'espessor del cos cilíndric s'utilitzarà el mètode descrit en el següent subapartat i per saber l'esforç es fa ús de la següent formula:

$$Sh = \frac{0,0005 \times D \times (H - 30.48) \times G}{t} \quad \text{Eq 11.1.2.1}$$

Sh= Esforç hidrostàtic del cos cilíndric (Kg/cm²)

D= Diàmetre del tanc (cm)

H= Altura del tanc (cm)

T= Espessor del cos (cm)

G= Densitat relativa del fluid respecte la de l'aigua

11.1.2.2 Disseny del cos del tanc

Igual que al subapartat anterior es fa un recull de les consideracions més importants a l'hora de dissenyar el cos del tanc d'emmagatzematge:

- El gruix o espessor d'aquesta part del tanc varia en funció del diàmetre calculat tal i com es mostra en la taula 11.1.2.2. . En el cas que toca serà com a mínim de 4,76mm.

Taula 11.1.2.2: Espessor mínim del cos d'un tanc a baixes pressions

Diàmetre nominal en metres	Espesor mínimo en milímetros
< 15.24	4.76
15.24 < 36.576	6.35
36.576 < 60.96	7.93
> 60.96	9.52

- Per conèixer el valor d'aquest paràmetre es fa un servir el mètode un peu (one-foot). Aquest es la metodologia preferent a la hora d'estimar el gruix del cos cilíndric i només és vàlid d'aplicar quan el diàmetre de la estructura no és més gran de 60,96 m, cosa que es compleix en tots els tancs dissenyats segons API 650.
- El mètode one-foot determina el gruix en funció de l'espessor que proporciona les condicions de disseny i el que proporciona la prova hidrostàtica. Aquesta última dóna informació sobre l'espessor que tindrà el tanc si el fluid a emmagatzemar fos l'aigua. S'escogeix l'espessor final del cos del tanc segons el valor de la prova que sigui més elevat. Les equacions a fer servir són les 11.1.2.2 i 11.1.2.3.

Capítol 11: Manual de Càlculs

$$td = \frac{0,0005 \times D \times (H - 30.48) \times G}{Sd} + Ca \quad \text{Eq 11.1.2.2}$$

$$tt = \frac{0,0005 \times D \times (H - 30.48)}{St} + Ca \quad \text{Eq 11.1.2.3}$$

td= Espessor per condicions de disseny (mm)

tt= Espessor per prova hidrostàtica (mm)

D= Diàmetre del tanc (cm)

H=Altura del tanc (cm)

Ca= Corrosió admisble (mm)

G= Densitat relativa del líquid a emmagatzemat respecte l'aigua

Sd=Esforç permisible per condicions de disseny (kg/cm²)

St=Esforç permisible per prova hidrostàtica (kg/cm²)

Aquests esforços (Sd i St) varien en funció del material de construcció i es coneixen amb la taula 11.1.2.3 (dos últimes columnes) que es troba en la normativa API 650.

Taula 11.1.2.3: Esforços del material d'un tanc a baixes pressions

ESPECIFICACION	GRADO	ESFUERZO EN PUNTO CEDENCIA	ESFUERZO A LA TENSION	ESFUERZO DE DISEÑO	ESFUERZO DE PRUEBA
ASTM					
A-283	C	2110	3870	1410	1580
A-285	C	2110	3870	1410	1580
A-131	A,B,C,D	2390	4080	1600	1750
A-36		2530	4080	1630	1750
A-131	EH36	2580	4990	1200	2140
A-442	55	2110	3870	1410	1580
A-442	60	2250	4220	1500	1690
A-573	58	2250	4080	1500	1690
A-573	65	2460	4570	1640	1850
A-573	70	2950	4920	1970	2110
A-516	55	2110	3870	1410	1580
A-516	60	2250	4220	1500	1690
A-516	65	2460	4570	1640	1850
A-516	70	2670	4920	1780	2000
A-662	B	2810	4570	1830	1960
A-662	C	3020	4920	1970	2110
A-537	1	3510	4920	1970	2110
A-537	2	4220	5620	2250	2410
A-633	C,D	3510	4920	1970	2110
A-678	A	3510	4920	1970	2110
A-678	B	4220	5620	2250	2410
A-737	B	3510	4920	1970	2110

11.1.2.3 Disseny del sostre del tanc

- El sostre del tanc serà autosoportat, es a dir, que no requerirà de una estructura que els ajudi a suportar el seu propi pes. Normalment solen ser tipus cònic o casquet esfèric. El segons tipus són més cars perquè resulten ser de fabricació més complexa, per tant, es selecciona el sostre serà cònic
- Els sostres cònics s'utilitzen per tancs amb diàmetres més petits del 18,28 m. I tindrà una pendent mínima de $9,5^{\circ}$ i una màxima de 37° respecte l'horitzontal. S'agafa un valor mig de 21° .
- L'espessor no haurà de ser menor a 4,76 mm però tampoc podrà ser major de 12,7 mm. Per tal de conèixer el valor d'aquest espessor es fa ús de la equació 11.1.2.4

$$ts = \frac{D}{4800 \times \sin(\theta)} + Ca \quad \text{Eq 11.1.2.4}$$

ts= Espessor del sostre (mm)

D=Diàmetre del tanc (mm)

Ca=Corrosió admissible (mm)

θ = Angle respecte la horitzontal

11.1.2.4 Càlcul de les dimensions del tanc

En els subapartats anteriors s'ha vist com calcular els espessors de les diferents parts que conformen el cilindre i es pot veure com aquest paràmetre depèn principalment del diàmetre que tingui el tanc. I aquest diàmetre dependrà del volum necessari per conservar la matèria.

Un cop dit això es mostra el procediment seguit per al càlcul de les dimensions d'un tanc que segueix la normativa API 650.

$$V = \frac{m \times S}{\rho} \quad \text{Eq 11.1.2.5}$$

V= Volum (m^3)

m= Massa necessària per un dia (Kg/dia)

S= Dies de Stock

ρ = Densitat (Kg/m³)

Per conèixer el volum de matèria que es vol emmagatzemar es multiplica la quantitat necessària per un dia de producció per els dies que es reservarà (stock) en el tanc i es divideix per la densitat per passar de quilos a unitat de volum (Eq 11.1.2.5).

Per qüestions de seguretat i de que un dia puntual hi hagi la possibilitat de que augmenti la necessitat de guardar més quantitat d'una determinada substància es sobredimensionen els tancs un 15% (Eq 11.1.2.6).

$$V_{total} = \frac{V}{0,85} \quad \text{Eq 11.1.2.6}$$

V= Volum útil (m³)

V_{total} = Volum final

Un cop conegut aquest volum es procedeix a fer el càlcul del radi que requereix aquell tanc.

$$V_{total} = V_{cos (cilindre)} + V_{sostre (con)} = \pi r^2 h_{ci} + \pi \frac{1}{3} r^2 h_{co} \quad \text{Eq 11.1.2.7}$$

$$D = 2r \quad \text{Eq 11.1.2.8}$$

$$h_{ci} = 1,5D = 3r \quad \text{Eq 11.1.2.9}$$

$$G = \frac{r}{\cos(\theta)} \quad \text{Eq 11.1.2.10}$$

$$h_{co} = G \sin(\theta) = \tan(\theta) r \quad \text{Eq 11.1.2.11}$$

r= radi (m)

D= diàmetre (m)

h_{ci} = Alçada del cos cilíndric (m)

h_{co} = Alçada del sostre cònic (m)

G= Hipotenusa del con

La relació entre diàmetre del tanc i altura del cilindre és de 1,5 perquè es la relació típica a la hora de dimensionar els equips.

Tenint en compte les equacions 11.1.2.9 i 11.1.2.11 l'equació 11.1.2.7 esdevé la equació 11.1.2.12.

$$V_{total} = \pi r^2 3r + \pi \frac{1}{3} r^2 \tan(\theta) r$$

r = radi (m)

θ = Angles respecte l'horitzontal (21°)

Finalment s'obté l'expressió que defineix el volum del tanc en funció exclusivament del radi del mateix. S'aplica, per exemple, la funció Solver d'Excel i s'obté el radi que ha de tenir el tanc per tal de aconseguir el volum desitjat.

Un cop definit el radi queda definit, també, de forma automàtica l'alçada i diàmetre del cos, la del sostre i els volums respectius de cada peça (eq 11.1.2.7, 11.1.2.8 , 11.1.2.9, 11.1.2.10 i 11.1.2.11).

11.1.2.5 Determinació del pes del tanc

Coneixent les dimensions que tindrà cada peça que forma el tanc i el gruix requerit es pot calcular el pes total del mateix quan estigui en operació, es a dir, ple. Per conèixer aquest paràmetre, el pes, es procedeix a la següent metodologia que consisteix en estimar el volum que ocupa el material del qual està fet el tanc.

$$P_{cos material} = V_{cos material} \times \rho_{material} \quad \text{Eq 11.1.2.13}$$

$$P_{sostre material} = V_{sostre material} \times \rho_{material} \quad \text{Eq 11.1.2.14}$$

$$P_{fons material} = V_{fons material} \times \rho_{material} \quad \text{Eq 11.1.2.15}$$

$$P_{total buit} = P_{cos material} + P_{sostre material} + P_{fons material} \quad \text{Eq 11.1.2.16}$$

$$P_{líquid} = V_{líquid} \times \rho_{líquid} \quad \text{Eq 11.1.2.17}$$

$$P_{total ple material} = P_{total buit} + P_{líquid} \quad \text{Eq 11.1.2.18}$$

$P_{cos material}$ = Pes del material que forma el cos (Kg)

$V_{cos material}$ = Volum del material que forma el cos (m^3)

$\rho_{material}$ = Densitat del material de construcció (Kg/m^3)

$P_{sostre material}$ = Pes del material que forma el sostre (Kg)

$V_{sostre\ material}$ = Volum del material que forma del sostre (m^3)

$P_{fons\ material}$ = Pes del material que forma el fons

$V_{fons\ material}$ = Volum del material que forma el fons

$P_{total\ buit}$ = Pes del tanc quan es troba buit (Kg)

$P_{líquid}$ = Pes del líquid emmagatzemat (Kg)

$V_{líquid}$ = Volum del líquid (m^3) (al 85% del volum total)

$\rho_{líquid}$ = Densitat del líquid a emmagatzemar (Kg/m^3)

$P_{total\ ple\ material}$ = Pes del tanc quan aquest es troba ple de líquid

Per conèixer els volums que ocupa el material de cada una de les peces:

$$V_{cos\ material} = V_{ext} - V_{int} = \pi r_e^2 h_{ci} - \pi r_i^2 h_{ci} \quad \text{Eq 11.1.2.19}$$

$$V_{sostre\ material} = \pi \frac{1}{3} (r_e)^2 h_{coe} - \pi \frac{1}{3} (r_i)^2 h_{coi} \quad \text{Eq 11.1.2.20}$$

$$V_{fons\ material} = \pi r_e^2 t_{fo} \quad \text{Eq 11.1.2.21}$$

r_i = Radi intern (m)

r_e = Radi extern (m)

h_{ci} = Altura del cos cilíndric (m)

h_{coi} = Altura interna del sostre cònic (tenint en compte l'espessor) (m)

h_{coe} = Altura externa del sostre cònic (tenint en compte l'espessor) (m)

En aquesta planta les substàncies a emmagatzemar són reactius, producte final i substàncies residuals que s'obtenen al llarg del procés. El producte final s'emmagatzemarà directament en bidons de 200 kg, així, com surti del tamisador s'aniran omplint aquests bidons.

El codi API 650, tal i com, s'ha mencionat prèviament es utilitza per al càlcul dels espessors d'aquells tancs d'emmagatzematge que no requereixen estar sotmesos a pressió, i, per tant, en treballen a un valor baix d'aquesta fent que sigui propera a la atmosfèrica. L'única pressió, a la qual es troben sotmesos es a la generada per la columna d'aigua.

En aquesta planta de producció d'àcid acetilsalicílic es treballen amb reactius, majoritàriament líquids, consegüentment, són dissenyats d'acord als requisits explicats anteriorment, API 650.

L'únic que compleix amb el requisit de ser emmagatzemat a elevada pressió es el diòxid de carboni, per tal de passar d'estat gasos a estat líquid, i així, reduir de forma molt significativa l'espai de conservació i els costos de transport del mateix. Per calcular l'espessor corresponent s'utilitza el codi ASME, explicat seguidament.

11.1.3. Disseny mecànic segons ASME

Tal i com s'ha esmentat a l'inici del subapartat 11.1.1 quan es requereix emmagatzemar bé un gas o bé un líquid a pressió es necessari que el disseny del tanc sigui la normativa ASME.

A diferència de la normativa anterior, aquest gruix no dependrà bàsicament del diàmetre si no que, també, dependrà d'altres factors. Per tant, abans de prosseguir amb el disseny mecànic es necessari calcular i buscar precisament aquests factors.

L'ASME i el codi API 650 són normatives complementaries i el espessors mínims que es tindran en compte a l'hora de fer els càlculs seran els mateixos que els utilitzats en la secció 11.1.2.

- Pressió hidrostàtica

Aquest paràmetre (ΔP) correspon a la pressió que genera el pes del fluid quan aquest es troba en repòs.

$$\Delta P = \rho \times g \times h \quad \text{Eq 11.1.3.1}$$

ρ = Densitat del fluid (Kg/m³)

g = gravetat= 9,81 m/s²

h =Alçada del líquid

- Pressió d'operació

La pressió d'operació (P_{op}) es la pressió de treball, és a dir, correspon a la pressió que es desitja que estigui sotmès l'equip per tal de preservar el fluid desitjat.

- Pressió de disseny

La pressió de disseny (P) es el valor de pressió que s'ha d'utilitzar per realitzar el disseny mecànic de cada una de les parts que formen el tanc. Com tot paràmetre de disseny la pressió de disseny estarà sobredimensionada un 15 %. Es fa aquest sobredimensionant per a tenir un marge de seguretat.

l estarà formada per la suma de la pressió d'operació més la que exerceix el líquid, o sigui la hidrostàtica (Eq 11.1.3.2).

$$P = 1,15 \times (P_{op} + \Delta P) \quad \text{Eq 11.1.3.2}$$

- Temperatura d'operació

Al igual que en el cas de la pressió, la temperatura de operació (T_{op}) serà aquella temperatura al qual es desitja que treballi l'equip.

- Temperatura de disseny

Com s'ha mencionat anteriorment, al ser un paràmetre de disseny (T) aquest comptarà amb un marge de seguretat típic de ± 15 °C.

$$T = T_{op} \pm 20 \quad \text{Eq 11.1.3.3}$$

- Límit elàstic

El límit elàstic (S) d'un material es pot definir com el màxim esforç al que es pot sotmetre el material abans no es trenqui. Aquest valor varia segons el material que es seleccioni per fer el tanc, i els utilitzats són extrets de AZO Materials.

- Factor de soldadura

A l'hora de fer el muntatge del tanc es realitzen diferents unions per tal de conformar el que serà el cos i els capçals. Aquestes unions entre plaques es fan per mitjà de soldadura, aquest punt d'unió pot presentar certa discontinuïtat i, per tant, es un punt on la estructura es pot veure debilitada. Per tal de reforçar-la s'introdueix un factor de seguretat, el qual, depèn del tipus de soldadura. De forma genèrica, sol ser radiografiat parcial i aquest presenta un factor de soldadura de 0,85.

- Factor M

El factor M és un factor particular del codi ASME i els valors del qual es troben tabulats (Taula 11.1.3.1). El factor M s'utilitza en el càlcul dels espessors dels capçals. Aquests capçals són la tapa i el fons, i s'escull tipus Kloppler o el que es el mateix toriesfèric.

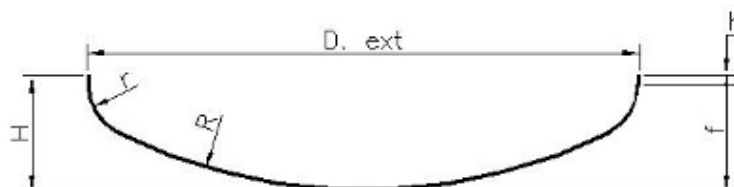


Figura 11.1.3.1: Capçal toriesfèric o Kloppler

Aquest paràmetre s'identifica a partir de la relació que existeix entre el radi de bombament (R o L), el qual, es sol escollir com igual al diàmetre del tanc, i el radi de curvatura (r), aquest sol ser el 10% del radi de bombament (R o L).

Taula 11.1.3.1: Valors del factor M

L/r	1.0	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00	3.25	3.50
M	1.00	1.03	1.06	1.08	1.10	1.13	1.15	1.17	1.18	1.20	1.22
L/r	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0
M	1.25	1.28	1.31	1.34	1.36	1.39	1.41	1.44	1.46	1.48	1.50
L/r	9.5	10.00	10.5	11.0	11.5	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	$16\frac{2}{3}$
M	1.52	1.54	1.56	1.58	1.60	1.62	1.65	1.69	1.72	1.75	1.77

- Gruix per corrosió

Aquest paràmetre és exactament equivalent al factor de corrosió admissible exposat en l'explicació del codi API 650. Aquest gruix es suma als espessors calculats, al igual que ho fa el factor de corrosió admissible per tal de compensar l'abrasió mecànica que pateix el material del tanc que emmagatzema una determinada substància. Per tant, resulten ser, un cop més, factors de seguretat que asseguraran que aquell espessor resisteixi la pressió i corrosió.

Els mètodes per tal de calcular les espessors de les diferents parts que conformen el tanc resulten més senzilles i directes que per al cas del API 650.

11.1.3.1 Disseny del fons del tanc

- La geometria que pren el capçal del fons es tipus Klover, tal i com s'ha mencionat en la descripció dels diferents paràmetres que intervenen en el disseny segons ASME. I per a calcular el gruix que requereix aquest tipus de fons es fa ús de la següent expressió:

$$t_f = \frac{P \times L \times M}{2 \times S \times E - 0.2 \times P} + C \quad \text{Eq 11.1.3.4}$$

t_f = Espessor del fons o capçal torisfèric (mm)

P = Pressió de disseny (Bar)

L = Bombament del capçal (igual al diàmetre del tanc) (mm)

M = Factor M

S = Límit elàstic del material (Bar)

E = Factor de soldadura

C = Factor de corrosió (mm)

11.1.3.2 Disseny del cos del tanc

- La geometria que pren el cos es tipus cilíndrica. I per a calcular el gruix que requereix aquest tipus de cos es fa ús de la següent expressió:

$$t_c = \frac{P \times R}{S \times E - 0.6 \times P} + C \quad \text{Eq 11.1.3.5}$$

t_c = Espessor del fons o capçal torisfèric (mm)

P = Pressió de disseny (Bar)

R = Radi del cilindre (mm)

S = Límit elàstic del material (Bar)

E = Factor de soldadura

C = Factor de corrosió (mm)

11.1.3.3 Disseny del sostre del tanc

- La geometria que pren el capçal del sostre, es a dir, la tapa, es tipus Kloppe al igual que el fons i, per tant, per a calcular el gruix que requereix aquest tipus de capçal superior es fa ús de la mateixa expressió utilitzada al apartat 11.1.3.1.

$$t_f = \frac{P \times L \times M}{2 \times S \times E - 0.2 \times P} + C \quad \text{Eq 11.1.3.4}$$

t_f = Espessor del fons o capçal torisfèric (mm)

P = Pressió de disseny (Bar)

L = Bombament del capçal (igual al diàmetre del tanc) (mm)

M = Factor M

S = Límit elàstic del material (Bar)

E = Factor de soldadura

C = Factor de corrosió (mm)

11.1.3.4 Càlcul de les dimensions del tanc

En els subapartats anteriors s'ha vist com calcular els espessors de les diferents parts que conformen el cilindre i es pot veure com aquest paràmetre depèn, entre d'altres coses, del diàmetre que tingui el tanc. I aquest diàmetre dependrà del volum necessari per conservar la matèria.

Un cop dit això es mostra el procediment seguit per al càlcul de les dimensions d'un tanc que segueix la normativa ASME.

Cal dir que la forma en la qual es dimensiona cada una de les parts es igual que la explicada en l'apartat 11.1.2.4, es a dir, que el dimensionament es fa a partir de la geometria de cada una d'aquestes peces que conformen el tanc d'emmagatzematge. Però, amb la diferència que la geometria que prenen aquestes parts són diferents.

Pel codi 650 el fons és pla, el cos és cilíndric i el sostre el cònic. Mentre que per l'ASME el fons es tipus Kloppe i el sostre o tapa es del mateix estil que el fons.

S'escull aquesta geometria en l'ASME per ser la geometria clàssica dels recipients que emmagatzemen substàncies a elevades pressions.

$$V = \frac{m \times S}{\rho} \quad \text{Eq 11.1.3.6}$$

V= Volum (m^3)

m= Massa necessària per un dia (Kg/dia)

S= Dies de Stock

ρ = Densitat (Kg/m^3)

Per conèixer el volum de matèria que es vol emmagatzemar es multiplica la quantitat necessària per un dia de producció per els dies que es reservarà (stock) en el tanc i es divideix per la densitat per passar de quilos a unitat de volum (Eq 11.1.3.6).

Per qüestions de seguretat i de que un dia puntual hi hagi la possibilitat de que augmenti la necessitat de guardar més quantitat d'una determinada substància es sobredimensionen els tancs un 15% (Eq 11.1.3.7).

$$V_{total} = \frac{V}{0,85} \quad \text{Eq 11.1.3.7}$$

V= Volum útil (m^3)

V_{total} = Volum final

Un cop conegut aquest volum es procedeix a fer el càlcul del radi que requereix aquell tanc.

$$\begin{aligned} V_{total} &= V_{cos} (cilindre) + V_{sostre} (tapa) + V_{fons} (Kloppe) \\ &= \pi r^2 h_{ci} + 0,054 \times D^3 + 0,1 \times D^3 \end{aligned} \quad \text{Eq 11.1.3.8}$$

$$D = 2r \quad \text{Eq 11.1.3.9}$$

$$h_{ci} = 1,5D = 3r \quad \text{Eq 11.1.3.10}$$

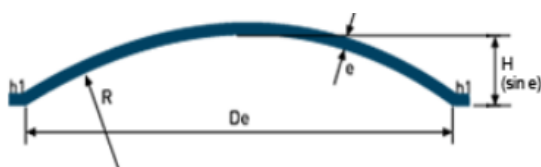
r = radi (m)

D = diàmetre (m)

h_{ci} = Alçada del cos cilíndric (m)

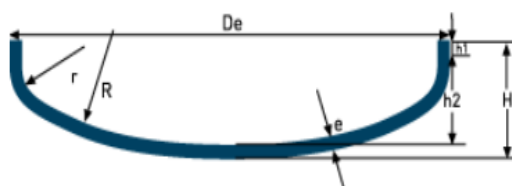
Aquest volum de la tapa i el fons són subministrats per la empresa Fondeyur S.L. Tal i com es mostren en les figures 11.1.3.2 i 11.1.3.3.

Figura 11.1.3.2: Dimensionament tapa



	$R=De$
$H(\sin e)$	$0.134De$
$Dd=$	$1.04De+2h1$
$V\approx$	$0.054De^3$

Figura 11.1.3.3: Dimensionament fons Kloppe



$$\begin{aligned}
 R &= De \\
 r &= R/10 \\
 h1 &\geq 3,5e \\
 h2 &= 0.1935De-0.455e \\
 H &= h2+h1+e \\
 Dd &= 1.11De+1.85h1 \\
 V(h2) &= 0.1(Di)^3
 \end{aligned}$$

Altres opcions, de dimensionar aquest tipus de tancs es fent que la tapa sigui altre capçal Kloppe, és a dir, un cos cilíndric i dos fons Kloppe.

La relació entre diàmetre del tanc i altura del cilindre és de 1,5 perquè es la relació típica a la hora de dimensionar els equips.

Tenint en compte les equacions 11.1.3.9 i 11.1.3.10 l'equació 11.1.3.8 esdevé la equació 11.1.3.11.

$$V_{total} = \pi r^2 \times 3r + 0,054 \times (2r)^3 + 0,1 \times (2r)^3 \quad \text{Eq 11.1.3.11}$$

r = radi (m)

Finalment s'obté l'expressió (11.1.3.11) que defineix el volum del tanc en funció exclusivament del radi del mateix. S'aplica, per exemple, la funció Solver d'Excel i s'obté el radi que ha de tenir el tanc per tal de aconseguir el volum desitjat.

Un cop definit el radi queda definit, també, de forma automàtica l'alçada i diàmetre del cos, la del sostre i els volums respectius de cada peça.

11.1.3.5 Determinació del pes del tanc

Coneixent les dimensions que tindrà cada peça que forma el tanc i el gruix requerit es pot calcular el pes total del mateix quan estigui en operació, es a dir, ple. Per conèixer aquest paràmetre, el pes, es procedeix a la següent metodologia que consisteix en estimar el volum que ocupa el material del qual està fet el tanc.

$$P_{\text{cos material}} = V_{\text{cos material}} \times \rho_{\text{material}} \quad \text{Eq 11.1.3.12}$$

$$P_{\text{sostre material}} = V_{\text{sostre material}} \times \rho_{\text{material}} \quad \text{Eq 11.1.3.13}$$

$$P_{\text{fons material}} = V_{\text{fons material}} \times \rho_{\text{material}} \quad \text{Eq 11.1.3.14}$$

$$P_{\text{total buit}} = P_{\text{cos material}} + P_{\text{sostre material}} + P_{\text{fons material}} \quad \text{Eq 11.1.3.15}$$

$$P_{\text{líquid}} = V_{\text{líquid}} \times \rho_{\text{líquid}} \quad \text{Eq 11.1.3.16}$$

$$P_{\text{total ple material}} = P_{\text{total buit}} + P_{\text{líquid}} \quad \text{Eq 11.1.3.17}$$

$P_{\text{cos material}}$ = Pes del material que forma el cos (Kg)

$V_{\text{cos material}}$ = Volum del material que forma el cos (m³)

ρ_{material} = Densitat del material de construcció (Kg/m³)

$P_{\text{sostre material}}$ = Pes del material que forma el sostre (Kg)

$V_{\text{sostre material}}$ = Volum del material que forma del sostre (m³)

$P_{\text{fons material}}$ = Pes del material que forma el fons

$V_{\text{fons material}}$ = Volum del material que forma el fons

$P_{\text{total buit}}$ = Pes del tanc quan es troba buit (Kg)

$P_{\text{líquid}}$ = Pes del líquid emmagatzemat (Kg)

$V_{\text{líquid}}$ = Volum del líquid (m³) (al 85% del volum total)

$\rho_{líquid}$ = Densitat del líquid a emmagatzemar (Kg/m^3)

$P_{total ple material}$ = Pes del tanc quan aquest es troba ple de líquid

Per conèixer els volums que ocupa el material de cada una de les peces:

$$V_{cos material} = V_{ext} - V_{int} = \pi r_e^2 h_{ci} - \pi r_i^2 h_{ci} \quad \text{Eq 11.1.3.18}$$

$$V_{sostre material} = 0,054(2r_e)^3 - 0,054(2r_i)^3 \quad \text{Eq 11.1.3.19}$$

$$V_{fons material} = 0,1(2r_e)^3 - 0,1(2r_i)^3 \quad \text{Eq 11.1.3.20}$$

r_i = Radi intern (m)

r_e = Radi extern (m)

h_{ci} = Altura del cos cilíndric (m)

11.1.5. Suport

Degut als requisits que segueixen la majoria dels tancs d'emmagatzematge, els quals no són necessaris preservar a pressió les matèries utilitzades en el procés, aquests segueixen el codi API 650, ideat per a tanc de pressió atmosfèrica o de baixes pressions (prop de l'atmosfèrica). En aquest codi, un dels fonaments de disseny es que el fons o base sigui plana, per tant, els tancs que segueixen aquesta normativa no requereixen cap element de suport com a tal.

Però, el que sí es menciona en aquest mateix codi, el API 650, es que la superfície del fons del tanc descansi sobre un llit d'una alçada mínima de 30 cm per sobre el terra. Aquest llit pot ser de materials com la sorra o la grava.

Els tancs, que per contra, no puguin comptar amb un fons pla i tinguin un altre tipus de fons com pot ser el Klopper, sí que hauran de comptar amb elements de suport. Aquests elements són les potes, solen ser de tres a quatre. El cas més típic es posar-ne tres i es posen de forma equidistant.

11.1.6. Boca d'home

Els tancs d'emmagatzematge han de comptar, al menys amb una entrada o boca d'home en el cos cilíndric, o bé, en el sostre. Aquestes entrades es realitzen amb la finalitat de poder accedir dins el tanc per realitzar neteges, reparacions o revisions dins el mateix, i així, comprovar que la superfície interna del tanc es troba en bones condicions.

Si la entrada d'home es troba en el sostre s'haurà d'accedir a través d'unes escales, les quals es trobaran envoltant tot el cos cilíndric. Si aquesta es ubicada al cos, ha de estar pròxima al fons i es podrà accedir sense l'ajuda de cap accessori.

Aquesta entrada d'home es un orifici amb forma circular i les mides indicades per el codi API 650 son de 508, 610 o 762 mm de diàmetre. Cal dir que encara que un tanc segueixi la normativa ASME, també, ha de comptar amb una boca d'home i, per tenir, un valor de la grandària d'aquesta es pot partir de les mesures abans descrites.

11.1.7. Escales

Les escales tenen la finalitat de situar al personal que així ho requereixi en una zona del tanc que necessiti manteniment o supervisió, per tant, faciliten poder accedir a diferents parts del tanc d'emmagatzematge. A més, brinden protecció i seguretat al personal a l'hora de fer aquestes tasques de manteniment i supervisió.

S'han trobat diferents punts claus amb els quals han de complir aquestes escales segons la normativa API 650, però, al igual que passava amb el subapartat anterior, s'aplicarà aquest mateix requisit per a la normativa ASME.

- Totes les parts de l'escala han de ser metàl·liques.
- L'amplada mínima de les escales serà de 610 mm (24 polsades).
- L'angle màxim entre les escales i la línia horitzontal serà de 50°C.
- L'amplada mínima dels esglaons serà de 203 mm (8 polsades).
- Els esglaons estaran fets de reixeta o material anti-derrapant.
- L'estructura ha de ser capaç de suportar una carga viva concentrada de 453 Kg (1000 llibres) i l'estructura del passamans haurà d'aguantar una carga de 90 Kg.

- Els passamans hauran d'estar col·locats en ambdós costats de les escales i les escales circumferencials estaran completament suportades pel cos del tanc.

11.1.8. Cubeta de retenció

En aquest apartat s'explicarà un element que forma part de tots els tancs d'emmagatzematge, bé aquests siguin de matèries primeres com de residus, que resulta molt important en quant a l'aspecte de seguretat, es tracta de les cubetes de retenció. Aquest es tracta d'una obra civil que es construeix al voltant del tanc, com si es tractes d'un balla, i la seva finalitat es retenir el líquid en cas de produir-se una fuga dintre el tanc d'emmagatzematge, llavors, el que fa la cubeta de retenció es impedir que aquesta substància perillosa s'escampi per tot el parc de tancs.

Degut aquest motiu resulten ser un element a nivell de seguretat bastant important. Per més informació de la cubeta de retenció es pot consultar el *Capítol 5: Seguretat i higiene*

Per més seguretat i per facilitar maniobres en cas d'incendi cada cubeta independent disposa de forma adjacent una via d'accés que permet la intervenció de la brigada contra incendis. Llavors, cada cubeta comptarà amb una distància entre elles de 10 metres.

Cal dir que las cubetes només contenen un tipus de substància per tal d'incrementar la seguretat.

Abans d'explicar el procediment de càlcul d'una cubeta de retenció s'ha de conèixer que les distàncies entre recipient, entre recipient-cubeta de retenció i alçada de la mateix han sigut establert segons el Reglament d'emmagatzematge de productes químics i que es troba visualitzat en el *Capítol 5: Seguretat i higiene*.

A més, en aquest Reglament es cita que la capacitat de la cubeta (volum) ha de ser, com a mínim, igual al volum del tanc d'emmagatzematge més gran que aquesta cubeta contingui.

- LONGITUD

$$L = 2 \times d_1 + (N - 1) \times d_2 + d_{tancs} \quad \text{Eq 11.1.8.1}$$

L= Longitud de la cubeta (m)

d₁ = Distància entre cubeta i recipient (1 m)

N= Número de tancs

d₂= Distància entre tancs (2 m)

d_{ancs}= S'afegeix el diàmetre (m) de cada tanc que hi ha d'haver en cada cubeta

- ALÇADA

Aquesta fa un metre d'alt segons estableixen les ITC MIE APQ.

- AMPLADA

$$A = 2 \times d_1 + d_{tanc} \quad \text{Eq 11.1.8.2}$$

A= Amplada (m)

d₁ = Distància entre cubeta i recipient (1 m)

d_{anc}= S'afegeix el diàmetre (m) d'un dels tancs que conté aquesta cubeta

- VOLUM

$$V = L \times A \times 1 \quad \text{Eq 11.1.8.3}$$

V= Volum total (m³)

L= Longitud

A= Amplada

Donat que la cubeta de retenció té una geometria igual a la d'un rectangle el volum de la mateixa s'extrau multiplicant la longitud, amplada i alçada. Cal recordar que l'alçada correspon a la de un metre.

Un cop és té aquest volum s'ha de confirmar que es suficient per tal de retenir el líquid en cas de fuga. El criteri que s'utilitza es que la cubeta de retenció ha de poder retenir tot el volum que emmagatzematge el tanc més gran que conte.

$$V_{cubeta} \geq V_{tanc \text{ més gran}} \quad \text{Eq 11.1.8.4}$$

- VOLUM CUBETA LLIURE

$$V_{cubeta} = V - V_{ocupat}$$

- VOLUM OCUPAT

$$V_{ocupat} = \pi \times r_{tanc}^2 \times 1 \times N$$

r_{tanc} = Radi del tanc

N= Número de tancs

Es multiplica per 1 perquè es l'alçada de la cubeta de retenció

Si aquest volum final, que es volum disponible, no supera el criteri de ser com a mínim el volum d'un dels tancs només s'ha d'ampliar la distancia que hi ha entre el recipient i la paret de la cubeta, o, bè, la distància que hi ha entre els tancs.

11.1.9. Ventilació

Altra element que contenen els tancs d'emmagatzematge i que resulten molt importants en quant a nivell de seguretat són els sistemes de ventilació. Aquests sistemes són emprats per tal de prevenir els efectes de les alteracions de la pressió interna del recipient que es poden donar quant aquests són carregats o descarregats, o també, si hi ha canvis de temperatura dintre dels mateixos.

Llavors, aquestes ventilacions es podrien considerar reguladors de la pressió. Hi ha de dos tipus normal i d'emergència, i el disseny es fa amb el que s'indica a les ITC MIE APQ.

La ventilació ha de ser com a mínim igual a les canonades més gran (d'ompliment o buidatge) que tingui el tanc per tal de que la dimensió d'aquest sistema estigui basada en el flux màxim possible. Cal dir que mai podrà ser inferior a 35 mm de diàmetre intern.

El sistema de ventilació que s'utilitza per alleugerar el excés de pressió interna es dimensiona segons el sistema d'emergència.

El d'emergència fa al·lusió al cas de que hi hagués un foc. En aquest cas el flux de vapors produïts per l'efecte de la calor i que han de sortir del tanc (perquè si no es genera una sobrepressió dintre del mateix dimensiona en base a si aquest fluid evaporat fos l'aire. I per determinar aquest cabal d'aire es fa a partir del càlcul de la

Capítol 11: Manual de Càlculs

superfície humida, la qual correspon a la superfície del líquid emmagatzemat. Coneixent aquest valor, es mira quin cabal d'aire li correspon (Taula 11.1.9.1) i, ja s'obté la capacitat de ventilació necessària pel tanc que s'està dissenyant. I per conèixer, el la secció de la canonada de sortida només s'ha de dividir entre la velocitat típica de un gas.

Per més informació sobre aquest sistema de ventilació consultar el *Capítol 5: Seguretat i Higiene*.

Taula 11.1.9.1

Superfície húmeda (m²)	m³/hora de aire	Superfície húmeda (m²)	m³/hora de aire
2	636	50	10.330
4	1.272	60	11.453
6	1.909	70	12.497
8	2.544	80	13.478
10	3.180	90	14.408
12	3.816	100	15.293
14	4.452	120	16.000
16	5.088	140	16.846
18	5.724	160	17.624
20	6.360	180	18.340
25	6.978	200	19.000
30	7.736	230	19.924
35	8.441	260 y superior	20.767
40	9.104		

11.1.10. Aïllament

Hi ha una sèrie de tancs d'emmagatzematge que han de ser emmagatzemats a certa temperatura degut a que si es troba per sota de la mateixa solidifiquen degut a que tenen un punt de congelació elevat. Aquest seria el cas del fenol i del hidròxid de sodi amb una concentració del 50%.

Degut aquest fet les canonades que transporten dites substàncies es troben calefactades per tal d'assegurar que arriben en les condicions òptimes als equips on es requereixen .

Per tal de poder conèixer quin hauria de ser l'espessor mínim necessari de l'aïllant que ha de tindre el tanc es recorre a l'aplicació creada per ISOVER. Aquets mateix empresa són els que proporcionaran els aïllants de les canonades.

L'espessor obtingut es de 14 centímetres i serà llana de roca.

[Link:<https://www.isover.es/documentacion/software-programas-calculo/calculo-espesores-cte>]

11.1.11. Sistema de calefacció

Tal i com s'ha mencionat en el apartat 11.1.10: *Aïllament* hi ha tancs d'emmagatzematge que requereixen ser calefactats per tal d'aconseguir que la substància proporcionada pel proveïdor es mantingui a la temperatura a la qual es subministrada. Aquest seria el cas de l'hidròxid de sodi i del fenol, si no es mantingues la temperatura es refredaria i es tornarien sòlids.

El sistema de calefacció escollit es el serpentí degut a que és un dels sistemes de calefacció més clàssics que hi han. Aquest tipus de bescanviador consisteix en un tub que es dobla en forma d'espiral, per tant, té una forma helicoidal i aquest es submergeix en el fluid que es vol calefactar.

Aquests bescanviadors destaquen per presentar els següents avantatges:

- ❖ Baix cost
- ❖ Ràpida construcció, donat que són construïts de materials abundants
- ❖ Fàcilment removibles i transportables
- ❖ Rendiment del bescanviador es bo
- ❖ Fàcil de netejar

El fluid que s'encarrega d'escalfar la substància que es troba dintre del tanc d'emmagatzematge es vapor d'aigua, el qual, es proporcionat per la caldera. Aquest el subministra a 180°C i 8 bars.

El primer pas que s'ha de realitzar per tal de dissenyar el bescanviador de calor tipus serpentí es conèixer quin és el calor que s'ha de bescanviar per tal de mantenir la

temperatura dintre del tanc en el valor desitjat. Aquest cabal de calor es calcula com el calor que es perd per convecció natural, es a dir, el cabal de calor que es bescanviaria en absència del serpentí

- CONVECCIÓ NATURAL → Càlcul de la calor que s'ha d'aportar

Per conèixer el cabal de calor a bescanviar per mantenir la substància a la temperatura desitjada es necessita conèixer el coeficient global de transferència de calor (U), la diferencia de temperatura entre l'interior i l'exterior (ambient) i l'àrea de bescanvi, la qual correspon a l'àrea total del tanc.

Com es veu l'únic que no es pot conèixer directament es el coeficient global de transferència de calor, ja que per conèixer aquest paràmetre es necessita, primer, saber els coeficients de transferència (h).

Aquests coeficients individuals es poden conèixer a partir d'una correlació que aporta el Handbook Perry (Sexta Edició).

$$h = b \times (\Delta T)^m \times L^{3m-1} \quad \text{Eq. 11.1.11.1}$$

h= Coeficient Individual de calor (W/m² °C)

L= Alçada (m)

ΔT : Diferència de temperatures

b: Coeficient que depèn del fluid pel qual es dissenya el serpentí (Handbook)

m: Coeficient Handbook

Taula 11.1.11.1

TABLE 5-1 Values of a , m , and b for Eqs. (5-32) and (5-34)

Configuration	$Y = N_G N_F$	a	m	b , air at		b , water at		b , organic liquid at	
				21°C	70°F	21°C	70°F	21°C	70°F
Vertical surfaces L = vertical dimension < 3 ft	<10 ⁴	1.36	1/5						
	10 ⁴ < Y < 10 ⁸	0.59	1/4	1.37	0.28	127	26	59	12
	>10 ⁸	0.13	1/5	1.24	0.18				
Horizontal cylinder L = diameter < 8 in	<10 ⁻⁵	0.49	0						
	10 ⁻⁵ < Y < 10 ⁻³	0.71	1/20						
	10 ⁻³ < Y < 1	1.09	1/10						
	1 < Y < 10 ⁴	1.09	1/5						
	10 ⁴ < Y < 10 ⁸	0.53	1/4	1.32	0.27				
	>10 ⁸	0.13	1/5	1.24	0.18				
Horizontal flat surface	10 ⁵ < Y < 2 × 10 ⁷ (FU)	0.54	1/4	1.86	0.38				
	2 × 10 ⁷ < Y < 3 × 10 ¹⁰ (FU)	0.14	1/5						
	3 × 10 ⁵ < Y < 3 × 10 ¹⁰ (FD)	0.27	1/4	0.88	0.18				

Un cop coneguts el coeficients individuals de calor ja es pot calcular el paràmetre de transferència de calor global i que per al sistema que es té pren la següent forma:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i \times \frac{D_i}{D_i}} + \frac{1}{h_e \times \frac{D_e}{D_i}} + \frac{\Delta_{X_{\text{espessor}}}}{k_{\text{material}} \frac{D_{ML}}{D_i}} + \frac{\Delta_{X_{\text{aïllant}}}}{k_{\text{aïllant}} \frac{D_{ML, \text{aïllant}}}{D_i}} \quad \text{Eq. 11.1.11.2}$$

U: Coeficient global de transferència de calor (W/m² °C)

h_i: Coeficient individual de transferència de calor respecte el fluid interior (W/m² °C)

h_e: Coeficient individual de transferència de calor respecte l'aire (W/m² °C)

D_i: Diàmetre intern del tanc d'emmagatzematge (m)

D_e: Diàmetre extern del tanc d'emmagatzematge (m)

k_{material} = Conductivitat tèrmica del material (W/m °C)

k_{aïllant} = Conductivitat tèrmica de l'aïllant (W/m °C)

D_{ML} / D_{ML, aïllant} = Mitjana logarítmica respecte del diàmetre extern i intern del tanc sense aïllant i amb aïllant

Δ_{X_{espessor}} = Espessor del tanc d'emmagatzematge (es calcula com s'ha expressat en els primers apartats d'aquest subapartat) (m)

Δ_{X_{aïllant}} = Gruix de l'aïllant (14 cm)

En quant, a la diferència de temperatura es fa com la resta de la temperatura que es té dintre del tanc amb la temperatura més desfavorable de l'exterior. Aquesta temperatura més desfavorable es de 0 °C (no es sol assumir aquesta temperatura tan baixa al lloc d'ubicació de la planta SALICACEA, Reus (Tarragona)).

I l'àrea de transferència correspon a l'àrea total del tanc d'emmagatzematge. Es recorda que la geometria del mateix es la següent: Cos cilíndric, fons pla i sostre cònic. Per tant, la superfície es pot calcular amb la següent expressió.

$$A_{total} = 2 \times \pi \times H_C \times r + \pi \times r \times G \quad \text{Eq. 11.1.11.3}$$

A_{total} = Àrea del tanc (m^2)

H_C = Alçada del cilindre (m)

r = Radi del tanc (m)

G = Generatriu del con (la diagonal) (m)

Finalment, es calcula la calor que s'ha d'aportar per tal de mantenir el tanc a la temperatura desitjada amb l'equació clàssica que es presenta a continuació:

$$q = U \times A_{total} \times \Delta T \quad \text{Eq. 11.1.11.4}$$

q = Cabal de calor ($W=J/s$)

U : Coeficient global de transferència de calor ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)

A_{total} = Àrea del tanc (m^2)

ΔT = Diferència de temperatures pel cas més desfavorable ($^\circ C$)

- CABAL NECESSARI DE CALEFACTANT → Vapor d'aigua

Ara que es coneix el cabal de calor que s'ha d'aportar es procedeix a veure quin es el cabal necessari de calefactant per tal d'assegurar que es bescanvia aquesta quantitat de calor.

Aquest valor es calcula de forma senzilla amb l'equació de balanç d'energia d'un fluid.

$$q = m \times C_p \times \Delta T \quad \text{Eq. 11.1.11.5}$$

q = Cabal de calor ($W=J/s$)

m = cabal de vapor d'aigua

C_p = Calor específic del vapor d'aigua ($2 \text{ J/g } ^\circ C$)

ΔT = Salt tèrmic que pateix el vapor d'aigua (es dol fer que aquest sigui de $10 \text{ } ^\circ C$)

- DIMENSIONAMENT DEL SERPENTÍ

Un cop es coneix quanta calor s'ha d'aportar per tal de mantenir la temperatura desitjada i quin cabal de vapor d'aigua es necessita per a que aquest fet sigui possible, ja es pot procedir a calcular quina es la secció de serpentí necessària.

Per conèixer aquesta superfície s'utilitza l'equació d'energia pròpia dels bescanviadors.

$$A_s = \frac{q}{U \times DTML} \quad \text{Eq. 11.1.11.6}$$

A_s = Àrea del serpentí (m^2)

q = Cabal de calor ($W=J/s$) → Calculat anteriorment

U = Coeficient global de transferència de calor ($100 W/m^2 \text{ } ^\circ C$)

$DTML$ = Diferència de temperatura logarítmica

$$DTML = \frac{(T - T_E) - (T - T_S)}{\ln\left(\frac{(T - T_E)}{(T - T_S)}\right)} \quad \text{Eq. 11.1.11.7}$$

T_E = Temperatura d'entrada del vapor d'aigua ($180 \text{ } ^\circ C$)

T_S = Temperatura de sortida del vapor d'aigua ($170^\circ C$)

T = Temperatura que es vol mantindre dintre del tanc d'emmagatzematge ($^\circ C$)

Amb l'equació 11.1.11.6 es calcula la secció que ha dintre el serpentí, la q fa referència a la calor necessària que s'ha d'aportar per tal de mantenir la temperatura dintre del tanc, i la U , el coeficient global de transferència, no es l'anterior donat que el d'abans fa referència a quan no hi era el serpentí. Aquest es pren com valor bibliogràfic i es proporcionat pel mateix Handbook Perry, aquest estableix els valor típics de 100 a 200 $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ per aquest tipus de bescanviadors. S'escull el valor de 100 per tal de considerar el cas més desfavorable.

Un cop coneguda l'àrea del serpentí, per calcular la longitud del serpentí es requereix conèixer el valor del diàmetre que tindrà el serpentí. Els valors que s'utilitzen solen ser entre $\frac{3}{4}$ de polzades i 3 polzades. Si es surt d'aquest interval la transferència de calor es veu perjudicada.

Dit això la longitud es calcula amb l'equació 11.1.11.7.

$$L_s = \frac{A_s}{\pi \times D_{tub}}$$

Eq. 11.1.11.7

L_s = Longitud del serpentí (m)

A_s = Àrea del serpentí (m²)

D_{tub} = Diàmetre del tub del serpentí (m)

$$N_s = \frac{L_s}{\pi \times D_s}$$

Eq. 11.1.11.8

N_s = Número d'espises

L_s = Longitud del serpentí (m)

D_s = Diàmtre serpentí (es fixa) (m)

$$H_s = N_s \times D_{tub} + (N_s + 1) \times D_1$$

Eq. 11.1.11.9

N_s = Número d'espises

H_s = Altura del serpentí (m)

D_1 = Distància entre espises (m)

Un cop aplicades aquestes equacions es tindrien el serpentí dissenyat, ara el que es fa comprovar que per dintre del serpentí el vapor d'aigua circula a les velocitats típiques per al vapor d'aigua que seria entre 25 i 40 m/s.

$$v = \frac{Q}{A_{pas}} = \frac{\left(\frac{\rho}{m}\right)}{\pi \times 0,25 \times D_{tub}^2}$$

Eq. 11.1.11.10

v = velocitat del vapor d'aigua (m/s)

Q = Cabal volumètric de vapor d'aigua (m³/s)

A_{pas} = Secció transversal del tub que forma el serpentí (m²)

m = Cabal màssic de vapor d'aigua (Kg/s)

ρ = Densitat del vapor d'aigua (kg/m³)

D_{tub} = Diàmetre del tub del serpenti (m)

11.1.12. Resistència al terreny

Els tancs d'emmagatzematge tant de matèries primeres com de residus són de fons pla (a excepció del CO₂ degut a que es tracta d'un tanc criogènic), i, per tant, s'ha de veure que el terreny estigui preparat per tal de suportar el pes del tanc (encara que aquests tenen un suport, tal com s'ha explicat, en el apartat 11.1.5).

Aquest resulta en un càlcul molt senzill que és:

$$\tau = \frac{P_{op}}{A} \quad \text{Eq. 11.1.12.1}$$

τ = Resistència al terreny (Kg/cm²)

P_{op} = Pes d'operació (tal i com explicat anteriorment) (Kg)

A = Superfície del tanc (cm²)

Aquesta resistència no ha de superar els 2 Kg/cm², donat que es la resistència del terreny del qual es disposa. Les resistències que s'obtenen són sempre menors aquest valor, per tant, es correcte.

11.1.13. Resultats del diferents dissenys dels tancs

En aquesta apartat es col·locaran una sèries de taules on es mostra el resultats de totes els dissenys dels tancs emprats en l'empresa SALICACEA i una breu descripció de les particularitats de cada equip. Abans, però, es comentaran alguns aspectes generals.

-Els espessors calculats per a tots els tancs no sobrepassen els mínims i, per tant, el valor d'aquests corresponen al mínim més el factor de corrosió admissible establert com 2 mm. Degut aquest fet, tots els tancs que es presenten tenen el mateix espessor.

Capítol 11: Manual de Càlculs

- La geometria de tots els tancs es de cos cilíndric, fons pla i sostre cònic. La excepció a aquest cas correspon al del diòxid de carboni el qual es tracta d'una substància criogènica, i, per tant, s'obté per una geometria que sigui més acord amb aquest gas liquat, aquesta es la de fons tipus Kloppe.

-La selecció de materials ha sigut la següent: Acer inoxidable 316 i Acer al carboni 1045. El segon es utilitzat, juntament amb una fina capa de pintura Epoxi, per substàncies corrosives com l'àcid sulfúric, hidròxid de sodi, anhidre acètic i àcid cètic. Cal dir, però, que per aquestes substàncies (a excepció del àcid sulfúric) toleren adequadament el acer inoxidable 316, tal i com indica l'aplicació Harrington Chemical Guide, però, aquest fet es desconeixia en el moment del dissenyar-los.

Es van decidir fer-los d'acer al carboni amb una capa protectora perquè hi havia un fitxa de seguretat del hidròxid (SIMAR S.A) que indicava que l'emmagatzematge es feia en tancs d'aquest material.

El acer inoxidable 316 i l'acer al carboni 1045 presenten bones propietats i aquestes són: Bona resistència a la corrosió i a la tracció, és tenaç i dúctil (abans de trencar-se es deforma), resulta fàcil de soldar i es reciclable.

El fet de que l'acer inoxidable presenti una bona resistència a la corrosió es un aspecte molt atractiu degut a que moltes espècies químiques que es tracten en la planta de producció presenten un grau elevat de corrosió. Al presentar aquesta característica augmenta la durabilitat del tanc i disminueix els costos de manteniment, per tant, surt rentable econòmicament.

-Tots els tancs es trobaran doblats degut a que s'inicien dos cicles productius (Batch) en un mateix dia (amb una diferència de 10 hores, a aproximadament), o sigui, si s'inicia un Batch a les 9:00 h del matí, a les 19:00 h té lloc un altre cicle productiu, per tant, s'ha de poder abastir a tots dos processos.

11.1.13.1. Tanc de fenol nou (T-001 i T-002)

Tal, i com s'ha comentat anteriorment hi hauran 2 tancs de fenol i 1 tanc de fenol recirculat. Llavors, en total es comptaran amb 3 tancs de fenol que es trobaran en una mateixa cubeta.

El fenol recirculat s'obté com a subproducte en la reacció de carboxilació que té lloc en el reactor R-103, i, per tal de separar-ho del producte d'interès (salicilat de sodi) s'evapora. Posteriorment, es passat per un condensador per tal de recuperar-ho en

forma líquida. La quantitat de fenol que s'obté en la reacció es la mateixa que es necessita per fer un cicle de producció.

Inicialment, en la posada en marxa s'haurà d'utilitzar (lògicament) 100% de fenol nou, per un cop han passat dos cicles productius el que es farà es utilitzar un 60% de fenol nou i 40% de fenol reciclat. D'aquesta manera s'aconsegueix aprofitar una substància que podries ser un residu i, a més, estalvies en matèria primera.

El fenol es subministrat en forma líquida i per tal de mantenir aquest estat de la substància cal emmagatzemar-lo per sobre del seu punt de congelació (42°C). Per tant, s'emmagatzemarà a 47 °C. Conseqüentment, serà un dels tancs que ha de portar sistema de calefacció.

A més, el fenol es troba classificat com a combustible, segons la ITC MIE APQ-1, en la categoria C. Es troba en aquesta categoria perquè la seva temperatura d'inflamació es troba per sobre dels 60 °C, concretament són 79 °C. Degut aquest fet, per tal de mantenir la pressió de forma constant dintre del mateix quan es facin operacions de carrega o descarrega s'utilitzarà nitrogen i no aire, per tal d'evitar la possible formació d'una atmosfera explosiva.

S'utilitzarà el disseny d'aquest a mode d'exemple de càlcul.

El volum del tanc de fenol nou es dimensionarà per al cas en el que es requereix fenol 100% nou. El volum de fenol en aquest cas es de 13700 Kg/Batch.

- DISSENY MECÀNIC

$$V = \frac{m \times S}{\rho} = \frac{13700 \times 3}{1071} = 38,4 \text{ m}^3$$

$$V_{total} = \frac{V}{0,85} = \frac{38,4}{0,85} = 45,2 \text{ m}^3$$

$$V_{total} = \pi r^2 3r + \pi \frac{1}{3} r^2 \tan(\theta) r = 45,2 \text{ m}^3$$

Fent un Solver amb l'Excel s'obté els següents paràmetres

El radi del cilindre ha de ser de 1,66 m. A continuació, es presenten les dades que coneixen a partir del radi. Es recorda que l'alçada de cilindre i com són funció del volum tal i com s'ha indicat en el subapartat 11.1.2

Taula 11.1.13.1

DIMENSIONS TANC INTERN (sense espessor)		
Volum	45,15	m3
H	5,56	m
Radi	1,66	m
Diàmetre	3,33	m
Cos Cilindre		
Radi cilindre	1,66	m
Diàmetre cilindre	3,33	m
Altura cilindre	4,99	m
Volum cilindre	43,50	m3
Sostre cònic		
Altura con	0,57	m
Volum con	1,65	m3

Ara, es procedeix a calcular els espessors,

COS CILINDRIC

En aquesta cas l'espessor es calculava tant per prova de disseny com per prova hidrostàtica, es a dir, tant com per al fluid que emmagatzemarà el tanc com per l'aigua. S'escull l'espessor més gran, independentment de que sigui el fluid o l'aigua.

$$td = \frac{0,0005 \times D \times (H - 30,48) \times G}{Sd} + Ca$$

$$td = \frac{0,0005 \times 332,98 \text{ cm} \times (473 \text{ cm} - 30,48) \times 1,07}{1630 \text{ Kg/cm}^3} + 2 \text{ mm} = 2,2 \text{ mm}$$

$$tt = \frac{0,0005 \times D \times (H - 30,48)}{St} + Ca$$

$$= \frac{0,0005 \times 332,98 \text{ cm} \times (473 \text{ cm} - 30,48) \times 1,07}{1750} + 2 \text{ mm} = 2,15 \text{ mm}$$

Com es troben per sota dels 4,75 + CA, o sigui, 6,76 s'ha d'escollir el mínim com a valor de l'espessor del tanc. Cal dir, però, que en el mercat no existeix un espessor d'aquest valor o de 7, i, per tant, s'escull un espessor de 8 mm.

FONS PLA

Aquí, es calcula es següent paràmetre i es mira a la taula 11.1.2.1 quin es espessor li correspon com a mínim. Llavors, en aquest cas per un Sh menor a 1989Kg/cm² i un espessor del cos més petit que 4,75 l'espessor del fons (sense factor de corrosió admissible ha de ser de 6,35).

$$Sh = \frac{0,0005 \times D \times (H - 30,48) \times G}{t}$$

$$= \frac{0,0005 \times 332,98 \text{ cm} \times (473 \text{ cm} - 30,48) \times 1,07}{6,76} = 11696,7 \text{ Kg/cm}^2$$

L'espessor del fons, per tant, es 6,35 més 2, o sigui, 8,35. Per tal de trobar aquest espessor en el mercat s'utilitza un valor de 9 mm.

SOSTRE CÒNIC

Per a una configuració de sostre tipus con s'utilitza la següent expressió

$$ts = \frac{D}{4800 \times \sin(\theta)} + Ca = \frac{3329,8 \text{ mm}}{4800 \times \sin(21)} + 2 \text{ mm} = 2,15 \text{ mm}$$

Com no supera el mínim de 6,35 mm (4,75 mm més el factor de corrosió admissible que són 2 mil·límetres) s'utilitza el valor de espessor mínim.

- CÀLCUL DE PES OPERATIU DEL TANC

$$P_{\text{cos material}} = V_{\text{cos material}} \times \rho_{\text{material}} = (\pi r_e^2 h_{ci} - \pi r_i^2 h_{ci}) \times \rho_{\text{material}}$$

$$P_{\text{cos material}} = (\pi \times 1,672^2 \times 4,995 - \pi \times 1,665^2 \times 4,995) \times 7800 = 2760,6 \text{ Kg}$$

$$P_{\text{sostre material}} = V_{\text{sostre material}} \times \rho_{\text{material}}$$

$$= (\pi \frac{1}{3} (r_e)^2 h_{coe} - \pi \frac{1}{3} (r_i)^2 h_{coi}) \times \rho_{\text{material}}$$

$P_{sostre\ material}$

$$= \left(\pi \frac{1}{3} (1,672)^2 \times 0,570 - \pi \frac{1}{3} (1,665)^2 \times 0,577 \right) \times 7800 = 259,3\ Kg$$

$$P_{fons\ material} = V_{fons\ material} \times \rho_{material} = (\pi r_e^2 t_{fo}) \times \rho_{material}$$

$$P_{fons\ material} = \left(\pi \times 1,672 \times \left(\frac{9}{1000} \right) \right) \times 7800 = 571,8\ Kg$$

$$P_{total\ buit} = P_{cos\ material} + P_{sostre\ material} + P_{fons\ material} = 3592\ Kg$$

$$P_{líquid} = V_{líquid} \times \rho_{líquid} = 0,85 \times 45,2 \times 1071 = 41100\ Kg$$

$$P_{total\ ple\ material} = P_{total\ buit} + P_{líquid} = 44692\ Kg$$

- RESISTENCIA AL TERRENY

$$\tau = \frac{P_{op}}{A} = \frac{44692}{(\pi \times r_e^2) m^2 \times \frac{100^2\ cm^2}{1\ m^2}} = 0,51\ \frac{Kg}{cm^2}$$

$$I\ la\ \tau_{terreny} = 2\ \frac{Kg}{cm^2}$$

Per tant, el terreny es troba preparat per aguantar un tanc d'aquestes dimensions.

- DISSENY D'ELEMENTS DE SEURETAT

Cubeta de retenció

$$L = 2 \times d_1 + (N - 1) \times d_2 + d_{tancs} = 2 \times 1 + (3 - 1) \times 2 + (2 \times 3,33 + 1 \times 2,58)$$

$$L = 15,27\ m$$

$$A = 2 \times d_1 + d_{tanc} = 2 \times 1 + 3,33 = 5,33\ m$$

Llavors, les dimensions de la cubeta de retenció de fenol són: 15,27 m de llarg X 5,33 m d'amplada X 1 m d'alçada.

Anem a veure, si aquests dimensions resulten ser suficients.

$$V = L \times A \times 1 = 15,27 \times 5,33 \times 1 = 81,6\ m^3$$

$$V_{ocupat} = \pi \times r_{tanc}^2 \times 1 \times N = \pi \times 1,66^2 \times 1 \times 2 + \pi \times 1,29 \times 1 = 22,8\ m^3$$

$$V_{cubeta} = V - V_{ocupat} = 81,6 - 22,8 = 58,8 \text{ m}^3 \text{ disponibles}$$

$$V_{cubeta} \geq V_{tanc \text{ més gran}} \rightarrow 58,8 \text{ m}^3 \geq 45,2 \text{ m}^3$$

La cubeta està capacitada per retenir un volum de líquid igual a tot el volum que emmagatzema un dels tancs.

Sistema de ventilació

Tal i com s'ha mencionat en el subapartat en el qual s'explicava com es dimensionava. Aquest ha sigut dissenyat per el cas d'emergència, es adir, per el cas en que hi hagués un incendi exterior.

Només, cal calcular la superfície humida que no es més que la superfície de líquid dins el tanc i mirar amb la taula 11.1.9.1 quin cabal li correspon.

$$S = 0,85 \times \pi \times H_e \times D_e = 0,85 \times \pi \times 5,58 \times 3,34 = 49,8 \approx 50 \text{ m}^2$$

I segons la taula 11.1.9.1 li correspon un cabal de $10330 \text{ m}^3/\text{h}$ d'aire.

- DISSENY DEL SISTEMA DE CALEFACCIÓ

Per tal de mantenir el fenol líquid s'ha d'escalfar el tanc per tal de mantenir-lo a 47°C .

L'aïllant escollit es llana de roca (ISOVER) i L'espessor de la mateixa es 14 cm.

Primer, es calcula el calor que s'ha d'aportar al tanc per tal d'aconseguir que aquests 47°C es mantinguin. Per conèixer aquest valor es necessiten el valor del coeficient global de transferència de calor (U) i, conseqüentment, el coeficients individuals (h), l'àrea disponible per realitzar el bescanvi i la diferència tèrmica que existeix entre el fluid de dintre (fenol) i l'exterior.

Aquesta diferència de temperatura es: 47°C (és té que l'exterior es 0°C , per tal de considerar el cas més desfavorable).

$$\Delta T = 47^\circ\text{C}$$

Càlcul dels coeficients individuals

$$h_{fenol} = b \times (\Delta T)^m \times L^{3m-1} = 59 \times 47^{0,25} \times 4,73^{3 \times 0,25 - 1} = 104,75 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$h_{aire} = b \times (\Delta T)^m \times L^{3m-1} = 1,37 \times 47^{0,25} \times 4,73^{3 \times 0,25 - 1} = 2,43 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

Càlcul del coeficient global de transferència de calor (U)

$$D_{ML} = \frac{D_i - D_e}{\ln\left(\frac{D_i}{D_e}\right)} = \frac{3,33 - 3,34}{\ln\left(\frac{3,33}{3,334}\right)} = 3,337 \text{ m}$$

$$D_{ML, aillant} = \frac{(D_e - (D_e + 0,14))}{\ln\left(\frac{D_e}{(D_e + 0,14)}\right)} = \frac{3,34 - 3,62}{\ln\left(\frac{3,34}{3,62}\right)} = 3,48 \text{ m}$$

$$\Delta x_{\text{espessor}} = 8 \text{ mm}$$

$$\Delta x_{\text{aillant}} = 14 \text{ cm}$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i \times \frac{D_i}{D_i}} + \frac{1}{h_e \times \frac{D_e}{D_i}} + \frac{\Delta x_{\text{espessor}}}{k_{\text{material}} \frac{D_{ML}}{D_i}} + \frac{\Delta x_{\text{aillant}}}{k_{\text{aillant}} \frac{D_{ML, aillant}}{D_i}}$$

$$= \frac{1}{104,75 \times 1} + \frac{1}{2,43 \times \frac{3,34}{3,33}} + \frac{\frac{8}{1000}}{16,2 \times \frac{3,337}{3,33}} + \frac{\frac{14}{100}}{0,038 \times \frac{3,48}{3,33}} = 0,254$$

$$U = 3,94 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$A_{\text{total}} = 2 \times \pi \times H_C \times r + \pi \times r \times G = 2 \times \pi \times 1,665 \times 4,99 + \pi \times 1,665 \times 1,760 = 61,45 \text{ m}^2$$

$$\Delta T = 47 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$q = U \times A_{\text{total}} \times \Delta T = 3,94 \times 61,45 \times 47 = 11389 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 11,4 \text{ Kw}$$

En segon lloc, es calcula quin cabal de vapor d'aigua ha de circular pel serpentí per tal d'aconseguir aquesta aportació calorífica. L'increment de temperatura per aquest cas es de 10 graus perquè fa referència a la temperatura que entra el fluid menys la temperatura a la qual surt. Pel disseny de bescanviadors, es sol emprar un salt tèrmic de 10 °C. El vapor d'aigua, per tant, entra a 180 °C i surt a 170 °C.

$$m = \frac{q}{C_p \times \Delta T} = \frac{11389 \text{ J/s}}{2000 \frac{\text{J}}{\text{Kg } ^\circ\text{C}} \times 10^\circ\text{C}} = 0,569 \text{ Kg/s}$$

En tercer lloc, es procedeix a calcular l'àrea que ha de tindre el bescanviador per tal de realitzar el bescanvi.

Producció d' Àcid Acetilsalicílic

Capítol 11: Manual de Càlculs

$$DTML = \frac{(T - T_E) - (T - T_S)}{\ln\left(\frac{(T - T_E)}{(T - T_S)}\right)} = \frac{(47 - 180) - (47 - 170)}{\ln\left(\frac{(47 - 180)}{(47 - 170)}\right)} = 128$$

$$A_s = \frac{q}{U \times DTML} = \frac{11389}{100 \times 128} = 0,9 \text{ m}^2$$

$D_{tub} = 2$ polzades (el rang estava entre $\frac{3}{4}$ i 3 polzades)

$$L_s = \frac{A_s}{\pi \times D_{tub}} = \frac{0,9}{\pi \times 2 \times 2,54 \times 100^{-2}} = 5,6 \text{ m}$$

$$N_s = \frac{L_s}{\pi \times D_s} = \frac{5,6}{\pi \times 0,7} = 3 \text{ espires}$$

$$H_s = N_s \times D_{tub} + (N_s + 1) \times D_1 = 3 \times 2 \times 2,54 \times 100^{-2} + (3 + 1) \times 0,6 = 2,4 \text{ m}$$

Com a pas final es comprova que el vapor d'aigua circula a una velocitat dintre del rang típic per al mateix (de 25 a 40 m/s)

$$v = \frac{Q}{A_{pas}} = \frac{\left(\frac{m}{\rho}\right)}{\pi \times 0,25 \times D_{tub}^2} = \frac{\left(\frac{0,569}{8}\right)}{\pi \times 0,25 \times (2 \times 2,54 \times 100^{-2})^2} = 35 \text{ m/s}$$

Es troba en un valor dintre del rengla, i , per tant, es pot donar com a vàlid el disseny realitzat.

A continuació, es fa un recull de totes les dades de disseny dels tancs de fenol T-001 i T-002, i de les dades corresponents al sistema de calefacció.

Taula. 11.1.13.2

Disseny del tanc					
MATERIAL	Acer Inoxidable 316		DIMENSIONS		
Densitat	7800	Kg/m3	Alçada interna	5,565	m
Mòdul Elàstic	190	GPa	Alçada externa	5,580	m
Tensió màx.	515	N/mm2	Radi int.	1,665	m
Corrosió admissible	2	mm	Radi ext.	1,673	m
Conductivitat	16	W/(°C)	Diàmetre intern	3,330	m
SUBSTÀNCIA	Fenol		Diàmetre extern	3,346	m
Densitat	1071	Kg/m3	DIMENSIONS COS (CILÍNDRIC)		
NÚMERO DE TANCS	2		Relació Alçada/diàmetre	1,5	
CONDICIONS			Alçada	4,995	m
Temperatura	47	°C	Diàmetre intern	3,330	m
Pressió	1	atm	Diàmetre extern	3,346	m
VOLUM REQUERIT			Volum	43,95	m3
Quantitat Batch	13700	Kg/batch	Radi intern	1,665	m
Stock	3	batch	Radi extern	1,673	m
Volum	38,40	m3	Espessor calculat	6,76	mm
Sobredimensionament	15	%	Espessor escollit	8	mm
Volum final	45,20	m3	DIMENSIONS SOSTRE (CÒNIC)		
Volum ocupat	85	%	Alçada intern	0,570	m
Volum ocupat	38,40	m3	Alçada extern	0,578	m
PES			Volum	1,655	m3
Pes total buit	3592	Kg	Diagonal	1,760	m
Pes líquid	41100	Kg	Espessor calculat	6,76	mm
Pes total ple	44692	Kg	Espessor escollit	8	mm
Resistència al terreny	0,51	Kg/cm2			
CUBETA RETENCIÓ			DIMENSIONS FONS (PLA)		
Dist. entre recipients	2	m	Alçada/espessor calculat	8,35	mm
Dist. recipient i paret cubeta	1	m	Alçada/espessor escollit	9	mm
Alçada	1	m	Radi intern	1,665	m
Longitud	15,27	m	Radi extern	1,673	m
Amplada	5,34	m	Diàmetre intern	3,330	m
Volum cubeta	81,60	m	Diàmetre extern	3,346	m
Volum ocupat	22,79	m	Radi curvatura	2,088	mm
Volum lliure (disponible)	58,80	m	RESISTÈNCIA AL TERRENY		
VENTEIG			Equip exerceix	0,51	Kg/m2
Superfície humida calculada	49,82	m2	Permesa pel terreny	2	Kg/m2
Superfície humida escollida	50,00	m2			
Capacitat venteig	10330	m3/h			

Taula. 11.1.13.3

Sistema calefactor tanc		
Temperatura int.	47	°C
Temperatura ext.	0	°C
COEFICIENTS DE TRANSFERENCIA DE CALOR INDIVIDUALS		
Fenol (h ext.)	104,75	W/m ² *°C
Aire (h int.)	2,43	W/m ² *°C
AÏLLANT		
Material	Llana de roca	
Espessor	0,14	m
Conductivitat	0,038	W/(m°C)
DADES PER AL CàLCUL DEL COEFICIENT GLOBAL DE CALOR		
Alçada líquid	4,73	m
Espessor tanc	0,008	m
Diàmetre Int. Tanc	3,330	m
Diàmetre Ext. Tanc	3,346	m
ΔD (mitja logarítmica) del tanc	3,338	m
Diàmetre Int. Tanc amb aïllant	3,346	m
Diàmetre Ext. Tanc amb aïllant	3,626	m
ΔD (mitja logarítmica) del tanc amb aïllant	3,484	m
COEFICIENT GLOBAL DE CALOR		
Coeficient	3,94	W/m ² *°C
Àrea bescanvi amb l'exterior	61,45	m ²
Calor	11,4	KW
CALEFACTANT		
Calefactant	Vapor d'aigua	
Calor esp.	2,00	J/(g°C)
ΔT	10	°C
Temperatura entrada	180	°C
Temperatura sortida	170	°C
Calor	11,4	KW
Cabal	0,57	Kg/s
Cabal volumètric	0,071	m ³ /s
Àrea de pas	0,002	m ²
Velocitat de circulació	35	m/s
SERPENTÍ		
Coeficient global calor serpentí	100	W/m ² *°C
Calor	11,4	KW
ΔT (mitja logarítmica)	128	°C
Àrea bescanvi	0,9	m ²
Diàmetre	2	polzada
Longitud	5,6	m

Capítol 11: Manual de Càlculs

Distància Entre espires	60	cm
Espires	3	
Alçada serpentí	2,25	m
Amplada serpentí	70	cm

11.1.13.2. Tanc de fenol recirculat (T-010)

Tal i com s'ha explicat en les planes anteriors s'obté fenol com a subproducte de la reacció de carboxilació. Aquest es separa per evaporació (E-104) i es recupera per condensació (B-108). Per tal de que aquest condensí es refreda des de el seu punt de evaporació fins 5 graus per sota. (180 °C fins els 175 °C)

A continuació, es presenta la taula que recull les dades de disseny del tanc i del sistema calefactor.

Taula. 11.1.13.4

Disseny tanc					
MATERIAL	Acer Inoxidable 316		DIMENSIONS		
Densitat	7800	Kg/m3	Alçada interna	4,227	m
Mòdul Elàstic	190	GPa	Alçada externa	4,294	m
Tensió màxima.	515	N/mm2	Radi intern	1,280	m
Corrosió admissible	2	mm	Radi extern	1,288	m
Conductivitat	16	W/(°C)	Diàmetre intern	2,559	m
SUBSTÀNCIA	Fenol		Diàmetre extern	2,575	m
Densitat	1071	Kg/m3	DIMENSIONS COS (CILÍNDRIC)		
NÚMERO DE TANCs	1		Relació	1,5	-
			Alçada/diàmetre		
CONDICIONS			Alçada	3,839	m
Temperatura	47	°C	Diàmetre intern	2,559	m
Pressió	1	atm	Diàmetre extern	2,575	m
VOLUM REQUERIT			Volum	19,750	m3
Quantitat diària	6219	Kg/batch	Radi intern	1,280	m
Stock	3	batch	Radi extern	1,288	m
Volum	17,42	m3	Espessor calculat	6,76	mm
Sobredimensionament	15	%	Espessor escollit	8	mm
Volum final	20,50	m3	DIMENSIONS SOSTRE (CÒNIC)		
Volum ocupat	85	%	Alçada intern	0,438	m
Volum ocupat	17,41	m3	Alçada extern	0,446	m
PES			Volum	0,751	m3
Pes total buit	2480	Kg	Diagonal	1,353	m
Pes líquid	18657	Kg	Espessor calculat	6,76	mm
Pes total ple	21137	Kg	Espessor escollit	8	mm

CUBETA RETENCIÓ				DIMENSIONS FONTS (PLA)	
Dist. entre recipients	2	m		Alçada/espessor calculat	8,35 mm
Dist. recipient i paret cubeta	1	m		Alçada/espessor escollit	9 mm
Alçada	1	m		Radi intern	1,280 m
Longitud	15,27	m		Radi extern	1,288 m
Amplada	5,34	m		Diàmetre intern	2,559 m
Volum cubeta (disponible)	58,8	m		Diàmetre extern	2,575 m
VENTEIG				Radi curvatura	2,088 mm
Superfície calculada	humida	29,53	m ²	RESISTENCIA AL TERRENY	
Superfície escollida	humida	30,00	m ²	Equip exerceix	0,41 Kg/m ²
Capacitat venteig		7736	m ²	Permesa pel terreny	2 Kg/m ²

Taula. 11.1.13.5

Sistema calefactor tanc	
Temperatura int.	47 °C
Temperatura ext.	0 °C
COEFICIENTS DE TRANSFERENCIA DE CALOR INDIVIDUALS	
Fenol (h ext.)	111,87 W/m ² *°C
Aire (h int.)	2,59 W/m ² *°C
AÏLLANT	
Material	Llana de roca
Espessor	0,14 m
Conductivitat	0,038 W/(m°C)
DADES PER AL CàLCUL DEL COEFICIENT GLOBAL DE CALOR	
Alçada líquid	3,635 m
Espessor tanc	0,008 m
Diàmetre Int. Tanc	2,559 m
Diàmetre Ext. Tanc	2,575 m
ΔD (mitja logarítmica) del tanc	2,567 m
Diàmetre Intern Tanc amb aïllant	2,575 m
Diàmetre Exterior Tanc amb aïllant	2,855 m
ΔD (mitja logarítmica) del tanc amb aïllant	2,713 m
COEFICIENT GLOBAL DE CALOR	
Coeficient	3,867 W/m ² *°C
Àrea bescanvi amb l'exterior	36,30 m ²
Calor	6,60 KW
CALEFACTANT	
Calefactant	Vapor d'aigua
Calor esp.	2,00 J/(g°C)

ΔT	10	°C
Temperatura entrada	180	°C
Temperatura sortida	170	°C
Calor	6,60	KW
Cabal	0,33	Kg/s
Cabal volumètric	0,041	m ³ /s
Àrea de pas	0,001	m ²
Velocitat de circulació	36	m/s
SERPENTÍ		
Coeficient global calor serpentí	100	W/m ² *°C
Calor	6,60	KW
ΔT (mitja logarítmica)	128	°C
Àrea bescanvi	0,5	m ²
Diàmetre	1,5	polzada
Longitud	4,3	m
Distància Entre espires	50	cm
Espires	3	
Alçada serpentí	1,98	m
Amplada serpentí	50	cm

Com el fenol recirculat surt del bescanviador a elevada temperatura (175 °C), en un principi no necessitaria un sistema de calefacció degut a que només es troba en el magatzem 5 hores (Veure diagrama de Gantt del *Capítol 1: Especificacions*).

Llavors, per conèixer la temperatura a la qual entraria aquest fenol en el primer equip on es precisa (mescladora M-101) es fan uns càlculs relativament senzills i semblants als explicats en el disseny del sistema calefactor.

Aquest són explicats, a continuació.

Es calcula el calor que es perd per convecció natural (sense cap tipus de bescanviador) tal i com s'ha explicat en l'apartat 11.1.11.

$$\Delta T = 176 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Càlcul dels coeficients individuals

$$h_{\text{fenol}} = b \times (\Delta T)^m \times L^{3m-1} = 59 \times 176^{0,25} \times 3,65^{3 \times 0,25 - 1} = 155,6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}}$$

$$h_{\text{aire}} = b \times (\Delta T)^m \times L^{3m-1} = 1,37 \times 176^{0,25} \times 3,65^{3 \times 0,25 - 1} = 3,61 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}}$$

Càlcul del coeficient global de transferència de calor (U)

$$D_{ML} = \frac{D_i - D_e}{\ln\left(\frac{D_i}{D_e}\right)} = \frac{2,559 - 2,575}{\ln\left(\frac{2,559}{2,575}\right)} = 2,567 \text{ m}$$

$$D_{ML, aillant} = \frac{(D_e - (D_e + 0,14))}{\ln\left(\frac{D_e}{D_e + 0,14}\right)} = \frac{2,575 - 2,855}{\ln\left(\frac{2,575}{2,855}\right)} = 2,713 \text{ m}$$

$$\Delta_{X_{\text{espessor}}} = 8 \text{ mm}$$

$$\Delta_{X_{\text{aillant}}} = 14 \text{ cm}$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i \times \frac{D_i}{D_i}} + \frac{1}{h_e \times \frac{D_e}{D_i}} + \frac{\Delta_{X_{\text{espessor}}}}{k_{\text{material}} \frac{D_{ML}}{D_i}} + \frac{\Delta_{X_{\text{aillant}}}}{k_{\text{aillant}} \frac{D_{ML, aillant}}{D_i}}$$

$$= \frac{1}{155,6 \times 1} + \frac{1}{3,61 \times \frac{2,575}{2,559}} + \frac{\frac{8}{1000}}{16,2 \times \frac{2,567}{2,559}} + \frac{\frac{14}{100}}{0,038 \times \frac{2,713}{2,559}} = 0,266$$

$$U = 3,75 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$A_{\text{total}} = 2 \times \pi \times H_C \times r + \pi \times r \times G = 2 \times \pi \times 3,84 \times 1,28 + \pi \times 1,28 \times 1,35 = 36,3 \text{ m}^2$$

$$\Delta T = 176 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$q = U \times A_{\text{total}} \times \Delta T = 3,94 \times 61,45 \times 47 = 24009 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 24 \text{ Kw}$$

I si es troba 5 hores (18000 segons) en el tanc el calor perdut haurà sigut $4,32 \cdot 10^8 \text{ J}$

I amb l'equació que descriu el balanç d'energia d'un fluid es pot calcular la temperatura que ha tindrà si es guarda sense encendre el bescanviador.

$$q = m \times C_p \times \Delta T$$

$$\Delta T = \frac{q}{C_p \times m} = \frac{4,32 \times 10^8 \text{ J}}{1351 \frac{\text{J}}{\text{Kg } ^\circ\text{C}} \times 6219 \text{ Kg}} = 51,44 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T = T_{\text{inicial}} - \Delta T = 124,6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Per tant, no necessitaria un sistema de calefacció perquè per aquesta temperatura ja es troba més que líquid . Però, compta amb el per si de cas.

11.1.13.3. Tanc d'hidròxid sodi al 50% (T-003 i T-004)

L'hidròxid sodi passa igual que amb el tanc de fenol, té un punt de congelació elevat (18 °C), per tant, aquest s'ha de trobar calefactat. Aquest tanc ha sigut elaborat amb acer al carboni recobert amb una capa fina d'Epoxi, però, tal i com s'ha mencionat en els aspectes generals aquest podria haver sigut d'acer inoxidable 316.

A continuació es presenten les taules de disseny del tanc i del sistema calefactor.

Taula. 11.1.13.6

Disseny tanc				
MATERIAL	Acer al carboni 1045		DIMENSIONS	
Densitat	7870	Kg/m ³	Alçada interna	4,588 m
Mòdul Elàstic	190	GPa	Alçada externa	4,605 m
Tensió màx.	565	N/mm ²	Radi intern	1,373 m
Corrosió admissible	2	mm	Radi extern	1,381 m
Conductivitat	15,1	W/(°C)	Diàmetre int.	2,746 m
SUBSTÀNCIA	Hidròxid sòdic 50%		Diàmetre ext.	2,762 m
Densitat	1520	Kg/m ³	DIMENSIONS COS (CILÍNDRIC)	
Número de tancs	2		Relació	1,5 -
			Alçada/diàmetre	
	CONDICIONS		Alçada	4,118 m
Temperatura	18	°C	Diàmetre intern	2,746 m
Pressió	1	atm	Diàmetre extern	2,762 m
	VOLUM REQUERIT		Volum	24,38 m ³
Quantitat	10920	Kg/batch	Radi intern	1,373 m
Stock	3	batch	Radi extern	1,381 m
Volum	21,51	m ³	Espessor calculat	6,76 mm
Sobredimensionament	15	%	Espessor escollit	8 mm
Volum final	25,31	m ³	DIMENSIONS SOSTRE (CÒNIC)	
Volum ocupat	85	%	Alçada intern	0,470 m
Volum ocupat	21,51	m ³	Alçada extern	0,478 m
	PES		Volum	0,928 m ³
Pes total buit	24656	Kg	Diagonal	1,451 m
Pes líquid	32700	Kg	Espessor calculat	6,76 mm
Pes total ple	35165	Kg	Espessor escollit	8 mm
	CUBETA RETENCIÓ		DIMENSIONS FONS (PLA)	
Dist. entre recipients	2	m	Alçada/espessor calculat	8,35 mm
Dist. recipient i paret cubeta	1	m	Alçada/espessor escollit	9 mm
Alçada	1	m	Radi intern	1,373 m
Longitud	9,52	m	Radi extern	1,381 m
Amplada	4,76	m	Diàmetre intern	2,746 m
Volum cubeta	45,35	m	Diàmetre extern	2,762 m

Capítol 11: Manual de Càlculs

Volum ocupat	11,98	m	Radi curvatura	2,087	mm
Volum lliure (disponible)	33,37	m	RESISTENCIA AL TERRENY		
VENTEIG			Equip exerceix	0,59	Kg/m2
Superfície calculada	humida	30,00 m2	Permesa terreny	pel	2 Kg/m2
Superfície escollida	humida	30,00 m2			
Capacitat venteig	7736	m3/h			

Taula. 11.1.13.7

Sistema calefactor tanc	
Temperatura int.	18 °C
Temperatura ext.	0 °C
COEFICIENTS DE TRANSFERENCIA DE CALOR INDIVIDUALS	
Hidròxid de sodi (h ext.)	93,10 W/m2*°C
Aire (h int.)	2,00 W/m2*°C
AÏLLANT	
Material	Llana de roca
Espessor	0,14 m
Conductivitat	0,038 W/(m°C)
DADES PER AL CàLCUL DEL COEFICIENT GLOBAL DE CALOR	
Alçada líquid	3,900 m
Espessor tanc	0,008 m
Diàmetre Int. Tanc	2,746 m
Diàmetre Ext. Tanc	2,762 m
ΔD (mitja logarítmica) del tanc	2,754 m
Diàmetre Intern Tanc amb aïllant	2,762 m
Diàmetre Exterior Tanc amb aïllant	3,042 m
ΔD (mitja logarítmica) del tanc amb aïllant	2,900 m
COEFICIENT GLOBAL DE CALOR	
Coeficient	4,00 W/m2*°C
Àrea bescanvi amb l'exterior	45,98 m2
Calor	3,3 KW
CALEFACTANT	
Calefactant	Vapor d'aigua
Calor esp.	2,00 J/(g°C)
ΔT	10 °C
Temperatura entrada	180 °C
Temperatura sortida	170 °C
Calor	3,30 KW
Cabal	0,17 Kg/s
Cabal volumètric	0,018 m3/s
Àrea de pas	0,0005 m2
Velocitat de circulació	37 m/s

SERPENTÍ		
Coeficient global calor serpentí	100	W/m ² *°C
Calor	3,30	KW
ΔT (mitja logarítmica)	157	°C
Àrea bescanvi	0,21	m ²
Diàmetre	1	polzada
Longitud	2,64	m
Distància Entre espires	60	cm
Espires	3	
Alçada serpentí	2,35	m
Amplada serpentí	30	cm

11.1.13.4. Tanc d'àcid sulfúric al 60% (T-006 i T-007)

Aquest tanc a diferència dels anteriors no requereixen que sigui calefactat perquè el punt de congelació de l'àcid sulfúric al 60% es troba al voltant dels -8°C. L'àcid que conté no inflamable, i la perillositat que presenta més greu és el seu alt poder corrosiu.

Al igual que el tanc d'hidròxid sodi, el del àcid sulfúric, també, esta fet d'acer al carboni amb protegit per Epoxi. Per aquest cas no seria gens viable utilitzar l'acer inoxidable 316, es podria utilitzar PVC, que es un polímer plàstic. Però, aquest, si no es té mal entès s'utilitzen per tancs de volums més petits.

Taula. 11.1.13.8

Disseny tanc				
MATERIAL	Acer al carboni 1045		DIMENSIONS	
Densitat	7870	Kg/m ³	Alçada interna	4,412 m
Mòdul Elàstic	190	GPa	Alçada externa	4,428 m
Tensió màx.	565	N/mm ²	Radi intern	1,320 m
Corrosió admissible	2	mm	Radi extern	1,328 m
Conductivitat	15,1	W/(°C)	Diàmetre intern	2,640 m
SUBSTÀNCIA	Àcid sulfúric 60%		Diàmetre extern	2,656 m
Densitat	1450	Kg/m ³	DIMENSIONS COS (CILÍNDRIC)	
Número de tancs	2		Relació	1,5
			Alçada/diàmetre	
	CONDICIONS		Alçada	3,960 m
Temperatura (Ambient)	12	°C	Diàmetre intern	2,640 m
Pressió	1	atm	Diàmetre extern	2,656 m
	VOLUM REQUERIT		Volum	21,68 m ³
Quantitat diària	9250	Kg/batch	Radi intern	1,320 m
Stock	3	batch	Radi extern	1,328 m
Volum	19,13	m ³	Espessor calculat	6,76 mm

Sobredimensionament	15	%	Espessor escollit	8	mm
Volum final	22,50	m ³	DIMENSIONS SOSTRE (CÒNIC)		
Volum ocupat	85	%	Alçada interna	0,452	m
Volum ocupat	19,13	m ³	Alçada externa	0,460	m
PES			Volum	0,825	m ³
Pes total buit	2274	Kg	Diagonal	1,395	m
Pes líquid	27735	Kg	Espessor calculat	6,76	mm
Pes total ple	30000	Kg	Espessor escollit	8	mm
CUBETA RETENCIÓ			DIMENSIONS FONS (PLA)		
Dist. entre recipients	2	m	Alçada/espessor calculat	8,35	mm
Dist. recipient i paret cubeta	1	m	Alçada/espessor escollit	9	mm
Alçada	1	m	Radi intern	1,320	m
Longitud	9,31	m	Radi extern	1,328	m
Amplada	4,65	m	Diàmetre intern	2,640	m
Volum cubeta	43,31	m	Diàmetre extern	2,656	m
Volum ocupat	16,67	m	Radi curvatura	2,088	mm
Volum lliure (disponible)	26,64	m			
VENTEIG			RESISTENCIA AL TERRENY		
Superfície humida calculada	31,38	m ²	Permesa pel terreny	2	Kg/m ²
Superfície humida escollida	35,00	m ²	Equip exerceix	0,54	Kg/m ²
Capacitat venteig	8441	m ³ /h			

11.1.13.5. Tanc d'anhidre acètic (T-008 i T-009)

L'anhidre acètic té un punt de congelació molt baix, per tant, per aquesta banda es una avantatge petit suposa un estalvi energètic, ja que no ha de portar el sistema de calefacció. Aquesta substància presenta diverses perillositats, com la de ser corrosiu i inflamable (Categoria B perquè el seu punt d'inflamació es troba per sota dels 60 °C).

Taula. 11.1.13.9

Disseny tanc					
MATERIAL	Acer al carboni 1045		DIMENSIONS		
Densitat	7870	Kg/m ³	Alçada interna	5,250	m
Mòdul Elàstic	190	GPa	Alçada externa	5,267	m
Tensió màx.	565	N/mm ²	Radi intern	1,571	m
Corrosió admissible	2	mm	Radi extern	1,579	m
Conductivitat	15,1	W/(°C)	Diàmetre intern	3,142	m
SUBSTÀNCIA	Hidròxid sòdic 50%		Diàmetre extern	3,158	m

Densitat	1080	Kg/m3	DIMENSIONS COS (CILÍNDRIC)	
Número de tancs	2		Relació	1,5 -
			Alçada/diàmetre	
CONDICIONS			Alçada	4,712 m
Temperatura (Ambient)	12	°C	Diàmetre intern	3,142 m
Pressió	1	atm	Diàmetre extern	3,158 m
VOLUM REQUERIT			Volum	36,53 m3
Quantitat diària	11605	Kg/batch	Radi intern	1,571 m
Stock	3	batch	Radi extern	1,579 m
Volum	32,24	m3	Espessor calculat	6,76 mm
Sobredimensionament	15	%	Espessor escollit	8 mm
Volum final	37,92	m3	DIMENSIONS SOSTRE (CÒNIC)	
Volum ocupat	85	%	Alçada interna	0,538 m
Volum ocupat	32,24	m3	Alçada externa	0,546 m
PES			Volum	1,390 m3
Pes total buit	3724	Kg	Diagonal	1,660 m
Pes líquid	34815	Kg	Espessor calculat	6,76 mm
Pes total ple	38539	Kg	Espessor escollit	8 mm
CUBETA RETENCIÓ			DIMENSIONS FONTS (PLA)	
Dist. entre recipients	2	m	Alçada/espessor calculat	8,35 mm
Dist. recipient i paret cubeta	1,1	m	Alçada/espessor escollit	9 mm
Alçada	1	m	Radi intern	1,571 m
Longitud	10,52	m	Radi extern	1,579 m
Amplada	5,36	m	Diàmetre intern	3,142 m
Volum cubeta	56,34	m	Diàmetre extern	3,158 m
Volum ocupat	15,66	m	Radi curvatura	2,1 mm
Volum lliure (disponible)	40,68	m	RESISTENCIA AL TERRENY	
VENTEIG			Equip exerceix	0,49 Kg/m2
Superfície calculada	humida	44,41 m2	Permesa terreny	pel 2 Kg/m2
Superfície escollida	humida	45 m2		
Capacitat venteig	9717	m3/h		

11.1.13.6. Tancs diòxid de carboni (T-005)

En aquest cas, no es requereixen dos tancs si no que amb un ja es cobreixen les necessitats de producció. El diòxid de carboni es emmagatzemat en forma líquida per tal d'ocupar menys volum, ja que si no es necessitaria una superfície molt elevada d'emmagatzament.

L'equivalència que existeix entre el volum de gas i líquid es la següent:

$$1 \text{ m}^3 \text{ gas} = 1000 \text{ L gas} = 1,569 \text{ L de gas líquid (en les condicions d'emmagatzematge)}$$

Es per aquest motiu que amb gas líquid s'aconsegueix estalviar moltíssim espai.

Cal dir, però, que el disseny que s'ha fet seria per tindre una estimació i una idea de com seria el tanc, ja que després s'optaria pel que indiqués el fabricant. Donat que quan es té gasos líquids l'empresa subministradora s'encarrega de tot el que implica tindre aquests tipus de dipòsits. El proveïdor seria Lapesa, però, també, hi ha altres a la vora com Abelló Linde.

En la següent figura es mostra tots els elements que s'han de tindre per al manteniment i bona operació d'un tanc criogènic.

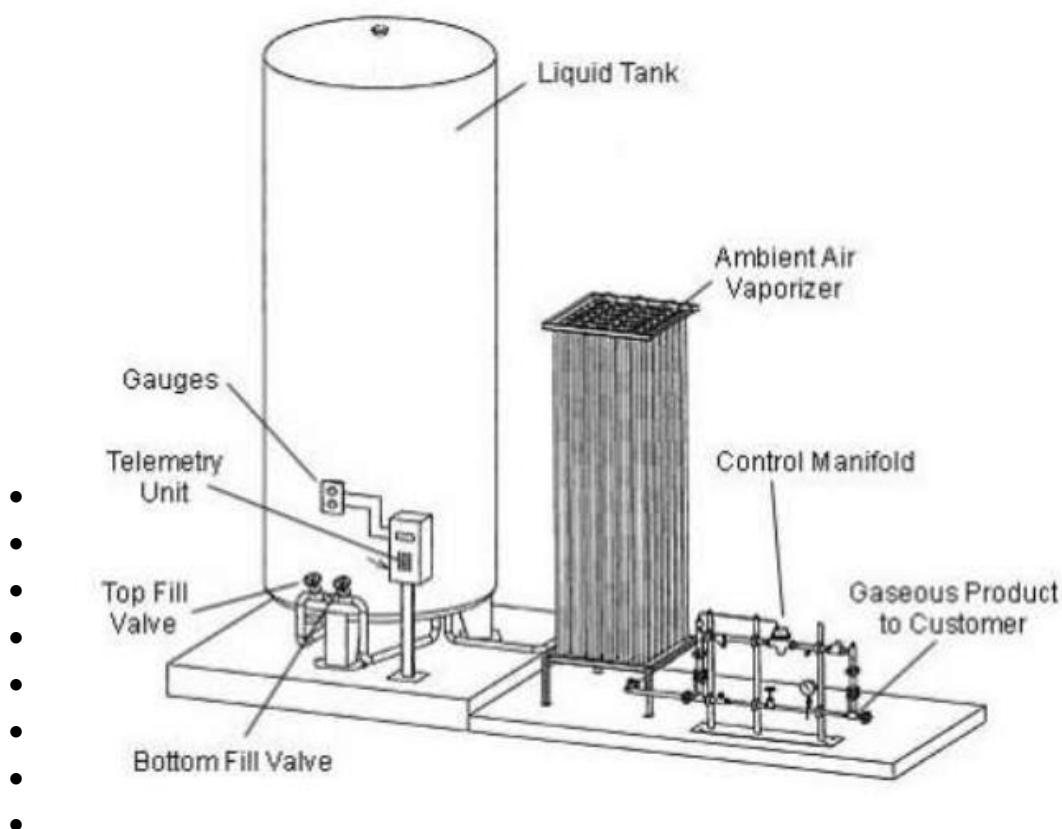


Figura. 11.1.13.1

Els tancs criogènics, són tancs de doble revestiment, es adir, tenen un tanc interior (normalment d'acer inoxidable 316) i per fora (normalment d'acer al carboni) i entre aquest dos tancs hi ha un aïllant que es realitza fent el buit i omplint l'espai que queda entre ells de perlita.

Dit això, Només s'ha dissenyat el que seria el cos cilíndric interior per veure com seria aquest tanc. Però, realment se n'ocupa la empresa que et proporioni.

Taula. 11.1.13.10

Disseny tanc intern					
MATERIAL	Acer Inoxidable 316		DIMENSIONS		
Densitat	190	Kg/m3	Alçada interna	4,258	m
Mòdul Elàstic	515	GPa	Alçada externa	4,282	m
Tensió màx.	74675	N/mm2	Radi intern	1,165	m
Corrosió admissible	7800	mm	Radi extern	1,179	m
Conductivitat	16	W/(°C)	Diàmetre intern	2,330	m
SUBSTÀNCIA	Diòxid de Carboni		Diàmetre extern	2,358	m
Densitat (gas)	1,842	Kg/m3	DIMENSIONS COS (CILÍNDRIC)		
Número de tancs	1		Relació	1,5	-
CONDICIONS			Alçada/diàmetre		
			Alçada	3,495	m
Temperatura	-50	°C	Diàmetre intern	2,330	m
Pressió	24	atm	Diàmetre extern	2,358	m
VOLUM REQUERIT			Volum	14,901	m3
Quantitat diària	2279	Kg/batch	Radi intern	1,165	m
Stock	6	batch	Radi extern	1,179	m
Volum (gas líquuat)	14,20	m3	Espessor calculat	13,46	mm
Sobredimensionament	15	%	Espessor escollit	14	mm
Volum final	16,71	m3	DIMENSIONS TAPA (ABOMBADA)		
Volum ocupat	85	%	Alçada interna	0,312	m
Volum ocupat	14,20	m3	Alçada externa	0,324	m
PES			Volum	0,683	m3
Pes total buit	4698	Kg	Radi abombament	2,330	m
Pes líquid	16729	Kg	Radi abombament ext.	2,342	m
Pes total ple	21427	Kg	Espessor calculat	9,37	mm
			Espessor escollit	12	mm
			DIMENSIONS FONS (KLOPPER)		
			Alçada interns	0,451	mm
			Alçada externa	0,463	mm
			Volum	1,126	m
			Radi abombament	2,330	m
			Radi abombament ext.	2,342	m
			Radi curbatura	0,233	m
			Radi curbatura ext.	0,234	m
			Espessor calculat	9,37	m
			Espessor escollit	12	m

11.1.13.7. Tanc de sulfat de sodi en solució aquosa (T-601 i T-602)

Un dels residus que s'obtenen en la planta de producció SALICACEA es el sulfat de sodi, aquesta es una sal que es troba dissolta en aigua.

A continuació, es presenta el disseny realitzat.

Taula. 11.1.13.11

Disseny del tanc			
MATERIAL	Acer Inoxidable 316	DIMENSIONS	
Densitat	7800 Kg/m ³	Alçada interna	5,583 m
Mòdul Elàstic	190 GPa	Alçada externa	5,600 m
Tensió màx.	515 N/mm ²	Radi intern	1,670 m
Corrosió admissible	2 mm	Radi extern	1,678 m
Conductivitat	16 W/(°C)	Diàmetre intern	3,341 m
SUBSTÀNCIES (principals)	Sulfat sodi + Aigua	Diàmetre extern	3,357 m
Densitat mescla	1300 Kg/m ³	DIMENSIONS COS (CILÍNDRIC)	
NÚMERO DE TANCOS	2	Relació Alçada/diàmetre	1,5
CONDICIONS		Alçada	5,011 m
Temperatura (Ambient)	12 °C	Diàmetre intern	3,341 m
Pressió	1 atm	Diàmetre extern	3,357 m
VOLUM REQUERIT		Volum	43,93 m ³
Quantitat per Batch	26655 Kg	Radi intern	1,670 m
Batch	2	Radi extern	1,678 m
Volum	41 m ³	Espessor calculat	6,76 mm
Sobredimensionament	10 %	Espessor escollit	8 mm
Volum final	45,60 m ³	DIMENSIONS SOSTRE (CÒNIC)	
Volum ocupat	90 %	Alçada interna	0,572 m
Volum ocupat	41 m ³	Alçada externa	0,580 m
PES		Volum	1,671 m ³
Pes total buit	3615 Kg	Diagonal	1,766 m
Pes líquid	53310 Kg	Espessor calculat	6,76 mm
Pes total ple	56925 Kg	Espessor escollit	8 mm
CUBETA RETENCIÓ		DIMENSIONS FONS (PLA)	
Dist. entre recipients	2 m	Alçada/espessor calculat	8,35 mm
Dist. recipient i paret cubeta	1,25 m	Alçada/espessor escollit	9 mm
Alçada	1 m	Radi intern	1,670 m
Longitud	11,21 m	Radi extern	1,678 m
Amplada	5,85 m	Diàmetre intern	3,341 m
Volum cubeta	65,62 m ³	Diàmetre extern	3,357 m
Volum ocupat	17,67 m ³	Radi curvatura	2,1 mm

Volum lliure (disponible)	48,00	m	RESISTÈNCIA AL TERRENY	
VENTEIG			Equip exerceix	0,64 Kg/m2
Superfície humida calculada	50,00	m2	Permesa pel terreny	2 Kg/m2
Superfície humida escollida	50,00	m2		
Capacitat venteig	10330	m3/h		

11.1.13.8. Tanc de l'isòmer en solució aquosa (T-603)

Al igual que el sulfat de sodi l'isòmer del àcid salicílic resulta ser un residu perquè es una substància que no té valor per all procés de producció del API d'àcid acetilsalicílic.

Només hi ha un tanc degut a que es produeix poca quantitat d'aquest isòmer.

A continuació, es presenta el disseny realitzat.

Taula. 11.1.13.12

Disseny del tanc				
MATERIAL	Acer Inoxidable 316		DIMENSIONS	
Densitat	7800	Kg/m3	Alçada interna	5,372 m
Mòdul Elàstic	190	GPa	Alçada externa	5,389 m
Tensió màx.	515	N/mm2	Radi intern	1,607 m
Corrosió admissible	2	mm	Radi extern	1,615 m
Conductivitat	16	W/(°C)	Diàmetre intern	3,215 m
SUBSTÀNCIES (principals)	Isòmer para+ Aigua		Diàmetre extern	3,231 m
Densitat mescla	995	Kg/m3	DIMENSIONS COS (CILÍNDRIC)	
NÚMERO DE TANCs	1		Relació Alçada/diàmetre	1,5
CONDICIONS			Alçada	4,822 m
Temperatura (Ambient)	12	°C	Diàmetre intern	3,215 m
Pressió	1	atm	Diàmetre extern	3,231 m
VOLUM REQUERIT			Volum	39,13 m3
Quantitat per Batch	6062	Kg	Radi intern	1,607 m
Batch	6		Radi extern	1,615 m
Volum	36,55	m3	Espessor calculat	6,76 mm
Sobredimensionament	10	%	Espessor escollit	8 mm
Volum final	40,62	m3	DIMENSIONS SOSTRE (CÒNIC)	
Volum ocupat	90	%	Alçada interna	0,550 m
Volum ocupat	36,55	m3	Alçada externa	0,558 m
PES			Volum	1,489 m3
Pes total buit	3908	Kg	Diagonal	1,700 m
Pes líquid	36372	Kg	Espessor calculat	6,76 mm
Pes total ple	40280	Kg	Espessor escollit	8 mm
CUBETA RETENCIÓ			DIMENSIONS FONS (PLA)	

Dist. entre recipients	2 m	Alçada/espessor calculat	8,35 mm
Dist. recipient i paret cubeta	2 m	Alçada/espessor escollit	9 mm
Alçada	1 m	Radi intern	1,607 m
Longitud	7,23 m	Radi extern	1,615 m
Amplada	7,23 m	Diàmetre intern	3,215 m
Volum cubeta	52,28 m	Diàmetre extern	3,231 m
Volum ocupat	8,20 m	Radi curvatura	2,1 mm
Volum lliure (disponible)	44,10 m	RESISTÈNCIA AL TERRENY	
VENTEIG		Equip exerceix	0,49 Kg/m ²
Superfície humida calculada	46,70 m ²	Permesa pel terreny	2 Kg/m ²
Superfície humida escollida	50,00 m ²		
Capacitat venteig	10330 m ³ /h		

11.1.13.9. Tanc d'àcid acètic (T-604 i 605)

L'últim residu que es té a la planta SALICACEA, i, que té cer valor afegit és l'àcid acètic. Aquest, al igual que el fenol i l'hidròxid sodi té un punt de congelació força elevat (17 °C) i, per tant, ha de comptar amb un sistema de calefacció, donat que es sol gestionar en forma líquida.

Taula. 11.1.13.13

Disseny del tanc			
MATERIAL	Acer al carboni 1045	DIMENSIONS	
Densitat	7870 Kg/m ³	Alçada interna	5,033 m
Mòdul Elàstic	190 GPa	Alçada externa	5,050 m
Tensió màx.	565 N/mm ²	Radi intern	1,506 m
Corrosió admissible	2 mm	Radi extern	1,514 m
Conductivitat	15,1 W/(°C)	Diàmetre intern	3,012 m
SUBSTÀNCIES (principals)	Àcid acètic	Diàmetre extern	3,028 m
Densitat mescla	1050 Kg/m ³	DIMENSIONS COS (CILÍNDRIC)	
NÚMERO DE TANCS	2	Relació Alçada/diàmetre	1,5
CONDICIONS		Alçada	4,518 m
Temperatura (Ambient)	21 °C	Diàmetre intern	3,012 m
Pressió	1 atm	Diàmetre extern	3,028 m
VOLUM REQUERIT		Volum	32,19 m ³
Quantitat per Batch	10523 Kg	Radi intern	1,506 m
Batch	3	Radi extern	1,514 m
Volum	30,10 m ³	Espessor calculat	6,76 mm
Sobredimensionament	10 %	Espessor escollit	8 mm
Volum final	33,41 m ³	DIMENSIONS SOSTRE (CÒNIC)	
Volum ocupat	90 %	Alçada intern	0,516 m
Volum ocupat	30,10 m ³	Alçada extern	0,524 m

PES			Volum	1,224 m ³
Pes total buit	3460 Kg		Diagonal	1,592 m
Pes líquid	31569 Kg		Espessor calculat	6,76 mm
Pes total ple	35029 Kg		Espessor escollit	8 mm
CUBETA RETENCIÓ			DIMENSIONS FONS (PLA)	
Dist. entre recipients	2 m		Alçada/espessor calculat	8,35 mm
Dist. recipient i paret cubeta	1 m		Alçada/espessor escollit	9 mm
Alçada	1 m		Radi intern	1,506 m
Longitud	10,06 m		Radi extern	1,514 m
Amplada	5,03 m		Diàmetre intern	3,012 m
Volum cubeta	50,56 m		Diàmetre extern	3,028 m
Volum ocupat	14,40 m		Radi curvatura	2,1 mm
Volum lliure (disponible)	36,16 m		RESISTÈNCIA AL TERRENY	
VENTEIG			Equip exerceix	0,49 Kg/m ²
Superfície humida calculada	40,00 m ²		Permesa pel terreny	2 Kg/m ²
Superfície humida escollida	40,00 m ²			
Capacitat venteig	9104 m ³ /h			

Taula. 11.1.13.14

Sistema calefactor tanc		
Temperatura int.	21	°C
Temperatura ext.	0	°C
COEFICIENTS DE TRANSFERENCIA DE CALOR INDIVIDUALS		
Fenol (h ext.)	86,57	W/m ² *°C
Aire (h int.)	2,01	W/m ² *°C
AÏLLANT		
Material	Llana de roca	
Espessor	0,14	m
Conductivitat	0,038	W/(m°C)
DADES PER AL CàLCUL DEL COEFICIENT GLOBAL DE CALOR		
Alçada líquid	4,530	m
Espessor tanc	0,008	m
Diàmetre Int. Tanc	3,012	m
Diàmetre Ext. Tanc	3,028	m
ΔD (mitja logarítmica) del tanc	3,020	m
Diàmetre Int. Tanc amb aïllant	3,028	m
Diàmetre Ext. Tanc amb aïllant	3,308	m
ΔD (mitja logarítmica) del tanc amb aïllant	3,166	m
COEFICIENT GLOBAL DE CALOR		
Coeficient	4,01	W/m ² *°C
Àrea bescanvi amb l'exterior	50,28	m ²
Calor	4,2	KW

CALEFACTANT		
Calefactant	Vapor d'aigua	
Calor esp.	2,00	J/(g°C)
ΔT	10	°C
Temperatura entrada	180	°C
Temperatura sortida	170	°C
Calor	4,2	KW
Cabal	0,211	Kg/s
Cabal volumètric	0,019	m ³ /s
Àrea de pas	0,0005	m ²
Velocitat de circulació	38	m/s
SERPENTÍ		
Coeficient global calor serpentí	100	W/m ² *°C
Calor	4,2	KW
ΔT (mitja logarítmica)	154	°C
Àrea bescanvi	0,3	m ²
Diàmetre	1	polzada
Longitud	3,4	m
Distància Entre espires	70	cm
Espires	3	
Alçada serpentí	2,69	m
Amplada serpentí	40	cm

11.2. MESCLADORS

Al llarg del procés productiu sorgeix la necessitat de homogeneïtzar la mescla de dos substàncies, i, per tant, es requereix d'un equip que compleixi amb aquest objectius.

Aquests equips es coneixen amb el nom de mescladores. El disseny de les mateixes es realitza igual que el que s'ha fet per als tancs d'emmagatzematge, però, amb la particularitat de que aquests equips tenen un fons i sostre diferent al fons pla i cònic. Els d'aquests equips seran de fons tipus Klopper i de tapa abombada. Tal i com, també, s'ha explicat en el apartat 11.1: *Tancs d'emmagatzematge*.

Llavors, es podria dir que les mescladores són, bàsicament, un tanc que disposa d'agitació (tanc agitat). Conseqüentment, el disseny de les mateixes es farà igual que l'exemple del tanc de fenol, però, tenint en compte la geometria que aquestes prenen i s'afegeix el disseny de l'agitador.

Com a últim apunt, abans d'entrar en matèria aquests equips no requereixen ser escalfats o refredats, i per tant, no requereixen de sistema de calefacció.

11.2.1. Disseny mecànic d'un agitador

El disseny mecànic de l'agitador es fa seguint les instruccions indicades en el llibre de Ray Sinott. En aquest s'indica que per tal de poder tindre una idea de com hauria de ser l'agitador del tanc es pot fer servir la modelització d'un agitador de pales planes muntades en disc, tal i com mostra la figura 11.2.1.



Figura 11.2.1: Agitador de palas

Aquest, resulta, per tant, el model típic d'agitador emprat en la indústria química.

L'agitador resulta molt important per a que dintre del mesclador hi hagi un règim turbulent, així, a afavorir la transferència de massa i la correcta homogeneïtzació.

Altre aspecte important d'aquests dispositius es que no operin a una velocitat massa elevada per tal de que no hi hagi la possibilitat de que es formi un vòrtex, el qual provocaria que la mescla no s'homogeneïtzés de forma adequada, i, per tant, l'equip no estaria complint amb el seu objectiu. Però, tampoc pot operar a una velocitat massa baixa perquè si no s'obtingria el règim turbulent desitjat.

Per tal d'ajudar a l'agitador a dur a terme la seva finalitat de forma més òptima es compten amb els deflectors.

Els deflectors són petites pales verticals afegides als costats dels tancs de mesclat per millorar l'eficiència de la mescla. Aquests aconseguixen millorar el rendiment d'homogeneïtzació evitant la formació de vòrtexs en el centre del tanc, ja que com s'ha comentat anteriorment no es la forma més efectiva de mesclat.

Aquests deflectors són, generalment, paletes planes que es col·loquen de forma uniforme en els costats del tanc.

A continuació, es precedeix al disseny mecànic del agitador.

Aquest es realitza com es mostra en la figura 11.2.2.

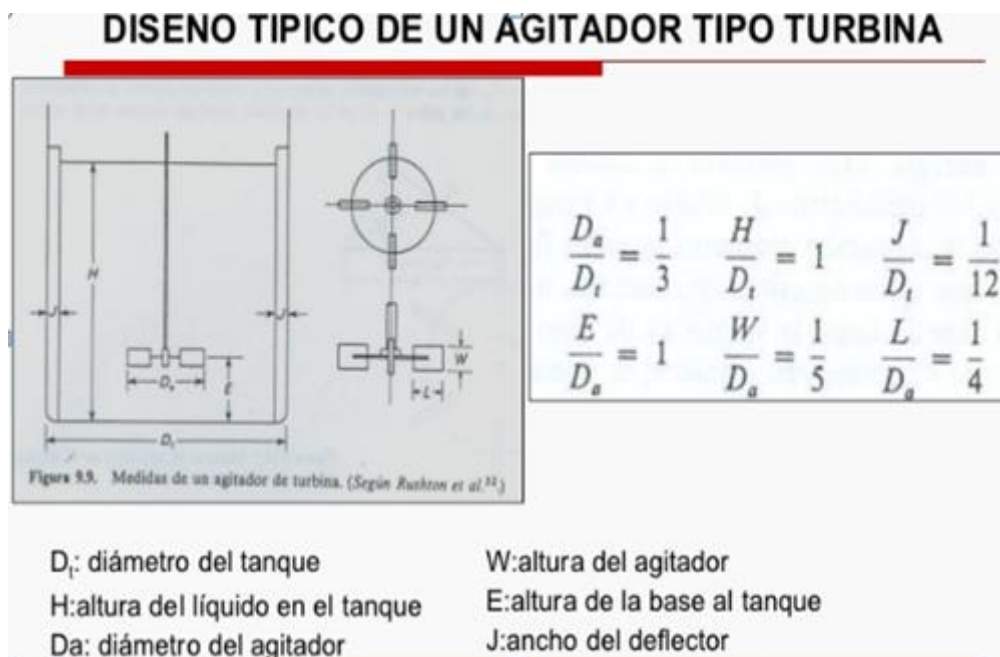


Figura 11.2.2: Disseny agitador

Com es pot observar en la figura 11.2.2 el disseny de l'agitador es fa en funció del diàmetre del tanc homogeneïtzador.

Un cop especificades les dimensions de les diferents parts que constitueixen l'agitador, es realitza el càlcul de la potència necessària per poder homogeneïtzar la mescla. Però, per poder determinar aquesta potència es requereix primerament d'un paràmetre conegut amb el nom de nombre de potència i aquest es coneix a partir del nombre de Reynolds i del ús d'un gràfica.

Lavors, es segueixen els següents passos.

1. Definir nombre Reynolds

$$Re = \frac{\rho \times v \times D_a}{\mu}$$

Eq. 11.2.2: Número de Reynolds

ρ = Densitat de la mescla, aquesta es calcula com la suma de totes les densitats per la seva presència en la mescla. (Kg/m^3)

μ = Viscositat de la mescla, , aquesta es calcula com la suma de totes les densitats per la seva presència en la mescla

v = Velocitat a la qual gira l'agitador

D_a = Diàmetre de l'agitador

Aquest Reynolds obtingut hauria de ser major a un valor de 10^5 per tal d'assegurar que el règim de circulació es turbulent, i, com a conseqüència, la mescla estaria bé homogeneïtzada.

2. Determinació del número de potència

A partir del valor del número de Reynolds es mira la gràfica i es llegeix quin valor del paràmetre del número de potència li pertoca.

Hi ha diferents corbes per als diferents tipus d'agitadors existents, en aquest cas s'ha d'observar en la que indica que es tipus pales.

Per a valors alts del número Reynolds s'obté que el número de potència pren un valor constant i igual a 5.

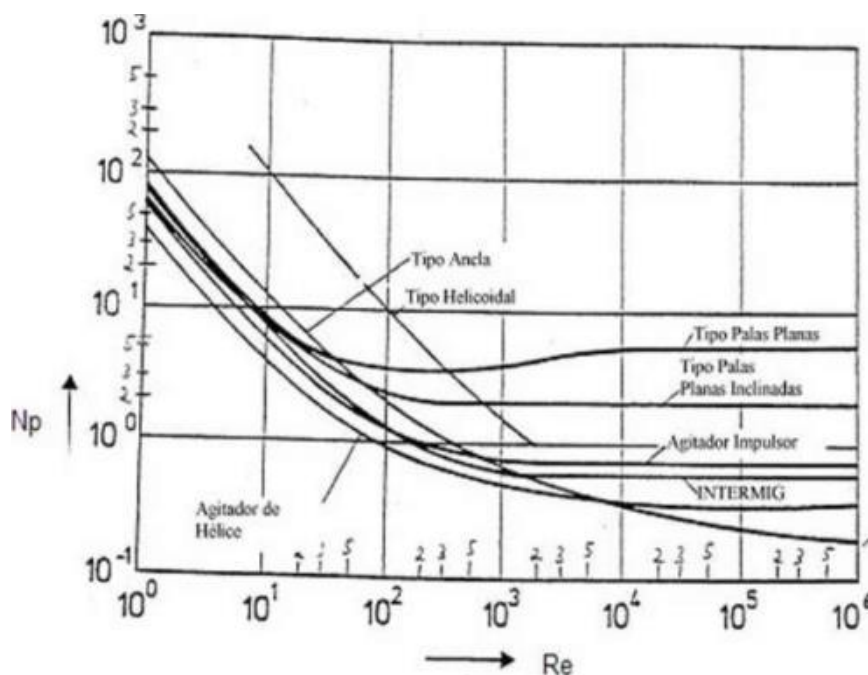


Figura 11.2.3: Determinació del número de potència

3. Càlcul de la potència necessària

$$P = \frac{D_a^5 \times N_p \times v^3 \times \rho}{g \times 1000}$$

Eq. 11.2.3: Potència agitador

P= Potència d'agitació (Kw)

D_a= Diàmetre d'agitador (m)

N_p= Número de potència

v= Velocitat d'agitació (m/s)

ρ = Densitat de la mescla (Kg/m³)

g= Gravetat (m/s²)

4. Confirmació de la potència obtinguda

Per tal de confirmar que la potencia obtinguda es coherent es mira si la relació potencia-volum es troba dintre del rang que indica la figura 11.2.4.

Agitation	Applications	Power, kW/m ³
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

Figura 11.2.4: Relació potència-volum

Si s'obté una relació més petita que la calculada es que per al volum que es té es requereix més potència, i, si dona més gran es que es requereix menys de la calculada.

11.2.2. Disseny de la mescladora M-101

L'objectiu d'aquest equip es homogeneïtzar la massa de fenol (la qual estarà composta de fenol nou i fenol re- circulat) amb la massa d'hidròxid sodi d'una concentració del 50%. Aquesta unió donarà lloc a la formació de la sal del fenol, es a dir, el fenolat sòdic, però, també es formarà aigua.

Conseqüentment, el que s'obté d'aquesta primera mescladora es una solució aquosa (el fenolat de sodi es una substància molt soluble en aigua).

El corrents de càrrega entren cada un a una temperatura diferent. El hidròxid entra a 18 °C i la mescla de fenol entra a 125 °C fent així que la temperatura d'operació de la mescladora sigui 53 °C, per tant, totes les matèries es mantenen líquides (es recorda que si fos per sota dels 47 °C el fenol que està entrant podria solidificar).

Per tenir noció d'aquestes temperatures, es adir, per tindre un valor de quant calenta estaria la mescla de fenol i quan calenta estaria la mescla fenol-hidròxid es calcula la temperatura amb un balanç energètic. En altres paraules la calor guanyada per un fluid es la calor cedida per un altre.

A continuació, es mostren els càlculs d'aquestes temperatures.

Temperatura de la mescla de fenol

$$Q_{fenol\ nou} = Q_{fenol\ recirculat} \quad \text{Eq. 11.2.4}$$

$$Q_{fenol\ nou} = m_{fenol\ nou} \times Cp \times \Delta T \quad \text{Eq. 11.2.5}$$

$$Q_{fenol\ recirculat} = m_{fenol\ recirculat} \times Cp \times \Delta T \quad \text{Eq. 11.2.6}$$

$$Q_{fenol\ nou} = \text{Calor fel fenol nou (J)}$$

$$Q_{fenol\ recirculat} = \text{Calor del fenol recirculat (J)}$$

$$m_{fenol\ nou} = \text{Massa de fenol nou (Kg)}$$

$$m_{fenol\ recirculat} = \text{Massa de fenol recirculat (Kg)}$$

$$C_p = \text{Calor específic del fenol (1647 J/Kg °C)}$$

$$\Delta T = \text{Diferència de temperatures}$$

$$m_{fenol\ nou} \times (T_{final} - 47) = m_{recirculat} \times (125 - T_{final}) \quad \text{Eq. 11.2.7}$$

$$8215 \times (T_{final} - 47) = 5477 \times (125 - T_{final})$$

$$T_{final} = 78 \text{ °C}$$

Temperatura de la mescla de fenol i hidròxid sòdic al 50 %

$$Q_{\text{fenol mescla}} = Q_{\text{hidròxid de sodi 50\%}} \quad \text{Eq. 11.2.8}$$

$$Q_{\text{fenol mescla}} = m_{\text{fenol mescla}} \times C_{p_{\text{fenol}}} \times \Delta T \quad \text{Eq. 11.2.9}$$

$$Q_{\text{hidròxid de sodi 50\%}} = m_{\text{hidròxid de sodi 50\%}} \times C_{p_{\text{hidròxid de sodi 50\%}}} \times \Delta T \quad \text{Eq. 11.2.10}$$

$$Q_{\text{fenol mescla}} = \text{Calor de la mescla de fenol (J)}$$

$$Q_{\text{hidròxid de sodi 50\%}} = \text{Calor del hidròxid de sodi (J)}$$

$$m_{\text{fenol mescla}} = \text{Massa de la mescla de fenol (Kg)}$$

$$m_{\text{hidròxid de sodi 50\%}} = \text{Massa d'hidròxid de sodi al 50\% (Kg)}$$

$$C_{p_{\text{fenol}}} = \text{Calor específic del fenol (1647 J/Kg °C)}$$

$$C_{p_{\text{hidròxid de sodi 50\%}}} = \text{Calor específic del hidròxid de sodi (1480 J/Kg °C)}$$

$$\Delta T = \text{Diferència de temperatures}$$

Les calors específiques han sigut extretes de la webbook NIST (Institut Nacional d'Estàndards i Tecnologia).

$$m_{\text{fenol mescla}} \times C_{p_{\text{fenol}}} \times \Delta T = m_{\text{hidròxid de sodi 50\%}} \times C_{p_{\text{hidròxid de sodi 50\%}}} \times \Delta T \quad \text{Eq. 11.2.11}$$

$$13692 \times 1647 \times (78 - T_{\text{final}}) = 10919 \times 1480 \times (T_{\text{final}} - 18)$$

$$T_{\text{final}} = 53 \text{ °C}$$

Un cop es coneixen les condicions d'operació del tanc de mescla M-101, es procedeix a calcular l'element característic d'aquest equip l'agitador. Aquest serà emprat com l'exemple de càlcul. (Diàmetre del tanc mesclador M-101 és 2,81 m).

EXEMPLE DE CàLCUL: Agitador del mesclador M-101

$$\text{Diàmetre del agitador} \rightarrow D_a = \frac{D_{\text{tanc}}}{3} = \frac{2,81}{3} = 0,937 \text{ m}$$

$$\text{Amplada del deflector} \rightarrow J = \frac{D_{\text{tanc}}}{12} = \frac{2,81}{12} = 0,235 \text{ m}$$

$$\text{Alçada des de la base del tanc} \rightarrow E = D_a = 0,937 \text{ m}$$

$$\text{Alçada de la pala del agitador} \rightarrow W = \frac{D_a}{5} = \frac{0,937}{4} = 0,187 \text{ m}$$

$$\text{Amplada de la pala del agitador} \rightarrow L = \frac{D_a}{4} = \frac{0,937}{4} = 0,235 \text{ m}$$

$$\text{Alçada del agitador (pala + pal)} \rightarrow H = W + H_{\text{tanc}} - E = 0,187 + 5,15 - 0,937 = 4,3 \text{ m}$$

$$Re = \frac{\rho \times v \times D_a}{\mu} = \frac{929 \times 2,5 \times 0,937}{0,002} = 1,01 \times 10^6$$

Gràfica 11.2.3. $\rightarrow N_p = 5$

$$P = \frac{D_a^5 \times N_p \times v^3 \times \rho}{g \times 1000} = \frac{0,937^5 \times 5 \times 2,5^3 \times 929}{9,8 \times 1000} = 5,36 \text{ Kw}$$

$$\frac{P}{V} = \frac{5,36}{26,5} = 0,2$$

A continuació, es presenta una taula on es recull tota les dades de disseny del equip M-101.

Taula 11.2.2.1

Disseny M-101				
MATERIAL	Acer al carboni 1045		DIMENSIONS COS (CILÍNDRIC)	
Densitat	7870	Kg/m3	Relació Alçada/diàmetre	1,5 -
Mòdul Elàstic	190	GPa	Alçada	4,219 m
Tensió màx.	565	N/mm2	Diàmetre intern	2,813 m
Corrosió admissible	2	mm	Diàmetre extern	2,826 m
Conductivitat	15,1	W/(°C)	Volum	26,22 m3
Densitat mescla	928,7	Kg/m3	Radi intern	1,406 m
Número de equips	1		Radi extern	1,414 m
CONDICIONS			Espessor calculat	6,76 mm
Temperatura	53	°C	Espessor escollit	8 mm
Pressió	1	atm	DIMENSIONS TAPA (ABOMBADA)	
VOLUM REQUERIT			Alçada intern	0,377 m

Capítol 11: Manual de Càlculs

Quantitat per Batch	24611,1	Kg	Alçada extern	0,385	m
			Volum	1,202	m ³
Volum necessari	26,5	m ³	Radi abombament	2,813	m
Sobredimensionament	10	%	Radi abombament ext.	2,82	m
Volum final	29,5	m ³	Espessor calculat	6,76	mm
PES			Espessor escollit	8	mm
Pes total buit	4200	Kg	DIMENSIONS FONS (KLOPPER)		
Pes líquid	24596	Kg	Alçada intern	0,544	m
Pes total ple	28796	Kg	Alçada extern	0,553	m
DIMENSIONS			Volum	1,981	m
Alçada interna	5,14	m	Radi abombament	2,813	m
Alçada externa	5,154	m	Radi abombament ext.	2,82	m
Radi intern	1,406	m	Radi curvatura	0,281	m
Radi extern	1,414	m	Radi curvatura ext.	0,288	m
Diàmetre intern	2,813	m	Espessor calculat	8,35	mm
Diàmetre extern	2,826	m	Espessor escollit	9	mm
AGITACIÓ					
Tipus	Turbina				
Nº Palas	6				
Nº Deflectors	4				
Velocitat (rpm)	150				
Diàmetre agitador	0,938 m				
Amplada deflector	0,234 m				
Alçada des de base tanc	2,810 m				
Alçada agitador	0,188 m				
Alçada sencera agitador	2,52 m				
Amplada agitador	0,234 m				
Potència necessària	5,40 Kw				

Cal dir que l'agitador es posarà en marxa a mida que les substàncies es van carregant dintre del equip mesclador. S'ha de tenir en compte que aquest no es pot encendre si el nivell d'ompliment no es almenys un 15% del volum total.

11.2.1. Disseny de la mescladora M-105

La segona mescladora que es té en la planta SALICACEA es la mescladora M-105, aquesta és més simple que la primera, ja que la seva finalitat es homogeneïtzar, simplement, el salicilat disòdic, obtingut de la reacció de carboxilació (R-103) , amb una corrent d'aigua a temperatura ambient.

Aquesta dissolució de la sal sòdica del àcid salicílic en aigua es realitza amb la finalitat de fer-la passar per el filtre de carbó actiu i eliminar `possible color que hagués pogut

adquirir, (es recorda que el fenol té un color groguenc). D'aquesta forma es blanqueja el producte (procés molt típic per a productes que es tenen una finalitat farmacèutica).

La quantitat d'aigua afegida es aquella que fa que es dissolgui totalment la quantitat de salicilat disòdic produït. I es calcula a partir de la solubilitat d'aquest compost en aigua. Aquest valor es de 1000 g/L.

Dit això, es calcula aquesta quantitat d'aigua.

$$11933 \text{ Kg sal} \times \frac{1 \text{ L aigua}}{1000 \text{ g sal}} \times \frac{1000 \text{ g sal}}{1 \text{ Kg sal}} \times \frac{1 \text{ m}^3 \text{ aigua}}{1000 \text{ L aigua}} \times \frac{1000 \text{ Kg aigua}}{1 \text{ m}^3 \text{ aigua}} \\ = 11933 \text{ Kg aigua}$$

I la temperatura de la mescla, es calcula com s'ha citat anteriorment. Es adir, la calor que perd la sal en contacte amb l'aigua es la calor guanyada per aquesta última

La sal entra calenta, a 181 °C perquè aquesta surt del evaporador E-104, el qual s'encarrega de separar per evaporació el fenol, que es el segon subproducte de la reacció de carboxilació, de la sal. Es treballa a aquesta temperatura perquè es el punt d'ebullició del fenol. La sal no s'evapora perquè, precisament, una de les característiques d'aquests sòlids es punts d'ebullició altíssims (més de 250 °C).

L'aigua entra a temperatura ambient i, aquesta es suposa igual a 12 °C. Quant aquestes dos matèries entren en contacte, realment, es desprèn, segurament, certa quantitat d'aigua en forma de vapor. Però, aquest aspecte no ha sigut considerat a l'hora d realitzar el càlcul de la temperatura d'operació del mesclador M-105 per tal de no complicar els càlculs.

Dit això es calcula la temperatura de la mescla:

$$Q_{sal} = Q_{aigua} \quad \text{Eq. 11.2.12}$$

$$Q_{sal} = m_{sal} \times Cp_{sal} \times \Delta T \quad \text{Eq. 11.2.13}$$

$$Q_{aigua} = m_{aigua} \times Cp_{aigua} \times \Delta T \quad \text{Eq. 11.2.14}$$

Q_{sal} = Calor de la sal salicilat de sodi (Kcal)

Q_{aigua} = Calor del aigua (Kcal)

m_{sal} = Massa de la sal (Kg)

m_{aigua} = Massa de l'aigua Kg)

Cp_{sal} = Calor específic de la sal (0,88 Kcal/Kg °C)

Cp_{aigua} = Calor específic del aigua (4,18 Kcal/Kg °C)

ΔT = Diferència de temperatures

Les calors específiques han sigut extretes de la webook NIST (Institut Nacional d'Estàndards i Tecnologia).

$$m_{sal} \times Cp_{sal} \times \Delta T = m_{aigua} \times Cp_{aigua} \times \Delta T$$

Eq. 11.2.15

$$13269 \times 0,88 \times (181 - T_{final}) = 11933 \times 4,18 \times (T_{final} - 12)$$

$$T_{final} = 44 \text{ °C}$$

(*Aquesta m_{sal} relament es saliclat sòdic més una mica de fenolat sòdic).

A continuació, es presenta la taula de disseny del M-105.

Taula 11.2.2.2

Disseny M-105				
MATERIAL	Acer Inoxidable 316		DIMENSIONS COS (CILÍNDRIC)	
Densitat	7800	Kg/m3	Relació Alçada/diàmetre	1,5 -
Mòdul Elàstic	190	GPa	Alçada	4,862 m
Tensió màx.	515	N/mm2	Diàmetre intern	3,242 m
Corrosió admissible	2	mm	Diàmetre extern	3,258 m
Conductivitat	16	W/(°C)	Volum	40,13 m3
Densitat mescla	928,7	Kg/m3	Radi intern	1,621 m
Número de equips	1		Radi extern	1,629 m
CONDICIONS			Espessor calculat	6,76 mm
Temperatura	44	°C	Espessor escollit	8 mm
Pressió	1	atm	DIMENSIONS TAPA (ABOMBADA)	
VOLUM REQUERIT			Alçada intern	0,434 m
Quantitat per Batch	25201,9	Kg	Alçada extern	0,442 m
			Volum	1,840 m3
Volum necessari	40,5	m3	Radi abombament	3,242 m
Sobredimensionament	10	%	Radi abombament ext.	3,250 m
Volum final	45,5	m3	Espessor calculat	6,76 mm
PES			Espessor escollit	8 mm
Pes total buit	4669	Kg	DIMENSIONS FONS (KLOPPER)	
Pes líquid	25695	Kg	Alçada interna	0,627 m
Pes total ple	30364	Kg	Alçada externa	0,634 m

DIMENSIONS		Volum	3,032 m
Alçada interna	5,924 m	Radi abombament	3,242 m
Alçada externa	5,938 m	Radi abombament ext.	3,251 m
Radi intern	1,621 m	Radi curvatura	0,324 m
Radi extern	1,629 m	Radi curvatura ext.	0,333 m
Diàmetre intern	3,242 m	Espessor calculat	8,35 mm
Diàmetre extern	3,258 m	Espessor escollit	9 mm
AGITACIÓ			
Tipus		Turbina	
Nº Palas		6	
Nº Deflectors		4	
Velocitat (rpm)		150	
Diàmetre agitador		1,081 m	
Amplada deflector		0,270 m	
Alçada des de base tanc		3,242 m	
Alçada agitador		0,216 m	
Alçada sencera agitador		2,900 m	
Amplada agitador		0,270 m	
Potència necessària		7,45 Kw	

Cal dir que l'agitador es posarà en marxa a mida que les substàncies es van carregant dintre del equip mesclador. S'ha de tenir en compte que aquest no es pot encendre si el nivell d'ompliment no es almenys un 15% del volum total.

11.3. REACTORS

11.3.1. Definició del volum dels reactors

La selecció del volum dels dos reactors s'ha fet a partir del volum dels reactius que s'afegeixen a l'inici de la reacció i multiplicant aquest valor per un coeficient de sobredimensionament.

De tal manera que:

$$\rho \div Kg = V \quad \text{Eq 11.3.1.1}$$

$$V \times CS = VR \quad \text{Eq 11.3.1.2}$$

P: és la densitat en Kg/m³ del reactiu

Kg: són els Kg de reactiu

V: és el volum total que ocupa el reactiu

CS: és el coeficient de sobredimensionament (1,5 per al R-103 i 1,67 per al R-301)

VR: és el volum del reactor

A partir d'aquest punt, el dimensionament s'ha fet d'acord amb la normativa ASME explicada anteriorment. Per tant, per a cada pas es farà referència al punt on s'ha esmentat cada càlcul d'acord amb aquesta normativa.

11.3.2. Dimensions dels fons Kloppe

Per als dos reactors s'ha decidit els fons Kloppe tant per al fons superior com per a l'inferior. Com que les dimensions del fons depenen del diàmetre extern del cilindre, en tots dos casos (fons superior i inferior) es donen les mateixes dimensions.

Les dimensions del fons Kloppe es mostren a la *figura 11.1.3.3*. Com que tot el dimensionament del fons depèn del diàmetre, s'ha fet un càlcul iteratiu per a trobar el diàmetre adient. Com s'ha esmentat al punt 11.3.1, el volum del reactor ja està fixat. Aquest volum es troba descompost en el volum del cos cilíndric del reactor (l'alçada del qual serà de 1,5 vegades el diàmetre d'aquest) i el volum dels dos fons Kloppe.

Com que tots aquests valors depenen finalment del diàmetre, s'ha iterat el valor d'aquest per a trobar un diàmetre que proporcionï finalment un volum igual al calculat.

Semblant al que es veu a l'equació 11.1.3.11, podem calcular això de la següent manera:

$$V_{total} = \pi r^2 \cdot 3r + 2 \cdot 0,1(2r)^3 \quad \text{Eq 11.3.2.1}$$

Si passem tot això en funció del diàmetre:

$$V_{total} = \frac{\pi}{4} De^2 \cdot 1,5De + 2 \cdot 0,1De^3 \quad \text{Eq 11.3.2.2}$$

Amb aquesta darrera equació, iterem sobre el diàmetre per obtenir un volum igual al volum calculat a l'apartat 11.3.1. D'aquesta manera definim el diàmetre extern i es poden calcular les dimensions dels fons.

11.3.3. Espessor dels reactors

El càlcul de l'espessor dels reactors té dues parts: L'espessor dels capçals i l'espessor del cos cilíndric. Ambdues equacions per a aquest càlcul es troben explicades a l'*apartat 11.1.3.1* i *apartat 11.1.3.2* respectivament.

11.3.3.1. Valors per al càlcul del reactor R-103

Taula 11.3.3.1.1. Dades per al càlcul de l'espessor del capçal Kloppe

Capçal Kloppe				
P (bar)	L (mm)	S (bar)	M	E
6,13	2592	2050	1,54	0,85

Taula 11.3.3.1.2. Dades per al càlcul de l'espessor del cos cilíndric

Cos cilíndric			
P (bar)	R (mm)	S (bar)	E
6,13	1296	2050	0,85

11.3.3.2. Valors per al càlcul del reactor R-301

Taula 11.3.3.2.1. Dades per al càlcul de l'espessor del capçal Kloppe

Capçal Kloppe				
P (bar)	L (mm)	S (bar)	M	E
1,45	2439	2999	1,54	0,85

Taula 11.3.3.2.2. Dades per al càlcul de l'espessor del cos cilíndric

Cos cilíndric			
P (bar)	R (mm)	S (bar)	E
1,45	1220	2999	0,85

11.3.4. Pes del reactor

Així com passa amb l'espessor, el procés seguit per al càlcul del pes del reactor és el que ve explicat a l'*apartat 11.1.3.5*. Bàsicament el que s'ha fet ha estat calcular el volum exterior i interior del reactor. Fent la diferència s'obté el volum de metall que ocupa la carcassa del reactor i amb la densitat s'obté el pes.

11.3.5. Dimensions del reactor

A continuació es presenten els resultats finals obtinguts del dimensionament dels reactors.

11.3.5.1. Dimensions del reactor R-103

Taula 11.3.5.1. Dimensions finals del reactor R-103

Disseny del reactor					
Característiques del material			Dimensions del reactor		
Material: Acer Inoxidable 316			Volum	24	m ³
Densitat	7800	Kg/m ³	Alçada	5,09	m
Mòdul elàstic	190	MPa	Diàmetre extern	2,59	m
Tensió màx.	605	N/mm ²	Pes buit	7656	Kg
Cos cilíndric			Capçal Kloppe		
Alçada	3,89	m	Radi d'abombament	2,59	m
Diàmetre extern	2,59	m	Radi curvatura	259	mm
Diàmetre intern	2,54	m	Alçada	601	mm
Espessor	25	mm	Espessor	20	mm
Volum	20,5	m ³	Volum	1,74	m ³

11.3.5.2. Dimensions del reactor R-301

Taula 11.3.5.2. Dimensions finals del reactor R-103

Disseny del reactor					
Característiques del material			Dimensions del reactor		
Material: Aliatge 20			Volum	20	m ³
Densitat	8050	Kg/m ³	Alçada	4,36	m
Mòdul elàstic	300	MPa	Diàmetre extern	2,44	m
Tensió màx.	620	N/mm ²	Pes buit	1130	Kg
Cos cilíndric			Capçal Kloppe		
Alçada	3,66	m	Radi d'abombament	2,44	m
Diàmetre extern	2,44	m	Radi curvatura	244	mm
Diàmetre intern	2,43	m	Alçada	487	mm
Espessor	4	mm	Espessor	4	mm
Volum	17,1	m ³	Volum	1,45	m ³

Disseny de l'agitador		
Da (mm)	J (mm)	E (mm)
813	203	813
W (mm)	L (mm)	Potència (kW)
163	203	3,4

Les dimensions de l'agitador del reactor R-301 s'han calculat d'acord amb el procediment explicat a l'*apartat 11.2.1*.

11.3.6. Balanç d'energia dels reactors

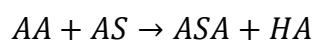
Com que les reaccions que es duen a terme en ambdós reactors són exotèrmiques, s'ha hagut d'incorporar al reactor un sistema de refrigeració mitjançant una mitja canya.

En el cas dels dos reactors el procediment seguit ha estat el mateix. Primer, s'ha trobat l'energia alliberada durant el procés de la reacció. Després, s'ha trobat el cabal d'aigua de refrigeració necessari per a mantenir constant la temperatura en el reactor. Finalment, s'ha calculat l'àrea necessària per al bescanvi.

11.3.6.1. Càlcul de l'energia alliberada durant el procés

Per a poder calcular l'energia alliberada durant el procés, primer s'ha hagut de trobar la calor de reacció de cada una de les reaccions. En el cas de la primera reacció (duta a terme al reactor R-103) s'ha pogut obtenir la calor de reacció directament de la bibliografia. En el cas de la segona reacció (la del reactor R-301), s'ha hagut de calcular la calor de reacció a partir dels calors de formació.

Per a aquest cas, el que es té es una reacció del tipus:



D'aquesta manera, el que s'ha fet ha estat la diferència entre la calor de formació dels productes menys la calor de formació dels reactius. Així s'ha obtingut la calor de reacció de la reacció. A partir d'aquest punt, la resta de càlculs duts a terme han estat els mateixos per als dos reactors.

El que s'ha fet a continuació ha estat trobar el cabal energètic després a causa de la reacció.

Això s'ha fet de la següent manera:

$$q = \frac{\Delta H_r \cdot M}{t} \quad \text{Eq 11.3.6.1.1}$$

q = calor alliberada a la reacció (Kcal/h)

ΔH_r = calor de reacció (Kcal/Kmol)

M = mols formats a la reacció (Kmol)

t = temps de reacció

D'aquesta manera, obtenim el cabal energètic que desprèn la reacció. Aquest serà igual al cabal energètic que s'haurà d'aportar en forma d'aigua de refrigeració per tal de mantenir la temperatura constant.

11.3.6.2. Càlcul del cabal d'aigua necessari

El següent que s'ha fet ha estat calcular el cabal d'aigua de refrigeració necessari per tal de poder mantenir constant la temperatura al reactor. L'equació utilitzada per a això ha estat la següent:

$$q = W \cdot C_p \cdot \Delta T \rightarrow W = \frac{q}{C_p \cdot \Delta T} \quad \text{Eq 11.3.6.2.1}$$

q = calor alliberat a la reacció (Kcal/h)

W = cabal màssic d'aigua de refrigeració (Kg/h)

C_p = calor específic de l'aigua (Kcal/Kg °C)

ΔT = increment de temperatura de l'aigua de refrigeració (°C)

El calor alliberat a la reacció és el mateix al calculat a l'apartat anterior. Amb aquest valor, i juntament amb el calor específic de l'aigua (1 Kcal/Kg °C) i amb l'increment de temperatura de l'aigua podem obtenir el cabal màssic necessari. Per a l'increment de temperatura, s'ha considerat el valor típic d'un salt de 10°C entre la temperatura d'entrada i la de sortida.

11.3.6.3. Càlcul de l'àrea de bescanvi necessària

El càlcul de l'àrea necessària de bescanvi també s'ha fet a partir de la calor alliberada durant la reacció. En aquest cas, l'equació utilitzada ha estat la següent:

$$q = U \cdot A \cdot \Delta T_{ml} \quad \text{Eq 11.3.6.3.1}$$

q= calor alliberat a la reacció (Kcal/h)

U= coeficient global de transferència de calor (Kcal/(m²·h·°C))

A= àrea de bescanvi (m²)

ΔT_{ml}= increment de temperatura mitjana logarítmica (°C)

Per al càlcul de l'increment de temperatura mitjana logarítmica s'ha utilitzat la següent equació:

$$\Delta T_{ml} = \frac{T_s - T_e}{\ln\left(\frac{T_r - T_e}{T_r - T_s}\right)} \quad \text{Eq 11.3.6.3.2}$$

T_e= temperatura d'entrada de l'aigua de refrigeració (°C)

T_s= temperatura de sortida de l'aigua de refrigeració (°C)

T_r= temperatura a l'interior del reactor (°C)

L'aigua de refrigeració utilitzada és aigua refrigerada a una torre de refrigeració. Per a aquest cas, s'ha considerat un cas desfavorable on el mínim de temperatura obtingut ha estat de 30°C. Per tant, la temperatura de sortida de l'aigua de refrigeració s'ha considerat de 40°C (el salt de temperatura de 10°C considerat a l'equació 11.3.6.2.1).

Per una altra banda, un problema que ha sorgit ha estat el càlcul del coeficient global de transferència de calor (U). Aquest s'ha trobat a partir de l'equació següent:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + \frac{\Delta x}{k_m} + \frac{1}{h_e} \quad \text{Eq 11.3.6.3.3}$$

U= coeficient global de transferència de calor (Kcal/(m²·h·°C))

h_i= coeficient individual intern de transferència de calor (Kcal/(m²·h·°C))

h_e= coeficient individual extern de transferència de calor (Kcal/(m²·h·°C))

Δx= gruix de la paret del reactor (m)

K_m= conductivitat tèrmica del material (Kcal/(h·m·°C))

El gruix de paret del reactor s'ha obtingut en el disseny del reactor i la conductivitat tèrmica s'ha obtingut a partir del material seleccionat.

Per als coeficients individuals de transferència de calor, s'han utilitzat valors orientatius a partir del fluid de cada reactor. Com que els valors orientatius es troben dins d'un cert rang, s'han trobat dos valors per a U , un màxim i un mínim. El valor utilitzat per als càlculs ha estat la mitjana entre aquests dos nombres.

11.4. BESCANVIADORS DE CALOR

11.4.1 Disseny del bescanviador B-109

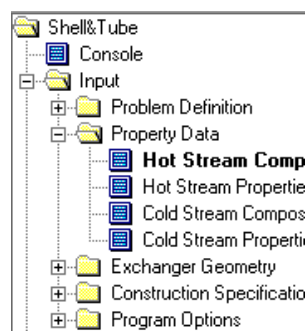
Els bescanviadors de calor i condensadors que s'utilitzen en aquesta planta són bescanviadors de carcassa i tubs, i el seu disseny ha estat realitzat amb l'ajuda de l'eina de disseny HYSYS. A continuació s'explica el procediment seguit per al disseny del bescanviador B-109.

Aquest, és un bescanviador de carcassa i tubs que ha de ser capaç d'escalfar CO_2 . Exactament un corrent de 280 kg/h de CO_2 , el qual es troba a 10 °C, fins a 120°C. Per aconseguir-ho el fluid utilitzat com fluid calent és vapor d'aigua a 150 °C.

1. Paràmetres dels corrents

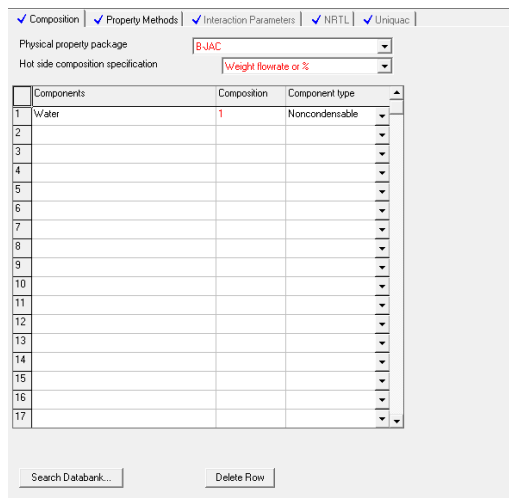
Per a poder utilitzar l'eina HYSYS, en primera instància s'han d'especificar els corrents que entraran al bescanviador. Per a fer-ho s'entra a una pestanya anomenada Property Data. Un cop entrem a la carpeta s'obren en cascada quatre opcions, les quals són:

- Composició del fluid calent
- Propietats del fluid calent
- Composició del fluid fred
- Propietats del fluid fred



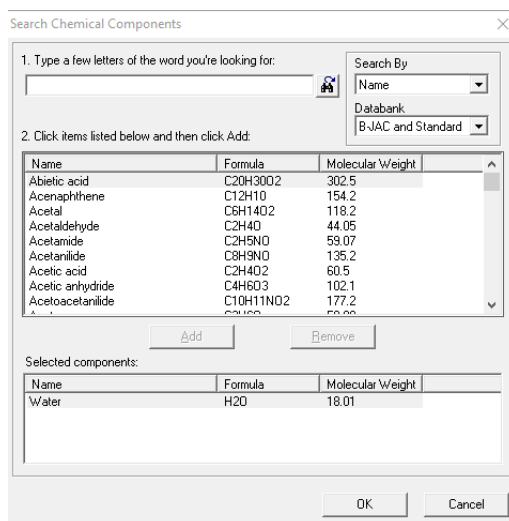
Capítol 11: Manual de Càlculs

Al entrar a les composicions dels fluids, tant el calent com el fred, s'obre una pantalla en la qual hi ha una taula. La qual té tres títols, component, composició i tipus de component. Per a escollir el nostre component s'ha de clicar al botó de Search Databank.



Components	Composition	Component type
1 Water	1	Noncondensable
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		

Amb aquest botó s'obrirà una altre pantalla en la qual es pot buscar el nostre



1. Type a few letters of the word you're looking for:

2. Click items listed below and then click Add:

Name	Formula	Molecular Weight
Abietic acid	C20H30O2	302.5
Acenaphthene	C12H10	154.2
Acetal	C6H14O2	118.2
Acetaldehyde	C2H4O	44.05
Acetamide	C2H5NO	59.07
Acetanilide	C8H9NO	135.2
Acetic acid	C2H4O2	60.5
Acetic anhydride	C4H6O3	102.1
Acetoacetanilide	C10H11NO2	177.2

Selected components:

Name	Formula	Molecular Weight
Water	H2O	18.01

component a partir del seu nom, i es pot afegir a la taula esmentada anteriorment.

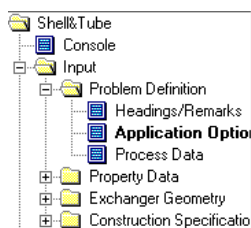
Un cop escollits els components del corrent, s'ha d'especificar la composició d'aquest amb la fracció molar de cada component. En el nostre cas els corrents són de aigua i CO₂ purs. També s'ha d'especificar si els corrents es poden condensar o no.

Amb les composicions dels corrents especificades entrem a la pestanya de propietats de cada corrent. Al entrar-hi trobem totes les dades que té la base de dades per a fer els càlculs del nostre bescanviador.

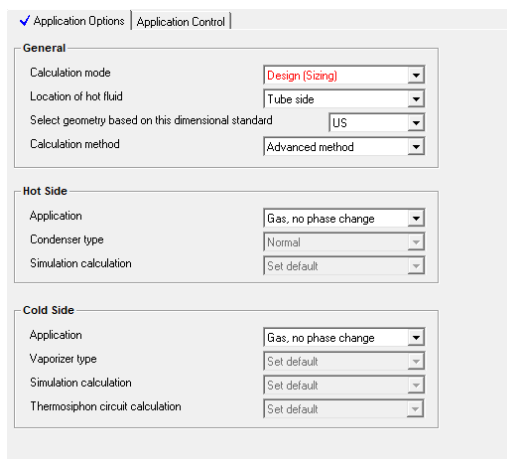
2. Definició del problema

Amb els corrents definits entrem a la carpeta de Problem Definition, de la qual s'obren en cascada tres opcions.

Entrarem a la pestanya de Application Options, que ens obrirà una pantalla en la qual podrem escollir el mode de càlcul del programa, per on passa el fluid calent, la base de dimensions per calcular la geometria.



També propietats tant del pas calent com del pas fred. En el cas del bescanviador que s'està calculant, en els dos passos es tracta d'un gas que no canvia de fase.



Fet aquest pas es pot passar a la següent pestanya, la de Process Data. S'obra una pantalla on s'ha de especificar la temperatura, pressió i cabal de cada corrent per a que el programa pugui fer els càlculs. En aquest cas estava tot especificat excepte per el cabal de vapor d'aigua necessari per a poder escalfar el corrent de CO₂.

Donat que les temperatures d'entrada i sortida dels dos corrents eren conegudes. En el cas del CO₂ perquè es la nostre necessitat, i en el cas de el corrent de vapor perquè els corrents d'escalfament només poden perdre 10 °C aproximadament per a que el bescanviador funcioni de manera adequada. En el cas de la pressió a la qual entra cada corrent també es coneguda.

✓ Process Data

	Hot Stream (1) Tube Side		Cold Stream (2) Shell Side	
Fluid name	Vapor d'aigua		CO2	
Mass flow rate (total)	kg/h		In	Out
Temperature	C	150	140	10
Vapor mass fraction		1	1	1
Operating pressure (absolute)	kgf/cm ²	5	4.848	5
Pressure at liquid surface in column				4.848
Heat exchanged	kcal/h			
Exchanger effectiveness				
Adjust if over-specified		Heat load		Heat load
Estimated pressure drop	kgf/cm ²	0.152		0.152
Allowable pressure drop	kgf/cm ²	0.264		0.51
Fouling resistance	m ² h°C/kcal	0		0

3. Elecció del tipus de bescanviador

Amb el problema i els corrents especificats es pot procedir a decidir com serà el nostre bescanviador. Per a fer-ho entrarem a la pestanya de Console, la qual ens obrirà una pantalla que ens deixarà escollir la configuració per el nostre bescanviador.

Geometry | Process | Errors & Warnings

Calculation mode: **Design (Sizing)** | Most recent run | Previous run

Configuration

TEMA type:	B · E · M	BEM	BEM
Layout type:	New (optimum) layout		
Hot side:	Tube side	Tube side	Tube side
Tube OD \ Pitch:	mm 19.05 23.81	19.05 \ 23.81	19.05 \ 23.81
Tube pattern:	30-Triangular	30	30
Tubes in window:	Yes	Yes	Yes
Baffle type:	Single segmental	Single segmental	Single segmental
Baffle cut orientation:	Horizontal	H	H
Exchanger material:	Carbon Steel	SS 316	Carbon Steel

Size

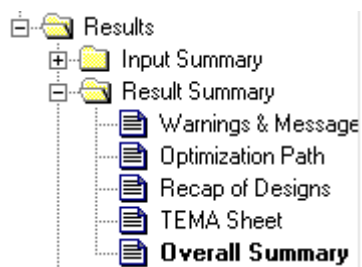
Specify some sizes in design:	No	No	No
Shell ID\OD	mm	162.74 \ 168.28	205 \ 219.08
Tube length:	mm	1219.2	1219.2
Baffle pitch:	mm	146.05	133.35
Number of baffles:		6	6
Number of tubes \ passes:		31 \ 1	46 \ 2
Shells in series\parallel:		1 \ 1	1 \ 1

En el nostre cas s'ha escollit un bescanviador de tipus BEM, que es tracta d'un bescanviador de tubs i carcasses amb un sol pas per carcassa. També s'escull per on passa el corrent calent, la col·locació dels tubs dins de la carcassa i el material del bescanviador.

Amb tot especificat es procedeix al càlcul del bescanviador clicant al botó de Run que trobem a la mateixa pantalla de Console.

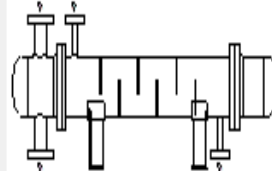
4. Resultats

Després de fer els càlculs el programa ens dona els resultats del bescanviador a la carpeta de Results Summary. En la qual tenim els diferents dissenys que s'han fet a la pestanya de Recap of Designs, un full d'especificacions del bescanviador calculat a la pestanya de TEMA Sheet, i un resum de totes les propietats del bescanviador a la pestanya de Overall Summary.



El resultat que ens es més útil és el full d'especificacions el qual es mostra a continuació.

3	
4	
5	
6	Size 203.2-1219.2 mm Type BEM Hor Connected in 1 parallel 1 series
7	Surf/unit(eff.) 3.1 m ² Shells/unit 1 Surf/shell (eff.) 3.1 m ²
8	PERFORMANCE OF ONE UNIT
9	Fluid allocation Shell Side Tube Side
10	Fluid name CO2 Vapor d'aigua
11	Fluid quantity, Total kg/h 280 1422
12	Vapor (In/Out) kg/h 280 280 1422 1422
13	Liquid kg/h 0 0 0 0
14	Noncondensable kg/h 0 0 0 0
15	
16	Temperature (In/Out) °C 10 120 150 140
17	Dew / Bubble point °C
18	Density Vapor/Liquid kg/m ³ 9.16 / 6.56 / 2.51 / 2.5 /
19	Viscosity cp 0.016 / 0.0214 / 0.0141 / 0.0137 /
20	Molecular wt, Vap 44.01 44.01 18.01 18.01
21	Molecular wt, NC
22	Specific heat kcal/(kg C) 0.2 / 0.2247 / 0.461 / 0.4608 /
23	Thermal conductivity kcal/(h m C) 0.015 / 0.022 / 0.025 / 0.024 /
24	Latent heat kcal/kg
25	Pressure (abs) kgf/cm ² 5 4.973 5 4.87
26	Velocity m/s 1.97 39.7
27	Pressure drop, allow./calc. kgf/cm ² 0.51 0.027 0.264 0.13
28	Fouling resistance (min) m ² h C/kcal 0 0 0 Ao based
29	Heat exchanged 6554 kcal/h MTD corrected 64.14 °C
30	Transfer rate, Service 32.5 Dirty 57.4 Clean 57.4 kcal/(h m ² C)
31	CONSTRUCTION OF ONE SHELL
32	Shell Side Tube Side
33	Design/vac/test pressure:g kgf/cm ² 5.625/ / 5.625/ /
34	Design temperature °C 160 187.78
35	Number passes per shell 1 2
36	Corrosion allowance mm 3.18 3.18
37	Connections In mm 1 25.4/ - 1 76.2/ -
38	Size/rating Out 1 25.4/ - 1 76.2/ -
39	Nominal Intermediate / - / -
40	Tube No. 46 Us OD 19.05 TksAvg 2.11 mm Length 1219.2 mm Pitch 23.81 mm
41	Tube type Plain #/m Material Carbon Steel Tube pattern 30
42	Shell Carbon Steel ID 205 OD 219.08 mm Shell cover -



11.4.2 Disseny del condensador B-108

El procediment per al disseny del condensador B-108 és molt similar al del bescanviador B-109. Amb alguna petita diferència que es comentarà seguidament.

Aquest condensador es tracta d'un condensador de carcassa i tubs, utilitzat per a condensar el fenol retirat en forma de vapor d'un evaporador, per així poder reaprofitar-lo i per tant tenir un menor residu. Per a fer-ho s'utilitza aigua de refrigeració que prové de la torre de refrigeració de la planta.

El condensador doncs ha de convertir tot el vapor de fenol que surt en líquid. Ha de passar un corrent de 2978 Kg/h de fenol a una temperatura de 185 °C, a líquid. Això serà possible gràcies a un corrent d'aigua de refrigeració a 30 °C.

El procediment de disseny, com ja s'ha dit és el mateix que en el cas del bescanviador anterior amb dues diferències.

En el moment de l'elecció dels components dels corrents s'ha d'especificar que el corrent de gas de fenol aquest cop sí que és condensable.

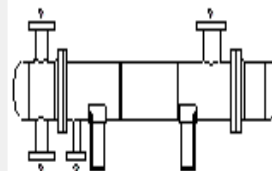
I com a segona diferència a la definició del problema s'ha d'especificar que l'aplicació de la part calenta és la condensació d'un fluid, i que el corrent fred és sempre líquid.

Per la resta de passos es segueix el mateix procediment que l'anterior per tant tenim aquesta definició del problema.

	Hot Stream (1) Shell Side		Cold Stream (2) Tube Side	
	In	Out	In	Out
Fluid name	Fenol		Aigua de refrigeració	
Mass flow rate (total)	kg/h	2978		
Temperature	C	185	30	40
Vapor mass fraction		1	0	0
Operating pressure (absolute)	kgf/cm ²	1	3	2.868
Pressure at liquid surface in column				
Heat exchanged	kcal/h			
Exchanger effectiveness				
Adjust if over-specified		Heat load		Heat load
Estimated pressure drop	kgf/cm ²	0.112		0.132
Allowable pressure drop	kgf/cm ²	0.112		0.51
Fouling resistance	m ² ·h·°C/kcal	0		0

I els resultats del condensador calculat són els següents:

3	
4	
5	
6	Size 203.2-1219.2 mm Type BEM Hor Connected in 1 parallel 1 series
7	Surf/unit(eff.) 2.7 m ² Shells/unit 1 Surf/shell (eff.) 2.7 m ²
8	PERFORMANCE OF ONE UNIT
9	Fluid allocation Shell Side Tube Side
10	Fluid name Fenol Aigua de refrigeració
11	Fluid quantity, Total kg/h 2978 36121
12	Vapor (In/Out) kg/h 2978 0 0 0
13	Liquid kg/h 0 2978 36121 36121
14	Noncondensable kg/h 0 0 0 0
15	
16	Temperature (In/Out) °C 185 176.64 30 40
17	Dew / Bubble point °C 180.81 180.81
18	Density Vapor/Liquid kg/m ³ 2.42 / / 948.4 / 997.34 / 994.53
19	Viscosity cp 0.0129 / / 0.3462 / 0.7998 / 0.6534
20	Molecular wt, Vap 94.11
21	Molecular wt, NC
22	Specific heat kcal/(kg C) 0.3886 / / 0.5975 / 1.0008 / 1.0002
23	Thermal conductivity kcal/(h m C) 0.026 / / 0.149 / 0.523 / 0.534
24	Latent heat kcal/kg 117.29 117.76
25	Pressure (abs) kgf/cm ² 1 0.934 3 2.708
26	Velocity m/s 43.2 2.99
27	Pressure drop, allow./calc. kgf/cm ² 0.112 0.066 0.51 0.292
28	Fouling resistance (min) m ² h C/kcal 0 0 0 Ao based
29	Heat exchanged 361376 kcal/h MTD corrected 143.84 °C
30	Transfer rate, Service 941.8 Dirty 1692.7 Clean 1692.7 kcal/(h m ² C)
31	CONSTRUCTION OF ONE SHELL
32	Shell Side Tube Side
33	Design/vac/test pressure:g kgf/cm ² 3.515/ / 3.515/ /
34	Design temperature °C 221.11 76.67
35	Number passes per shell 1 2
36	Corrosion allowance mm 3.18 3.18
37	Connections In mm 1 101.6/ - 1 76.2/ -
38	Size/rating Out 1 31.75/ - 1 76.2/ -
39	Nominal Intermediate / - / -
40	Tube No. 39 Us OD 19.05 TksAvg 2.11 mm Length 1219.2 mm Pitch 23.81 mm
41	Tube type Plain #/m Material Carbon Steel Tube pattern 30



11.4.3 Disseny dels evaporadors.

Per dissenyar l'evaporador es realitzarà un balanç de matèria i d'energia conjuntament per poder trobar l'àrea de disseny. Es realitzen els càlculs per dissenyar l'evaporador d'aigua.

Balanç de matèria global

$$F = V + L$$

Balanç d'energia

Es combinen tres equacions per a trobar l'àrea d'intercanvi i el cabal de vapor d'entrada:

- Balanç d'energia global

$$Q = UA(T_S - T_E)$$

- Balanç d'energia de component

$$Q = \lambda_v W$$

$$Q = LH_L + VH_V - FH_F$$

Entalpies

- Entalpia aliment

Entra a 50°C i la seva entalpia és:

$$H_{Faigua} = 50 \frac{cal}{g}$$

$$H_{Ffenolat} = 14.70 \frac{cal}{g}$$

- Entalpia del vapor

L'Entalpia del vapor s'ha buscat bibliogràficament.

$$H_V = 2114.3 \text{ Kj/Kg}$$

- Entalpia del Líquid

$$H_L \text{ aigua} = 15 \text{ cal/g}$$

$$H_L \text{ fenolat} = 4.41 \text{ cal/g}$$

Amb les entalpies i els corrents coneguts obtenim el calor bescanviat:

$$Q = LH_L + VH_V - FH_F = 2.67 \cdot 10^5 \text{ KJ/h}$$

Amb el calor bescanviat es pot buscar el vapor d'entrada:

$$W = \frac{Q}{\lambda} = 733 \text{ Kg/h}$$

L'àrea es calcula com:

$$A = \frac{G}{W} = 18.4 \text{ m}^2$$

On la G és la velocitat massica típica de gasos= 13500 (kg/m²h)

Per a calcular l'evaporador de fenol es segueix el mateix procediment i s'obtenen els següents resultats:

$$Q = 1.3 \cdot 10^6 \text{ KJ/h}$$

$$W = 604 \text{ Kg/h}$$

$$A = 22.3 \text{ m}^2$$

11.5. CRISTAL·LITZADORS

En el diagrama de procés de la planta, consta de dos cristal·litzadors, un després del precipitador Pr-201 (Àrea A-200) i un altre després del reactor R-301 (Àrea A-300). El principals objectius d'aquest equip, és la de separar i purificar el producte desitjat, en aquest cas, separar i purificar el àcid acetilsalicílic en estat sòlid dels subproductes i les matèries primeres no reaccionants.

La cristal·lització és un procés químic de separació en el qual a partir d'una dissolució s'ajusten a unes condicions, de manera que es formen cristalls d'un solut de la dissolució, i els altres soluts es troben dissolts en la dissolució. Aquesta operació s'utilitza amb freqüència en la indústria per separar o purificar generalment substàncies acompanyades amb impureses. Existeixen dos tipus de cristal·litzacions a gran escala, és a dir, a escala industrial. Aquests dos tipus de cristal·litzacions són: cristal·lització per refredament i cristal·lització per evaporació.

- Cristal·lització per refredament: Mètode que consisteix en refredar la dissolució per a disminuir la solubilitat del compost desitjat, fent que comenci a precipitar. En la indústria química s'utilitzen cristal·litzadors en forma de tancs de mescla, per els quals circulen fluids refrigerants envoltant al cristal·litzador amb l'objectiu de refrigerant la temperatura de la solució.
- Cristal·lització per evaporació: Mètode que consisteix en evaporar solvent (a temperatura constant amb l'objectiu de que la concentració del solut sobrepassi el nivell de solubilitat).

Per la nostra planta de producció d'àcid acetilsalicílic, s'utilitzen dos cristal·litzadors per refredament. En els dos casos, s'ha decidit treballar en discontinu, per això s'ha de crear una sobresaturació. Hi ha diferents mètodes per poder fer-ho, i s'ha escollit el mètode de canviar la temperatura del refredant.

En el cristal·litzador Cr-203 l'objectiu és separar l'àcid salicílic d'una corrent de sortida del precipitador Pr-201 composta per àcid salicílic, aigua, sulfat de sodi i 4-hidrogenzoic (isòmer para de l'àcid salicílic). En el cas d'aquesta operació al cristal·litzador Cr-203, el dissolvent és aigua. Les condicions de treball del cristal·litzador Cr-203 són:

- Temperatura d'operació: 16 °C
- Pressió d'operació: 1 atmosfera

En el cristal·litzador l'objectiu és separar àcid acetilsalicílic d'una corrent de sortida del reactor R-301 composta per àcid salicílic, aigua, àcid acètic i àcid acetilsalicílic. En el cas d'aquesta operació de cristal·lització, el solvent és una mescla de àcid acètic i aigua. Les condicions de treball del cristal·litzador Cr-302 és:

- Temperatura d'operació: 20 °C
- Pressió d'operació: 1 atmosfera

Degut a la manca d'informació bibliogràfica del funcionament d'un cristal·litzador, s'ha fet el disseny del cristal·litzador amb unes consideracions generals trobades en el llibre *Handbook of industrial crystallization*, on es descriu de manera general el funcionament d'un cristal·litzador. En quant al comportament de l'àcid acetilsalicílic en una cristal·lització i en un equip de cristal·lització, s'han hagut de fer consideracions de propietats de l'àcid acetilsalicílic respecte a alguns paràmetres de càlcul del cristal·litzador, com per exemple la solubilitat de i altres paràmetres relacionats amb la cristal·lització.

11.5.1 Balanç de matèria

El balanç de matèria es dedueix amb la següent figura simplificada per als dos cristal·litzadors:



Figura 11.5.1. Esquema simplificat d'un cristal·litzador

On:

F= Càrrega de l'aliment (kg)

x_F = Fracció màssica d'àcid acetilsalicílic en l'aliment

L= Càrrega del líquid (kg)

x_L = Fracció màssica d'àcid acetilsalicílic en el líquid

S= Càrrega del sòlid (kg)

x_S = Fracció màssica d'àcid acetilsalicílic en el sòlid

En el cristal·litzador es té en compte que no hi ha vaporització del solvent ni de solut, és a dir, $V=0$ i $X_v=0$.

El balanç total de matèria i el balanç de matèries respecte l'àcid acetilsalicílic són els següents:

$$F = L + S \quad \text{Eq. 11.5.1}$$

$$F \cdot x_F = L \cdot x_L + S \cdot x_S \quad \text{Eq. 11.5.2}$$

Per poder determinar la quantitat de cada component en F i S, les dades de solubilitat dels components que entren en el cristal·litzador en el dissolvent, en aquest cas és l'aigua. Les dades de solubilitat per poder realitzar el balanç de matèria s'han extret dades del llibre *Handbook of Solubility Data for pharmaceuticals*. Les solubilitats de cada component es pot veure en la Taula 11.5.1.

Taula 11.5.1. Solubilitats dels soluts en aigua en el cristal·litzador Cr-203.

Cristal·litzador Cr-203	
Components de la dissolució	Solubilitat en aigua
Àcid salicílic	0,2 % wt *
Sulfat de sodi	190 g/L
4-hidrobenzoic "isòmer para"	0,81 % wt *

* Solubilitats donades en tant per cent de pes

Per poder determinar la quantitat d'aspirina dissolta en la dissolució, s'ha utilitzat dades de solubilitat en l'àcid acètic i aigua a una temperatura de 20 °C. Les dades de solubilitat per poder realitzar el balanç de matèria, s'han extret dades del llibre *Handbook of Solubility Data for pharmaceuticals*. Les dades trobades a aquest llibre són dades són:

Taula 11.5.2. Solubilitats dels soluts en àcid acètic i aigua en el cristal·litzador Cr-302.

Cristal·litzador Cr-302		
Dissolvent	Solut	Solubilitat
Àcid acètic	Àcid acetilsalicílic	0,043 *
	Àcid salicílic	0,1089 *
Aigua	Àcid acetilsalicílic	0,001 kg/L
	Àcid salicílic	0,002 kg/L

*Solubilitats donades en fracció molar

El terme de $L \cdot x_L$ (kg d'àcid salicílic o kg d'àcid acetilsalicílic en la dissolució, és a dir, sense cristal·litzar), s'ha calculat tenint en compte les solubilitats de l'àcid salicílic i l'àcid acetilsalicílic. D'aquesta manera, un cop es sap el valor del terme $L \cdot x_L$ i L , es calcula x_L .

El balanç de matèria del cristal·litzador aplicant el balanç de matèria total (Eq. 11.4.1) i el balanç de matèria de l'àcid acètic i de l'àcid acetilsalicílic (Eq. 11.4.2) en el cristal·litzador es pot observar en la següent taula:

Taula 11.5.3. Balanç de matèria del cristal·litzador Cr-203.

Cristal·litzador Cr-203			
Compost	F (kg)	L (kg)	S (kg)
Àcid salicílic	8777	88	8689
Sulfat de sodi	91	91	0
4-hidrobenczoic "isòmer para"	44	44	0
Aigua	5647	5647	0
Total	14597	5871	8689

Taula 11.5.4. Balanç de matèria del cristal·litzador Cr-302

Cristal·litzador Cr-302			
Compost	F (kg)	L (kg)	S (kg)
Àcid salicílic	129	129,30	0
Àcid acetilsalicílic	10799,56	55,68	10743,88
Àcid acètic	9915,76	4964,6	4970,36
Aigua	129,3	129,3	0
Total	21556	5204	15714

11.5.2 Dimensions dels equips

11.5.3 Càlcul del volum del cristal·litzador

Per el càlcul del volum del cristal·litzador s'ha utilitzat la següent equació:

$$V = \frac{m_{AS}}{\rho_{AS}} + \frac{m_{ASA}}{\rho_{ASA}} + \frac{m_{HA}}{\rho_{HA}} + \frac{m_{Aigua}}{\rho_{Aigua}} \quad \text{Eq. 11.5.3}$$

On:

V = Volum del cristal·litzador (m^3)

m_{AS} = càrrega de àcid salicílic (kg)

m_{ASA} = càrrega de àcid acetilsalicílic (kg)

m_{HA} = càrrega de àcid acètic (kg)

m_{Aigua} = càrrega d'aigua (kg)

ρ_{AS} = densitat de l'àcid salicílic (kg/m^3)

ρ_{ASA} = densitat de l'àcid acetilsalicílic (kg/m^3)

ρ_{AS} = densitat de l'àcid acètic (kg/m^3)

ρ_{Aigua} = densitat de l'aigua (kg/m^3)

Un cop calculat el volum del cristal·litzador, s'ha sobredimensionat el volum de l'equip un 15%.

La geometria del cristal·litzador simplificada i la del capçal torisfèric són les següent:

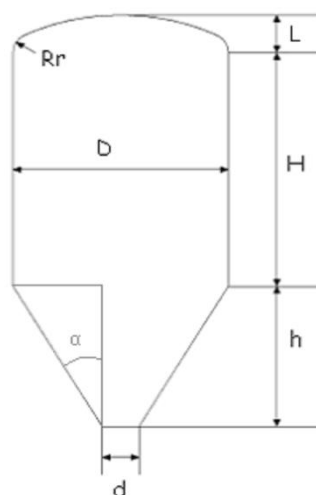


Figura 11.5.1. Geometria simplificada del cristal·litzador

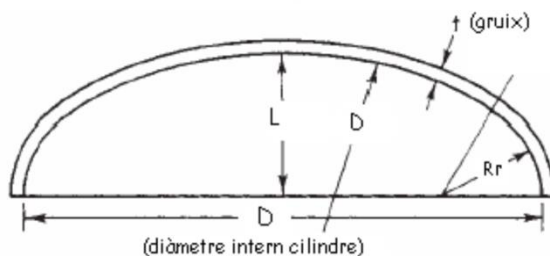


Figura 11.5.2. Capçal torisfèric del cristal·litzador.

Com es pot observar a la Figura 11.5.2 , la geometria del cristal·litzador està formada per un capçal torisfèric per la part superior, un cos cilíndric i per la part inferior per un tronc cònic. La part inferior del cristal·litzador és de forma cònica degut a que facilita la sortida del cristalls en el procés.

El volum de cadascuna de les parts són:

$$V_{capçal} = 0,1 \cdot D^3 \quad \text{Eq. 11.5.4}$$

$$V_{cilindre} = \pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 \cdot H \quad \text{Eq. 11.5.5}$$

$$V_{con} = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot h \cdot (R^2 + r^2 + R \cdot r) \quad \text{Eq. 11.5.5}$$

$$V_{Cristal\cdot litzador} = V_{capçal} + V_{cilindre} + V_{con} \quad \text{Eq. 11.5.5}$$

On:

D = Diàmetre intern del cilindre (m)	$V_{capçal}$ = Volum del capçal torisfèric (m^3)
H = Alçada del cilindre (m)	$V_{cilindre}$ = Volum del cilindre (m^3)
h = Alçada del tronc cònic (m)	V_{con} = Volum del con (m^3)
R = Radi major del tronc cònic (m), igual a $\frac{D}{2}$ (m)	r = Radi menor del tronc cònic (m), és igual a $\frac{d}{2}$ (m)
L = Distància des del punt més alt del fons torisfèric fins a la part cilíndrica (m)	

Per poder calcular les dimensions del cristal·litzador es fixa:

- El diàmetre menor del con (d)
- L'angle de $\alpha = 30^\circ$. Sabent l'angle i que el catet oposat a aquest és $\frac{D-d}{2}$ i es calcula h
- El valor de H es proporcional a $1,5 \cdot D$

Es va variant el valor del diàmetre intern del cilindre (D) fins que la suma dels volums de les geometries que formen doni un valor molt proper al volum calculat prèviament.

Les dimensions dels dos cristal·litzadors són les següents:

Taula 11.5.5. Dimensions dels cristal·litzadors.

	Cristal·litzador Cr-203	Cristal·litzador Cr-302
D (m)	2,12	2,46
d (m)	0,3	0,3
H (m)	3,18	3,69
L (m)	0,43	0,49
h (m)	0,91	1,08
Volum (m^3)	11,70	17,64
Volum (m^3) 15%	13,46	20,29

11.5.2.2 Disseny del l'agitador

Per poder afavorir la formació del precipitat, s'equipa als cristal·litzadors amb un agitador tipus àncora amb l'objectiu de arrossegar tots els cristalls que es puguin formar o quedin incrustats en les parets del cristal·litzador. Es requereix una agitació lenta, una operació a baixa velocitat (30 rpm) per evitar malmetre els cristalls formats.

El diàmetre de l'agitador tipus àncora, ha de ser un 95% del diàmetre intern del diàmetre intern del cristal·litzador (D) i un nombre de potència (N_p) és de 2. Aquesta informació sobre el diàmetre del diàmetre de l'agitador tipus àncora, s'ha trobat al Perry's Chemical Engineer's Handbook.

A partir d'aquestes dades es calcula la potència absorbida per l'agitador:

$$P = N_p \cdot \rho \cdot v^3 \cdot D_{Agitador}^5 \quad \text{Eq. 11.5.6}$$

On:

P = Potència absorbida per l'agitador (W) N_p = Número de potència

ρ = Densitat de la càrrega d'entrada (kg/m^3) v = Velocitat d'agitació (rev/s). S'ha escollit una velocitat d'agitació de 0,5 rev/s

$D_{Agitador}$ = Diàmetre de l'agitador (m)

El diàmetre i potència absorbida de l'agitador per cada cristal·litzador són:

Taula 0.6. Diàmetre i potència absorbida de l'agitador del cristal·litzador.

	Cristal·litzador Cr-203	Cristal·litzador Cr-302
Diàmetre (m)	2,01	2,23
Potència (kW)	10,28	21,092

11.5.3. Balanç d'energia

El balanç global del cristal·litzador es pot descriure a partir de la següent equació:

$$Q = L \cdot H_L + S \cdot H_S + V \cdot H_V - F \cdot H_F \quad \text{Eq. 11.5.7}$$

Sabent que:

$$H_L = C_{pL}^L \cdot (T_L - T_{ref})$$

$$H_S = C_{pL}^S \cdot (T_S - T_{ref}) + \lambda_{crist}$$

$$H_V = C_{pL}^V \cdot (T_V - T_{ref}) + \lambda_{vap}$$

$$H_F = C_{pL}^F \cdot (T_F - T_{ref})$$

On:

Q = Calor que cal eliminar en el cristal·litzador (J/s) F = Càrrega molar de l'aliment al cristal·litzador (mol)

L = Càrrega molar del líquid al cristal·litzador (mol) S = Càrrega molar de sòlid al cristal·litzador (mol)

V = Càrrega molar de vapor al cristal·litzador (mol) H_i = Entalpia de cada carrega

λ_{crist} = Calor de cristal·lització (J/mol) λ_{vap} = Calor de vaporització (J/mol)

C_{pL}^i = Calor específic de cada càrrega (J/mol·K) T_i = Temperatura de cada corrent (K)

T_{ref} = Temperatura de referència (K)

Per a poder calcular el balanç d'energia en el cristal·litzador, es fan les següents simplificacions i suposicions que s'han tingut en compte a l'hora de resoldre el balanç energètic:

Capítol 11: Manual de Càlculs

- La temperatura d'entrada al cristal·litzador (T_F) és igual a la temperatura de referència (T_{ref}).
- $T_{op} = T = T_L = T_S = T_V$, és a dir, hi ha un equilibri tèrmic. T és la temperatura d'operació del cristal·litzador considerant que treballa a temperatura constant (K).
- No es produeix vapor, és a dir, $V = 0$ i $H_V = 0$.

Aplicant les simplificacions i suposicions anteriors, l'equació 11.5.7 queda de la següent manera:

$$Q = \frac{S \cdot \lambda_{crist} - F \cdot C_{pL}^F \cdot (T_F - T)}{\tau} \quad \text{Eq. 11.5.8}$$

On:

τ = Temps d'operació del cristal·litzador. El temps d'operació dels dos cristal·litzadors és de 3,5 hores (s)

Al calor calculat del cristal·litzador a partir del balanç d'energia, s'ha de sumar el calor aportat per l'agitador del cristal·litzador. De manera que el calor que s'ha de retirar del cristal·litzador ve donada per:

$$Q_{Total} = Q + Q_{agitador} = Q + 0,92 \cdot P \quad \text{Eq. 11.5.9}$$

On:

$Q_{agitador}$ = Calor després per l'agitador (J/s) P = Potència de l'agitador (J/s)

Q = Calor que cal eliminar del cristal·litzador (J/s)

El balanç d'energia dels cristal·litzadors són els següents:

Taula 11.5.7 Dades del balanç d'energia del cristal·litzador.

	Cristal·litzador Cr-203	Cristal·litzador Cr-302
τ (s)	12600	12600
T (K)	289	293
T_F (K)	303	363
C_{pL}^F (J/mol·K)	111,16	111,16
λ_{crist} (J/mol)	-21700 *	-21700 *
Q cristal·litzador (J/s)	155204,05	249058,52
$Q_{agitador}$ (J/s)	10280	21092
Q_{Total} (J/s)	164663,06	268464,52

* λ_{crist} un valor assumit d'altres TFG degut a que no s'ha trobat cap valor relacionat amb l'àcid acetilsalicílic.

11.5.4 Refrigeració i àrea total de transmissió

Per començar a determinar la refrigeració cal determinar l'àrea màxima de bescanvi disponible com el sumatori de les àrees laterals (la part cilíndrica i tronc cònic). L'àrea màxima de bescanvi és:

$$A_{\text{Màxima bescanvi}} = A_{\text{Lateral cònic}} + A_{\text{Lateral cilindre}} = \pi \cdot g \cdot (R + r) + 2 \cdot \pi \cdot H \cdot R$$

Eq. 11.5.10

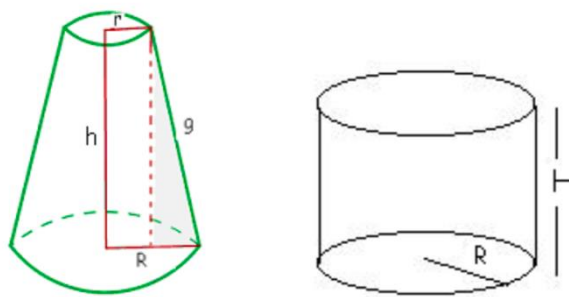


Figura 11.5.3. Esquema del tronc cònic i cilindre.

On:

r = Radi petit del tronc cònic (m)

h = Altura del tronc cònic (m)

R = Radi gran del tronc cònic i radi del cilindre (m)

g = Es calcula com $g^2 = (R - r)^2 + h^2$ (m)

H = Altura del cilindre

Per poder eliminar el calor dels cristal·litzadors, s'utilitza com a refrigerant aigua provinent d'un chiller pels dos cristal·litzadors i una torre de refrigeració (només per al cristal·litzador Cr-302 combinada amb el chiller) entrant a la mitja canya del cristal·litzador Cr-203 a 11 °C i sortint a una temperatura de 21 °C i entrant a la mitja canya del cristal·litzador Cr-302 a una temperatura de 15 °C i sortint a una temperatura de 30 °C.

Primerament, es calcula el cabal del fluid refrigerant necessari per a poder eliminar l'energia generada al cristal·litzador. El cabal es calcula amb la següent equació:

$$m = \frac{Q}{Cp_{aigua} \cdot (T_{S. ref} - T_{E. ref})} \quad \text{Eq. 11.5.11}$$

On:

Q = Calor total a eliminar (J/s)

m = Cabal màssic d'aigua de refrigeració necessari (kg/s)

Cp_{aigua} = Calor específic de l'aigua (J/kg·°C) i ρ_{aigua} = Densitat aigua a 20 °C (kg/m³)

$T_{S. ref}$ = Temperatura de sortida del refrigerant (°C)

$T_{E. ref}$ = Temperatura d'entrada del refrigerant (°C)

Amb el cabal de refrigerant es calcula l'àrea imprescindible i el diàmetre de la mitja canya tenint en compte que la velocitat típica de circulació de fluids, concretament líquids, per canonades es troba entre 1 i 3 m/s. En aquest cas s'ha fixat que la velocitat de circulació del fluid refrigerant és de 1 m/s.

L'àrea i el diàmetre de la mitja canya es calcula amb les següents equacions:

$$A_{mitja canya} = \frac{m}{\rho_{aigua} \cdot v_{circulació fluid}} \quad \text{Eq. 11.5.12}$$

On:

$A_{mitja canya}$ = Àrea de mitja canya (m²)

m = Cabal màssic d'aigua de refrigeració necessari (kg/s)

ρ_{aigua} = Densitat aigua a 20 °C (kg/m³)

$v_{circulació fluid}$ = velocitat de circulació del fluid refrigerant (m/s)

$$d_{mitja canya} = \sqrt{\frac{2 \cdot 4 \cdot A_{mitja canya}}{\pi}} \quad \text{Eq. 11.5.13}$$

On:

$d_{mitja\ canya}$ = Diàmetre de la mitja canya (m) $A_{mitja\ canya}$ = Àrea de mitja canya (m^2)

Les àrees i diàmetres de la mitja canya són:

L'àrea de transmissió de calor es calcula fixant el valor del coeficient global de transmissió de calor (U) en un valor de 500 W/m²·°C. S'ha escollit aquest valor ja que s'ha trobat en el Perry's Chemical Engineer's Handbook que per mitja canyes, la U es troba entre els valors de 200 i 850 W/m²·°C i entre 200 i 750 W/m²·°C. El càlcul de l'àrea de transmissió de calor es calcula amb la següent equació:

$$A = \frac{Q}{U \cdot \left(T_{crist} - \left(\frac{T_{s.ref} - T_{s.ref}}{2} \right) \right)}$$

Eq. 11.5.14

Les àrees calculades són les següents:

Taula 11.5.8. Àrees de bescanvi dels cristal·litzadors

	Cristal·litzador Cr-203	Cristal·litzador Cr-302
Àrea máxima disponible de bescanvi (m^2)	26,13	35,14
Àrea de bescanvi utilitzada (m^2)	13,17	19,52
% àrea utilitzada	50	55,55
Diàmetre de la mitja canya (mm)	100	101,51
Cabal de la mitja canya (kg/s)	3,94	4,27

11.5.5 Disseny mecànic del cristal·litzador

Els cristal·litzadors treballen a pressió atmosfèrica, i el gruix es calcula amb la pressió de disseny interna. El material escollit pel disseny dels dos cristal·litzadors és acer inoxidable AISI 304.

Per poder fer el disseny mecànic dels cristal·litzadors, cal tenir en compte les tres parts que formen el cristal·litzadors i determinar-ne la pressió interna de cada una d'elles. Per realitzar el disseny, es segueix les normes ASME.

La pressió de disseny es calcula amb la següent equació i amb un sobredimensionament del 15%:

$$P = (P_{operació} + h_L \cdot g \cdot \rho) \cdot 1,15 \quad \text{Eq. 11.5.15}$$

On:

P = Pressió de disseny (Pa)

$P_{operació}$ = Pressió a la que treballa el cristal·litzador (Pa)

h_L = Altura de la columna de mescla (m)

g = Força de la gravetat $9,81 \text{ (m/s}^2\text{)}$

ρ = Densitat de la mescla a tractar en el cristal·litzador (kg/m^3)

La pressió de disseny dels cristal·litzadors són:

Taula 11.5.9. Pressió de disseny dels cristal·litzadors

	Cristal·litzador Cr-203	Cristal·litzador Cr-302
Pressió de disseny (atm)	1,81	1,96

- Tapa torisfèrica:

Per poder calcular el gruix de la tapa torisfèrica s'utilitza la següent equació:

$$t = \frac{0,885 \cdot P \cdot L}{S \cdot E - 0,1 \cdot P} + C_1 + C_2 \quad \text{Eq. 11.5.16}$$

On:

t = Gruix a la pressió de disseny interna (mm)

S = Límit elàstic del material (1450 bar). Es considera aquest valor tenint en compte el material utilitzat AISI 304 i que pugui suportar una temperatura de disseny de fins a 100°C

E = Factor de soldadura 0,85

P = Pressió de disseny (Pa)

L = Radi de l'esfera que formaria que és igual al radi intern del cilindre (mm)

C₁ = Tolerància a la corrosió, en aquest cas 2 (mm)

C₂ = Tolerància a la fabricació, en aquest cas 0 (mm)

- Part cilíndrica:

Per poder calcular el gruix de la tapa torisfèrica s'utilitza la següent equació:

$$t = \frac{P \cdot R}{S \cdot E - 0,6 \cdot P} + C_1 + C_2 \quad \text{Eq. 11.5.17}$$

On:

t = Gruix a la pressió de disseny interna (mm)

S = Límit elàstic del material (1450 bar). Es considera aquest valor tenint en compte el material utilitzat AISI 304 i que pugui suportar una temperatura de disseny de fins a 100 °C

E = Factor de soldadura 0,85

P = Pressió de disseny (Pa)

R = Radi intern del cilindre (mm)

C₁ = Tolerància a la corrosió, en aquest cas 2 (mm)

C₂ = Tolerància a la fabricació, en aquest cas 0 (mm)

- Part cònica:

Per poder calcular el gruix de la tapa torisfèrica s'utilitza la següent equació:

$$t = \frac{P \cdot D}{2 \cdot \cos \alpha \cdot (S \cdot E - 0,6 \cdot P)} \quad \text{Eq. 11.5.18}$$

On:

t = Gruix a la pressió de disseny interna (inch)

S = Límit elàstic del material (21030,51 psi). Es considera aquest valor tenint en compte el material utilitzat AISI 304 i que pugui suportar una temperatura de disseny de fins a 100 °C

E = Factor de soldadura 0,85

P = Pressió de disseny (psi)

D= Diàmetre major intern del con (inch)

Els gruixos calculats i corregits amb el reglament ASME per als cristal·litzadors són:

Taula 0.10. Gruixos de cada part del cristal·litzador

Part del cristal·litzador	Cristal·litzador Cr-203	Cristal·litzador Cr-302
Capçal torisfèric (mm)	9	9
Cilindre (mm)	6	6
Tronc cònic (mm)	12	12

El gruix dels capçals torisfèrics calculats són de 3,71 mm pel cristal·litzador Cr-203 i 3,82 mm pel cristal·litzador Cr-302. El gruix mínim de catàleg és de 9 mm i per tant, s'agafa aquest valor.

11.4.6 Pes cristal·litzador

Es calcula el pes de l'equip buit, és a dir, la suma de les parts de les que constitueixen i considerant que la densitat del material utilitzat pel disseny dels cristal·litzador (AISI 304) és de 7930 kg/m³.

- Tapa torisfèrica:

Per al càlcul del pes de la tapa torisfèrica, es calcula de la següent manera:

Primerament, es calcula el volum de la tapa torisfèrica:

$$V_{torisfèric} = V_{ext} - V_{int} = 0,1 \cdot D_{ext}^3 - 0,1 \cdot D_{int}^3$$

Eq. 11.5.19

On:

$V_{torisfèric}$ = Volum de la tapa torisfèric (m³)

V_{ext} = Volum exterior de la tapa torisfèrica (m³)

V_{ext} = Volum exterior de la tapa torisfèrica tapa (m³)

V_{ext} = Volum exterior de la tapa torisfèrica (m³)

D_{ext} = Diàmetre extern de la tapa torisfèrica (m)

D_{int} = Diàmetre intern de la tapa torisfèrica (m)

Finalment es calcula el pes de la tapa torisfèrica amb la següent equació:

$$P_{torisfèric} = V_{torisfèric} \cdot \rho_{material}$$

Eq. 11.5.20

On:

$P_{torisfèric}$ = Pes de la tapa torisfèrica (kg)

$V_{torisfèric}$ = Volum de la tapa torisfèrica (m³)

$\rho_{material}$ = Densitat del material de la tapa torisfèrica (kg/m³)

- Part cilíndrica:

Per al càlcul del pes de la part cilíndrica, és calcula de la següent manera:

Primerament, es l'àrea anular del cilindre amb la següent equació:

$$A_{anul·lar} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_{ext}^2 - D_{int}^2)$$

Eq. 11.5.21

On:

$A_{anul·lar}$ = Àrea anul·lar de la part cilíndrica (m²)

D_{ext} = Diàmetre extern del cilindre (m)

D_{int} = Diàmetre intern del cilindre (m)

Finalment es calcula els pes del cilindre amb la següent equació:

Eq. 11.5.22

$$P_{cilindre} = A_{anul·lar} \cdot h_{cilindre} \cdot \rho_{material}$$

On:

$P_{cilindre}$ = Pes de la tapa torisfèrica (kg)

$A_{anul·lar}$ = Àrea anul·lar de la part cilíndrica (m²)

$h_{cilindre}$ = Altura del cilindre (m)

$\rho_{material}$ = Densitat del material de la tapa torisfèrica (kg/m³)

- Part cònica :

El pes de la secció cònica es determina calculant prèviament el volum del tronc cònic amb els radis externs (V_{ext}) i amb els radis interns (V_{int}) La diferència entre aquests dos valors serà el volum real de la part cònica ($V_{cònic}$) i multiplicant aquest per la densitat del material s'obté el pes d'aquesta part del cristal·litzador.

$$V_{ext} = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot h \cdot (R_{ext}^2 + r_{ext}^2 + R_{ext} \cdot r_{ext}) \quad \text{Eq. 11.5.23}$$

$$V_{int} = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot h \cdot (R_{int}^2 + r_{int}^2 + R_{int} \cdot r_{int}) \quad \text{Eq. 11.5.24}$$

$$V_{cònic} = V_{ext} - V_{int} \quad \text{Eq. 11.5.25}$$

Eq. 11.5.26

$$P_{con} = V_{cònic} \cdot \rho_{material}$$

On:

V_{ext} = Volum exterior del con (m³)

V_{int} = Volum interior del con (m³)

$V_{cònic}$ = Volum real del con (m³)

h = Altura del con (m)

R_{ext} = Radi extern del con (m)

R_{int} = Radi intern del con (m)

Un es tenen el pesos de totes les parts per les quals es forma el cristal·litzador, es fa la suma de totes les parts i s'obté el pes buit de l'equip. En el pes de l'equip no es té en compte la mitja canya, però si es considera el pes del motor d'agitació i l'agitador conjuntament. El pes de motor d'agitació i agitador del cristal·litzador Cr-203 és de 150 kg i del cristal·litzador Cr-302 és de 250 kg.

El pes buit dels cristal·litzadors es pot veure a la Taula 11.5.11.

Taula 11.5.11. Pes de les parts i total dels cristal·litzadors.

Part del cristal·litzador	Cristal·litzador Cr-203	Cristal·litzador Cr-302
Capçal torisfèric (kg)	1521	2043
Cilindre (kg)	1235	1396
Tronc cònic (kg)	333	449
Pes buit total (kg)	3239	4139

El càlcul dels equips en operació es calcula com la suma de el pes buit de l'equip més el pes de càrrega de la mescla per la densitat de la mescla.

$$P_{operació} = P_{buit} + V_{mescla} \cdot \rho_{mescla}$$

Eq. 11.5.26

El pes en operació del cristal·litzador Cr-203 és de 17696 kg i el del cristal·litzador Cr-302 és de 25485 kg.

11.6. TANCs DE PROCÈS

Si s'observa els diagrama de procés (*Capítol 9: Diagrames i plànols*) es pot veure que després de les centrífugues S-202, S-204 i S-303 i del bescanviador de fenol B-108, hi ha una sèrie de tancs petits. Doncs bé, la finalitat d'aquests tancs vehicular millor el fluid cap als tancs d'emmagatzematge. Llavors, fan la funció com d'un tanc pulmó.

Hi ha un total de quatre tancs, tots ells seran iguals i el disseny de l'equip es realitza com si la substància que tindrà dins fos l'aigua perquè les substàncies o mescles que contenen tenen densitat similar a la de l'aigua (fenol i residus en solució aquosa). Així només hem de fer un tanc i no 4 i que aquest serveixi per a la resta.

El disseny d'aquests tancs es realitzen de la mateixa manera que s'explica en el disseny mecànic del apartat 11.1.2: Disseny mecànic segons API 650.

Taula. 11.6.1

Disseny del tanc					
MATERIAL	Acer Inoxidable 316		DIMENSIONS COS (CILÍNDRIC)		
Densitat	7800	Kg/m3	Relació Alçada/diàmetre	1,5	
Mòdul Elàstic	190	GPa	Alçada	2,290	m
Tensió màx.	515	N/mm2	Diàmetre intern	1,527	m
Corrosió admissible	2	mm	Diàmetre extern	1,543	m
Conductivitat	16	W/(°C)	Volum	4,191	m3
SUBSTÀNCIA			Radi intern	0,763	m
Densitat	1000	Kg/m3	Radi extern	0,771	m
NÚMERO DE TANCs		4	Espessor calculat	6,76	mm
VOLUM			Espessor escollit	8	mm
Volum	4	m3	DIMENSIONS TAPA (ABOMBADA)		
Sobredimensionament	15	%	Alçada intern	0,205	m
Volum final	4,7	m3	Alçada extern	0,213	m
Volum ocupat	85	%	Volum	0,192	m3
Volum ocupat	4,0	m3	Radi abombament	1,527	m
PES			Radi abombament extern	1,535	m
Pes total buit	1240	Kg	Espessor calculat	6,76	mm
Pes líquid	4000	Kg	Espessor escollit	8	mm
Pes total ple	5240	Kg	DIMENSIONS FONS (KLOPPER)		
DIMENSIONS			Alçada interna	0,295	m
Alçada int.	2,790	m	Alçada externa	0,304	m
Alçada ext.	2,807	m	Volum	0,317	m3
Radi int.	0,763	m	Radi abombament	1,527	m
Radi ext.	0,771	m	Radi abombament extern	1,536	m

Diàmetre int.	1,527 m	Radi curvatura	0,153 m
Diàmetre ext.	1,543 m	Radi curvatura extern	0,162 m
		Espessor calculat	8,35 mm
		Espessor escollit	9 mm

11.7. PRECIPITADOR

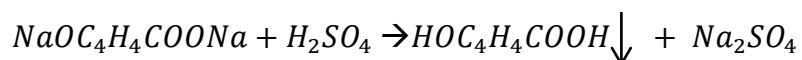
Veient el diagrama de procés plantejat en el *Capítol 9: Diagrames i plànols* es pot veure com la síntesi de l'API àcid acetilsalicílic es divideix clarament en dos parts que són les següents:

1. Síntesi del àcid salicílic
2. Síntesi del àcid acetilsalicílic

Doncs bé, la primera part resulta molt important perquè es on es sintetitza la matèria que, després, serà utilitzada com matèria primera de la segona part. I per tal d'obtenir aquest àcid salicílic s'ha de fer reaccionar la sal obtinguda en el primer reactor (R-301: Reacció de Carboxilació), salicilat de disòdic.

Per passar de tindre sal a forma àcida es fa reaccionar amb àcid sulfúric al 60%, d'aquesta forma els dos grups sodis que conté passen a formar part del ió sulfat, donant lloc, així, a una altre sal coneguda amb el nom sulfat de sodi (aquesta sal, però, s'obté dissolta en medi aquós). I els dos ions hidrons passen a formar unió amb el grup salicilat, obtenint finalment la matèria desitjada, es a dir, àcid salicílic.

A continuació, s'esquematitza la reacció explicada per a una millor comprensió.



Com es pot veure a la esquematització anterior la reacció química que té lloc es una reacció coneguda amb el nom de reacció de precipitació.

Aquest tipus de reaccions són reaccions ràpides, donat que en quant una gota del reactiu àcid fort, el àcid sulfúric, cau en la dissolució es forma de manera automàtica el precipitat. Cal recordar que la sal del salicílic prové del equip F-106 (filtre de carbó actiu), i, per tant, es troba dissolta en aigua.

Degut a que es una reacció ràpida es considera un temps d'operació curt (només d'una hora).

11.7.1. Disseny del tanc de precipitació Pr-201

L'objectiu, per tant, de l'equip precipitador P-r201, es fer acollida de la reacció explicada anteriorment. La forma en la que opera el mateix és la següent:

Es carrega l'equip amb la dissolució de salicilat sòdic que surt de la mescladora M-105, i que passa de forma contínua pel filtre de carbó actiu F-106, llavors, en quant surt de la mescladora carrega automàticament el precipitador a la vegada que passa per aquest filtre. En aquests equips (filtres de carbó actiu) es genera una pèrdua de pressió considerable, i, es per aquest motiu que la bomba que transporta aquesta dissolució és una de les més potents que es tenen a SALICACEA.

Quan, ja gairebé s'ha carregat l'equip de precipitació amb la dissolució de sal aquosa, es comença a addicionar l'àcid sulfúric de forma controlada. Es procedeix d'aquesta forma degut a que es recomana, per seguretat, que els àcids i bases fortes siguin els últims es ser addicionats.

Mentre es produeix aquesta càrrega de reactius, es posa en marxa l'agitador de pales. Es decideix ficar aquest agitador perquè d'aquesta forma a mesura que es va omplint l'equip amb els reactius s'afavoreix el contacte entre els mateixos (l'agitació es suau, lenta!). Un cop es termina d'addicionar tot el sulfúric necessari es para aquesta agitació per a que el sòlid d'interès pugui precipitar (si continua havent-hi un règim turbulent dintre del Pr-201 no s'obtindrà la formació correcta del sòlid).

Un cop posat en context i explicat l'objectiu de l'equip Pr-201 es procedeix a explicar el disseny mecànic que ha de tindre.

Aquest precipitador no deixa de ser simplement un tanc que alberga una reacció química de tipus precipitació. I per tant, el disseny mecànic del tanc s'ha fet seguint la normativa API 650 (explicada en l'apartat 11.1.2).

Llavors, la particularitat que presenta es que, al igual que les mescladores M-101 i M-105, la tapa es abombada, però, el fons es tipus cònic, per tal de facilitar la sortida del sòlid que s'obtindrà en medi aquós i s'evita la possibilitat de que pugui quedar-se sòlid en el fons (com podria passar el fons tipus Kloppe).

A continuació, es mostra el disseny mecànic del Pr-201.

(No es fan exemples de càlcul perquè es el mateix procediment canviant la geometria del fons, i l'agitador es procedeix igual que en l'*apartat 11.2-Mescladors*).

Taula. 11.7.1

Disseny P-201					
MATERIAL	Acer al carboni 1045		DIMENSIONS COS (CILÍNDRIC)		
Densitat	7870	Kg/m3	Relació Alçada/diàmetre	1,5	-
Mòdul Elàstic	190	GPa	Alçada	4,238	m
Tensió màx.	565	N/mm2	Diàmetre intern	2,825	m
Corrosió admissible	2	mm	Diàmetre extern	2,839	m
Conductivitat	15,1	W/(°C)	Volum	26,56	m3
Densitat mescla	928,7	Kg/m3	Radi intern	1,413	m
Número de equips	1		Radi extern	1,419	m
CONDICIONS			Espessor calculat	6,76	mm
Temperatura	32	°C	Espessor escollit	8	mm
Pressió	1	atm	DIMENSIONS TAPA (ABOMBADA)		
VOLUM REQUERIT			Alçada intern	0,381	m
Quantitat per Batch	34447	Kg	Alçada extern	0,387	m
			Volum	1,239	m3
Volum necessari	27,3	m3	Radi abombament	2,841	m
Sobredimensionament	10	%	Radi abombament ext.	2,848	m
Volum final	30,3	m3	Espessor calculat	6,76	mm
PES			Espessor escollit	8	mm
Pes total buit	3620	Kg	DIMENSIONS FONS (CÒNIC)		
Pes líquid	34447	Kg	Alçada intern	1,206	m
Pes total ple	38067	Kg	Alçada extern	1,215	m
DIMENSIONS			Volum	2,521	m3
Alçada interna	5,823	m	Diagonal	1,857	m
Alçada externa	5,838	m	Inclinació	45	°
Radi intern	1,413	m	Radi intern	1,413	m
Radi extern	1,419	m	Radi extern	1,419	m
Diàmetre intern	2,825	m	Espessor calculat	8,35	mm
Diàmetre extern	2,839	m	Espessor escollit	9	mm
AGITACIÓ					
Tipus	Turbina				
Nº Palas	6				
Nº Deflectors	4				
Velocitat (rpm)	150				
Diàmetre agitador	0,947 m				
Amplada deflector	0,236 m				
Alçada des de base tanc	2,841 m				
Alçada agitador	0,189 m				
Alçada sencera agitador	2,541 m				

Amplada agitador	0,237	m
Potència necessària	7,65	Kw

Un dels aspectes més importants a l'hora de que la formació del precipitat es doni de forma correcta es la temperatura. Aquesta interessa que sigui massa elevada, ja que, si no es té la possibilitat que no es formés el sòlid (precipitat) d'interès, en aquest cas l'àcid salicílic.

Llavors, altre particularitat del precipitador és que té una camisa que l'envolta i per la qual circula aigua refrigerant que s'encarrega d'eliminar la calor que es genera com a motiu de la reacció entre la dissolució salina i l'àcid sulfúric.

La temperatura a la qual es manté aquest precipitador es entorn als 30 °C.

Llavors, per poder dissenyar la camisa refrigerant primer s'haurà de conèixer la calor que es genera, es a dir, la entalpia de reacció. I per conèixer aquesta es pot saber a partir de les entalpies de formació de cada substància. Aquestes, igual que les calors específiques, es poden extreure de la webbook NIST.

La entalpia de reacció es calcula a partir de les entalpies de formació se la següent manera:

$$\Delta H_r^o = \sum n_P \cdot \Delta H_{f,P}^o - \sum n_R \cdot \Delta H_{f,R}^o$$

n_P = coeficiente estequiométrico de los productos en la reacción ajustada

n_R = coeficiente estequiométrico de los reactivos en la reacción ajustada

$\Delta H_{f,P}^o$ = entalpías de formación de los productos

$\Delta H_{f,R}^o$ = entalpías de formación de los reactivos

Figura 11.7.1

I per conèixer la calor que generen, es a dir, els Joules, es multiplica pel numero de mols.

Un cop dit això, sobté, la taula 11.7.2 amb la calor que s'ha de retirar del refrigerant per mantenir la temperatura constant dintre el tanc precipitador.

Taula. 11.7.2

Compost	PM	Entalpia	Mols	Energia (KJ)
Salicilat disòdic	183	-504,3 KJ/mol	65,14	-32849,90
Sulfúric	98	-735 KJ/mol	56,60	-41602,50
Salicilic	138	-592 KJ/mol	58,76	-34786,81
Sulfat de sodi	142	-1356,38 KJ/mol	64,54	-87534,19
Sumatori d'energies (KJ)				-47868,60

El disseny de la camisa es fa estil el disseny del serpentí, donat que són bescanviadors de tipologia molt semblant.

Un cop coneguda la calor que s'ha de retirar es passa a calcular l'àrea de bescanvi necessària amb l'equació 11.1.11.6.

$$A_s = \frac{q}{U \times DTML} \quad \text{Eq. 11.1.11.6}$$

A_s = Àrea del serpentí (m^2)

q = Cabal de calor ($W=J/s$) → Calculat anteriorment

U = Coeficient global de transferència de calor ($200 W/m^2 \text{ } ^\circ C$)

$DTML$ = Diferència de temperatura logarítmica

$$DTML = \frac{(T - T_E) - (T - T_S)}{\ln\left(\frac{(T - T_E)}{(T - T_S)}\right)} \quad \text{Eq. 11.1.11.7}$$

T_E = Temperatura d'entrada del vapor d'aigua ($40 \text{ } ^\circ C$)

T_S = Temperatura de sortida del vapor d'aigua ($30^\circ C$)

T = Temperatura que es vol mantindre dintre del precipitador ($31^\circ C$)

S'obté una $DTML$ de 4 i una àrea de bescanvi de $15,94 m^2$.

Ara, es calcula la longitud de la mateix amb l'equació 11.1.11.7.

$$L_s = \frac{A_s}{\pi \times D_{tub}}$$

Eq. 11.1.11.7

L_s = Longitud del serpentí (m)

A_s = Àrea del serpentí (15,95 m²)

D_{tub} = Diàmetre del tub de la camisa (0,0254m)

S'estableix que el diàmetre del tub de la camisa correspongui a 1 polzada. S'obté que la longitud es de 200 metres.

Falta, calcular el número de voltes i la distància entre les mateixes.

$$L_{1V} = \pi \times D_t$$

Eq. 11.7.1

L_{1V} = Longitud d'una volta

D_t = Diàmetre del tanc (2,83 m)

S'obté que la longitud d'una volta són 9 metres. Llavors, el número d'espises serà el quocient entre la longitud de la camisa estirada (longitud total) entre la longitud d'una única volta.

$$N = \frac{L}{L_{1V}}$$

Eq. 11.7.2

S'obté que el número d'espises són 22,5 que s'arrodoneixen a 23 espises. I la distància entre les mateixes la determina l'equació eq.11.7.3

$$d_{espises} = \frac{(H_c - N \times D_{tub})}{(N - 1)}$$

Eq. 11.7.3

N = Número d'espises (23)

D_{tub} = Diàmetre del tub (1 polzada)

H_c = Alçada del cilindre (4,24 m)

S'obté que la distància entre elles es de 18 centímetres.

L'últim pas per al disseny del sistema refrigerant, es el càlcul de l'aigua refrigerant que fa possible que es dugui a terme l'eliminació de calor de reacció.

Es calcula amb el balanç d'energia que s'ha vista al llarg de tot el capítol (eq. 11.1.11.5).

$$q = m \times C_p \times \Delta T$$

Eq. 11.1.11.5

q= Cabal de calor (13,3 KJ/s)

m= cabal d'aigua refrigerant

C_p= Calor específic del d'aigua (4,18 KJ/Kg °C)

ΔT= Salt tèrmic que pateix l'aigua de refrigeració (es dol fer que aquest sigui de 10 °C)

Aillant el paràmetre m (massa del refrigerant) de l'equació 11.1.11.5 s'obté que aquest té un valor de 0,32 Kg/s.

A continuació, es fa un recull de totes les dades exposades sobre el sistema de refrigeració de l'equip Pr-201

Taula. 11.7.3

Sistema refrigerant del Pr-201 (mitja canya)		
Energia alliberada per la reacció	47868,6	KJ/h
COEFICIENT GLOBAL DE CALOR		
Coeficient (típic)	200	W/m2*°C
Àrea bescanvi (àrea lateral tanc)	15,94	m2
Calor	47868,6	KJ/h
REFRIGERANT		
Calefactant	Aigua	
Calor esp.	4,18	J/(g°C)
ΔT	10	°C
Temperatura entrada	30	°C
Temperatura sortida	40	°C
Temperatura que es vol mantenir	31	°C
ΔT (mitja logarítmica)	4	°C
Cabal	0,320	Kg/s
Cabal volumètric	0,0003	m3/s
Àrea de pas	0,00021	m2
Velocitat de circulació	1,5	m/s
MITJA CANYA		
Àrea bescanvi	15,94	m2
Diàmetre	1	polzada
Longitud	200	m
Longitud 1 volta	9	m
Espires	22	
Distància Entre espires	0,18	m

11.8. CANONADES

En una indústria química s'obté el producte final per mitja d'una sèrie de transformacions físiques i químiques que es duen a terme en els diferents equips dissenyats, i, per tant, sorgeix la necessitat de portar d'un lloc a un altre aquesta substància que ha de ser transformada. Les estructures que permeten el transport de les mateixes són les canonades

Dit això, es procedeix a realitzar un exemple de càlcul per tal de mostrar com s'ha realitzat el disseny de totes les canonades a la planta SALICACEA.

Per més informació sobre el tema de canonades anar al *Capítol 4: Canonades, vàlvules, bombes i accessoris*.

11.8.1. Exemple de càlcul

En aquest projecte, els càlculs que fan referència a canonades es limiten a la determinació del diàmetre de les mateixes i a l'espessor de l'aïllant en cas de requerir que aquestes siguin escalfades. El exemple es realitzarà de la canonada per la qual es descarrega el fenol nou que anirà a parar a la mescladora M-101.

Canonada d'exemple: 4"-AI316-F-004

(Per entendre nomenclatura anar al *Capítol 4: Canonades, vàlvules, bombes i accessoris*)

De forma general, el diàmetre intern d'una canonada es determina amb l'equació:

$$D_{int} = \sqrt{\frac{Q \times 4}{\pi \times v}} = \sqrt{\frac{\left(\frac{m}{\rho}\right) \times 4}{\pi \times v}} \quad \text{Eq. 11.8.1}$$

D_{int} = Diàmetre intern de la canonada (m)

Q= Cabal volumètric de la substància a determinar (m³/s)

v=Velocitat amb la que el fluid circula (m/s)

Capítol 11: Manual de Càlculs

Es precisen 8220 Kg de fenol per iniciar un procés productiu, i, si es vol que es descarreguin en 15 minuts, s'obté un valor de 548 Kg/min. Per obtenir es divideix entre la densitat del fenol (1071 Kg/m^3). I s'obté un cabal volumètric de $0,009 \text{ m}^3/\text{s}$.

S'imposa que la velocitat sigui de 1 m/s , que es una velocitat típica utilitzada per calcular diàmetres de canonades abans de la bomba (per velocitats típiques veure *Capítol 4: Canonades, vàlvules, bombes i accessoris*). I amb l'equació 11.8.1 s'obté el següent diàmetre:

$$D_{int} = \sqrt{\frac{0,009 \times 4}{\pi \times 1}} = 0,107 \text{ m} = 4,1 \text{ in}$$

Aquest no es un diàmetre que es trobi dintre dels diàmetres estàndards que s'indiquen en la taula 11.8.1

Taula 11.8.1

Nominal Pipe Size NPS [pulgadas]	Diametro Nominal DN [mm]	Nominal Pipe Size NPS [pulgadas]	Nominal Diameter DN [mm]	Nominal Pipe Size NPS [pulgadas]	Nominal Diameter DN [mm]
1/8	6	6	150	48	1200
1/4	8	8	200	52	1300
3/8	10	10	250	56	1400
1/2	15	12	300	60	1500
3/4	20	14	350	64	1600
1	25	16	400	68	1700
1 1/4	32	18	450	72	1800
1 1/2	40	20	500	76	1900
2	50	24	600	80	2000
2 1/2	65	28	700	88	2200
3	80	32	800	96	2400
3 1/2	90	36	900	104	2600
4	100	40	1000	112	2800
4 1/2	115	42	1050	120	3000
5	125	44	1100	128	3200

Llavors, el que es fa es augmentar una mica la velocitat per tal de que s'ajusti el diàmetre. En aquest cas la velocitat s'augmenta a $1,05 \text{ m/s}$ i s'obté un diàmetre de 4 in.

Cal recordar que el fenol s'ha de calefactar per tal d'evitar que es torni sòlid. La temperatura a la qual s'esclafa es de 47 °C. Llavors, sorgeix la necessitat que les canonades per les quals circula aquesta substància estiguin calefactades.

L'aïllant escollit es llana de roca i aquesta es proporcionada per l'empresa ISOVER, líders en el sector d'aïllament. Per tal de conèixer, l'espessor d'aquest aïllant s'utilitza un catàleg proporcionat per aquesta mateixa empresa.

Fluidos calientes	Diámetro exterior (mm)	Temperatura máxima del fluido (°C)		
		40...60	>60...100	>100...180
	D ≤ 35	25	25	30
Fluidos fríos	35 ≤ D ≤ 60	30	30	40
	60 < D ≤ 90	30	30	40
	90 < D ≤ 140	30	40	50
	140 < D	35	40	50
		Temperatura máxima del fluido (°C)		
Fluidos fríos	Diámetro exterior (mm)	>-10...0	>0...10	<10
	D ≤ 35	30	25	20
	35 ≤ D ≤ 60	40	30	20
	60 < D ≤ 90	40	30	20
Fluidos fríos	90 < D ≤ 140	50	40	30
	140 < D	50	40	30

Figura11.8.1.1: Espessor de l'aïllant en funció del diàmetre per una T<100 °C

ISOVER TECH. Aislamiento Térmico. Espesores mínimos recomendados												
Tuberías		°C Temperatura del fluido ≤										
Diámetro nominal		100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
Di (")	Di (mm)	Espesor de aislamiento (mm)*										
1	34	40	50	60	80	100	120	120	140	160	200	200
1 1/2	48	50	60	80	80	100	120	140	160	180	200	220
2	60	50	60	80	100	100	120	140	160	190	210	220
2 1/2	73	60	80	100	100	110	130	140	170	190	210	230
3	89	60	80	100	110	110	130	150	180	200	220	240
4	114	80	80	110	110	120	140	160	180	210	240	250
6	168	80	80	110	120	130	150	170	190	230	260	280
8	219	80	100	120	130	130	160	180	200	240	270	290
10	273	100	100	120	130	140	170	190	210	250	290	310
12	324	100	100	120	130	140	170	200	220	260	300	320
14	356	120	120	130	140	140	180	200	230	260	300	320
16	407	120	120	130	140	150	180	200	230	270	310	330
18	457	120	120	130	140	150	180	210	240	280	320	340
20	508	120	120	130	140	150	190	210	240	280	320	350
22	559	120	130	140	150	150	190	220	250	290	330	350
24	609	130	140	140	150	150	190	220	250	290	330	360

■ TECH Pipe Section MT 4.0* ■ TECH Pipe Section MT 4.1* ■ TECH Pipe Section MT 4.1 + TECH Wired Mat MT 3.1 (2 o 3 capas)*
 ■ TECH Pipe Section MT 4.1 + TECH Wired Mat MT 4.2 (2 o 3 capas)* ■ TECH Wired Mat MT 4.2* ■ TECH Wired Mat MT 5.1*
 ■ TECH Wired Mat MT 6.1*

Figura11.8.1.2: Espessor de l'aïllant en funció del diàmetre per una T>100 °C

En el cas que ocupa, el del transport de fenol nou, s'utilitza la primera taula, es a dir, la de la figura 11.8.1.1.

Llavors, l'espessor que ha de tindre aquesta canonada es de 30 cm .

[Una $40^{\circ}\text{C} < T < 60^{\circ}\text{C}$ i $90\text{mm} < D < 140\text{ mm}$]

11.9. EQUIPS D'IMPULSIÓ DE FLUIDS

En els apartat anterior (apartat 11.8: *Canonades*) s'ha vist que per tal de poder portar un fluid d'un equip a un altre eren necessaris la utilització de canonades per on aquest fluid circulava amb certa velocitat, doncs bé, per tal de aconseguir que aquest fluid pugui desplaçar-se se li ha de proporcionar energia mecànica. I l'encarregada de subministrar aquesta energia que li fa falta al fluid per moure's es la bomba.

11.9.1. Disseny de bombes

El disseny de bombes fa referència al càlcul de la potència que es necessitat per moure el fluid d'un punt de la planta a una altre punt d'interès. I per conèixer aquesta potència s'ha de fer un balanç d'energia mecànica entre aquests dos punts. A continuació es mostra dit balanç.

$$E_{\text{pressió}} + E_{\text{potencial}} + E_{\text{cinètica}} = P_{\text{bomba}} - \text{Fricció} \quad \text{Eq. 11.9.1.1}$$

$$\frac{\Delta P}{\rho} + g \times \Delta Z + \frac{1}{2} \times \frac{V^2}{\alpha} = w - e_v \quad \text{Eq. 11.9.1.2}$$

En la planta SALIACEA no es treballa amb aparells a pressió (a excepció del reactor R-103), i, per tant, en general es podrà eliminar el terme d'energia de pressió perquè no tindrà lloc una diferència de pressions. I el terme d'energia cinètica tampoc es té en compte perquè es suposa que la velocitat es constant, i, per tant, es manté l'energia cinètica, produint així que no hi hagi diferència en quant quest terme. Finalment, el balanç d'energia a aplicar queda com mostra l'equació 11.9.1.3.

$$g \times \Delta Z = w - e_v$$

Eq. 11.9.1.3

g = gravetat ($9,8 \text{ m/s}^2$)

ΔZ = Diferència d'alçades entre els punts estudiats

w = Potència de la bomba(J/Kg)→ Per tenir potencia es multiplica per la massa ($W=mw$)

e_v = Pèrdues d'energia mecànica per fricció.

Finalment la potència es calcularia com l'equació 11.9.1.4

$$W = m \cdot w = m \cdot (g \times \Delta Z + e_v)$$

Eq. 11.9.1.4

Ara queda calcular les pèrdues per energia mecànica.

CÀLCUL DE LES PERDUES PER ENERGIA MECÀNICA

Les pèrdues (e_v) totals són la suma de les pèrdues en el tram d'aspiració més les pèrdues en el tram d'impulsió. Per calcular aquestes pèrdues es segueix la mateixa metodologia que s'explicarà a continuació.

$$e_v = e_{v \text{ tram recte}} + e_{v \text{ accidents}}$$

Eq. 11.9.1.5

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

Eq. 11.9.1.6

L = Longitud de la canonada (m)

D = Diàmetre intern de la canonada (m)

V =Velocitat del fluid (m/s)

F = Factor de fricció Fanning (aquest es determina per mètode gràfic)

- Determinació del paràmetre Fanning

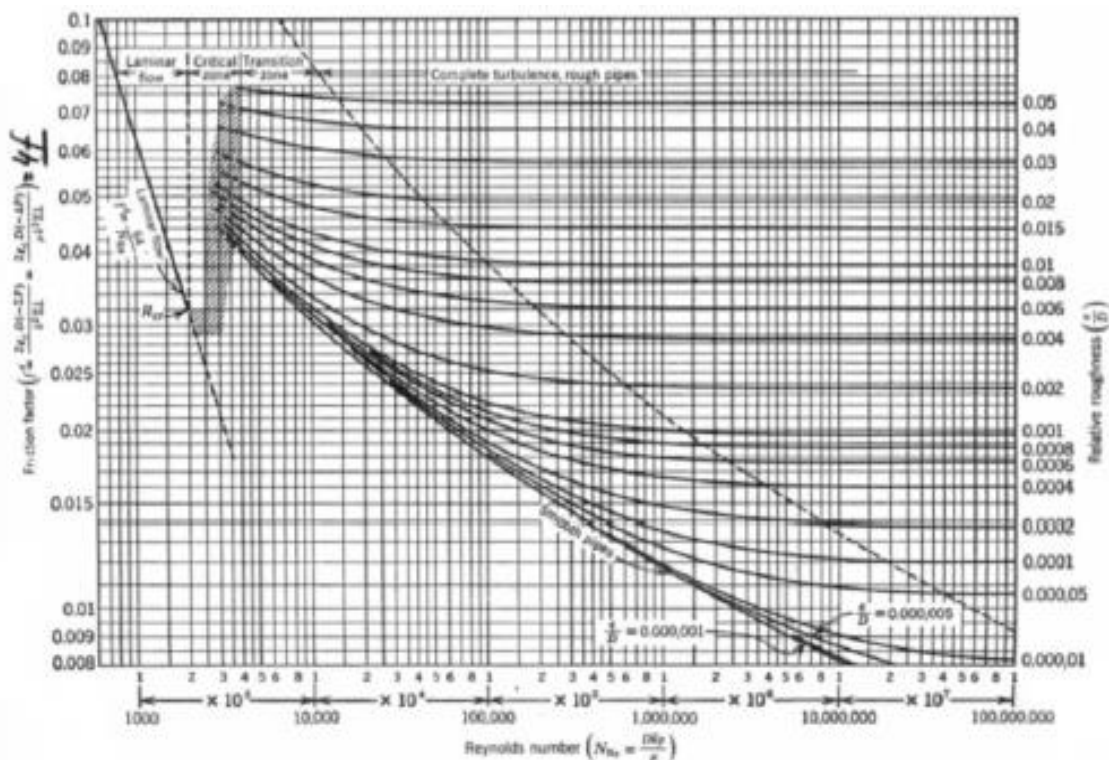


Figura 11.9.1.1: Determinació del número Fanning (Moody)

Com es pot veure per tal de determinar el paràmetre Fanning es necessari primer conèixer el número de Reynolds i el quocient entre la rugositat i el diàmetre de la canonada.

$$Re = \frac{\rho \times v \times D}{\mu} \quad \text{Eq. 11.9.1.7}$$

ρ = Densitat (Kg/m³)

μ = Viscositat (Kg/m·s)

v = Velocitat de circulació (m/s)

D = Diàmetre de la canonada

$$\varepsilon/D \quad \text{Eq. 11.9.1.8}$$

ε = Rugositat (m)

D = Diàmetre de la canonda (m)

Capítol 11: Manual de Càlculs

La rugositat es un paràmetre que va en funció del material i per conèixer-la es pot consultar la figura 11.9.1.2.

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

Figura 11.9.1.2: Determinació de la rugositat

I, en quant a la pèrdua d'energia degut a accidents (normalment, accessoris de les canonades):

$$e_{v \text{ accidents}} = K \cdot \frac{v^2}{2} \quad \text{Eq. 11.9.1.9}$$

K= Constant que varia en funció de l'accident que es té i que estroba tabulat (figura 11.9.1.3)

v= Velocitat de circulació (m/s)

Taula adaptada de Perry, Manual del Ingeniero Químico

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

Figura 11.9.1.3: Determinació de la constant K

11.9.1. Exemple de càlcul

A continuació, s'escull la bomba P-001 com a exemple de càlcul. Aquesta bomba es la primera que hi ha en la zona 000, que es l'àrea d'emmagatzematge de matèries primeres) i que s'encarrega de fer arribar el fenol des de el camió fins els tancs T-001 i T-002.

- CÀLCUL DE LES PÈRDUES

-Aspiració

$$Re = \frac{\rho \times v \times D}{\mu} = \frac{1070 \times 1,15 \times 0,114}{0,0012} = 1,17 \cdot 10^5$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{4,6 \cdot 10^{-5}}{0,114} = 0,0004$$

Moody $\rightarrow 4f=0,018$

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

La longitud de la canonada d'aspiració es la distancia que hi ha des de el camió fins on es situa la bomba (al perímetre de l'àrea 000).

$L=15 \text{ m}$ i $v=1,15$

$$e_{v \text{ tram recte}} = 0,018 \cdot \frac{15}{0,114} \cdot 1,15^2 = 1,56 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$e_{v \text{ accidents}} = K \cdot \frac{v^2}{2}$$

Els accidents que es tenen en el tram d'aspiració són els que es visualitza en els diagrames d'enginyeria que es troben en el *Capítol 9: Diagrames i plànols*. A continuació es fa un recull dels que s'han comptabilitzat. La constant K serà el sumatori de totes els accidents, els quals tindran cada un una K multiplicat el número de cops que hi surten.

Constant K dels diferents accidents		
K	Número de cops que hi són	Tipus d'accident
0,75	2	Colze 90
0,4	1	T estàndard
0,04	5	Unió roscada vàlvules
0,04	3	Unió roscada canonades
0,17	3	Vàlvula Comporta oberta
10	1	Vàlvula de Retenció de disc oberta

La K total es de 12,7.

$$e_{v \text{ accidents}} = 12,7 \cdot \frac{1,15^2}{2} = 8,47 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$e_{\text{totals aspiració}} = e_{v \text{ tram recte}} + e_{v \text{ accidents}} = 1,56 + 8,47 = 10 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

-Impulsió

$$Re = \frac{\rho \times v \times D}{\mu} = \frac{1070 \times 2,1 \times 0,0762}{0,0012} = 1,43 \cdot 10^5$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{4,6 \cdot 10^{-5}}{0,0762} = 0,0006$$

Moody → $4f=0,0185$

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

La longitud de la canonada d'impulsió es la distància que hi ha des de la bomba fins on es situa el tanc. Aquesta distància es compon dels següents punts:

Pèrdua trams rectes	
Distància total (m)	11,5
Distància (m)	Punts
1	tanc-cubeta
5	cubeta-vallado
15	vallado-carga
3,5	diàmetre Tanc
2	distància entre 2 tancs

(La distància s'agafa fins el tanc T-002 per tal d'assegurar que la bomba pot abastir tant a un com a altre)

$$e_{v \text{ tram recte}} = 0,018 \cdot \frac{11,5}{0,076} \cdot 2,1^2 = 5,98 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$e_{v \text{ accidents}} = K \cdot \frac{v^2}{2}$$

Els accidents que es tenen en el tram d'impulsió són els que es visualitza en els diagrames d'enginyeria que es troben en el *Capítol 9: Diagrames i plànols*. A continuació es fa un recull dels que s'han comptabilitzat. La constant K serà el sumatori de totes els accidents, els quals tindran cada un una K multiplicat el número de cops que hi surten.

Constant K dels diferents accidents		
K	Número de cops que hi són	Tipus d'accident
0,75	3	Colze 90
0,4	2	T estàndard
0,04	3	Unió roscada vàlvules
0,04	2	Unió roscada canonades
0,17	1	Vàlvula Comporta oberta
10	1	Vàlvula de Retenció de disc oberta
9	1	Vàlvula de control oberta

La K total es de 22,4.

$$e_{v \text{ accidents}} = 22,4 \cdot \frac{2,1^2}{2} = 49,4 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$e_{\text{totals impulsió}} = e_{v \text{ tram recte}} + e_{v \text{ accidents}} = 6,0 + 49,4 = 55,4 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

Llavors, les pèrdues totals del sistema són

$$e_{\text{totals sistema}} = e_{\text{totals impulsió}} + e_{\text{totals aspiració}} = 55,4 + 10,0 = 65,4 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$W_{\text{teòrica}} = m \cdot w = m \cdot (g \times \Delta Z + e_v) = 11,4 \cdot (9,8 \times 3 + 65,4) = 1082 \text{ J/s}$$

$$W_{\text{real}} = \frac{W_{\text{teòrica}}}{0,75} = \frac{1082}{0,75} = 1440 \text{ J/s}$$

Llavors, es necessitaria una bomba amb una potència de **1,44 Kw**

11.10. SERVEIS

A la planta SALICACEA es requereixen de certes substàncies auxiliars al procés, aquestes es coneixen amb el nom ser serveis. I es tracten del nitrogen, vapor d'aigua i aigua de refrigeració.

El Nitrogen es utilitzat per a la inertització dels equips que treballen amb substàncies classificades dintre del ITC MIE APQ-1, però, també, s'utilitza per mantenir la pressió en el reactor R-301.

El vapor d'aigua s'utilitza per aquells equips que necessiten ser calefactats com es el cas de tancs d'emmagatzematge, però, també s'utilitza pels bescanviadors.

L'aigua de refrigeració es requereix per aquells equips que s'hagin de refredar per tal de mantenir la temperatura constant, com es el cas dels dos reactors.

El disseny que s'ha fet d'aquests equips es limita a comptabilitzar les necessitats de cada un i a sumar-les per veure quina seria la quantitat total que es requereix de cada servei.

11.10.1. Necessitats de Nitrogen

Tal i com s'ha vist en el *Capítol 5:Seguretat i higiene* les substàncies classificades segons APQ-1 han de seguir una normativa més exigent que les substàncies que presenten un risc diferent degut a la inflamabilitat que aquestes presenten.

Aquestes per les característiques presenten poden generar una atmosfera explosiva en l'interior del tanc, i , per tant han d'estar equipats amb un sistema que eviti la penetració de flames (segell hidràulic) o garanteixi una atmosfera inert, es a dir, una atmosfera no-explosiva.

Aquesta atmosfera no explosiva es pot garantir mitjançant la introducció d'un gas inert abans de la utilització de l'equip, bé sigui un tanc d'emmagatzematge, o bé, sigui un equip de procés.

Per tant, l'inertització es una mesura de seguretat exclusiva dels inflamables i combustibles.

Els equips que han de comptar amb aquest sistema d'inertització són:

- M-101 → Mescladora de fenol i hidròxid sòdic al 50% ($V=29,5 \text{ m}^3$)
- R-301 → Reactor on es sintetitza l'àcid acetilsalicílic ($V=20 \text{ m}^3$)
- T-001 → Tanc de fenol 1 ($V=38,4 \text{ m}^3$)
- T-002 → Tanc de fenol 2 ($V=38,4 \text{ m}^3$)
- T-010 → Tanc de fenol recirculat ($V=20,5 \text{ m}^3$)
- T-008 → Tanc d'anhidre acètic 1 ($V=32,2 \text{ m}^3$)
- T-009 → Tanc d'anhidre acètic 2 ($V=32,2 \text{ m}^3$)
- T-601 → Tanc d'àcid acètic ($V=30,1 \text{ m}^3$)

Llavors, sumant tot el volum s'obté $241,3 \text{ m}^3$, per 3 cops que es fes tot el procés serien 724 m^3 en gas. Si s'utilitza la conversió que es tenia pel diòxid de carboni que deia que 1 m^3 de gas eren 1,594 L de gas liquat es tindria un tanc de 1154 L que seria un tanc de $1,15 \text{ m}^3$.

11.10.1. Necessitats de vapor d'aigua

Tal i com s'ha mencionat anteriorment el vapor d'aigua s'utilitza per aquells equips que necessiten ser calefactats com es el cas de tancs d'emmagatzematge, però, també s'utilitza pels bescanviadors. A més, també, es utilitza per escalfar el reactor R-301.

Dimensionament de la caldera

Per dimensionar la caldera fem la suma de tota la necessitat de vapor i aconseguim la necessitat de vapor.

Taula 11.10.1.1

Equip	Necessitat de vapor (kg/h)
E-201	733
E-202	604
B-109	1422
R-301	1200
T-001 i T-002	2050
T-003 i T-004	612
TOTAL	6621

Serà necessària una caldera de més de 6 tn de vapor cada hora. Per tant s'ha escollit una caldera de 7 tn/h per així assegurar que sempre es pugui tenir vapor.

11.10.1. Necessitats d'aigua de refrigeració

Tal i com s'ha mencionat anteriorment l'aigua de refrigeració es requereix per aquells equips que s'hagin de refredar per tal de mantenir la temperatura constant, com es el cas dels dos reactors.

Per dimensionar la caldera es realitza de la suma de totes les necessitats d'aigua de refrigeració tenint en compte els cristal·litzadors, el condensador i la refrigeració dels reactors. Fent aquestes sumes aconseguim la necessitat d'aigua de refrigeració per hora.

En el nostre cas és la següent:

$$\text{Cabal d'aigua de refrigeració necessari} = 45.264 \text{ tn/h}$$

Per tant s'ha escollit una torre de refrigeració per a obtenir aquest cabal de refrigeració.

En la planta SALICACEA es necessita, a part d'una torre de refrigeració, un chiller per refredar el refrigerant abans d'entrar a la mitja canya. Aquest fet es deu que la temperatura que proporciona la torre de refrigeració no assoleix aquestes temperatures necessàries per operar amb el cristal·litzador. El fluid refrigerant que s'utilitza és aigua.

Per escollir un chiller apropiat a les necessitats del procés es fan servir les següents premisses:

1. Cabal del fluid de servei necessari
2. Salt tèrmic del fluid de servei

Per saber la potència tèrmica que treballarà el chiller es suma l'energia que s'ha de dissipar en els dos cristal·litzadors. Es suma l'energia a dissipar degut a la possibilitat de que els dos equips treballi a la vegada i que el funcionament del chiller sigui correcte. Les dades per poder saber l'energia a dissipar es treu de la Taula 11.4.7 corresponent a l'apartat de càlculs dels cristal·litzadors.

La suma de l'energia a dissipar dels dos cristal·litzadors és de 404262 J/s. Un cop calculat l'energia dissipar, es busca en catàlegs de cristal·litzadors amb aquests parametre o també amb el cabal de refrigerant que es necessita.

El chiller que satisfà les nostres necessitats és un chiller del proveïdor Mecalor el model RLW-400.

11.11. BIBLIOGRAFIA

[1] Perry, Robert. H.;Green, Don W. Perry's chemical engineers' handbook. McGraw-Hill, cop.1999. New York

[2] Jouyban, A., *Handbook of solubility data for pharmaceuticals*. CRC Press, 2010, Boca Raton.

[3] Sinnott, R. Towler, G. *Diseño en ingeniería química*. Editorial Revertè, 2004.

[4] ASME VIII (2007), The American Society of Mechanical Engineers.

[5] Normativa API-650 (2007) (American Petroleum Institutes) (format digital)

<http://www.fnmt.es/documents/10179/10666378/Diseño+y+cálculo+de+tanques+de+almacenamiento.pdf/cf73a420-13f2-248f-034a-d413cb8a3924>

[6] Aislamiento tuberías, ISOVER.

<https://www.isover.es/sites/isover.es/files/assets/documents/aislamiento-tuberias-2018.pdf>

[7] Fondos para depósitos y cisternas, Fondayur.

<http://www.fondayur.com/fondos-klopper.aspx>