



Universitat
Autònoma
de Barcelona

Planta de producció d'Àcid Acètic

VOLUM II



Enginyeria Química

Roger Campins Gil
Aitor Colina Azcona
Jonatan López Padilla
David Pérez Crusellas
Joan Santacana Querol

13/06/07

5. SEGURETAT I HIGIENE

5.1 Introducció.....	5-1
5.2 Caracterització de las substàncies utilitzades	5-2
5.2.1 Propietats de les substàncies.....	5-2
5.2.1.1 Metanol.....	5-2
5.2.1.2 Monòxid de Carboni.....	5-3
5.2.1.3 Àcid Yodhídric	5-4
5.2.1.4 Àcid acètic	5-4
5.2.1.5 Àcid Propiònic.....	5-5
5.2.2 Fitxes de Seguretat de les substàncies	5-6
5.3 Condicions d'Operació	5-23
5.3.1 Reactors	5-23
5.3.2 Reboiler	5-24
5.3.3 Altres vàlvules	5-24
5.4 Equips de protecció personal.....	5-25
5.4.1 Introducció.....	5-25
5.4.2. Equips de protecció dels peus.....	5-26
5.4.3 Equips de protecció de dits, mans y braços	5-27
5.4.4 Cinturons de Seguretat.....	5-28
5.4.5 Vestimenta	5-30
5.4.6 Equips de protecció al cap	5-31
5.4.7 Equips de protecció auditius.....	5-32
5.4.8 Equips de protecció visual.....	5-32
5.4.9 Equips Respiratoris.....	5-33
5.6 Enllumenat.....	5-34
5.6.1 Enllumenat comú.....	5-34
5.6.2 Enllumenat d'emergència	5-35
5.7 Senyalització.....	5-36
5.7.1 Senyals de la planta	5-37
5.7.2. Senyalització per colors.....	5-40
5.8 Protecció contra incendis.....	5-42

5.8.1 Origen i naturalesa dels incendis	5-43
5.8.2 Lluita contra incendis.....	5-43
5.8.3 Equips de detecció d'incendis.....	5-44
5.8.4 Equips de extinció d'incendis	5-46
5.8.4 Evacuació	5-51
5.8.4.1 Extintors portàtils.....	5-47
5.8.4.3 Sprinkler.....	5-48
5.8.4.4 Equips Hidrants.....	5-49
5.8.4.5 Distribució dels agents	5-49
5.8.6 Àrees classificades	5-51
5.8.6.1 Parc de tancs.....	5-52
5.8.6.2 Àrea de reacció.....	5-55
5.8.7 Aigua contra incendis.....	5-56
5.9 Higiene industrial	5-57
5.10 Instal·lacions elèctriques	5-59
5.11 Pla de emergència intern (PEI)	5-60
5.11.1 Objectiu del Pla de emergència intern	5-60
5.11.2 Factors de risc i classificació de possibles emergències	5-60
5.11.2.1 Conatos d'emergència.....	5-61
5.11.2.2 Emergència parcial.....	5-61
5.11.2.3 Emergència general.....	5-61
5.11.3 Accions.....	5-62
5.11.3.1 Conato d'emergència.	5-62
5.11.3.2 Emergència parcial.....	5-62
5.11.3.3 Emergència general.....	5-62
5.11.3.4 Vàlvules de vessament	5-62
5.11.4 Equips d'emergència.....	5-63
5.11.4.1 Cap d'Emergència.....	5-63
5.11.4.2 Cap d'Evacuació	5-63
5.11.4.3 Cap d'Intervenció.....	5-63
5.11.4.4 Equips de 1ª Intervenció (E.P.I.).....	5-63
5.11.4.5 Equip de 2ª intervenció	5-64
5.11.4.6 Equip de 3ª intervenció	5-64
5.11.4.7 Composició dels equips durant els diferents torns de fabricació	5-64

5.11.4.7.1 Primer i segon torn	5-64
5.11.4.7.2 Vigilància nocturna.....	5-65
5.11.4.7.3 Caps de setmana i festius.....	5-65
5.11.4.7.4 Període Vacacional	5-65
5.11.4.8 Equip de Primers Auxilis (E.P.A.)	5-65
ANNEX 1	5-66
ANNEX 2	5-68
ANNEX 3	5-69
ANNEX 4	5-71

5. Seguretat i Higiene

5.1 Introducció

Les indústries que desitgen mantenir-se en l'ampli món de la competitivitat han d'acollir-se a les mesures i regles adoptades amb la finalitat de prevenir accidents i minimitzar els riscos per a l'establiment de condicions segures en l'ambient de treball.

El control de la seguretat i higiene resulta de vital importància en les empreses industrials. El desafiament que enfronten els encarregats de seguretat és crear una profunda consciència de prevenció en lloc d'insistir en la connexió d'accidents o condicions de risc.

Els gerents són els encarregats de promoure i donar seguiment als programes de seguretat, establerts per l'empresa, això no significa que la seguretat sigui qüestió de la gerent o de l'encarregat del departament de seguretat i higiene, la seguretat ha de ser un esforç de tots. Les condicions segures beneficien principalment als empleats exposats a treballs que d'una forma o una altra comporten riscos.

L'ambient laboral, mantenir-lo segur i higiènic per al bon desenvolupament de l'empleat dintre de les instal·lacions de l'empresa, no ha de presentar una problemàtica, sinó un benefici per a l'empleat i també per a l'empresa. Crear condicions segures, contribueix a l'augment de la productivitat i a un desenvolupament més harmoniós i estable per part del treballador en l'empresa.

Els objectius ajuden a tenir una millor visió sobre tema a desenvolupar, es pretén arribar a els següents:

- Avaluar les condicions de seguretat i higiene requerides i existents en una indústria de producció d'àcid acètic.
- Equipar la planta de tots els mitjans necessaris per a poder complir les condicions de seguretat i higiene.

- Identificar les condicions insegures que afecten als empleats.

5.2 Caracterització de las substàncies utilitzades

És de vital importància per a la seguretat de la planta saber de manera exacta i precisa les característiques i propietats de les substàncies amb les quals treballassin. D'aquesta manera es podrà quantificar el perill associat a cada substància i actuar en conseqüència.

La planta haurà de disposar de tots els equips que siguin necessaris perquè la manipulació de les substàncies es faci de forma segura i en cas d'accident els treballadors haurien de saber com actuar en funció de la substància afectada.

5.2.1 Propietats de les substàncies

A continuació es detallen les propietats més importants de les substàncies utilitzades en el procés de producció de la planta.

5.2.1.1 Metanol

El compost químic metanol, també conegut com alcohol metílic o alcohol de fusta, és l'alcohol més senzill. És un líquid lleuger, incolor, inflamable i tòxic que s'empra com anticongelant, dissolvent i combustible. La seva fórmula química és CH_3OH .

A concentracions elevades el metanol pot causar mal de cap, mareig, nàusea, vòmits i mort. Una exposició aguda pot causar ceguesa o pèrdua de la visió. Una exposició crònica pot ser causa de danys al fetge o de cirrosis.

El metanol encara que és molt tòxic per la seva olor i en cas d'ingestió, és molt important també en la fabricació de medicines.

El metanol té diversos usos. És un dissolvent industrial i s'empra com matèria primera en la fabricació de formaldehid. El metanol també s'empra com anticongelant en vehicles,

combustible de bombones de camping-gas, dissolvent de tintes, tints, resines i adhesius. El metanol pot ser també afegit al etanol per a fer que aquest no sigui apte per al consum.

5.2.1.2 Monòxid de Carboni

El monòxid de carboni, la fórmula química del qual és CO, és un gas inodor, incolor, inflamable i altament tòxic. Pot causar la mort quan es respira en nivells elevats. Es produeix quan es cremen materials combustibles com gas, gasolina, kerosè, carbó, petroli, tabac o fusta en ambients de poc oxigen. Les xemeneies, les calderes, els escalfadors d'aigua i els aparells domèstics que cremen combustible, com les estufes o forns de la cuina, també poden produir-lo si no estan funcionant bé. Els vehicles aturats amb el motor encès també ho acomiaden.

Si es respira, encara que sigui en moderades quantitats, el monòxid de carboni pot causar la mort per enverinament en pocs minuts perquè substitueix a l'oxigen en la hemoglobina de la sang. Una vegada respirada una quantitat bastant gran de monòxid de carboni (tenint un 75% de la hemoglobina amb monòxid de carboni) l'única forma de sobreviure és respirant oxigen pur. Cada any un gran nombre de persones perd la vida accidentalment a causa del enverinament amb aquest gas. Les dones embarassades i els seus bebès, els nens petits, les persones majors i les quals sofreixen d'anèmia, problemes del cor o respiratoris poden ser molt més sensibles al monòxid de carboni. Els efectes són els següents:

CONCENTRACIONS EN AIRE	EFFECTE
55 mg/m ³ (50 ppm)	TLV-TWA
0,01 %	Exposició de varies hores sense efecte
0,04 - 0,05 %	Exposició d'una hora sense efecte
0,06 - 0,07 %	Efectes apreciables a l'hora
0,12 - 0,15 %	Efectes perillosos a l'hora
165 mg/m ³ (1500 ppm)	IPVS
0,4 %	Mortal a l'hora

Taula 5.1. Concentracions i efecte del CO

5.2.1.3 Àcid Iodhídric

També anomenat Iodur d'hidrogen és un líquid corrosiu; és incolor quan està acabat de preparar però al exposar-se a la llum i a l'aire es torna groguenc i marró. Consisteix en una solució d'iodur d'hidrogen gasós en aigua; es produeix comercialment en diverses concentracions, entre elles, al 47 i al 57% de HI.

En vapor irrita el sistema respiratori, la pell i els ulls mentre que en líquid causa cremades greus dels ulls i la pell; la ingestió causa irritació interna i lesions greus.

Els seus usos més comuns per a la síntesi de compostos orgànics i inorgànics de l'iode; desinfectant; en química com reactiu; en farmàcia, com suplement (xarop d'àcid iodhídric) de les dietes deficientes en iode.

S'obté per reacció dels gasos d'iode i hidrogen en presència d'un catalitzador, i posterior absorció en aigua. Per tractament de l'iode amb àcid sulfhídric en solució aquosa. Per reacció de l'iode amb fòsfor vermell i aigua.

5.2.1.4 Àcid acètic

També és conegut com àcid etanoic, àcid metanocarboxílic o àcid del vinagre. És líquid incolor i corrosiu, d'olor penetrant. La solució aquosa al 5-6% forma el vinagre; la solució molt concentrada (no menys del 99,5% d'àcid acètic) es diu àcid acètic glacial.

És perillós ja que és inflamable i el vapor irrita el sistema respiratori, els ulls i la pell. Causa cremades greus dels ulls i la pell. La ingestió produeix irritació i lesions.

S'usa per a la fabricació de acetat de vinil (45%), acetat de cel·lulosa (20%), anhídrid acètic, fibra de acetat, plàstics i cautxú; en curtiduríes; en la conservació d'aliments; solució de gomes, resines, olis essencials i moltes altres substàncies; en diverses síntesis orgàniques.

S'obté per reacció catalítica del metanol amb monòxid de carboni. Per oxidació directa d'hidrocarburs saturats. Per oxidació del acetaldehid.

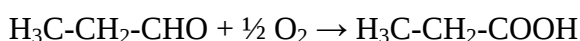
El seu transport i emmagatzematge ha de ser en recipients folrats d'acer inoxidable, vidre o polietilè.

5.2.1.5 Àcid Propiònic

L'àcid propiònic o propanoic té característiques físiques intermèdies entre les dels àcids carboxílics més petits (com l'àcid fòrmic i acètic), i els àcids grassos més grans. És miscible amb aigua, però pot ser llevat de l'aigua agregant sal. Com els àcids acètic i fòrmic, el seu vapor viola gruit la llei ideal del gas perquè no consisteix en les molècules individuals de l'àcid, sinó en el seu lloc parells de molècules enllaçades per l'hidrogen. També experimenta aquest enllaç en l'estat líquid.

Químicament, exhibeix les característiques generals d'àcids carboxílics, i com la majoria, pot formar l'amida, l'èster, l'anhídrid, i derivats del clor. Pot experimentar la alfa-halogenació amb brom en presència de PBr_3 com catalitzador (la reacció de HVZ) per a formar $\text{CH}_3\text{-CHBr-COOH}$.

En la indústria, generalment es produeix a partir de l'oxidació a l'aire de propanol. En presència de cations de cobalt o manganès, aquesta reacció procedeix ràpidament fins i tot a temperatures baixes. Normalment aquest procés es realitza a temperatures entre 40 °C i 50 °C, i és representat per la següent equació:



Antigament es produïen grans quantitats d'àcid propílic com subproducte de l'àcid acètic. Però els canvis en el mètode de producció del acètic, han fet que en l'actualitat que aquesta sigui una font menor.

El principal perill són les cremades químiques que poden produir-se al contacte amb el líquid concentrat. En estudis en animals de laboratori, l'únic efecte de salut advers associat a l'exposició a llarg termini amb quantitats petites d'aquest àcid ha estat ulceració de l'esòfag i de l'estómac per consum. No s'han observat efectes tòxics, mutagènics, carcinògens o reproductius.

En el cos és ràpidament oxidat, metabolizat, i eliminat com diòxid de carboni en el cicle de Krebbs, i per això no és bioacumulable.

5.2.2 Fitxes de Seguretat de les substàncies

A continuació es troben les fitxes de seguretat internacionals de les substàncies utilitzades en la nostra planta industrial.

METANOL

ICSC: 0057



METANOL
Alcohol metílico
Carbinol
Monohidroximetano
 CH_3OH
Masa molecular: 32.0

Nº CAS 67-56-1
Nº RTECS PC1400000
Nº ICSC 0057
Nº NU 1230
Nº CE 603-001-00-X

TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Altamente inflamable. Arde con una llama invisible. Explosivo.	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar. NO poner en contacto con oxidantes.	Polvo, espuma resistente al alcohol, agua en grandes cantidades, dióxido de carbono.
EXPLOSION	Las mezclas vapor/aire son explosivas.	Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosiones (véanse Notas).	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.
EXPOSICION		¡EVITAR LA EXPOSICION DE ADOLESCENTES Y NIÑOS!	
• INHALACION	Tos, vértigo, dolor de cabeza, náuseas.	Ventilación. Extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo y proporcionar asistencia médica.
• PIEL	¡PUEDE ABSORBERSE! Piel seca, enrojecimiento.	Guantes protectores y traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con agua abundante o ducharse y proporcionar asistencia médica.
• OJOS	Enrojecimiento, dolor.	Gafas ajustadas de seguridad o protección ocular combinada con la protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad) y proporcionar asistencia

			médica.
• INGESTION	Dolor abdominal, jadeo, pérdida del conocimiento, vómitos (para mayor información véase Inhalación).	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Provocar el vómito (¡UNICAMENTE EN PERSONAS CONSCIENTES!) y proporcionar asistencia médica.
DERRAMAS Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO	
Evacuar la zona de peligro. Recoger el líquido procedente de la fuga en recipientes herméticos, eliminar el líquido derramado con agua abundante y el vapor con agua pulverizada. (Protección personal adicional: traje de protección completa incluyendo equipo autónomo de respiración).	A prueba de incendio. Separado de oxidantes fuertes. Mantener en lugar fresco.	 No transportar con alimentos y piensos. símbolo F símbolo T R: 11-23/24/25-39-23/24/25 S: (1/2-)7-16-36/37-45 Clasificación de Peligros NU: 3 Riesgos Subsidiarios NU: 6.1 Grupo de Envasado NU: II CE:	
VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE			
ICSC: 0057		Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión de las Comunidades Eurpoeas © CCE, IPCS, 1994	
NOTA LEGAL IMPORTANTE:	Ni la CCE ni la IPCS ni sus representantes son responsables del posible uso de esta información. Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. La versión española incluye el etiquetado asignado por la clasificación europea, actualizado a la vigésima adaptación de la Directiva 67/548/CEE traspuesta a la legislación española por el Real Decreto 363/95 (BOE 5.6.95).		

Fichas Internacionales de Seguridad Química

METANOL

ICSC: 0057

D A T O S I M P O R T A N T E S	ESTADO FISICO; ASPECTO Líquido incoloro, de olor característico. PELIGROS FISICOS El vapor se mezcla bien con el aire, formándose fácilmente mezclas explosivas. PELIGROS QUIMICOS La sustancia se descompone al calentarla intensamente, produciendo monóxido de carbono y formaldehído. Reacciona violentamente con oxidantes, originando peligro de incendio y explosión. Ataca al plomo y al aluminio. LIMITES DE EXPOSICION TLV (como TWA): 200 ppm; 262 mg/m³ (piel) (ACGIH 1993-1994). TLV (como STEL): 250 ppm; 328 mg/m³ (piel) (ACGIH 1993-1994).	VIAS DE EXPOSICION La sustancia se puede absorber por inhalación, a través de la piel y por ingestión. RIESGO DE INHALACION Por evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar bastante rápidamente una concentración nociva en el aire. EFECTOS DE EXPOSICION CORTA La sustancia irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La sustancia puede causar efectos en el sistema nervioso central, dando lugar a una pérdida del conocimiento. La exposición por ingestión puede producir ceguera y sordera. Los efectos pueden aparecer de forma no inmediata. Se recomienda vigilancia médica. EFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis. La sustancia puede afectar al sistema nervioso central, dando lugar a dolores de cabeza persistentes y alteraciones de la visión.
PROPIEDADES FISICAS	Punto de ebullición: 65°C Punto de fusión: -94°C Densidad relativa (agua = 1): 0.79 Solubilidad en agua: Miscible Presión de vapor, kPa a 20°C: 12.3 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 1.1	Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20°C (aire = 1): 1.01 Punto de inflamación: (c.c.) 12°C Temperatura de autoignición: 385°C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 6-35.6 Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: -0.82/-0.66
DATOS AMBIENTALES	 La sustancia presenta una baja toxicidad para los organismos acuáticos y terrestres.	
NOTAS		
EXPLOSION/PREVENCION: Utilícense herramientas manuales no generadoras de chispas. Está indicado un examen médico periódico dependiendo del grado de exposición. Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-36 Código NFPA: H 1; F 3; R 0;		
INFORMACION ADICIONAL		
FISQ: 3-138 METANOL		

ICSC: 0057

© CCE, IPCS, 1994

METANOL

MONOXIDO DE CARBONO

ICSC: 0023



MONOXIDO DE CARBONO

Oxido de carbono

CO

Masa molecular: 28.0

Nº CAS 630-08-0

Nº RTECS FG3500000

Nº ICSC 0023

Nº NU 1016

Nº CE 006-001-00-2

TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Extremadamente inflamable.	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar.	Cortar el suministro; si no es posible y no existe riesgo para el entorno próximo, dejar que el incendio se extinga por sí mismo; en otros casos apagar con dióxido de carbono, agua pulverizada, polvo.
EXPLOSION	Las mezclas gas/aire son explosivas.	Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión. Utilícense herramientas manuales no generadoras de chispas.	En caso de incendio: mantener fría la botella rociando con agua. Combatir el incendio desde un lugar protegido.
EXPOSICION		¡EVITAR LA EXPOSICION DE MUJERES (EMBARAZADAS)!	¡CONSULTAR AL MEDICO EN TODOS LOS CASOS!
• INHALACION	Confusión mental, vértigo, dolor de cabeza, náuseas, debilidad y pérdida del conocimiento.	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo, respiración artificial si estuviera indicada y proporcionar asistencia médica.
• PIEL			
• OJOS			
• INGESTION			

DERRAMAS Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO
Evacuar la zona de peligro. Consultar a un experto. Ventilar. (Protección personal adicional: equipo autónomo de respiración).	A prueba de incendio. Mantener en lugar fresco.	 símbolo F+ símbolo T R: 61-12-23-48/23 S: 53-45 Clasificación de Peligros NU: 2.3 Riesgos Subsidiarios NU: 2.1
VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE		
ICSC: 0023	Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión de las Comunidades Europeas © CCE, IPCS, 1994	

Fichas Internacionales de Seguridad Química

MONOXIDO DE CARBONO

ICSC: 0023

D A T O S I M P O R T A N T E S	ESTADO FISICO; ASPECTO Gas comprimido, incoloro, inodoro, insípido.	VIAS DE EXPOSICION La sustancia se puede absorber por inhalación.
	PELIGROS FISICOS El gas se mezcla bien con el aire, formándose fácilmente mezclas explosivas. El gas penetra fácilmente a través de los techos y paredes.	RIESGO DE INHALACION Al producirse una pérdida de gas se alcanza muy rápidamente una concentración nociva de éste en el aire.
	PELIGROS QUIMICOS En presencia de polvo metálico la sustancia forma carbonilos tóxicos e inflamables. Reacciona vigorosamente con oxígeno, acetileno, cloro, flúor, óxidos nitrosos.	EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION La sustancia puede causar efectos en la sangre, sistema cardiovascular y sistema nervioso central. La exposición a altas concentraciones puede producir disminución de la consciencia y la muerte. Se recomienda vigilancia médica.
	LIMITES DE EXPOSICION TLV (como TWA): 25 ppm (ACGIH 1998).	EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA La sustancia puede afectar al sistema nervioso y al sistema cardiovascular, dando lugar a alteraciones neurológicas y cardíacas. PROPIEDADES FISICAS Punto de ebullición: -191°C Punto de fusión: -205°C Solubilidad en agua, ml/100 ml a 20°C: 2.3 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 0.97 Punto de inflamación: Gas inflamable. Temperatura de autoignición: 605°C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 12.5-74.2
	PROPIEDADES FISICAS	Densidad relativa de vapor (aire = 1): 0.97 Punto de inflamación: Gas inflamable. Temperatura de autoignición: 605°C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 12.5-74.2
DATOS AMBIENTALES		
NOTAS		
El monóxido de carbono se forma en la combustión incompleta de la madera, aceites, carbón. Está presente en el humos de los automóviles y del tabaco. Está indicado examen médico periódico dependiendo del grado de exposición. A concentraciones tóxicas no hay alerta por el olor. NO utilizar cerca de un fuego, una superficie caliente o mientras se trabaja en soldadura.		
Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-827 Código NFPA: H 3; F 4; R 0;		

INFORMACION ADICIONAL	
FISQ: 5-135 MONOXIDO DE CARBONO	
ICSC: 0023	MONOXIDO DE CARBONO
© CCE, IPCS, 1994	
NOTA LEGAL IMPORTANTE:	Ni la CCE ni la IPCS ni sus representantes son responsables del posible uso de esta información. Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. La versión española incluye el etiquetado asignado por la clasificación europea, actualizado a la vigésima adaptación de la Directiva 67/548/CEE traspuesta a la legislación española por el Real Decreto 363/95 (BOE 5.6.95).

Fichas Internacionales de Seguridad Química

ACIDO ACETICO**ICSC: 0363**

ACIDO ACETICO
 Acido etanoico
 $\text{CH}_3\text{COOH}/\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$
 Masa molecular: 60.1

Nº CAS 64-19-7
 Nº RTECS AF1340000
 Nº ICSC 0363
 Nº NU 2789
 Nº CE 607-002-00-6(>90%)

TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Inflamable. El calentamiento intenso puede producir aumento de la presión con riesgo de estallido.	Evitar llama abierta, NO producir chispas y NO fumar.	Pulverización con agua, espuma resistente al alcohol, dióxido de carbono. Los bomberos deberían emplear indumentaria de protección completa incluyendo equipo autónomo de respiración.
EXPLOSION	Por encima de 39°C: pueden formarse mezclas explosivas vapor/aire.	Por encima de 39°C: sistema cerrado, ventilación y equipo eléctrico a prueba de explosiones.	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones por pulverización con agua.
EXPOSICION		¡EVITAR TODO CONTACTO!	
• INHALACION	Dolor de garganta, tos, jadeo, dificultad respiratoria. (síntomas de efectos no inmediatos: véanse Notas).	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo, posición de semiincorporado y someter a atención médica.
• PIEL	Enrojecimiento, dolor, graves quemaduras cutáneas.	Guantes protectores, traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con agua abundante o ducharse y solicitar atención médica.
• OJOS	Dolor, enrojecimiento, visión borrosa, quemaduras profundas	Pantalla facial.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes

	graves.		de contacto si puede hacerse con facilidad), después consultar a un médico.
• INGESTION	Dolor de garganta, sensación de quemazón del tracto digestivo, dolor abdominal, vómitos, diarrea.	No comer, beber ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca, NO provocar el vómito y someter a atención médica.
DERRAMAS Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO	
Recoger el líquido procedente de una fuga en recipientes herméticos, neutralizar con precaución el líquido derramado con carbonato sódico, sólo bajo la responsabilidad de un experto o eliminar el residuo con agua abundante (protección personal adicional: traje de protección completa incluyendo equipo autónomo de respiración).	A prueba de incendio. Separado de oxidantes, bases. Mantener en lugar frío; mantener en una habitación bien ventilada. Separado de alimentos y piensos.	 NO transportar con alimentos y piensos. símbolo C R: 10-35 S: 2-23-26 Clasificación de Peligros NU: 8 Grupo de Envasado NU: II EC:	
VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE			
ICSC: 0363		Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión de las Comunidades Europeas © CCE, IPCS, 1994	

Fichas Internacionales de Seguridad Química

ACIDO ACETICO**ICSC: 0363**

D A T O S I M P O R T A N T E S	ESTADO FISICO; ASPECTO Líquido incoloro, con olor acre.	VIAS DE EXPOSICION La sustancia se puede absorber por inhalación del vapor y por ingestión.
	PELIGROS FISICOS	RIESGO DE INHALACION En la evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar bastante rápidamente una concentración nociva en el aire.
	PELIGROS QUIMICOS La sustancia es moderadamente ácida. Reacciona violentamente con oxidantes tales como trióxido de cromo y permanganato potásico. Reacciona violentamente con bases fuertes. Ataca muchos metales formando gas combustible (Hidrógeno).	EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION Corrosivo. La sustancia es muy corrosiva para los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La inhalación del vapor puede originar edema pulmonar (véanse Notas). Corrosivo por ingestión.
	LIMITES DE EXPOSICION TLV: 10 ppm; 25 mg/m ³ (como TWA); 15 ppm; 37 mg/m ³ (como STEL) (ACGIH 1990-1991)	EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis.
PROPIEDADES FISICAS	Punto de ebullición: 118°C Punto de fusión: 16°C Densidad relativa (agua = 1): 1.05 Solubilidad en agua: miscible Presión de vapor, kPa a 20°C: 1.6	Densidad relativa de vapor (aire = 1): 2.07 Punto de inflamación: 39°C Temperatura de autoignición: 427°C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 4.0-17 Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: -0.31 - 0.17
DATOS AMBIENTALES		
NOTAS		
Los síntomas del edema pulmonar no se ponen de manifiesto a menudo hasta pasadas algunas horas y se agravan por el esfuerzo físico. Reposo y vigilancia médica son por ello imprescindibles. Debe considerarse la inmediata administración de un spray adecuado por un médico o persona por él autorizada. Tarjeta de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-614		
INFORMACION ADICIONAL		
FISQ: 1-011 ACIDO ACETICO		

ICSC: 0363

ACIDO ACETICO

© CCE, IPCS, 1994

**NOTA LEGAL
IMPORTANTE:**

Ni la CCE ni la IPCS ni sus representantes son responsables del posible uso de esta información. Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. La versión española incluye el etiquetado asignado por la clasificación europea, actualizado a la vigésima adaptación de la Directiva 67/548/CEE traspuesta a la legislación española por el Real Decreto 363/95 (BOE 5.6.95).

Advertencia

© INSHT

ACIDO PROPIONICO

ICSC: 0806



ACIDO PROPIONICO

Acido metilacético

Acido etilfórmico

 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$

Masa molecular: 74.1

Nº CAS 79-09-4

Nº RTECS UE5950000

Nº ICSC 0806

Nº NU 1848

Nº CE 607-089-00-0

TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Inflamable.	Evitar llama abierta, NO producir chispas y NO fumar.	Polvo, espuma resistente al alcohol, pulverización de agua, dióxido de carbono.
EXPLOSION	Por encima de 54°C pueden formarse mezclas explosivas de vapor/aire.	Por encima de 54°C, sistema cerrado, ventilación y equipo eléctrico a prueba de explosiones.	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones por pulverización con agua.
EXPOSICION		¡HIGIENE ESTRICTA!	
• INHALACION	Tos, dificultad respiratoria, dolor de garganta.	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo y someter a atención médica.
• PIEL	Quemaduras cutáneas, dolor, ampollas.	Guantes protectores, traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con agua abundante o ducharse y solicitar atención médica.
• OJOS	Enrojecimiento, dolor, visión borrosa, quemaduras profundas graves.	Pantalla facial.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad). Después, consultar a un médico.
• INGESTION	Dolor abdominal, náusea,		Enjuagar la boca, dar a

	dolor de garganta, vómitos.		beber agua abundante, NO provocar el vómito y someter a atención médica.
DERRAMAS Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO	
Recoger el líquido procedente de la fuga en recipientes tapados, absorber el líquido residual en arena o absorbente inerte y trasladarlo a un lugar seguro. (Protección personal adicional: equipo autónomo de respiración).	Separado de alimentos y piensos, oxidantes fuertes, bases fuertes.		NO transportar con alimentos y piensos. Símbolo C R: 34 S: (1/2-)23-36-45 Nota: B Clasificación de Peligros NU: 8 Grupo de Envasado NU: III CE:
VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE			
ICSC: 0806		Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión de las Comunidades Europeas © CCE, IPCS, 1994	

Fichas Internacionales de Seguridad Química

ACIDO PROPIONICO

ICSC: 0806

D A T O S I M P O R T A N T E S	ESTADO FISICO; ASPECTO Líquido aceitoso, incoloro, de olor acre.	VIAS DE EXPOSICION La sustancia se puede absorber por inhalación del vapor y por ingestión.
	PELIGROS FISICOS	RIESGO DE INHALACION Por evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar bastante rápidamente una concentración nociva en el aire.
	PELIGROS QUIMICOS La sustancia es moderadamente ácida. Reacciona con oxidantes. Ataca muchos metales en presencia de agua.	EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION La sustancia es corrosiva de los ojos, la piel y el tracto respiratorio.
	LIMITES DE EXPOSICION TLV (como TWA): 10 ppm; 30 mg/m ³ (ACGIH 1990-1991).	EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA
PROPIEDADES FISICAS	Punto de ebullición: 141°C Punto de fusión: -21.5°C Densidad relativa (agua = 1): 0.995 Solubilidad en agua: muy elevada	Presión de vapor, Pa a 20°C: 386 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 2.56 Punto de inflamación: 54.4°C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 2.9-14.8
DATOS AMBIENTALES		
NOTAS		
Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-642 Código NFPA: H 2; F 2; R 0;		
INFORMACION ADICIONAL		
FISQ: 2-013 ACIDO PROPIONICO		
ICSC: 0806		ACIDO PROPIONICO
© CCE, IPCS, 1994		
NOTA LEGAL	Ni la CCE ni la IPCS ni sus representantes son responsables del posible uso de	

IMPORTANTE:

esta información. Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. La versión española incluye el etiquetado asignado por la clasificación europea, actualizado a la vigésima adaptación de la Directiva 67/548/CEE traspuesta a la legislación española por el Real Decreto 363/95 (BOE 5.6.95).

5.3 Condicions d'Operació

La planta està dissenyada per treballar a unes determinades condicions d'operació. Cada equip ha de treballar a les condicions de disseny per tal de que el procés funcioni de forma correcta i el producte obtingut compleixi els requisits desitjats.

Per tal de mantenir aquestes condicions d'operació s'utilitzen els llaços de control pertinents descrits al apartat de Control i Instrumentació. Si no hi ha cap problema i tot funciona correctament els llaços de control asseguraran que les condicions d'operació són les correctes.

Però en els punts més crítics i perillosos del procés s'ha d'assegurar que encara que es doni un cas especial, on per el motiu que sigui les condicions d'operació no siguin les correctes, la planta continuarà sent segura i no es posarà en perill la integritat ni dels operaris ni de la mateixa planta.

5.3.1 Reactors

El reactor és el punt principal del procés de producció. Per tal d'assegurar el funcionament en continu de la planta s'ha doblat. D'aquesta manera es treballarà amb dos reactors al 60% cada un. En cas de aturada d'un ja sigui per manteniment o neteja l'altre treballarà al 80% i quan tornin a operar tots dos treballaran al 80% fins recuperar la producció de la planta.

El dos reactors estan dissenyats a 35 bar. A cada reactor hi ha sistema de regulació de la pressió per tal de mantenir la pressió d'operació a 30 bar. Aquest sistema està descrit a l'apartat de control i instrumentació.

Degut a la importància del reactor i la perillositat en cas de sobrepassar els 35 bar de pressió al reactor s'ha dissenyat un sistema addicional al de control. Cada reactor està equipat amb una vàlvula de seguretat i un disc de ruptura.

La vàlvula de seguretat està dissenyada per aguantar 32 bar en cas de que fallés el sistema de control. En cas de que la pressió del reactor arribi a 32 bar la vàlvula s'obre i els gasos aniran al absorbidor.

El disc de ruptura aguantarà 34 bar de pressió i serà l'últim sistema per controlar la pressió en cas de fallida del sistema de control i la vàlvula de seguretat. En cas de que la pressió del reactor arribi a 34 bar el disc es trenca i els gasos del reactor aniran al absorbidor.

En cas d'alliberar gasos del reactor cap a la columna d'absorció es tindrà que augmentar el cabal de metanol que va cap a la columna per tal d'absorbir tots els gasos del reactor.

5.3.2 Reboiler

Les dues columnes de destil·lació treballen a pressió atmosfèrica amb un condensador i un reboiler. El reboiler funciona mitjançant el corrent de vapor que entra al reboiler escalfant el seu contingut, el vapor es condensa i surt cap al dipòsit de condensats.

En cas de sobreescalfament al reboiler la columna operarà a molta més temperatura i pressió i tindrem una sobrepressió al reboiler. Aquesta sobrepressió és molt perillosa i pot ocasionar greus problemes al funcionament de la planta.

La vàlvula de regulació de vapor d'entrada té un diafragma. Per tal d'evitar situacions de sobrepressions la posició segura del diafragma serà tancada, així en cas de mal funcionament de la vàlvula no hi haurà perill.

5.3.3 Altres vàlvules

De la mateixa manera que succeeix amb el reboiler hi ha altres vàlvules que depenent del seu tipus de funcionament i objectiu ocasionaran unes conseqüències més o menys perilloses en cas de mal funcionament.

Per tal de minimitzar els seus efectes i tenir un major control de la planta en cas d'accidents, averies, aturades ... cada llaç de control tindrà una opció anomenada 'segura' que serà la més segura. D'aquesta manera totes les vàlvules tindran una resposta que minimitzarà els riscos i perills.

A l'apartat de control i instrumentació es detalla per a cada vàlvula quina és la seva posició 'segura' que per tan serà la seva posició per defecte.

5.4 Equips de protecció personal

5.4.1 Introducció

Els equips de protecció personal (E.P.P) juguen un rol fonamental en la higiene i seguretat de l'operari, ja que els mateixos s'encarreguen d'evitar el contacte directe amb superfícies, ambient, i qualsevol altre element que ens que pugui afectar negativament la salut, a part de crear comoditat en el lloc de treball.

És fonamental en pro de la seguretat modificar l'ambient físic per a fer impossible que fets no desitjats es produeixin, però en ocasions manca... ja sigui per raons econòmiques o de conveniència salvaguardar al personal, equipant a aquest en forma individual o amb equips de protecció personal. És per a aquests casos en els quals els nostres operaris necessitaran d'equips de protecció.

Els treballadors no accepten l'ús d'equips de protecció personal per la seva incomoditat. En conseqüència aquest equip pot ser alterat pels seus usuaris, tractant d'obtenir un ajustament més satisfactori, el que es pot traduir en un empitjorament del seu funcionament. Per això serà responsabilitat de l'encarregat de seguretat recordar sempre als operaris que el mètode correcte d'ús és sempre el millor.

L'ús d'equips de protecció personal s'ha de considerar com últim recurs, perquè freqüentment és molest dur-lo i limita la llibertat de moviments en el treballador; d'aquesta manera no és sorprenent que de vegades aquest no l'utilitzi. Com l'objectiu fonamental de l'equip és evitar que alguna part del cos del treballador faci contacte amb riscos externs, al mateix temps impedeix també que la calor i la humitat s'escapin del cos, tenint com a conseqüència que la alta temperatura i la suor incomodin al treballador, fent evident una fatiga més ràpida.

Tot els esforços que es facin per seleccionar i proveir d'equips de protecció apropiat seran inútils si aquest no s'usa adequadament, i el resultat final és la desil·lusió i la desgana, pèrdua de temps , d'esforços i de diners. Per això hauríem de persuadir a l'empleat que utilitzi sempre els equips per la seva pròpia seguretat.

L'elecció dels equips de protecció personal ha de fer-se amb ajuda del treballador, ja que va a ser aquest qui els usi. Quan es requereix equip de protecció en un àrea específica s'ha d'intentar que la protecció sigui còmoda

És possible que es trobi un cert descontent davant els treballadors per la implementació d'equips de protecció personal. Aquests equips poden sofrir una certa modificació de part dels treballadors perquè aquests siguin més còmodes però al seu torn disminuiran la seva efectivitat. S'ha d'estar atents a aquestes possibles situacions i buscar-les una solució.

5.4.2. Equips de protecció dels peus

La gran majoria de danys als peus es deuen a la caiguda d'objectes pesats. S'ha d'equipar als operaris amb sabates de seguretat que protegeixin en contra d'aquesta classe de risc. Aquesta classe de sabates es poden aconseguir en grandàries, formes, i estils, que alhora s'adaptin bé a diferents peus, i a més tenen bon aspecte.

Existeixen diverses classes de sabates de seguretat, entre ells tenim:

Amb puntera protectora: s'usen per a protegir els dits de la caiguda de grans pesos i evitar algun tipus de lesió en ells. Les puntes són normalment elaborades d'acer. Tots els operaris de la planta haurien d'estar equipats amb aquest calçat tret que s'indiqui el contrari.

No productors d'espurna: es fabriquen excloent tot material de metall ferrós en la seva estructura, i en cas que contingui punta protectora de metall, aquesta es recobreix en xapes de material no ferros. S'utilitzen en certes tasques d'indústries d'explosius o on es manegen substàncies altament inflamables. Hauríem d'equipar amb ells a tots els operaris que puguin entrar en contacte amb els productes inflamables de la planta, especialment el Metanol.

No conductors: fabricació de materials amb absència de tot tipus de metalls, excepte en la punta protectora que sigui ben aïllada. S'ha d'emprar per els treballadors destinats a zones on existeixi algun risc elèctric. Especialment per a totes les tasques de manteniment i reparació del sistema elèctric de la planta.

Impermeables (botes d'aigua): són aquelles fabricades en plàstic de tal manera que sigui impermeable per a evitar el contacte de productes químics o d'aigües negres contaminades. Tots els empleats haurien de disposar d'aquestes botes per a accions concretes com les de neteja d'equips.

La forma de netejar les botes s'ha de fer d'acord a l'ús que se li dona, tenint en compte que la forma més fàcil és amb aigua i sabó, començant des del centre fins als costats, per dintre i per fora, esbandint la sola amb aigua, i deixant-les llestes per a l'assecat.

5.4.3 Equips de protecció de dits, mans y braços

Per l'aparent vulnerabilitat dels dits, mans i braços, amb freqüència s'han d'usar equips protectors, tals equips com el guant i d'acord als seus materials i les seves diverses adaptacions fa que tinguin un ampli ús d'acord a les consideracions corresponents a la seva aplicació.

Els guants, mitones, manoplas s'han d'utilitzar en operacions que involucri maneig de material calent, o amb fils, o puntes, raspadures o esgarrinxades. Si el guant a usar és de grandària llarga s'aconsella que les mànigues cobreixin la part de fora del final del guant.

Els mitones són una varietat de guant que s'usaran on no es requereixin les destreses dels dits. Podent-se fabricar dels mateixos materials que els guants.

Les manoplas són formades per una sola peça de material protector la superfície del qual és bastant àmplia com per a cobrir el costat del palmell de la mà, igual que els mitones i els guants estan fabricats amb el mateix grup de materials.

Els materials que haurien d'usar-se per a la fabricació dels guants, mitones, i manoplas dependran del lloc on sigui l'operari i del que vagi a manejar.

Cuir o cuir reforçat: per al maneig de materials abrasius o aspres, a més d'evitar que entrin la pols, brutícia o metall calent entre els guants del treballador.

Malla metàl·lica: fabricats en metall lleuger, que protegeixen als dits, mans i braços d'eines filoses, com ganivets o punxons i de treballs pesats.

Reforçats amb tires de metall al llarg del palmell: són usats per als objectes aguts i per a sostenir millor els materials en transport amb altes temperatures.

Guants de hule sintètic: protegeixen contra solucions líquides i per a xocs elèctrics. Per a productes químics que tenen efecte deteriorant sobre el hule és necessari triar guants fabricats de material de hule sintètic.

Guants de teles: són elaborats en llana, fieltro i cotó, i alguns reforçats amb cuir, hule o pegats subjectes amb grapes d'acer. S'usen per a protegir de talls en treballs lleugers.

Guants de plàstic: usats en treballs on intervinguin riscos biològics o de contacte directe amb substàncies.

Donats el nombre de tipus de guants que hem de considerar en la nostra planta per a diferents casos serà necessari que els operaris tinguin accés a tots ells i no només al model que més utilitzin. L'opinió de l'operari sobre quins guants són més necessaris en la seva àrea de treball haurà de tenir-se molt en compte ja que és ell qui haurà de posar-se els guants.

5.4.4 Cinturons de Seguretat

Encara que serà per a usos molt puntuals s'ha de disposar en la planta de cinturons de seguretat. El reactor, les columnes, els tancs, els sistemes de canonades... durant el manteniment d'aquests equips pot ser necessari l'ús de cinturons de seguretat per a accedir a llocs concrets dels mateixos.

Els llocs que estiguin previstos inicialment per al manteniment haurien de ser accessible amb escales o plataformes. Però ja sigui per reparacions o modificacions poden aparèixer noves àrees que no tinguin accés directe. Per a garantir la seguretat de l'operari en aquestes noves àrees o augmentar-la en plataformes o escales s'utilitzaran cinturons de seguretat.

Els materials usats per a fabricar aquests cinturons són fabricats per mitjà de corretges teixides de fibra sintètica, o de cuir, en ambdós casos s'usen sistemes d'acoblament de sivelles metàl·liques i col·locats de tal manera que siguin fàcil la seva manipulació i graduació.

Per a la selecció del tipus de cinturó d'ús general en la indústria han de considerar-se les necessitats de les tasques, les quals haurien de concordar amb els cinturons disponibles.

Cinturó amb corretja per al cos: s'usen per a restringir moviments del treballador dins d'un àrea segura, per a evitar caigudes d'aquest.

Arnés per al pit: usats en casos on la llibertat de moviments en l'operari és molt important.

Arnés per al cos: s'usen en casos que el treballador ha de traspasar-se d'un costat a un altre en altures perilloses.

Cinturó de Suspensió: s'usa en casos on no sigui possible treballar en una superfície fixa i en la qual el treballador hagi de quedar totalment sostingut per un arnés per al cos.

Entre els usos més freqüents d'aquests cinturons tenim el manteniments de les columnes que impliquen la necessitat de treballar en llocs a grans altures i en superfícies d'alt risc de caiguda.

Les consideracions a tenir en compte per la selecció d'un cinturó de seguretat són:

Cal tenir en compte la resistència suficient per aturar a l'usuari. Ha de posseir un amortidor per a limitar l'impacte de la càrrega.

La distància de detenció ha de ser curta per a evitar que l'operari es copegi contra els voltants abans de parar.

Ha de considerar-se un marge de seguretat en aquests aspectes de selecció per a evitar qualsevol tipus d'error de calcul de condicions o materials.

Dins de l'ús de cinturons s'ha de tenir en compte la corda salvavides la qual ha d'estar assegurada més amunt del punt d'operació a un anclatge o un component estructural capaç de resistir pes mort mínim igual al pes de l'operari. El material de fabricació en la majoria de les cordes pot ser de nylon o cànem amb un mínim i 13mm d'espessor.

5.4.5 Vestimenta

Moltes exposicions a riscos en les indústries exigeixen la roba apropiada, en lloc de l'ordinària, o damunt d'aquestes.

Per a seleccionar aquesta indumentària és necessari tenir present precaucions com que la roba ha de donar la protecció adequada contra el risc involucrat, i que no entorpeixi els moviments del treballador.

La vestimenta pot tenir qualsevol disseny de roba que protegeixi al treballador davant la possibilitat de patir algun tipus de lesió causada pel seu treball. Bates, pantalons, davantals, camises, jaquetes, vestits complets...

L'ús de vestimenta adequada prevé en l'usuari riscos contra cremades, raspadures, dermatosis, o qualsevol lesió implicada per la feina. A més aquestes han de ser de fàcil accés, és a dir siguin fàcil de posar-se i llevar-se en cas de presentar-se algun tipus d'emergència.

Vestimentes de teles: són les mes usades per la seva versatilitat i el seu cost, ja que varien des de teles de cotó molt fines fins a l'ús del dril, el qual és molt resistent a l'acció de petits elements externs. S'uniformarà al personal de la planta amb aquest tipus de tela de manera que tots disposin d'un vestit. No obstant això segons la feina que ocupin també els equiparem amb una vestimenta més específica.

Vestimentes de cuir: s'usen per a la protecció del cos contra la calor i les esquixades de metall calent, també protegeix contra forces d'impacte no molt forts i radiacions de baixa intensitat.

Vestimentes Aluminitzades: s'usen per a protegir al treballador davant temperatures extremadament altes, fins a 1.093°C, com en el cas de reparacions de forns, gresols, tasques

d'extracció... També és usada en el combat d'incendis juntament amb l'ús de respiradors autònoms.

Vestimenta Ignifugada: és una forma que es té de tractar a les teles per mitjà d'un tractament químic bastant senzill que li permet repel·lir petites quantitats de foc en forma d'espurna o ràfegues lleugeres de foc, evitant que aquesta s'encengui i cremi en la seva totalitat ocasionant-li al treballador algun tipus de lesió.

Vestimenta impermeable (neopreno): són usades per a protecció contra pólvores, vapors, humitat, i líquids corrosius. Es disposarà d'elles de manera individual per a cada part del cos o per a tot el cos cobrint totalment al treballador, i a més un equip autònom d'aire.

No haurà distinció de sexe i per això homes i dones d'un mateix lloc haurien de dur la mateixa vestimenta.

La possibilitat que el cuir cabellut sofreixi una lesió greu es fa present quan el pèl solt es troba en moviment i pot arribar a entrar en contacte amb alguna part mòbil de la màquina en funcionament. Per raons d'higiene i seguretat serà obligatori l'ús de gorres de tela en el cap.

Els anells, polseres i arracades són causes freqüents d'accidents, per la qual cosa estarà prohibit l'ús de joies o ornaments que sobresurten en el cos en relació amb qualsevol labor amb màquina en moviment.

5.4.6 Equips de protecció al cap

El cap és una de les parts que ha d'estar millor protegida, ja que és allí on es troba el cervell i els seus components.

Els materials en els quals es fabriquen els diferents tipus de cascs i gorres, poden anar des de teles per a les gorres, com de plàstics d'alta resistència a impactes i espurnes que puguin provocar incendis, com l'ús de metalls. La classificació d'aquests equips es basa en el tipus de material.

En la nostra planta existeixen riscos importants per al cap sense incloure aquelles situacions en la qual es requereix una vestimenta especial i de tot el cos que inclou el cap. El fet de treballar entre tanta maquinaria industrial implica un risc directe que ens obligarà a equipar els nostres treballadors amb casc, qualsevol oblid pot provocar un impacte al cap de consideracions severes. Per això es disposarà de cascs a la planta per a tots els treballadors.

Casc en forma de barret o de gorra: són protectors rígids per al cap, a més protegeixen a xocs elèctrics o combinació d'ambdós. També protegeixen al cuir cabellut, la cara, i el clatell de basaments aeris d'àcids o de productes químics, així com també de líquids calents. La suspensió del casc és la part que confereix a aquest les propietats de distribuir els impactes. El folro del casc protegeix al treballador en climes freds, fent-los més ergonòmics i es pot llevar per a un clima més calorós. El casc es manté en el seu lloc gràcies al 'barboquejo', que li permeten al treballador sostenir el casc en el seu cap i evitar que aquest se li caigui.

5.4.7 Equips de protecció auditius:

Els sons s'escolten en condicions normals com una variació de diferències de pressió i arriben a cau d'orella per a després ser transmeses pels mecanismes auditius al cervell, on es produeixen diferents sensacions. Seran perjudicials aquells que excedeixin dels nivells d'exposició al soroll permesos, 85-90 dB. S'han de realitzar disminucions en la font d'emissió en aquests sorolls, però de vegades no és suficient i s'ha d'acudir a la protecció de l'oïda, sigui en la seva part interna, o directament en els canals auditius.

Els protectors per a oïdes es divideixen en dos grups principals i es proporcionaran els dos als treballadors. Encara que les orelleres proporcionen una major reducció del soroll molts treballadors se senten molt incòmodes amb elles i prefereixen els taps.

Els taps o equips d'inserció: són aquells que es col·loquen en el canal auditiu. Disminueixen el soroll en 15 dB aproximadament.

Orelleres: és una barrera acústica que es col·loca en l'oïda externa, proporcionen una atenuació. Entorn a 25 - 30 dB menys del que existeix en l'ambient.

5.4.8 Equips de protecció visual:

El protegir els ulls de lesions a causa de ens físics i químics, com també de radiacions, és vital per a qualsevol tipus de maneig de programes de seguretat industrial.

Els equips de protecció visual són bàsicament cristalls que no permeten el pas de vapors o líquids irritants que perjudiquin als diferents components de l'aparell visual humà i objectes punxants des de les grandàries més petites.

La planta disposarà de dos tipus d'ulleres, unes d'ús comú per a la gran majoria de treballs i altres per a aquells treballs amb un risc alt per als ulls degut sobretot als vapors.

Ulleres de laboratori: fabricats en materials anticorrosius i resistents a l'impacte, protegeixen als ulls d'esquixades i objectes. Els treballadors que usin lents de visió poden prescindir d'aquestes ulleres.

Ulleres de vapors químics: són fabricats de manera que mantinguin als ulls segellats hermèticament per mitjà de gomes i no permetin que aquests vapors estiguin en contacte directe. S'usen en el maneig de substàncies volàtils i tòxiques així com en l'ús d'àcids. Les ulleres permeten l'ús de lents de visió per sota d'elles i tenen una aireació màxima cap a l'interior de les lents per a evitar problemes d'entelament.

5.4.9 Equips Respiratoris

En els processos industrials es creen contaminants atmosfèrics que poden ser perillosos per a la salut dels treballadors. Han d'existir consideracions com aplicar mesures per controlar els contaminants, però existeixen casos on aquestes mesures no són suficients, pel que caldrà disposar d'equips protectors a nivell respiratori.

Existeixen situacions d'emergència on el personal està exposat a una condició insegura causada per accident inesperat, per períodes curts que posin en perill la seva salut. Encara que no siguin les situacions més comunes hauríem d'equipar la nostra planta de sistemes de respiració per a aquestes situacions.

El Metanol, el Monòxid de Carboni, l'Àcid Iodhídric i l'Àcid Acètic són tòxics, perjudicials per al sistema respiratori en major o menor mesura. Només serà en tasques concretes de neteja

o manteniment quan els operaris necessitin protegir-se d'aquests gasos amb respiradors de cartutxos químics. En cas d'accident o fuga en el procés serà necessari recórrer a les màscares de gas per a assegurar la total protecció.

Respiradors de cartutxos químics: Per gas a baixa capacitat. Aquest tipus de respiradors tapa el nas i la boca, la qual està unida per mitjà de goma a un cartutx reemplaçable. Ús en situacions normals o de no-emergència.

Màscares de gas: és una forma de mascara que s'acobla als ulls, nas i boca, la qual es troba connectades a un pot que conté un absorbent químic que protegeix a l'operari contra un determinat vapor o gas. És d'ús en situacions d'emergència.

5.6 Enllumenat

És una forma de protegir a un grup de treballadors de la indústria, ja que busca de manera visual avisar i mantenir alerta dels llocs de perill. S'ha de tenir en compte a la llum com l'element més important per a proporcionar un ambient adequat.

Proporcionar adequada llum natural i artificial sense enlluernaments, amb bona distribució dalt i sota les fonts de llum, dintre de les quals també ha de posseir bon rendiment de cromatisme. S'ha d'evitar, l'ús d'enllumenat de vapor de sodi o de mercuri no corregit. Els colors del tipus de llum poden ser d'acord a les necessitats. Aquest enllumenat ha de ser adequat en qualsevol lloc de treball, però se li ha de prestar més atenció en llocs on el soroll arribi a nivells alts i s'hagi de dependre de la vista més que de l'oïda per a adonar-se d'un risc proper.

5.6.1 Enllumenat comú

L'enllumenat comú és una part principal de la seguretat de la planta. A l'apartat de serveis està detallat les necessitats elèctriques per tal d'assegurar el correcte enllumenat de la planta.

5.6.2 Enllumenat d'emergència

Els enllumenats especials tenen per objecte corregir els riscos que poden derivar-se d'una fallada imprevista dels enllumenats normals, restablint immediatament un nivell d'il·luminació adequat, ja sigui en centres de treball o en establiments amb públic.

A continuació es detallen les característiques del sistema d'enllumenat d'emergència.

Funció: En cas de fallada dels enllumenats normals mantenir un nivell d'il·luminació suficient, de manera que permeti l'evacuació fàcil i segura de persones a l'exterior.

Alimentació: Font pròpia d'energia. Per tal d'assegurar el funcionament de l'enllumenat d'emergència. Es disposarà d'un grup electrogen d'arrencada automàtica.

Duració de la font pròpia: 1 hora com a mínim

Entrada en servei: Quan falli l'enllumenat normal o la seva tensió descendeixi per sota del 70% del seu valor nominal.

Les fallades dels enllumenats normals segons la causa que els provoqui, podran ser:

- Fallada total: fallada del subministres exteriors o actuació de la protecció principal.
- Fallada parcial: actuació de proteccions secundàries

També les fallades parcials, quan afecten completament a determinades zones d'un establiment, poden crear situacions de risc i per tant és necessari que en aquests casos entrin en servei els enllumenats especials.

Nivell d'il·luminació: Llums Incandescència 0,5 W/m², 5 lm/m². Llums Fluorescència 6 lm/m²

Deu ubicar-se: Vies d'evacuació. Soterranis. Quadre elèctric i els seus accessos. Llocs d'ús comú depenent de l'activitat que es desenvolupi, de la seva situació i de la seva grandària.

Col·locació: Es distribuiran de manera que no es creuen zones fosques i es farà coincidir amb els elements de combat del foc (extintors, polsadors, etc.) i senyals d'adreça.

5.7 Senyalització

La millor manera de seleccionar i aplicar els colors i les senyals ha de ser per raons de funcionalitat mes que per efectes decoratius. L'ús de colors d'alta lluminositat i sota cromatisme en sostres i parets s'usen per a donar fons moderats i amb bona reflexió de llum, contra el qual els colors focals i els considerats de seguretat siguin clarament visibles. Els pisos seran de colors clars per a ajudar a una reflexió general de la llum.

Les senyals hauran de ser els més visibles possibles i d'alt cromatisme, tenint el groc com ressaltador d'alts regs, obstruccions i objecte en moviment, com grues, montacàrregues, etc.). L'ús de colors amb major impacte visual com el vermell fluorescent, s'usa per a donar avisos de riscos d'incendis i d'explosió, a més d'assenyalar la ubicació de les portes d'emergència i equips contra incendi. Això també porta com a conseqüència que els colors de seguretat han de venir associats amb una forma per al seu fàcil enteniment davant d'una necessitat, fins i tot en casos de persones amb deficiències visuals, siguin focals o cromàtiques.

Per a colors usats en la identificació de la canonada seleccionarem colors vistosos. Els requisits que s'exigeixen en qualsevol ambient que es necessiti identificar colors o codis de seguretat han de ser prou contrastant i diferents a nivell de matís i lluminositat per a facilitar la seva identificació davant la presència de qualsevol llum, donant-se cert marge per a l'enfosquiment, o que s'esvaeixin els colors a causa del envelliment de la pel·lícula de la pintura.

Existeixen dins dels equips de protecció col·lectiu, l'ús dels símbols que d'acord al seu color de seguretat tindran l'atenció d'alt , mitj, o baixa risc que això comporti en el lloc on aquestes es trobin situats.

5.7.1 Senyals de la planta

La nostra planta estarà equipada amb les senyals adients per tal d'assegurar el bon funcionament i la integritat de la planta i els operaris.

Els pictogrames de les senyals seran el més senzills possible, evitant detalls inútils per a la seva comprensió. Els senyals hauran de ser d'un material que resisteixi tan bé com sigui possibles cops, les inclemències del temps i les agressions medi ambientals. Les dimensions dels senyals, així com les seves característiques colorimètriques i fotomètriques, garantirán la seva bona visibilitat i comprensió

Els senyals s'instal·laran preferentment a una altura i en una posició apropiades en relació a l'angle visual, tenint en compte possibles obstacles, en la proximitat immediata del risc o objectes que hagin de senyalitzar-se o, quan es tracti d'un risc general, en l'accés a la zona de risc. El lloc d'emplaçament del senyal haurà d'estar bé il·luminat, ser accessible i fàcilment visible. Si la il·luminació general és insuficient, s'utilitzarà una il·luminació addicional o s'utilitzaran colors fosforescents o materials fluorescents. A fi d'evitar la disminució de l'eficàcia de la senyalització no s'utilitzaran massa senyals pròxims entre ells. Els senyals haurien de retirar-se quan deixi d'existir la situació que les justificava.

Tipus de senyals:

A) Senyals d'advertiment forma triangular.

Pictograma negre sobre fons groc (el groc haurà de cobrir com a mínim el 50% de la superfície del senyal), vores negres.



Figura 5.1 Senyals d'advertiment

Com excepció, el fons del senyal sobre "matèries nocives o irritants" serà de color taronja, en comptes de groc, per a evitar confusions amb altres senyals similars utilitzades per a la regulació del tràfic per carretera.

B) Senyals de prohibició forma rodona.

Pictograma negre sobre fons blanc, bordes i banda (transversal descendent d'esquerra a dreta travessant el pictograma a 45° respecte a l'horitzontal) vermells (el vermell haurà de cobrir com a mínim el 35% de la superfície del senyal).



Figura 5.2 Senyals de prohibició

C) Senyals d'obligació forma rodona.

Pictograma blanc sobre fons blau (el blau haurà de cobrir com a mínim el 50% de la superfície del senyal).



Figura 5.3 Senyals d'obligació

D) Senyals relatius als equips de lluita contra incendis forma rectangular o quadrada.

Pictograma blanc sobre fons vermell (el vermell haurà de cobrir com a mínim el 50% de la superfície del senyal).



Figura 5.4 Senyals d'incendis

E) Senyals de salvament o socors forma rectangular o quadrada.

Pictograma blanc sobre fons verd (el verd haurà de cobrir com a mínim el 50% de la superfície del senyal)

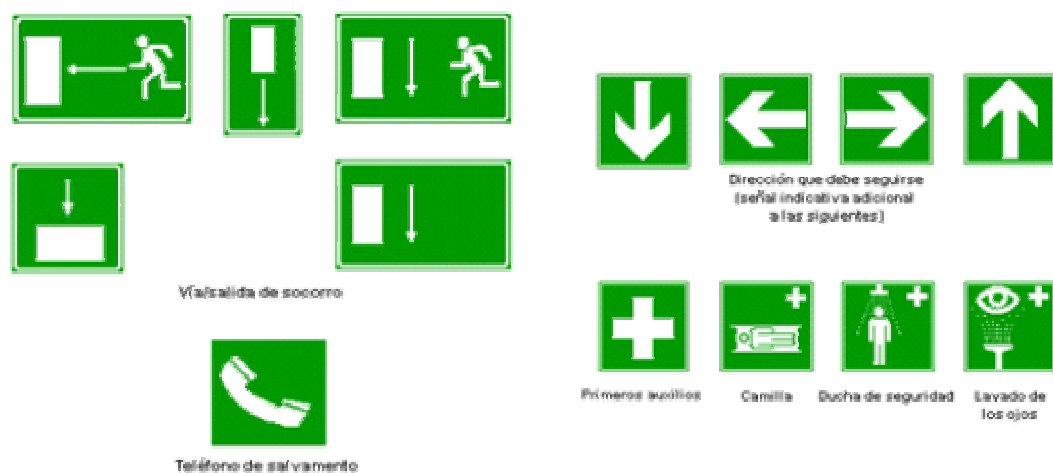


Figura 5.5 Senyals de salvament

5.7.2. Senyalització per colors

Els recipients i canonades visibles han de ser identificats per tal de garantir en tot moment el coneixement de les substàncies a manipular o properes al operari. És molt important que les canonades estiguin pintades amb el color corresponent al fluid que porten i en la mesura de la perillositat de la substància també la indicació del sentit del fluid.

CANONADES	
FLUIDS	COLOR
Olis	Marró
Àcids	Taronja
Aire	Blau
Aigua	Verd
Bases	Violeta
Gas	Groc
Buit	Gris
Vapor	Vermell

Figura 5.6 Colors de Canonades

Les etiquetes es pegaran, fixaran o pintaran en llocs visibles dels recipients o canonades. En el cas d'aquestes, les etiquetes es col·locaran al llarg de la canonada, i sempre que existeixin punts d'especial risc, com vàlvules o connexions, en la seva proximitat. La informació de

l'etiqueta podrà complementar-se amb altres dades, tals com el nom o fórmula de la substància o preparat perillós o amb el **diamant de perill**.

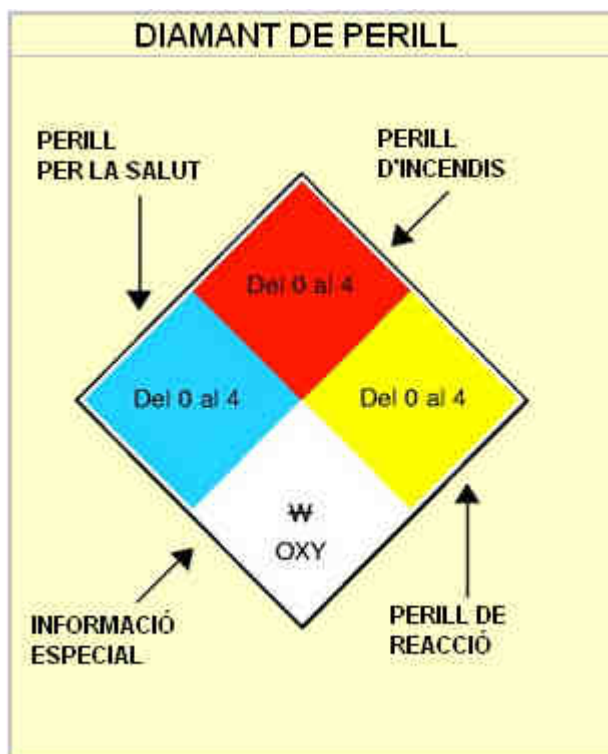


Figura 5.7 Diamant de perill

CODI DE RISC PER LA SALUT	CODI DE DE INFLAMABILITAT
0. Com material docent	0. Material que no cremen
1. Lleugerament perillós	1. Deuen calentar-se per cremar
2. Perillós. Utilitzar aparell per respirar	2. Entra en ignició al calentar-se moderadament
3. Extremadament perillós. Utilitzar vestimenta protectora	3. Entra en ignició a temperatures normals
4. Excessivament perillós el contacte en vapor o líquid	4. Extremadament inflamable
CODI DE RISC DE REACTIVITAT	CODI DE RISC INFORMACIÓ ESPECIAL
0. Estable totalment	W Substància reactiva amb l'aigua
1. Inestable si es calenta. Tomi precaucions	OXY Substància perillosa per ser molt oxidant
2. Possibilitat de canvi químic violent. Utilitzi mànega a distància	
3. Pot detonar por fort cop o calor. Manipular des de barreres	
4. Pot detonar. Evacuació de la zona si està exposat al foc	

Taula 5.2 Codi de risc

Les zones, locals o recintes utilitzats per a emmagatzemar quantitats importants de substàncies o preparats perillosos haurien d'identificar-se mitjançant el senyal d'avertiment apropiat, encara que l'ús del color corresponent i el diamant de perill també serà necessari.

L'emmagatzematge de diverses substàncies perillosos es pot indicar mitjançant el senyal d'avertiment «perill en general» i l'etiqueta corresponent a cada substància.



Figura 5.3 Exemple de senyalització

5.8 Protecció contra incendis

Per poder actuar sobre l'incendi i extingir-lo cal conèixer el seu origen, la seva naturalesa i un cop conscients de les seves característiques prendre la decisió de actuar convenientment segons el tipus d'incendi.

5.8.1 Origen i naturalesa dels incendis

Perquè es doni un incendi s'han de donar la combinació de tres factors: combustible, agent comburent i energia d'activació. El combustible es pot definir com el compost susceptible de mesclar-se amb l'oxigen (agent comburent) de forma ràpida i exotèrmica.

Segons la naturalesa dels combustibles (origen del incendi) es classifiquen de la següent manera:

Classe A: foc produït per combustibles de material ordinari com fusta, cartó, tela, goma, hule, etc. S'extingeix amb CO₂ i aigua.

Classe B: foc produït per combustibles líquids i gasosos com benzina, petroli, alcohol, dissolvent, gas, etc. S'extingeix amb CO₂ i pols seca com Potassi.

Classe C: foc produït per equips i línies elèctriques. S'extingeix amb el mateix que els focs del classe A i B.

Classe D: foc produït per metalls combustibles i al·leacions de metalls com magnesi, sodi, circoni, etc. S'extingeix amb tècniques especials.

Classe K: foc produït per equips de cuina industrial o domèstica.

A la nostra planta els més probables són els focs de la classe A, B i C. Els de la classe A en concret a la zona d'oficines, els de la classe B a tota la planta degut a la nostra producció i les matèries primes que utilitzem i els de classe C a tots el llocs on tenim instal·lació elèctrica, o sigui a totes les zones.

5.8.2 Lluita contra incendis

La lluita contra incendis es realitza en 3 temps:

- Detecció
- Extinció

- Evacuació

Detecció

Una bona detecció de l'incendi ens pot permetre actuar sobre el mateix al poc temps de formar-se i per tant serà més fàcil extingir-lo. Existeix una gran varietat de detectors que poden actuar directament sobre dispositius automàtics contra incendis, o que funcionen com alarmes per avisar.

Extinció

Per extingir el foc s'ha de actuar sobre un dels elements que possibiliten la existència del foc: combustible, comburent i energia d'activació. Sobre el combustible es pot actuar diluint-lo, separant-lo del comburent o substituint-lo per altre substància no-inflamable. Sobre el comburent (oxigen) es pot actuar ventilant-lo, substituint-lo per un inert (nitrogen)... Sobre la energia d'activació es pot actuar refredant, evitant el focus d'ignició...

Evacuació

Un cop detectat l'incendi i fet tot el possible per extingir-lo, s'ha de procedir a l'evacuació de les persones per evitar majors desgràcies. La evacuació de la planta està prevista i programada en el pla de emergència intern (PEI). En aquest document s'estableix un organisme per actuar en cas d'emergència per accident, i es determina qui seran els empleats de la empresa que tindran la responsabilitat de coordinar una evacuació ordenada. Aquestes persones han de rebre l'entrenament adequat per part de la mateixa empresa.

5.8.3 Equips de detecció d'incendis

La detecció de l'incendi deu ser el més ràpid possible per posar en marxa la resta de procediments previst per el pla d'emergència intern o extern. El sistema de detecció d'un foc es denomina detector i el podem classificar de forma genèrica en dos grans grups: automàtics i manuals. Els primers detecten el foc i avisen a un òrgan central de la existència del foc. Els manuals estan col·locats en llocs accessibles i actuen en forma de alarma que es rebuda per el mateix òrgan central.

L'òrgan central de control serà l'encarregat de definir la estratègia de control, això inclou decidir on i que tipus de detectors es posen a lo llarg de tota la planta. A més ha de controlar l'estat de funcionament del sistema i senyalitzar alarmes, averies i l'estat dels sistemes localitzant-los per indicar l'origen de la senyal.

Detectors automàtics

-Detectors tèrmics (infraroig)

Alerten amb la presència d'un foc tèrmic dins del recinte on es troben i envien una senyal al centre de control.

-Detectors de termovelocimètric

Es basen en mesurar la velocitat del gas contingut en l'espai tancat, que com conseqüència d'un foc es veuria alterada. Modificació percebuda per el detector que emet una senyal a l'òrgan central.

-Detectors iònics

Durant un incendi es produeixen ions, els quals son percebuts per el detector, actuant de la mateixa forma que els anteriors.

Detectors manuals

-Pulsadors manuals

Es troben en recintes de fàcil accés i consisteixen en un timbre o una senyal elèctrica que arriba al òrgan central de control.

A la nostra planta instal·larem detectors tèrmics en els recintes tancats com oficines, sala de control, magatzems ... El tipus específic de detector tèrmic es decidirà en funció del risc d'incendi de cada zona, altura del lloc, superfície màxima a controlar ...

A més del detectors tèrmics tindrem un pulsador d'emergència a cada zona. Els pulsadors han d'estar col·locats a prop de les sortides d'emergència de forma que en cas d'incendi no obliguin al operaris a fer altre camí, a més als llocs on sigui necessari s'instal·larà més d'un per tal d'assegurar que tots els treballadors en troben un cada 60 m².

5.8.4 Equips de extinció d'incendis

El tipus d'equips d'extinció estan relacionats amb l'origen i la naturalesa del incendi. Per això es distingirà entre 4 formes d'extinció.

-Sufocació

Actuem sobre el comburent evitant la aportació d'oxigen al combustible. Es recobreix el combustible per tal d'aïllar-lo. S'utilitzen materials no combustibles com espuma o pols. En els casos d'intensitat del foc petita es podria també utilitzar una manta ignífuga.

L'aportació d'un gas inert com el diòxid de carboni o nitrogen és una alternativa per tal de desplaçar l'oxigen.

-Refredament

Actuem sobre la energia d'activació, eliminant-la mitjançant la addició d'un agent absorbent de energia. És una tècnica molt utilitzada per aïllar un foc i evitar que es propagui. Es tracta de refredar la resta de dependències perquè el foc no es pugui propagar.

-Eliminació

Es talla el subministrament de combustible que crea el foc.

-Inhibició

S'inhibeix com el seu nom diu la reacció que produeix el foc. Es tracta d'eliminar els radicals lliures que generen la reacció en cadena utilitzant una combinació amb altres radicals lliures.

Normalment i sempre que es pugui la millor manera d'actuar serà la combinació de més d'una forma per augmentar la efectivitat i acabar amb l'incendi.

Dintre de la nostra planta disposarem de 4 tipus d'agents extintors. Aquests agents estaran repartits per la planta segons les necessitats de cada zona. Segons la classe de foc que es pugui ocasionar serà necessari un agent extintor o altre.

D'aquesta manera equiparem la nostra planta amb els següents agents extintors:

5.8.4.1 Extintors portàtils

L'ús d'aquest tipus d'extintors ve regulat per el codi de disseny de sistemes contra incendi NFPA, on es poden veure els passos a seguir per una adequada selecció, distribució, inspecció, manteniment i prova hidrostàtica.

La col·locació dels extintors seguirà les següents pautes:

- Han d'estar en aquelles zones amb més possibilitats d'incendi, sortides i zones amb més fàcil accessibilitat i visibilitat.
- Es col·locaran a sobre de suports fixos, de manera que quedin a una altura del sòl de 1,20-1,70 m.
- Els extintors que estiguin sotmesos a possibles danys hauran d'estar protegits.

Els extintors estaran col·locats per tota les zones de la planta de forma estratègica. A més s'hauran d'instal·lar tots els extintors que siguin necessaris per tal de complir que la distància màxima a recórrer en busca d'un no superi els 25m.

5.8.4.2 Boques d'Incendis Equipades (BIE)

Aquestes boques consisteixen en instal·lacions que permeten de forma independent una primera intervenció sobre l'incendi. Estan compostes per una vàlvula, manòmetre i mànega.

El seu ús i equipament està regulat per la llei per la qual cosa serà necessari complir revisions, verificació, manteniment i proves per tal d'assegurar el seu bon funcionament.

Aquestes boques estaran repartides per la planta de forma que entre cadascuna no hi hagi més de 50 m i la distància des de qualsevol punt a la BIE no superi els 25 m.

Instal·larem les denominades BIE 25 que permeten donar una cabal de 6 m³/h d'aigua per sufocar l'incendi.

5.8.4.3 Sprinkler

Aquest tipus d'agent extintor és automàtic i actua en el moment en que es detecta l'incendi. Són uns difusors que es solen instal·lar en els sostres dels edificis tancats i que un cop detectat el foc fan sonar l'alarma i extingeixen el foc.

És un dels dispositius més efectius pel seu caràcter d'actuació directa i automàtic, però pot arribar a ocasionar danys seriosos en cas de disparar-se incorrectament.

Aquest agent s'utilitza a la zona d'oficines, magatzem i vestuaris ja que és idoni per als edificis tancats.

5.8.4.4 Equips Hidrants

Aquest equips són semblants als BIE perquè permeten incidir de forma directa sobre l'incendi amb un gran cabal d'aigua. Els equips hidrants permeten obtenir un cabal major d'aigua, però el seu ús està destinat al servei públic (bombers).

Aquest tipus d'agent serà molt important en cas d'incendi important que no es pugui sufocar amb altres agents. Arribats a aquest punt el servei públic es farà càrrec de l'incendi i utilitzarà els equips hidrants.

Serà necessari disposar de dos hidrants a la zona de tancs degut al seu alt risc d'incendi i les possibles conseqüències en cas del mateix. La zona de producció també disposarà de diferents hidrants. Estaran repartits per la planta a uns 50 m de la superfície del incendi i a menys de 100 m de les façanes, amb un cabal de 1.000 l/min (acceptable 500 l/min), amb una pressió de 1 kg/cm².

5.8.4.5 Distribució dels agents

A continuació es detallen els agents específics de cada zona de la planta **a part dels obligatoris per extensió**.

Parc de Tancs (Zona 100)

Aquesta és la zona de més risc d'incendi de la planta. És una de les zones classificades com es detalla més endavant que té, a més, equips propis i específics.

Els extintors d'aquesta zona no seran molt efectius en cas d'incendi degut a les magnituds que es podrien arribar. Per això no s'instal·laran més extintors del necessaris per la normativa, 1 cada 25m.

Al voltant dels tancs i la zona de càrrega i descàrrega s'instal·laran Sprinklers. Encara que aquests equips tenen una major eficàcia dins de llocs tancats l'alt risc d'aquesta fa necessari també la seva utilització.

Es posaran hidrants als diferents llocs estratègics del parc de tancs per permetre l'actuació dels bombers en cas d'incendi sobre tots els tancs. Hi haurà 2 hidrants al voltant de grup 1 (15 tancs) i també 2 hidrants al voltant del grup 2 (4 tancs de CO).

Reacció (Zona 200)

Dins 'aquesta zona els extintors tenen un paper molt important. Aquest extintors seran de diòxid de carboni com agent extintor (CO₂).

L'àrea 200 consta de 2 plantes i per tant hi haurà 2 BIE, una a cada planta.

Tractament de gasos (Zona 300)

El extintors es posaran de CO₂ i cada 10 m.

Purificació (Zona 400)

Com a la zona de reacció també serà una part molt important del sistema contra incendis d'aquesta zona. El extintors es posaran de CO₂.

L'àrea 400 consta de 3 plantes i per tant hi haurà 3 BIE, una a cada planta.

Serveis (Zona 500)

Com a la zona de reacció també serà una part molt important del sistema contra incendis d'aquesta zona. El extintors es posaran de CO₂.

Taller i magatzem (Zona 600)

A aquesta zona es col·locaran un extintor a les sortides i entrades de cada planta, tenint sempre un cada 25m. Els extintors seran portàtils per permetre una actuació ràpida i eficaç.

Dins de l'edifici s'instal·laran una BIE a cada planta i el més a prop possible de les sortides.

La instal·lació de Sprinkler a edificis tancats és on resulta més eficaç la seva utilització. Per això seran necessaris dins del magatzem i taller.

Oficines i vestuaris (Zona 700)

La zona d'oficines i vestuaris es de característiques semblants al magatzem i taller degut al seu caràcter d'edifici, es per això que tindrà les mateixes necessitats d'equips.

Extintors a les sortides i entrades, tenint sempre un cada 25m. Dins de l'edifici s'instal·laran una BIE a cada planta i el més a prop possible de les sortides, també s'instal·laran Sprinklers.

5.8.4 Evacuació.

Aquest es el darrer pas del pla d'actuació contra incendis que s'ha definit. Aquest pas es tractarà al darrer punt de Seguretat on hem detallat de manera concisa el **pla d'emergència intern (PEI)** de la nostra planta.

5.8.6 Àrees classificades

En la nostre planta podem definir dues zones com àrea classificades. Aquestes dues àrees requeriran d'una especial atenció:

- Parc de tancs
- Àrea de reacció

5.8.6.1 Parc de tancs

El principal risc d'aquesta zona es la alta inflamabilitat les productes emmagatzemats. Per aquesta raó el disseny del parc de tancs s'ha realitzat seguint la normativa espanyola per l'emmagatzematge de productes inflamables: ITC-MIE-APQ-001.

El parc de tancs està compost per 19 tancs repartits en dos grups per necessitats de seguretat, el disseny dels tancs i el seu càlcul està detallat a la part de manual de càlcul:

Grup 1

5 tancs de Metanol

1 tanc d'Àcid Propiònic

4 tancs d'Àcid Acetic 70%

5 tancs d'Àcid Acetic 5

Grup 2

4 tancs de CO

- Distància entre tancs: la distància que s'ha de mantenir entre els tancs de emmagatzematge depèn del tipus de tanc.

El primer grup els tancs han de estar separats per una distància mínima de 3,4 m.

El segon grup, els tancs de CO, han d'estar separats per una distància mínima de 4,4 m.

A més s'ha de mantenir 1m de distància des de els tancs fins el carrer més pròxim. Tota aquest informació es mostra en el diagrama d'implementació.

El parc de tancs necessita de unes instal·lacions pròpies contra incendis:

-Venteig: són necessaris per eliminar una possible sobrepressió dins del tanc. El seu disseny està detallat en l'apartat sobre els tancs del manual de càlcul.

El tanc de Metanol porta un sistema de venteig propi per tal d'assegurar la seva estabilitat. El disseny del sistema de venteig està detallat al manual de càlcul.

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

-Cubetos: la seva funció és la de contenir un possible vessament tòxic i evitar que s'expandeixi, facilitant la seva recollida. S'han dissenyat 2 cubetos, un per cada grup de tancs. El cubeto ha de tenir capacitat per contenir el volum del tanc més gran o el 10% del volum de la suma de tots el tancs.

Grup 1

El tanc de major volum es el de Àcid Acètic que té un volum de 97 m^3 i la suma de tots els tancs es de 1289 m^3 , el 10% del total serà $128,9 \text{ m}^3$. Dissenyarem el cubeto per contenir $128,9 \text{ m}^3$ de volum.

Al diagrama d'implantació es pot veure la distribució dels tancs i les distàncies de seguretat que hi ha entre tanc i tanc. S'ha de deixar 3,4 m entre cada tanc per seguretat i 2,9 m amb el darrer tanc, d'Àcid Propiònic. A més es deixa una distància de 1,5 m des de els tanc dins la paret del cubeto.

A partir de la llargada i l'amplada del cubeto es calcula la seva alçada segons l'equació següent:

$$V_{\text{cubeto}} = (L \cdot L' \cdot H) - V_{\text{submergit}}$$

L: longitud del cubeto; 52,8 m.

L': ample del cubeto; 13,4 m.

H: altura del cubeto.

$V_{\text{submergit}}$: volum dels altres tanc que queden submergits

$V_{\text{submergit}}$:

Metanol: $(\pi \cdot H \cdot 1,25^2) \cdot 5$ tancs

Àcid Propiònic: $(\pi \cdot H \cdot 1^2) \cdot 1$ tanc

Àcid Acètic 70%: $(\pi \cdot H \cdot 1,75^2) \cdot 4$ tancs

Àcid Acètic Glacial: $(\pi \cdot H \cdot 1,75^2) \cdot 5$ tancs

H = 0,21 m

Es sobredimensiona a 0,5 m d'alçada del cubeto.

Grup 2

En el grup 2 hi ha el 4 tancs de CO amb un volum de 80 m^3 i la suma de tots els tancs es de 320 m^3 , el 10% del total serà 32 m^3 . Es dissenya el cubeto per contenir 80 m^3 de volum.

Al diagrama d'implantació es pot veure la distribució dels tancs i les distàncies de seguretat que hi ha entre tanc i tanc. S'ha de deixar 4,4 m entre cada tanc per seguretat. A més es deixa una distància de 1,5 m des de els tanc fins la paret del cubeto.

A partir de la llargada i l'amplada del cubeto es calcula la seva alçada segons l'equació següent:

$$V_{\text{cubeto}} = (L \cdot L' \cdot H) - V_{\text{submergit}}$$

L: longitud del cubeto; 14,4 m.

L': ample del cubeto; 14,4 m.

H: altura del cubeto.

$V_{\text{submergit}}$: volum dels altres tanc que queden submergits

$V_{\text{submergit}}$:

$$CO: (\pi \cdot H \cdot 1,75^2) \cdot 4 \text{ tancs}$$

$$H = 0,47 \text{ m}$$

Es sobredimensiona a 0,6 m d'alçada del cubeto.

-Zona de càrrega i descàrrega: Està amb el sol impermeabilitzat i amb un desnivell mínim del 1% per facilitar la recollida en cas de accident o vessament.

-Reixa: per protegir el parc de tancs de agressions externes s'enreixa tot el perímetre amb una malla metàl·lica de 2 m de altura.

5.8.6.2 Àrea de reacció

Hem de tenir cura especial per alguns llocs en concret de l'àrea de producció. Aquest punts són:

- Tots els equips i canonades que contenen un fluid a elevada temperatura estan protegits per aïllant tèrmic.
- El sol està pavimentat amb materials impermeables i ha sigut construït amb un desnivell per desviar els vessaments fins la xarxa de drenatge.

5.8.7 Aigua contra incendis.

Per tal d'assegurar les necessitats d'aigua contra incendis de les diferents boques s'ha de disposar d'una xarxa d'aigua d'extinció d'incendis. Aquesta tindrà forma d'anell bidireccional amb una secció de canonada suficient per subministrar el cabal d'aigua necessari. Aquesta xarxa anirà connectant els hidrants de acople ràpid mitjançant les boques. Aquests aniran situats en zones on es puguin requerir quantitats importants d'aigua, com la zona de procés i parc de tancs.

La planta està equipada amb un total de 17 BIE i 11 Hidrants que es poden observar en el diagrama d'implantació contra incendis.

Hem de garantir com a mínim l'abast per dos BIE durant una hora i un Hidrant durant dues hores funcionant simultàniament. Els BIE necessiten un cabal de $6 \text{ m}^3/\text{h}$ i l'hidrant $60 \text{ m}^3/\text{h}$.

Bassa contra incendis.

La norma diu que la utilització d'una font d'aigua teòricament inexhaurible (rius, embassaments ...) són suficients com reserva d'aigua. Però en el cas de no hi hagin, com es aquest cas, s'ha de dissenyar una bassa d'aigua contra incendis.

La bassa contra incendis haurà de contenir $132 \text{ m}^3/\text{h}$, es dimensionarà per contenir 160 m^3 . La pressió que suporta es fixa mitjançant una bomba Jockey a 7 kg/cm^2 .

El disseny de la bassa ha de ser circular per repartir millor la pressió de l'aigua sobre les cementacions. A més aquesta geometria aporta un millor ratio (Superfície Ocupada/Volum Albergat).

La bassa tindrà un volum màxim de 190 m^3 amb secció circular i un diàmetre de 15 m i altura de 3 m. El volum total ocupat serà de 160 m^3 per qüestions de seguretat (evitar desbordaments

o descàrrega obligada d'aigua de procés). El nivell de l'aigua en condicions normals serà de 2,5 m.

Bombes DCI

La estació de bombeig d'aigua contra incendis estarà composta per tres bombes; una bomba jockey i una bomba diesel que alimentaran el circuit d'aigua contra incendis. L'equip serà proporcionat per la empresa italiana Calpeda i l'equip tindrà les següents característiques:

Marca: Calpeda

Model: AUM 21 100/250

Caudal màxim: 600m³/h

5.9 Higiene industrial

La higiene industrial és el conjunt de coneixements tècnic dedicats a respondre, avaluar i controlar aquells factors de l'ambient, psicològics o tensionals que provenen del treball i que poden causar malalties o deteriorar la salut.

Seguint lo estipulat al RD 486/1997 serà necessari garantir al treballador una higiene industrial que no impliqui riscos en la seva salut. Per això serà necessari:

Aigua potable

Vestuaris, dutxes, lavabos i vaters

Locals de descans

Aigua Potable

Disposaran d'aigua potable suficient per tots els treballadors i fàcilment accessible. Això implicarà la instal·lació de fonts d'aigua a cada sector de treball de manera que tots els treballadors puguin accedir a les mateixes sense dificultats ni tenir que recórrer més de 200 m.

En tots els subministres d'aigua s'indicarà si aquesta és o no potable.

Vestuaris, dutxes, lavabos i retretes

La planta estarà equipada amb un vestuari general amb dos secció (homes i dones) per tal de que els treballadors es puguin desvestir al entrar a la feina. Serà en aquest vestuari on els treballadors s'hauran d'equipar amb les vestimentes específiques del seu lloc de treball.

Els vestuaris estaran proveïts de seients i taquilles individuals amb clau. Les taquilles per a la roba de treball i per a la de carrer estaran separats per evitar contaminació, brutícia o humitat de la roba de treball.

Dins del vestidor hi haurà lavabo amb miralls, dutxes amb aigua corrent i calenta, sabó i tovalloles individuals. Els vaters disposaran de descàrrega automàtica d'aigua i paper higiènic. En els vaters de dones s'instal·laran recipients especials i tancats. Les cabines dels vaters estaran proveïdes d'una porta amb tancament interior i d'un penjador.

Locals de descans

Dins de la planta s'instal·larà una sala de descans per tal que els treballadors puguin gaudir del seu temps de descans equipada amb taules i cadires. Dintre de la sala es podrà menjar i beure, però no fumar. A més s'equiparà un microones per que els treballadors que ho desitgin puguin utilitzar-ho per el menjar que portin de fora.

5.10 Instal·lacions elèctriques

A l'apartat de servies hem indicat la instal·lació elèctrica de la planta. Transformen alta tensió a baixa tensió mitjançant la implantació de estacions transformadores. A partir d'aquestes surten les diferents línies de corrent per les diverses àrees de la planta.

La legislació que tenim que atendre en el tema d'instal·lacions elèctriques és el Reglamento Electrotécnico De Baja Tensión Real Decreto 842/2002 que modifica al anterior.

Segons la legislació la nostra instal·lació es troba dintre de la Classe I. En aquesta classe s'inclouen els llocs on existeix o pot existir gasos, vapors en quantitat suficients per produir atmosferes explosives o inflamables. Dintre d'aquesta classe diferenciem 3 zones:

Zona 0: La atmosfera de gas explosiu està present de forma contínua.

Zona 1: La atmosfera inflamable només està present de forma periòdica.

Zona 2: En condicions normals no hi ha atmosfera inflamable.

Per disminuir el risc d'explosions s'adoptarà una sèrie de mesures. Aquestes mesures s'adopten amb la intenció de garantir la seguretat de la empresa, complint amb la legislació vigent i evitant arribar a situacions sancionables per l'autoritat competent. Però a més suposen una mesura per augmentar la eficàcia i el manteniment de les condicions d'operació. Això reportarà avantatges econòmics a llarg termini.

- Els motors elèctrics de les bombes impulsores de fluids estaran reclusos dins d'unes caixes de protecció (Caja Antideflagrante) amb el fi de que en el cas que es produeixin guspies en cap moment es posin en contacte amb el fluid. D'aquesta manera evitem que s'origini un incendi de fàcil propagació al llarg de la canonada i instal·lacions properes. Aquesta mesura es aplicable a qualsevol equip dotat de motor elèctric.

- Recobrir els cables que transportin corrent elèctric al llarg de la instal·lació amb una capa de aïllant elèctric. Amb la doble missió de impedir descàrregues elèctriques al exterior i augmentar la eficàcia del transport de la corrent elèctrica. Els cables subterranis estan exempts d'aquesta mesura.

- Instal·lació de connexió d'una línia a terra. Però realitzant un estudi previ de la morfologia del subsòl, per evitar la presència de roques que impedeixin la alliberació ràpida de un excés de corrent eliminada a terra.

- Instal·lar una antena Pararaigs. Aquesta antena es molt important en especial a la zona on tenim instal·lades les columnes de rectificació. En cas de tempesta pot evitar una descàrrega directa sobre els punts més alts de la planta.

5.11 Pla de emergència intern (PEI)

5.11.1 Objectiu del Pla de emergència intern

El present Pla pretén precisar las actuacions que tendeixen a controlar les possibles emergències que os poden produir a la factoria que Engiquim Solutions té a Zona Franca (BARCELONA); així com determinar qui portarà a termini aquestes accions, quan actuaran i la manera i el lloc en que ho faran. Aquest Pla es revisarà ANUALMENT.

5.11.2 Factors de risc i classificació de possibles emergències.

Donat que els productes que es manipulen a la planta en qualsevol de les seves fases d'elaboració (matèries primes, productes intermedis i productes acabats) poden ser perillosos en major o menor grau en quant a la seva toxicitat, inflamabilitat i/o reactivitat, es per això necessari prevenir aquests riscos.

Per tractar d'evitar que en la manipulació de productes perillosos es produeixin accidents tenim las normes generals de seguretat que són de caràcter obligatori per tot el personal de la planta.

Per coordinar les actuacions que tendeixen a controlar els possibles accidents es consideraran las distintes situacions d'emergència que com a conseqüència de les mateixes es poden produir:

5.11.2.1 Conats d'emergència

Petits vessaments o abocaments accidentals que poden ser controlats de forma senzilla i ràpida per el personal que treballa a la zona, en que es produeix amb els medis al seu abast en aquest moment i accionar les vàlvules de vessaments que procedeixin.

5.11.2.2 Emergència parcial

Abocaments o vessaments accidentals, o incendis d'una cuba, llauna o bidó aïllat, que poden ser controlats i dominats per l'equip d'emergència, de la zona on es produeix l'accident i accionar les vàlvules de vessament que procedeixin.

5.11.2.3 Emergència general

Abocaments o vessaments accidental i incendi de magnitud tal, que per ser controlat i dominat es requereixen la actuació, de tots els medis i equips d'emergència de la factoria, així com la ajuda del medis de auxili i salvament exteriors i la evacuació de les persones de les zones afectades colindants, per las que el accident en qüestió, pot representar un perill potencial i accionar les vàlvules de vessament que procedeixin.

5.11.3 Accions

5.11.3.1 Conato d'emergència.

Els procediments Standard de control de abocaments i vessaments accidentals estableixen les accions a portar a terme en cas de tal emergència.

Veure Annex 1.

5.11.3.2 Emergència parcial.

Els procediments Standard de Control de vessaments accidentals i el Pla d'actuació en cas d'Incendi, estableixen les accions a portar a terme en cas de tal emergència.

Veure Annex 2.

5.11.3.3 Emergència general.

Veure Annex 1.

5.11.3.4 Vàlvules de vessament

Es procedirà al tancament de les vàlvules de vessament en el cas de qualsevol de les emergències dels apartats 5.11.3.1, 5.11.3.2, i 5.11.3.3 o en el cas d'un incendi.

5.11.4 Equips d'emergència

5.11.4.1 Cap d'Emergència

El Cap d'Emergència es el Plant Manager.

En la seva absència, les decisions en cas d'emergència seran posades per el Cap d'Intervenció.

5.11.4.2 Cap d'Evacuació

El Cap d'Evacuació és el director de Recursos Humans. La seva missió es coordinar i controlar l'evacuació de les persones de la Planta. Rebrà les novetats dels encarregats o caps de secció i mantindrà informat al Cap d'Emergència de la situació del personal.

En la seva absència, serà el Cap d'Intervenció.

5.11.4.3 Cap d'Intervenció

El cap d'Intervenció és el Cap de fabricació.

5.11.4.4 Equips de 1^a Intervenció (E.P.I.)

El cos de Bombers és el equip de primera intervenció, per trobar-se el parc de bombers a una distància propera a la planta, sent el seu temps de resposta entre 5-6 minuts des de que rebran la trucada fins la porta de Planta.

També s'ha de tenir en compte, que el personal disponible en algun dels torns de fabricació pot arribar a ser inferior a 5 persones, i no ser possible el fer un equip d'intervenció, amb garanties de seguretat.

El Cap d'Emergència o en la seva absència el Cap d'Intervenció, serà els que indiquin als Bombers, on s'han de dirigir per combatre el foc.

5.11.4.5 Equip de 2^a intervenció

Aquest equip el componen els encarregats i tots els operaris de Fabricació i Magatzems. Només intervindran en cas d'autorització del Cap d'Emergències.

5.11.4.6 Equip de 3^a intervenció

Aquest equip el componen la resta de personal de la Planta. Només intervindran en cas de que el Cap d'Emergències necessiti el seu suport o ajuda en casos específics.

5.11.4.7 Composició dels equips durant els diferents torns de fabricació.

5.11.4.7.1 Primer i segon torn.

Durant els torns de matí i tarda de dilluns a divendres, haurà presència en planta de personal de totes les seccions, si bé una mica més reduïda en número per la tarda. Podran formar els equips de 2^a intervenció i 3^a intervenció amb garanties.

5.11.4.7.2 Vigilància nocturna

Durant la Vigilància nocturna, des de las 22 fins las 6 hores, haurà una persona en la Planta que s'encarregarà de ser qui realitzarà les trucades de alarma; bombers, personal responsable, etc.

5.11.4.7.3 Caps de setmana i festius

Excepte casos especials en los que hi hagi personal de Fabricació els caps de setmana de les 6 hores del Dissabte fins les 6 hores del Dilluns haurà en la Planta personal encarregat de la Seguretat de la Planta. Igualment els dies festius des de les 6 hores del primer dia festiu.

5.11.4.7.4 Període Vacacional

- Mes d'Agost

La organització del període vacacional durant tot el mes d'Agost es realitzarà de tal forma, que sempre hi hagi una persona encarregada de la vigilància de la Planta durant les 24 hores.

- Nadal

Entre els dies 24/12 al 02/01 l'Equip de Primera Intervenció estarà format per la persona encarregada de la vigilància de la Planta en cada un dels tres torns.

5.11.4.8 Equip de Primers Auxilis (E.P.A.)

Aquest equip estarà format per un grup de empleats voluntaris. Aquestes persones estaran sota el càrrec del Cap d'Emergència i disponibles per una possible intervenció en cas de que fora necessari.

ANNEX 1

Vessaments de materials o abocaments perillosos.

Establir procediments per minimitzar els danys ocasionats al Medi Ambient i la imatge pública de la Empresa, per qualsevol vessament de Materials Perillosos.

NORMES:

1- Els vessaments de desfets químics o materials perillosos en general com dissolvents, gasos... que representen un perill per al Medi Ambient estan prohibits per la Llei i deuen ser evitats. Això inclou qualsevol tipus de vessaments, dels materials anteriorment mencionats o d'altres que es sospiti que poden representar perill potencial; que poden arribar a la xarxa general de desguàs mitjançant els desguàs interior dels edificis de la planta o del desguàs exterior de aigua de pluja, o de qualsevol tipus.

2- Qualsevol empleat de la planta que es trobi amb un vessaments de aquestes característiques, pondrà en marxa qualsevol acció urgent per controlar el vessament i avisar urgentment al seu encarregat o en el seu defecte al Cap de Fabricació. En cas de no estar ni l'encarregat ni el Cap de Fabricació pondrà en marxa la regla 3 de aquest PEI i tancarà les vàlvules de vessament que procedeixin.

3- L'encarregat o el Cap de Fabricació o qualsevol empleat ordenarà:

- A. Qualsevol acció urgent per contenir el vessament, prevenir altres imminents vessaments i minimitzar el risc d'incendi i explosió.
- B. Avisarà personal i immediatament al Cap de Fabricació o en el seu defecte al Encarregat de Fabricació o de Magatzems.

En cas de no poder contactar directament, ho farà mitjançant la Operadora de la Centralita, advertint de la urgència del cas.

Informarà sobre:

1. Localització
2. Material del vessament
3. Quantitat estimada de vessament
4. Quantitat estimada que arriba a la xarxa de desguàs.

4- El Cap de fabricació o en el seu defecte la persona encarregada del Control del Vessament pondrà immediatament en marxa el Procediment de Control de Vessaments de Materials Peril·losos.

5- En cas de que el vessament arribi a la xarxa de desguàs, el Cap de Fabricació o les persones que el substitueixin informaran immediatament al Director de la Planta del tal fet detallant totes les circumstàncies del mateix.

6- En el cas de que el vessament sigui lo suficientment important que arribi fins la opinió pública i/o medis de comunicació, el Cap de fabricació donarà ordres expressos al personal de Seguretat de la Planta, per denegar el pas a la mateixa i en particular a l'àrea afectada, a totes aquelles persones alienes a la Planta. En el cas de que sigui requerida informació, aquesta sempre es realitzarà mitjançant el PLANT MANAGER.

7- El supervisor de l'àrea on es va produir el vessament realitzarà un informe escrit detallant tota la informació anteriorment detallada en B i totes les demés circumstàncies que es refereixin al vessament. L'informe es dirigirà al Director de la Planta.

8- El Cap de fabricació o persona que va dirigir les operacions farà un informe escrit que deu incloure informació rebuda i detallada pormenoritzats (incloure registre horari) de les accions preses per el control del vessament.

RESPONSABILITAT: Es responsabilitza de cada empleat de la planta el complir amb aquestes regles.

ANNEX 2

Control de vessaments accidentals

En compliment amb la legislació vigent i la política de la empresa de protecció del Medi Ambient, el següent procediment serà seguit en el cas de un vessament.

Sota cap circumstància es permetrà que altres líquids que no siguin aigua de refrigeració neta, o aigua de pluja, entrin per el clavegueram i sistemes de desguàs de la Planta.

Aquest procediment es deu seguir per protegir el Medi Ambient i els nuclis de població de veïns, de contaminació que provenen de vessaments accidentals.

NORMES:

1- Independentment de la grandària i tipus de vessament tota persona que observi un es dirigirà immediatament al lloc on estigui situada el clavegueram més pròxim i procedirà a tancar-lo. Si el vessament es de suficient quantitat que pogués arribar a altres claveguerams, es deuen tancar totes els claveguerams susceptibles de ser arribats per el vessament i tancar les vàlvules de vessament que procedeixin.

2- Utilitzant l'Annex 1 procedir a informar del vessament.

3- L'Equip de Primera Intervenció sota la direcció del Cap de Fabricació o del encarregat de torn, es farà càrrec del control del vessament actuant sempre en conformitat amb l'Annex 1.

4- Identificar el material del vessament i utilitzar el procediment adequat per controlar el risc d'accident i per la seva neteja.

NOTA: En cas que sigui necessari, i en absència del Cap de Fabricació, l'encarregat de Planta o de Magatzem dirigirà les operacions de control i neteja fins la seva finalització.

ANNEX 3

Pla d'actuació en cas d'incendi

L'objecte d'aquest Annex es establir la seqüència d'accions a desenvolupar, en cas d'incendi per reduir-lo, controlar-lo o minimitzar els seus efectes. Per fer-ho definirà què s'ha de fer, qui ho deu fer, quan, com i on es deu fer.

NORMES:

1- La persona que veu el foc acciona la alarma i a continuació intenta apagar el foc amb els medis al seu abast.

2- Telefonista: Al sentir la senyal a la Central de Seguretat, identifica la zona en la que s'ha accionat el foc i per megafonia o per telefono crida al Cap de Fabricació, Cap d'Emergència o al Cap d'equip de segona intervenció amb el següent missatge:

-DIRIGIRSE A LA ZONA...

ZONES:

Zona 100. PARC DE TANCS

Zona 200. REACCIO

Zona 300. TRACTAMENT GASOS

Zona 400. PURIFICACIO

Zona 500. SERVEIS

Zona 600. TALLER I MAGATZEM

Zona 700. OFICINES I VESTUARUS

3- El Cap de Fabricació, Cap d'Emergència o el Cap d'Equip de segona intervenció avisarà a la telefonista amb alguna de les següents ordres:

DESACTIVAR LA ALARMA

AVISAR ALS BOMBERS DE LA ZONA FRANCA

EVACUACIÓ PARCIAL

EVACUACIÓ GENERAL

4- La resta d'operaris de la secció sota les ordres del Cap de Fabricació intentaran controlar-lo fins la arribada dels bombers.

5- En cas de sonar la alarma de evacuació general TOT EL PERSONAL acudirà al PUNT DE TROBADA situat a l'exterior de la Planta, agrupant-se al càrrec de cada encarregat de Fàbrica o Cap de Departament.

6- Cada encarregat de Fabricació i Caps de Departament comprovarà que tot el personal al seu càrrec estigui present.

7- EL PUNT DE TROBADA de tot el personal en cas d'evacuació esta en l'exterior de la fàbrica. (Veure l'esquema de sortides d'emergència i punt de trobada).

8- El Director de Recursos Humans o el Plant Manager coordinarà i controlarà l'operació d'evacuació.

Una vegada rebuda l'ordre d'evacuació, es sortirà de les naus, magatzems, taller, oficina, laboratoris... de presa, sense córrer, sense retrocedir, circulant sempre per la dreta, i dirigint-

se al PUNT DE TROBADA on se'ls donarà instruccions; sota cap concepte es retrocedirà per recollir pertinences personals, etc...

L'evacuació es realitzarà utilitzant les sortides d'emergència previstes i senyalitzades com 'SORTIDA D'EMERGÈNCIA', 'EXIT', etc.

9- El Cap de Fabricació junt amb l'equip de primera intervenció, dirigeix la lluita contra el foc fins la arribada dels bombers, i a partir d'aquest moment es posarà a les ordres del Cap de Bombers i realitzarà tota la coordinació amb aquell, informant-li en tot moment de les característiques de les instal·lacions; inflamabilitats de primeres matèries, etc...

En cas de foc nocturn o en dia festiu.

Detectat el foc, el vigilant avisa als bombers i a continuació crida al Plant Manager i al Cap de Fabricació, i indicar als bombers ON ESTÀ SITUAT FOC.

RESPONSABILITAT: És responsabilitat de tots els empleats de la Planta el complir aquestes instruccions.

ANNEX 4

Pla d'actuació en cas de catàstrofe

L'objecte d'aquest annex es establir la seqüència d'accions a desenvolupar en cas de Terratrèmol, Huracà, inundacions i avis de bomba, per minimitzar els seus efectes.

1- Terratrèmol

1.1- Produïda la sacsejada, l'encarregat del magatzem deurà tancar la clau de pas general de Gas Natural, els operaris deuran parar les màquines i acudir lo més ràpidament possible, circulant per el centre dels carrera, al PUNT DE TROBADA (veure esquema), os es decidirà el pla a seguir.

1.2- Si es possible sortir al exterior en els segons que segueixen a la sacsejada, refugiar-se en el marc d'una porta o sota una taula.

1.3- Si està conduint un vehicle, detinguis immediatament i acudir al PUNT DE TROBADA.

1.4- Un cop en el PUNT DE TROBADA en el exterior de l'entrada de la planta front a la PORTA PRINCIPAL agrupant-se al càrrec de cada Encarregat o Cap de Secció.

1.5- Cada Cap o Supervisor comprovarà que tot el personal al seu càrrec està present (Veure Annex 3, punt 6).

1.6- El Director de la Planta controlarà les operacions i es posarà en contacte amb les autoritats civils o amb la Protecció Civil per posar-se a la seva disposició i complir les directrius que aquestos els hi proporcionin per els casos d'evacuació de la població civil en cas de catàstrofe.

2.- Huracans

2.1- Els operaris deuran aturar les màquines, l'encarregat del magatzem deura tancar la clau de pas general del Gas Natural i l'encarregat de manteniment tancarà la corrent elèctrica.

2.2- El personal deura protegir-se dins dels edificis.

2.3- Tancar les portes i finestres.

2.4- Els vehicles duen aparcar-se en llocs protegits del vent, deixant-los amb una marxa i perfectament frenats.

2.5- El mateix que en els punts 1.5 i 1.6.

3.- Inundacions

3.1- Desconnectar màquines.

3.2- El servei de manteniment tallarà la corrent de tota la fàbrica. A més deuran tancar la clau de pas general del Gas Natural.

3.3- Es deuran retirar aquells productes que reaccionin amb l'aigua.

3.4- Es tancaran les portes frontals dels magatzems.

3.5- El mateix que en els punts 1.5 i 1.6.

RESPONSABILITAT: Es responsabilitat de tots els empleats de la Planta el complir aquestes instruccions.

6. Medi ambient

6.1 Introducció.....	6-1
6.2 Efluents líquids.....	6-1
6.2.1 Aigües residuals.....	6-2
6.2.2 Aigües pluvials	6-2
6.2.3 Aigües de serveis	6-2
6.2.4 Legislació vigent	6-3
6.3 Emissions a l'atmosfera.....	6-3
6.3.1 Legislació vigent	6-4
6.4 Residus sòlids	6-5
6.4.1 Residus urbans.....	6-6
6.4.2 Catalitzador.....	6-6
6.4.3 Legislació vigent	6-6
6.5 Contaminació acústica.....	6-7
6.5.1 Legislació vigent	6-8
6.6 Impacte visual.....	6-8
6.7 Annex 1	6-10

6. Medi ambient

6.1 Introducció

Un dels principis bàsics d'una correcta política mediambiental consisteix en la prevenció. La millor manera d'actuar és tractar d'evitar amb anterioritat a la seva producció, la contaminació o els danys ecològics, més que combatre posteriorment els seus possibles efectes.

Per això, s'han de tenir en compte les emissions, el soroll, l'impacte ambiental i el control de tots aquests aspectes a l'hora de dissenyar la planta, i en el seu posterior funcionament.

S'intentarà reduir a l'origen els possibles factors contaminants per evitar malmetre el medi ambient. En el cas de que no fos possible, s'intentarà reutilitzar o tractar-lo correctament.

6.2 Efluents líquids

Els efluents que s'origen en la planta són:

- Descàrregues a través del venteig (trencament del disc de ruptura o obertura de les vàlvules de seguretat) per causes d'emergència en la planta.
- Fuites en juntes o tancaments.
- Vessaments i descàrregues causades per errors o mal funcionament del sistema.
- Producte fabricat que no compleix amb les especificacions marcades o per deficiències en l'operació (el producte que s'obtindrà després de la posta en marxa i operació de la planta no tindrà la composició adequada i haurà de ser tractat).

Les mesures que s'han adoptat per controlar els diferents efluents de la planta són les següents :

- Instrumentació i control dels equips que reduiran la probabilitat d'error en els equips.
- Establir sistemes de retenció dels possibles efluents per facilitar l'estancament i la posterior manipulació.

Tot i això, en la nostra planta es generen 83,43 kg/h d'un efluent líquid que es genera en la zona de purificació, concretament en la segona columna de destil·lació (C-401). Aquest efluent format majoritàriament per àcid acètic i àcid propiònic provinent de les cues de la columna de destil·lació és enviat a un tanc d'emmagatzematge.

$$83,43 \frac{kg}{h} \cdot \frac{24h}{1dia} \cdot 7 dies = 14016,24 kg$$

S'ha contractat un gestor extern perquè cada 7 dies recolli el residu i realitzi el tractament i disposició externa.

A l'Annex es mostren els fulls de la declaració anual del residu industrial generat per la nostra planta. En els fulls que ha d'omplir el responsable de Medi Ambient s'especifica el tipus de residu que es genera, el transportista i el gestor escollit per realitzar el tractament.

6.2.1 Aigües residuals

Poden contenir contaminants de fuites dels equips de planta o d'aigües de neteja. Un gestor extern realitzarà el tractament d'aquestes aigües.

6.2.2 Aigües pluvials

Es recolliran a l'exterior de la planta i rebran el tractament adient. Teòricament aquesta aigua s'enviarà al sistema de clavegueram municipal ja que són aigües amb una càrrega contaminant molt baixa.

6.2.3 Aigua de serveis

Són aigües que es troben dins de sistemes tancats del procés. Per tant, s'obtindran efluentes discontinus que hauran de ser tractats quan hi hagin parades en la planta i es decideixi purgar aigua d'aquests sistemes per renovar-la. Aquestes aigües no representaran cap problema ja que per evitar incrustacions en els equips acostumen a ser aigües descalcificades i lliures de contaminants.

6.2.4 Legislació vigent

-Directiva 76/541/CE relativa a la contaminació causada per determinades substàncies perilloses pel medi ambient.

-Directiva 91/676/CE relativa a la prevenció i control integrats de la contaminació hídrica.

-Llei 5/1981 del 4 de juny del 1981 on s'estableixen les bases legislatives en matèria d'evacuació i tractament d'aigües residuals.

-Llei 46/99 del 13 de desembre, modificació de la llei 29/85 del 2 d'agost del 1985 de les aigües.

-Ordre de 10 de Febrer de 1987, normes complementàries en matèria d'autoritzacions d'abocament d'aigües residuals.

-Reial Decret 484/1995 del 7 d'abril sobre mesures de regularització i control d'abocaments.

-Reial Decret 83/1996 del 5 de març del 1996 sobre les mesures de regularització d'abocaments d'aigües residuals.

6.3 Emissions a l'atmosfera

Es considera contaminació atmosfèrica la presència de substàncies a l'aire que impliquen risc, dany immediat o diferit o molèsties per a les persones o béns de qualsevol naturalesa.

En el cas estudiat podrien donar-se dos tipus d'emissions:

- Emissions fugitives: fuites a través de brides, tancaments de bombes o vàlvules, etc...
- Emissions discontinues: es produeixen per purgues, excés de mostres o neteja dels equips.

En el nostre procés es produeixen gasos provinents del reactor que, després de passar per un absorbidor on es troben en contacte amb un corrent de metanol, s'han de poder tractar.

Aquests gasos estan compostats majoritàriament per metà i monòxid de carboni; el tractament proposat és enviar els gasos a un incinerador, on mitjançant una combustió completa permetrà emetre a l'exterior els dos productes de la combustió, és a dir, CO₂ i vapor d'H₂O.

Actualment no existeixen límits d'emissió de CO₂ a l'atmosfera (Protocol de Kyoto). Per tant, la nostra planta podrà emetre sense cap perill mediambiental tota la quantitat de CO₂ produïda dins de l'incinerador.

El Protocol de Kyoto no implica cap sanció econòmica pel seu incompliment, tanmateix, imposa una multa equivalent al 30% de l'excés emès

L'octubre del 2003 entra en vigor a la Comunitat Europea la Directiva 2003/87/CE sobre el comerç de drets d'emissió de gasos d'efecte hivernacle. D'aquesta manera es regula el comerç dels drets d'emissió per reduir les emissions de manera més econòmica i eficient.

El mercat comunitari dels drets d'emissió va començar a posar-se en marxa l'1 de gener de 2005, en el qual es marcaven dos períodes: el primer des del 2005 fins el 2007 i el segon des del 2008 fins el 2012.

En el primer període la multa a pagar era de 40€ per tonelada de monòxid de carboni emesa, i en el segon període la multa s'eleva fins als 100€ per tonelada.

6.3.1 Legislació vigent

- Reial Decret 1302/1986, de 28 de Juny, Avaluació de l'Impacte Ambiental.
- Llei per a la Protecció del Medi Ambient, 10/91 del 4 d'abril.
- Decret 833/1975, de 6 de febrer, on es desenvolupa la Llei 38/1972 de Protecció de l'Ambient Atmosfèric (BOE nº 96, de 22-4-75).
- Annex del Decret 322/1987 on s'estableix el catàleg d'activitats industrials potencialment contaminants de l'atmosfera (CAPCA)

- Llei 22/1983, del 21 de novembre, de Protecció de l'Ambient Atmosfèric (DOGC 385, data de publicació 20/11/83).
- Llei 7/1989, de 5 de juny, modifica la llei de 22/1983, de Protecció de l'Ambient Atmosfèric (DOGC 1153, data de publicació 09/06/89).
- Llei 6/1996, de 18 de juny, modificació de la llei 22/1983 (DOGC 2223, data de publicació 28/06/96).
- Decret 398/1996, de 12 de desembre, regulador del sistema de plans graduals de reducció d'emissions a l'atmosfera.
- Reial Decret 1866/2004, de 6 de setembre, pel qual s'aprova el Pla Nacional de drets d'emissió 2005-2007.
- Reial Decret 60/2005, de 21 de gener, pel qual es modifica el Reial Decret 1866/2004, de 6 de setembre, pel qual s'aprova el Pla Nacional d'assignació dels drets d'emissió 2005-2007.
- DECRET 322/1987, de 23 de setembre, de desplegament de la Llei 22/1983, de 21 de novembre, de Protecció de l'Ambient Atmosfèric.
- DECRET 390/2004, de 21 de setembre, d'assignació de competències en matèria d'emissió de gasos d'efecte hivernacle
- DECRET 397/2006, de 17 d'octubre, d'aplicació del règim de comerç de drets d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle i de regulació del sistema d'acreditació de verificadors d'informes d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle.

6.4 Residus sòlids

En aquest apartat s'explicaran amb més detall els mètodes de tractament dels residus sòlids i perquè s'han escollit cadascun d'ells.

6.4.1 Residus urbans

Aquest tipus de residus poden ser embalatges, material d'oficina, etc... No representen ningun perill ambiental ja que poden ser recollits pel propi servei municipal de recollida de la ciutat.

6.4.2 Catalitzador

Per als dos reactor s'ha utilitzat un catalitzador basat pricipalment en iridi i ruteni (promotor). Pel seu tractament existeixen dues opcions possibles:

- 1.- Retornar-lo a l'empresa subministradora perquè el torni a activar amb un tractament de regeneració.
- 2.- Enviar-lo a una empresa pel seu tractament.

S'ha consultat el Catàleg de Residus de l'Agència de Residus de Catalunya on estan inscrites les diferents empreses especialitzades en el tractament exclusiu del nostre catalitzador. Aquestes empreses utilitzen des de tractaments fisicoquímics fins a tractaments específics pel nostre residu i una posterior estabilització.

6.4.3 Legislació vigent

- Ordre de 17 d'octubre de 1984 sobre classificació de residus industrials.
- Decret 142/1984, de l'11 d'abril, de desplegament parcial de la llei 6/1983, d'abril, sobre residus industrials. Modificat per la resolució 237 d'octubre de 1999.
- Llei 20/1986, del 14 de maig, bàsica de residus tòxics i perillosos.
- Resolució del Consell, del 7 de maig de 1990, sobre la política en matèria de residus.
- Llei 6/1993, de 15 de juliol, reguladora dels residus.

- Resolució del Consell de 24 de Febrer de 1997 sobre una estratègia comunitària de gestió de residus.
- Llei 10/1998, de 21 de abril, de residus.
- Resolució de 17 de novembre de 1998 sobre la publicació del catàleg europeu de residus.
- Decret 34/1996, de 9 de gener, pel qual s'aprova el catàleg de residus de Catalunya. Modificat pel Decret 92/1999, de 6 d'abril i per la Resolució de 27 d'octubre de 1999.

6.5 Contaminació acústica

En els últims anys la contaminació acústica està prenent una gran importància pel que es refereix al medi ambient, ja que influeix tant en el benestar dels treballadors de la planta com en les zones habitades del voltant.

Les fonts de contaminació acústica en la nostra planta provenen principalment dels equips que funcionen amb motor, tot i això no suposen cap problema ja que en la seva fabricació s'intenta que facin el mínim soroll possible.

Alguns d'aquests equips són:

En general totes les bombes centrífugues, els compressors d'aire, les calderes, els motors d'agitació, les vàlvules, etc...

Cadascun dels fabricants dels equips instal·lats en una planta intenta que faci el menor soroll possible; algunes mesures preventives per millorar la contaminació acústica d'aquests equips podrien ser:

- Aïllament acústic de les sales on es preveuen equips amb soroll, com per exemple, compressors.
- Instal·lar vàlvules amb un baix nivell de soroll.

- Silenciadors en els equips i sistemes d'absorció acústica.

A l'exterior de les instal·lacions és freqüent col·locar bancs de sorra o fins i tot zones amb arbres, ja que es redueix la percepció del nivell de soroll.

Els propietaris de les instal·lacions industrials estan obligats a prendre mesures d'aïllament adequades per a que els principals focus de generació de soroll no sobrepassin els valors límits establerts per la llei.

6.5.1 Legislació vigent

- Directiva 2002/49/CE, del 25 de juny del 2002, sobre l'avaluació i gestió del soroll ambiental.
- Llei 37/2003 del 17 de novembre del 2003 sobre el soroll.
- Llei 16/2002 de protecció contra la contaminació acústica.
- Directiva 79/113/CEE (adaptació de la Dr 85/406/CEE) de emissió sonora d'equips (RD 245/1989)
- Resolució de 30 d'octubre de 1995, pel qual s'aprova una ordenança municipal reguladora de soroll i vibracions (DOGC 2126, data de publicació 10/11/1995).

6.6 Impacte visual

Una planta industrial de les nostres característiques es veu desafavorida de cara a la població degut a la seva activitat. És important comentar que la població sempre veu una perillositat associada i una possible contaminació de cara al futur.

És per això important integrar estèticament la planta en el seu entorn, per evitar un possible rebuig. Tot i això, no és fàcil ja que en les plantes químiques actuals, per exemple, moltes de les canonades i fins i tot alguns equips, es troben a l'exterior dels edificis.

S'ha de preservar la imatge global de la instal·lació mitjançant un disseny adequat a les característiques de la zona on s'ubica, així com la construcció de zones verdes amb arbres.

6.7 Annex

1. DECLARACIÓ ANUAL DE RESIDUS INDUSTRIALS 2006			
ORDINÀRIA		DECLARACIÓ 2006 P-12345.6 ACTIK A/Sr. Responsable Medi Ambient ACTIK C/ VENUS, s/n 08040 - BARCELONA	
Generalitat de Catalunya Departament de Medi Ambient i Habitatge Agència de Residus de Catalunya			
DADES GENERALS DE L'EMPRESA			
<i>Certificació d'acord amb el Decret 93/1999, que les dades que es declaren són veritables.</i>			
<u>Identificació del/de la responsable de residus</u>			Data: 10/06/2007
Nom i Cognoms: Responsable Medi Ambient ACTIK NIF: A78374725			Signatura
A. Nom de l'empresa: ACTIK			
B. NIF o CIF: A78374725			
C. Domicili Social			
Carrer: C/ VENUS		Núm.: s/n	
Població: BARCELONA		Codi postal: 08040	
D. Emplaçament dels diferents centres de producció:			
Núm.	Carrer	Població	C.P
d'ordre			
DADES GENERALS DEL CENTRE DE PRODUCCIÓ			
E. Adreça de la planta			
Carrer: C/ VENUS		Núm.: s/n	
Població: BARCELONA		Codi Postal: 08040	
Telèfon:	Fax:	E-mail:	
F. Adreça de correspondència			
Carrer: C/ VENUS		Núm.: s/n	
Població: BARCELONA		Codi Postal: 08040	

2. DADES DEL CENTRE DE PRODUCCIÓ

DECLARACIÓ 2008
P-12345.6



ACTIK
A/Sr. Responsable Medi Ambient ACTIK
C/ VENUS, s/n
08040 - BARCELONA

Signatura del/de la responsable de residus

A. Activitats de l'empresa:

Núm.	CCAE	Descripció	Principal
24140		FABRICACIÓ DE PRODUCTES BÀSICS DE QUÍMICA ORGÀNICA	Si

B. Nombre total de treballadors: 40

C. Nombre d'empleats en el procés productiu: 24

D. Total dies treballats a l'any: 330

E. Béns produïts i/o distribuïts:

Codi	Descripció	Quantitat	Unitat	Núm. Procés
24.14.32.71	Glacial	45000	tona	1
	Àcid acètic			
24.14.32.71	A1 70%	30000	tona	1
	Àcid acètic			

3. DADES DEL CENTRE DE PRODUCCIÓ

DECLARACIÓ 2006
P-12345.6



ACTIK
A/Sr. Responsable Medi Ambient ACTIK
C/ VENUS, s/n
08040 - BARCELONA

Signatura del/de la responsable de residus

Descripció dels processos industrials seguits

Indiqueu si cal mantenir la confidencialitat de les dades contingudes en SI ☐ NO ☒
aquest full, d'acord amb la Llei 38/1995, de 12 de desembre, modificada per
la Llei 55/1999, de 29 de desembre.

Núm. Procés: 1

Hores de funcionament anuals: 7920

Descripció: Producció d'Àcid Acètic

En aquesta planta es produeix àcid acètic glacial i àcid acètic al 70%.

4. Any 2006		DADES DEL CENTRE DE PRODUCCIÓ	
Primeres matèries i altres matèries auxiliars			
Indiquen si cal mantenir la confidencialitat de les dades contingudes en aquest full, d'acord amb la Llei 38/1995 de 12 de desembre, modificada per la Llei 55/1999, de 29 de desembre.		Signatura del/de la responsable de residus	
Codi: 24.14.22.10		Quantitat: 35782,56	Unitat: tona
Descripció: Metanol		Núm. Procés: 1	Subproducte: NO
Metanol (alcohol metílic)			
Codi: 24.11.1	Quantitat: 31489,92	Unitat: tona	Núm. Procés: 1
Descripció: Monòxid de carboni			Subproducte: NO
Gasos industrials			

DECLARACIÓ 2006
P-12345,6ACTIK
A/Sr. Responsable Medi Ambient ACTIK
C/ VENUS, s/n
08040 - BARCELONA

5. Any 2006	DADES DEL CENTRE DE PRODUCCIÓ
Gestió en origen dels residus	
DECLARACIÓ 2006 P-12345.6  ACTIK A/Sr: Responsable Medi Ambient ACTIK C/ VENUS, s/n 08040 - BARCELONA	
Signatura del/de la responsable de residus	
A. Valorització de residus propis. Operacions d'aprofitament de residus en el mateix centre. B. Tractament, disposició i/o valorització energètica de residus propis.	

7.	Any 2006	DADES DEL CENTRE DE PRODUCCIÓ	
Gestió externa dels residus C. Tractament o disposició del rebuig		DECLARACIÓ 2006 P-12345.6 ACTIK A/Sr Responsable Medi Ambient ACTIK C/ VENUS, s/n 08040 - BARCELONA	
Signatura del/de la responsable de residus			
Codi: 070108	Classif.: ES	Quantitat: 660,528	Unitat: tona
Descripció residu: Residu compost per Àcid Acètic (73,45%) i Àcid Propiònic (26,55%).		Mèt. Tract: T13	Fitxa d'acceptació:
Altres residus de reacció i de destil·lació		Tipus fitxa: FA	
Codi transp.: T-1873	Nom: 29 ECOLOGICA, S.L.U.	Adreça: C/ BADAJOZ 145, 4T - BARCELONA	
Codi gestor.: E-850.04	Nom: AGÈNCIA CATALANA DE L'AIGUA	Adreça: C/ LA PINEDA S/N AUT. TARR-SALOU KM 3,5 - VILA-SECA	

8.	Any 2006	DADES DEL CENTRE DE PRODUCCIÓ
Emmagatzematge de residus		Signatura del/de la responsable de residus
DECLARACIÓ 2006 P-12345.6 ACTIK A/Sr. Responsable Medi Ambient ACTIK C/ VENUS, s/n 08040 - BARCELONA 		

7. AVALUACIÓ ECONÒMICA

7.1 Introducció.....	7-1
7.1.1 Estudi de mercat	7-1
7.2 Valoració econòmica de la planta i estimació de la inversió inicial.....	7-2
7.2.1 Despeses prèvies.....	7-2
7.2.2 Capital immobilitzat	7-3
7.2.3 Capital circulant.....	7-12
7.2.4 Blocs de l'Inversió inicial.....	7-13
7.3 Estimació del cost de producció	7-13
7.4 Ventes i rendibilitat del negoci.....	7-22
7.4.1 Ventes	7-22
7.4.2 Rendibilitat del negoci.....	7-22
7.4.2.1 Net Cash Flow	7-22
7.4.2.2 Paràmetres de rendibilitat	7-25
7.4.2.2.1 Pay Back.....	7-26
7.4.2.2.2 Valor Actual Net.....	7-26
7.5 Viabilitat de l'empresa.....	7-27

7. Avaluació econòmica

7.1 Introducció

L'economia és una ciència que permet estudiar com les societats i els éssers humans utilitzen els recursos existents amb la finalitat de satisfer les seves pròpies necessitats.

A continuació es realitzarà l'avaluació econòmica de la planta, on es mostrarà d'una manera pràctica i eficaç els valors utilitzats per l'estudi de la rendibilitat i viabilitat de la planta.

L'avaluació econòmica s'ha realitzat coneixent el preu de venda dels productes de la nostra planta d'àcid acètic. D'aquesta manera es pot comparar amb la inversió inicial calculada mitjançant el capital immobilitzat (I), els costos (C) i el capital circulant (CC).

A les pàgines següents es poden observar els càlculs que s'han realitzat a partir dels mètodes d'estimació que s'han cregut més adequats per obtenir el menor error possible.

7.1.1 Estudi de mercat

El mercat és el context on es porten a terme tots els intercanvis de béns, serveis i mercaderies entre els compradors i els venedors existents. Els compradors mostren les necessitats que tenen mitjançant la demanda en el mercat i els venedors amb una oferta. Els preus venen fixats a partir de la interacció que es produeix entre la demanda i l'oferta dels productes d'interès.

Els mercats a vegades no acaben de funcionar gaire bé, això pot ser degut a que per un producte en concret només hi hagi un sol venedor. A nivell internacional existeixen varies empreses que es dediquen a la producció d'àcid acètic (tant glacial com al 70%). Algunes d'aquestes empreses són: PANREAC, BASF, INDAQUIM, etc...

Per tant, es pot concloure que l'objectiu de la nostra empresa és la producció d'àcid acètic per competir en el mercat existent del producte.

7.2 Valoració econòmica de la planta i estimació de la inversió inicial

La inversió inicial és el capital necessari abans d'iniciar la nostra activitat industrial. S'ha considerat una despesa tot el que ens suposa diners.

Existeixen diferències entre inversió i cost. A continuació es mostra una breu definició:

- Inversió: és la compra d'un bé o servei que permet obtenir al cap d'un període de temps (normalment superior a un any) una producció major de serveis o béns.
- Cost: és la compra d'un bé o servei que permet obtenir al cap d'un període de temps curt (inferior a un any) una major producció de béns o serveis.

La estimació de la inversió inicial s'ha calculat bàsicament a partir dels següents quatre blocs:

- 1) Despeses prèvies
- 2) Capital immobilitzat (I)
- 3) Capital Circulant (CC)
- 4) Posta en marxa

7.2.1 Despeses prèvies

Són diners que s'utilitzen per:

- La constitució de l'empresa
- Investigació

Aquest bloc de despeses prèvies es considerarà menyspreable si es compara amb el nostre capital immobilitzat ja que en una planta de les nostres característiques l'immobilitzat suposa una gran despesa. Això és degut a que es necessita una gran quantitat d'equips que tenen un cost elevat. Per tant, aquestes despeses es suprimiran i no es consideraran degut al alt marge d'error per la seva incertesa a l'hora de catalogar-les i al no ser gaire significatives.

7.2.2 Capital immobilitzat

És el bloc més important de la inversió inicial. S'utilitza per comprar tots els equips de la planta, els terrenys, les instal·lacions...

És un capital que es transforma físicament en equips, accessoris... i que mai es podrà transformar en diners en efectiu. És per això que s'anomena capital immobilitzat.

És un capital que va perdent el seu valor inicial, és a dir, va disminuint al llarg del temps ja que els equips de la planta es van desgastant (degut al seu ús). Aquest capital és amortitzable ja que és la part de la inversió inicial que s'utilitzarà per calcular l'amortització.

Dels diferents mètodes per realitzar l'estimació del capital immobilitzat (I): mètodes globals, de factor únic o de factor variable, s'ha utilitzat el mètode de VIAN ja que és el mètode amb el qual s'obté un error menor.

El mètode de VIAN es realitza a partir dels diferents blocs d'immobilitzat que es mostren a continuació:

I1- Maquinària i aparells

I2- Despeses d'instal·lació

I3- Canonades i vàlvules

I4- Instrumentació de mesura i control

I5- Aïllaments tèrmics

I6- Instal·lació elèctrica

I7- Terrenys i edificis

I8- Instal·lacions auxiliars

I9- Honoraris del projecte i direcció del muntatge

I10- Contractació

I11- Despeses imprevistes

I12- Despeses de gestió i constitució de societats

I13- Despeses prèvies d'investigació i desenvolupament

I14- Despeses de posta en marxa

Tot seguit es mostrarà com s'han calculat els diferents blocs pel mètode de VIAN:

I1- Maquinària i aparells

És el bloc corresponent a la suma del cost dels diferents equips de la planta (bombes incloses). Es realitzarà un llistat amb tots els equips, nombre d'unitats i el cost de cadascun. La suma de tots els costos serà el bloc **I1**.

El preu del cost de cadascun dels equips s'ha obtingut a partir de les trucades telefòniques a diverses empreses, dels apunts de la assignatura de projectes i de la pàgina d'internet www.matche.com que fa referència al mètode HAPPEL i altres mètodes. Aquests mètodes calculen el cost de cada equip a partir del seu paràmetre característic. En les següents taules es mostren els preus dels equips per a les diferents àrees de la planta:

- ÀREA 100

Equip	Paràmetre característic	Cost unitari (€)	Quantitat	Cost total (€)
T-101	$V = 95 \text{ m}^3$	23504	5	117520
T-106	$V = 97 \text{ m}^3$	23800	5	118998
T-111	$V = 78 \text{ m}^3$	20882	4	83526
T-115	$V = 17 \text{ m}^3$	8371	1	8371
T-116	$V = 80 \text{ m}^3$	21201	4	84805
B-101	Pes = 50 Tn	23500	1	23500
TOTAL				436720

Taula 7.1. Preus dels equips de l'àrea 100

- ÀREA 200

Equip	Paràmetre característic	Cost unitari (€)	Quantitat	Cost total (€)
R-201	$V = 6,25 \text{ m}^3$	64776	1	64776
R-202	$V = 6,25 \text{ m}^3$	64776	1	64776

S-201	$V = 0,805 \text{ m}^3$	3175	1	3175
S-202	$V = 0,134 \text{ m}^3$	730	1	730
S-203	$V = 9,97 \text{ l}$	87	1	87
C-201	Nº plats = 9	35176	1	35176
E-201	$A = 79,2 \text{ m}^2$	20912	1	20912
E-202	$A = 49,317 \text{ m}^2$	15393	1	15393
E-203	$A = 11,96 \text{ m}^2$	6477	1	6477
E-204	$A = 15,08 \text{ m}^2$	7478	1	7478
D-201	$V = 1,6 \text{ m}^3$	21192	1	21192
D-202	$V = 1,1 \text{ m}^3$	15586	1	15586
D-203	$V = 12 \text{ m}^3$	110591	1	110591
D-204	$V = 3,2 \text{ m}^3$	37412	1	37412
D-205	$V = 0,75 \text{ m}^3$	11385	1	11385
A-201	$P = 2,643 \text{ kW}$	6596	1	6596
A-202	$P = 2,643 \text{ kW}$	6596	1	6596
A-203	$P = 0,129 \text{ kW}$	1216	1	1216
P-201	$P = 6,039 \text{ kW}$	3787	1	3787
P-202	$P = 6,039 \text{ kW}$	3787	1	3787
CO-201	$P = 0,05 \text{ kW}$	56323	1	56323
CO-202	$P = 0,05 \text{ kW}$	56323	1	56323
CO-203	$P = 303 \text{ kW}$	239482	1	239482
CO-204	$P = 5 \text{ kW}$	8891	1	8891
TOTAL				798146

Taula 7.2 Preus dels equips de l'àrea 200

- ÀREA 300

Equip	Paràmetre característic	Cost unitari (€)	Quantitat	Cost total (€)
C-301	Nº plats = 10	10684	1	10684
I-301		58000	1	58000
TOTAL				68684

Taula 7.3 Preus dels equips de l'àrea 300**- ÀREA 400**

Equip	Paràmetre característic	Cost unitari (€)	Quantitat	Cost total (€)
C-401	Nº plats = 17	63828	1	63828
E-401	A = 85,99 m ²	22006	1	22006
E-402	A = 301,98 m ²	47949	1	47949
E-403	A = 6,51 m ²	4442	1	4442
E-404	A = 0,437 m ²	832	1	832
D-401	V = 0,5 m ³	1009	1	1009
D-402	V = 2 m ³	2318	1	2318
A-401	P = 0,4 kW	2291	1	2291
TOTAL				144676

Taula 7.4 Preus dels equips de l'àrea 400**- ÀREA 500**

Equip	Paràmetre característic	Cost unitari (€)	Quantitat	Cost total (€)
TR-501	Cabal d'aigua = 464,215 m ³ /h	125414	1	125414
TR-502	Cabal d'aigua = 464,215 m ³ /h	125414	1	125414

C-501	Conductivitat	40248	1	40248
C-502	Conductivitat	40249	1	40249
CV-501	Temperatura i Pressió	147580	1	147580
CV-502	Temperatura i Pressió	147580	1	147580
D-501	$V = 3,8 \text{ m}^3$	3407	1	3407
D-502	$V = 1 \text{ m}^3$	1529	1	1529
TOTAL				631420

Taula 7.5 Preus dels equips de l'àrea 500

- ALTRES

Equip	Paràmetre característic	Cost unitari (€)	Quantitat	Cost total (€)
Bombes	Potència (kW)	3000	22	66000
TOTAL				66000

Taula 7.6 Preus d'altres equips

El resultat obtingut pel bloc **I1** = **2,079645 MM€**

El valor de **I1** és bàsic ja que a partir d'ara tots els blocs següents es calculen en funció d'aquest resultat.

S'ha intentat escollir, en la majoria de casos en que ha estat possible, valors pròxims als mínims dels rangs de coeficients proposats pel mètode de VIAN, ja que el marge de benefici en la venda del nostre producte fabricat és molt petit o ajustat.

I2- Despeses d'instal·lació

Es calculen en funció de les despeses que constitueixen les instal·lacions (**I1**). Aquest bloc inclou el tipus de material utilitzats, la mà d'obra, els fonaments, els suports, les estructures, les escales, etc...

El mètode de VIAN proposa factors compresos entre 0,35 i 0,50. En el nostre cas s'ha escollit un factor de **0,39** (desglossat en 0,19 pel tipus de material utilitzat i 0,25 per la mà d'obra necessària).

El resultat obtingut pel bloc **I2 = 0,811062 MM€**

I3- Canonades i vàlvules

En aquest bloc s'inclou el cost de la compra, instal·lació de canonades, vàlvules i accessoris. El mètode de VIAN diferencia entre l'utilització de sòlids i líquids en el procés, amb factors que van des de 0,1 fins a 0,6 respectivament. En el nostre cas s'ha escollit un factor de **0,55** ja que s'utilitzen fluids en el procés.

El resultat obtingut pel bloc **I3 = 1,143805 MM€**

I4- Instrumentació de mesures de control

En aquest bloc s'inclou el cost de compra i instal·lació dels aparells utilitzats per controlar el procés de la planta. El mètode de VIAN recomana factors compresos entre 0,05 i 0,30; en funció del grau d'automatització existent en la planta.

Per la nostra planta s'ha escollit un valor de **0,25** ja que es considera un grau d'automatització bastant elevat.

El resultat obtingut pel bloc **I4 = 0,519911 MM€**

I5- Aïllaments tèrmics

En aquest bloc s'inclou el cost de compra i instal·lació dels aparells destinats als aïllaments tèrmics. El mètode de VIAN planteja un rang entre 0,03 i 0,1.

S'ha escollit un valor de **0,1** ja que en el nostre procés són molt importants els aïllaments. Això es demostra amb el fet de que tots els tancs van aïllats, igual que el reactor i la gran majoria de canonades de procés.

El resultat obtingut pel bloc **I5** = **0,207965 MM€**

I6- Instal·lació elèctrica

En aquest bloc s'inclou el cost de compra i instal·lació dels aparells elèctrics. Principalment són motors elèctrics, cables, quadres elèctrics i estacions transformadores. Segons el mètode de VIAN el rang està comprès entre 0,1 i 0,2.

Per la nostra planta s'ha escollit un factor, pròxim al mínim, de **0,12**

El resultat obtingut pel bloc **I6** = **0,249557 MM€**

I7- Terrenys i edificis

En aquest bloc s'estima el valor del terreny a comprar. L'empresa té una superfície de 53235 m² i el sòl industrial a la Zona Franca té un preu suposat de 200 €/m².

El preu de la construcció d'edificis s'estima com el **12 %** del valor de **I1** (maquinària i aparells).

Amb els càlculs realitzats s'obté un valor del terreny de **10,647 MM€**. S'ha suposat que el nostre terreny tindrà el mateix valor quan es produeixi el tancament de l'empresa al cap de 15 anys.

El resultat obtingut pel bloc **I7** = **10,896557 MM€**

I8- Instal·lació auxiliars

En aquest bloc s'inclou el cost de compra i instal·lació de les instal·lacions auxiliars que es necessiten en el procés. El nostre procés no es podria realitzar sense aquests serveis.

El mètode de VIAN proposa un rang (0,25-0,70) molt ampli degut al gran nombre de processos que depenen de molts serveis per produir un producte determinat. En el nostre cas

s'ha escollit un valor de **0,1**; no es troba dins el rang ja que els equips de servei s'han comptabilitzat en la partida **I1**.

El resultat obtingut pel bloc **I8 = 0,207965 MM€**

Ara ja es pot calcular el capital primari o físic a partir del sumatori de tots els blocs anteriors.

El resultat del capital primari o físic és: $Y = \sum_{i=1}^8 \cdot I_i = 16,116467 \text{ MM€}$

I9- Honoraris del projecte i direcció del muntatge

En aquest bloc s'inclou el cost de la direcció del projecte, l'obra que s'ha necessitat per realitzar-lo i la gestió de compres. El mètode de VIAN proposa un valor de **0,20** respecte el capital primari o físic. Aquest valor es divideix en un 0,12 per la direcció del projecte, un 0,06 per la direcció de les obres corresponents i finalment un 0,02 per la gestió de compres.

El resultat obtingut pel bloc **I9 = 3,223293 MM€**

I10- Contractació d'obres

En aquest bloc s'ha de tenir en compte el tamany de la planta ja que la seva edificació tindrà un valor diferent en funció d'aquest paràmetre. En principi la nostra planta no és gaire gran, per tant, s'ha escollit un valor petit dins del rang que ens proposa el mètode de VIAN. Aquest rang està comprès entre 0,04 i 0,1 del valor del capital secundari o directe. Un altre factor que s'ha de tenir en compte per avaluar aquest bloc és la situació de la planta, en el nostre cas al situar la planta a la Zona Franca s'escollirà un valor de **0,06**.

El resultat obtingut pel bloc **I10 = 1,160385658 MM€**

I11- Despeses imprevistes

Aquest és el bloc que ens permet proporcionar un marge d'error en el càlcul per qualsevol imprevist que hagi pogut succeir en la planta. El mètode de VIAN ofereix un factor de 0,1 fins a 0,3 del capital secundari o directe. S'ha escollit un valor de **0,15** per la nostra planta.

El resultat obtingut pel bloc **I11 = 2,900964 MM€**

Els següents blocs del mètode de VIAN no s'han tingut en compte:

I12- Despeses de gestió i constitució de societats**I13- Despeses prèvies d'investigació i desenvolupament****I14- Despeses en la posta en marxa**

A continuació es mostra en forma de taula els resultats de tots els blocs calculats pel mètode de VIAN sobre la inversió inicial, amb la finalitat de conèixer el capital immobilitzat total:

	Blocs	Euros (MM€)
I1	Maquinària i aparells	2,079645
I2	Despeses d'instal·lació	0,811062
I3	Canonades i vàlvules	1,143805
I4	Instrumentació de mesures de control	0,519911
I5	Aïllaments tèrmics	0,207965
I6	Instal·lació elèctrica	0,249557
I7	Terrenys i edificis	10,896557
I8	Instal·lacions auxiliars	0,207965
Y	Capital físic o primari	16,116467
I9	Honoraris del projecte i direcció del muntatge	3,223293
Z	Capital secundari o directe	19,339761

I10	Contractació d'obres	1,160386
I11	Despeses imprevistes	2,900964
I12	Despeses de gestió i construcció de societats	0
I13	Despeses prèvies d'investigació desenvolupament	0
I14	Despeses en la posta en marxa	0
I	Immobilitzat Total	23,401111

Taula 7.7 Resum del càlcul de l'immobilitzat

7.2.3 Capital circulant

Són els diners utilitzats pel bon funcionament de les instal·lacions de la planta. És el capital que es necessita perquè la planta comenci a funcionar, arribant doncs al nivell de producció desitjat i assegurant el rendiment del capital immobilitzat.

Per realitzar el càlcul del capital necessari existeixen dos mètodes ben diferenciats:

- Mètodes globals
- Mètodes del cicle de producció

En el nostre cas, s'ha escollit utilitzar un mètode global que permet calcular el capital circulant en funció dels ingressos anuals obtinguts a partir de les ventes realitzades per la nostra planta.

El capital circulant es calcula amb la següent equació: $CC = (0,1 - 0,3) \cdot V$

Coneixent que el coeficient de gir es calcula de la següent manera: $g = V / I \approx 1$

L'equació final per calcular el capital circulant és: $CC = (0,1 - 0,3) \cdot I$

Dins el rang proposat s'ha escollit un valor de **0,1**; obtenint-se un valor final del capital circulant de:

$$CC = 2,340111 \text{MM€}$$

7.2.4 Blocs de l'Inversió inicial

A continuació es mostra una taula amb el valor dels diferents blocs que conformen l'inversió inicial:

Despeses prèvies	0 €
Capital immobilitzat	23,401110 MM€
Capital circulant	2,340111 MM€
Posta en marxa	0 €
TOTAL	25,741221 MM€

Taula 7.8 Resum de l'inversió inicial

7.3 Estimació del cost de producció

És el valor expressat en diners dels béns i prestacions utilitzats per aconseguir l'objectiu de la nostra empresa, és a dir, assolir la producció desitjada.

Per realitzar l'estimació d'aquest cost s'utilitza el mateix mètode que pel càlcul de l'immobilitzat, és a dir, el mètode de VIAN.

Aquest mètode diferencia entre l'evolució i el càlcul dels diferents blocs. Els costos es dividiran en dos blocs principals:

- Costos de Manufactura (M)
- Costos Generals (G)

Aquests dos blocs principals es determinaran mitjançant la suma de tots els blocs de manufactura i general.

Tanmateix, es calcularan els costos mitjançant la següent equació: $C = M + G$

Els costos de manufactura (M) estan relacionats amb la fabricació del producte de la nostra planta. En canvi, els costos generals (G) depenen de l'administració i la venda posterior del producte.

Tots els blocs del mètode de VIAN es troben resumits en la Taula 7.9 i 7.10 Com es pot observar s'han dividit entre costos directes (relacionats a un sol producte) o indirectes (per varis productes). També s'ha dividit entre costos fixos i variables segons si depenen del ritme de fabricació (variables) o són independents (fixes).

- Costos de Manufactura (M):

Costos Directes		Costos Indirectes	
Variables	Fixes	Variables	Fixes
M1. Matèries Primeres	M2. Mà d'obra directa	M4. Mà d'obra indirecta	M11. Directius i tècnics
	M3. Patents	M5. Serveis	M12. Amortització
		M6. Subministres	M13. Lloguers
		M7. Manteniment	M14. Taxes
		M8. Laboratori	M15. Assegurances
		M9. Envasat	
		M10. Expedició	

Taula 7.9 Divisió dels costos de manufactura (M)

- Costos Generals (G):

Costos Directes variables	Costos indirectes
G1. Despeses comercials	G2. Gerència i administració
	G3. Despeses financeres
	G4. Investigació i servei tècnic

Taula 7.10 Divisió dels costos generals (G)

Costos de Manufactura (M)**M1- Matèries primeres**

Les matèries primeres utilitzades en el nostre procés són bàsicament tres: el monòxid de carboni (CO), el catalitzador del reactor (Iridi-Ruteni) i el metanol (CH₃OH).

Els consums i costos anuals de cadascuna de les matèries primeres es mostren a la següent taula:

	Consum anual (kg)	Preu unitari (€/kg)	Cost anual (MM€)
Metanol	35782560	0,23	8,229989
Monòxid de carboni	31500912,96	1,54	48,51141
Catalitzador Ir-Ru	27,44	13654,76	0,374729
TOTAL			57,116128

Taula 7.11 Consums i preus de les diferents matèries primers

Per altre banda també s'han tingut en compte els costos associats al tractament dels efluentes del procés, és a dir, del corrent líquid de propiònic i acètic.

A continuació es mostra en forma de taula la producció anual del residu i el seu cost de tractament:

	Producció anual (tn)	Preu tractament (€/kg)	Cost anual (MM€)
Medi ambient	660,58	575	0,379834

Taula 7.12 Producció anual i cost de tractament de l'efluent líquid generat en la planta

El resultat obtingut pel bloc **M1** = **57,495962 MM€**

M2- Mà d'obra directa

La nostra planta de producció d'àcid acètic opera en continu i té un grau d'automatització bastant elevat. S'ha estimat que amb 8 treballadors ja hi haurà suficient personal per abarcar totes les àrees de la planta.

El nombre de torns necessaris es calcula a partir de les hores que pot treballar una persona per conveni a l'any (1800h/any). A continuació es mostra el procediment per calcular el nombre de torns que hi hauran en la nostra planta:

$$330 \frac{\text{dies}}{\text{any}} \cdot 24 \frac{\text{hores}}{\text{dia}} \cdot \frac{1 \text{ persona}}{1800 \text{ hores}} = 4,21 \approx 5$$

Com es pot observar en el resultat anterior, es necessitaran 5 torns i 8 treballadors per torn, és a dir, un total de 40 treballadors. Si es suposa un sou mitjà anual per treballador de 19000 €/any ja es poden calcular els costos relacionats amb la mà d'obra directa.

El resultat obtingut pel bloc **M2 = 0,76 MM€**

M3- Patents

Són tributs o diners que es paguen al utilitzar un procés que no és nostre, depèn de la forma contractual i es pot realitzar de diferents formes: cànon per unitat de producte, percentatge d'ingressos per ventes, percentatge dels beneficis...

Habitualment s'estima en un rang del 1% al 5% dels ingressos anuals per ventes. En el nostre cas s'ha escollit un valor del **1%**.

El resultat obtingut pel bloc **M3 = 0,5985 MM€**

M4- Mà d'obra indirecte

És el bloc que correspon als diners o capital destinat als supervisors de torn, vigilants, etc... S'avalua en funció de la mà d'obra directe i el rang que es proposa va des del 15-45% de **M2**. En la nostra planta s'ha estimat un **20%**.

El resultat obtingut pel bloc **M4 = 0,152 MM€**

M5- Serveis generals

En la nostra planta d'àcid acètic hi ha varis serveis imprescindibles pel procés, com per exemple: electricitat, gas natural, aigua de xarxa. Per tant, seran uns costos que s'hauran de tenir en compte degut a la seva importància.

A continuació es mostra en forma de taula tots els serveis i costos de la planta:

Serveis	Consum anual	Preu unitari	Cost anual (MM€)
Electricitat	6495810,79 kWh	0,09	0,584622
Gas natural	7115694,69 kWh	0,303	2,155898
Aigua	237600 m ³	0,9	0,21384
Total			2,95436

Taula 7.13 Consums i preus dels serveis de planta

El resultat obtingut pel bloc **M5 = 2,95436 MM€**

M6- Subministres

És el material d'adquisició generat de manera regular per la nostra planta (eines, pales, mànegues, vestuari, bates...). Es calcula en funció del capital immobilitzat i el rang proposat va des de 0,2-1,5% del capital immobilitzat (I). En el nostre cas s'ha estimat un valor de **0,2%**.

El resultat obtingut pel bloc **M6 = 0,046802 MM€**

M7- Manteniment

S'ha estimat un personal de manteniment independent a l'empresa, ja que sinó formaria part del bloc M2 (mà d'obra directa). El mètode de VIAN proposa un rang del 2-10%.

En el nostre cas s'ha escollit un factor del **3%** del capital immobilitzat (I).

El resultat obtingut pel bloc **M7 = 0,702033 MM€**

M8- Laboratori

Totes les indústries químiques han de tenir un laboratori per poder realitzar els controls de qualitat corresponents a cadascuna de les matèries primeres, producte, etc...

El cost pel laboratori de la planta de producció d'àcid acètic s'ha estimat en funció de la mà d'obra directa. El mètode de VIAN proposa un factor del **20%** de M2, aquest és el valor escollit per la nostra planta.

El resultat obtingut pel bloc **M8 = 0,152 MM€**

M9- Envasat

Per la planta d'àcid acètic només s'han de tenir en compte les despeses per envasar el producte acabat. En el nostre cas la despesa serà nul·la ja que s'enviarà directament als tanc d'emmagatzematge des d'on es recollirà mitjançant camions.

El resultat obtingut pel bloc **M9 = 0 MM€**

M10- Expedició

Aquest bloc té en compte els costos de transport i distribució del producte. L'àcid acètic glacial és un producte perillós. A més a més, s'ha de tenir en compte que en la planta hi haurà un flux elevat d'entrada de camions per endur-se el producte.

En el nostre cas s'ha assignat un valor del **0,1%** del capital immobilitzat (I).

El resultat obtingut pel bloc **M10 = 0,023401 MM€**

M11- Directius i tècnics

És el bloc que té en compte els costos dels responsables del procés i de la planta. S'estima en funció de la mà d'obra directa. Segons el mètode de VIAN el rang proposat va des del 10-40% de M2.

En el nostre cas s'ha escollit un valor del **20%** de M2.

El resultat obtingut pel bloc **M11 = 0,152 MM€**

M12- Amortització

Aquest bloc no es comptabilitzarà per realitzar l'avaluació, ja que s'avaluarà quan es realitzi l'estimació de la rendibilitat de la planta mitjançant el càlcul del Net Cash Flow (NCF)

El resultat obtingut pel bloc **M12 = 0 MM€**

M13- Lloguers

Aquesta planta de producció d'àcid acètic s'ha dissenyat per comprar el terreny, per tant, no s'haurà de tenir en compte ningun lloguer ja que el terreny serà de propietat

El resultat obtingut pel bloc **M13 = 0 MM€**

M14- Taxes

Es paguen a l'administració en funció dels préstecs de serveis. No es paguen en funció dels beneficis com en els impostos. El mètode de VIAN recomana un rang entre 0,5-1% del capital immobilitzat (I). Per la nostra planta el valor considerat és de **0,5%**.

El resultat obtingut pel bloc **M14 = 0,175508 MM€**

M15- Assegurances

És el cost corresponen a l'assegurança de les instal·lacions i els equips. Aquest bloc suposarà un **1%** del capital immobilitzat (I).

El resultat obtingut pel bloc **M15 = 0,234011 MM€**

Finalment, es calcula el valor total dels costos de manufactura: **M = 63,446577 MM€**

Costos Generals (G)

G1- Despeses comercials

Aquest bloc inclou els agents comercials, els viatges, la publicitat i el marketing. El mètode de VIAN estableix un rang entre 5-20% del cost de manufactura (M). Per la nostra planta s'ha escollit un **5%**.

El resultat obtingut pel bloc **G1 = 3,171653 MM€**

G2- Despeses de gerència i administració

Aquest bloc considera les despeses del departament de personal, administració... És un bloc que no està relacionat amb la producció. El mètode de VIAN proposa un rang entre 3-6% del cost de manufactura (M). En el nostre cas el valor considerat és del **3%**.

El resultat obtingut pel bloc **G2 = 1,90299 MM€**

G3- Despeses financeres

No s'han considerat en aquest bloc ja que es refereixen a interessos que s'han de pagar per utilitzar un capital extern. Inicialment no s'utilitzarà ningun préstec de capital.

El resultat obtingut pel bloc **G3 = 0 MM€**

G4- Investigació i servei tècnic

Aquest bloc és variable en funció del sector i de la companyia. En una planta química com és el nostre cas, la investigació és essencial per poder ser competitiu en el mercat. El servei tècnic assessoria al client en possibles problemes que puguin succeir amb el producte venut. Per tant, una bona relació amb el client és fonamental.

En el nostre cas s'aplicarà un valor del **1,5%** dels costos de manufactura, dividit en un **1%** pel servei tècnic i un **0,5%** per la investigació.

El resultat obtingut pel bloc **G4 = 0,951496 MM€**

Finalment, es calcula el valor total dels costos generals: **G = 6,026139 MM€**

Un cop definit i calculat tant el bloc dels costos de manufactura (M) com el bloc dels costos generals (G), es pot estimar el valor dels costos de producció (C).

A la següent taula es mostren aquests resultats:

M	63,446577 MM€
G	6,026139 MM€
C	69,472716 MM€

Taula 7.14 Resum dels blocs de costos

7.4 Ventes i rendibilitat del negoci

7.4.1 Ventes

Es refereixen a tot el que ens pugui aportar diners a la nostra planta. El principal factor és la venda del producte acabat de la nostra empresa, és a dir, l'àcid acètic glacial i l'àcid acètic al 70%. Aquest procés s'ha dissenyat amb la finalitat d'aconseguir els dos productes amb la puresa desitjada.

A continuació es mostra una taula resum dels ingressos per ventes obtingudes tenint en compte els preus actuals del mercat d'àcid acètic:

Producte	Producció anual	Preu unitari	Ingressos totals (V)
Àcid acètic glacial	45000 Tn	780 €/Tn	35,1 MM€
Àcid acètic al 70%	30000 Tn	825 €/Tn	24,75 MM€
Total			59,85 MM€

Taula 7.15 Resum de la producció i dels ingressos per ventes

7.4.2 Rendibilitat del negoci

En aquest apartat s'estudiarà la viabilitat econòmica de la nostra empresa mitjançant el càlcul del flux net de caixa (NCF) al llarg del temps de vida de la planta.

7.4.2.1 Net Cash Flow

Són els ingressos bruts que s'obtenen en el nostre negoci (Ventes-Costos). Posteriorment es calcularà el NCF amb impostos en el qual s'haurà descomptat el 35% de la base imposable (Ventes-Costos-Amortització).

Pel càlcul del Net Cash Flow (NCF) s'han suposat els següents punts:

- Temps de vida de la planta: 15 anys
- Valor residual: en el tancament de la planta es tindrà com a valor residual els terrenys comprats. S'ha considerat que no perdran el seu valor al llarg del temps de vida de la planta. Per tant, es recuperarà el seu valor a l'any següent del tancament de la planta.
- Amortització: pel seu càlcul s'ha escollit un mètode regressiu, ja que són els més utilitzats. En els primers anys de producció s'amortitzarà més capital, mentre que en els últims anys serà menor. S'ha utilitzat el mètode de saldo decreixent, per tant, les anualitats a amortitzar variaran cada any mitjançant les següents expressions:

$$r = 1 - \left(\frac{R}{I} \right)^{\left(\frac{1}{t} \right)}$$

$$A_i = r \cdot (1 - r)^{(i-1)} \cdot I$$

On: r = taxa d'amortització = **0,0511 MM€**
 R = valor residual (terrenys) = **10,647 MM€**
 I = capital immobilitzat = **23,401111 MM€**
 t = temps de vida = 15 anys
 i = any

- Producció: s'ha considerat que un cop la planta ja està construïda i posta en marxa funcionarà a ple rendiment. A partir d'aquest instant, la producció serà màxima.
- Impostos: s'han estimat com un **35%** de la base imposable, però com en tots els anys les bases són negatives no es tindran en compte, per tant, no s'aplicaran.
- Capital circulant: S'aplica al finalitzar la construcció de la nostra planta i al primer any de producció. S'amortitzarà durant els primers 15 anys de vida de la planta.
- Immobilitzat: s'aplica tot durant l'any de construcció, és a dir, en el primer any

A la següent taula es mostra el càlcul del NCF:

Any	0	1	2	3	4	5	6
Capital Immobilitzat	-23,401111						
Capital Circulant	-1,170055	-1,170055					
Valor residual							
Ventas		59,85	59,85	59,85	59,85	59,85	59,85
Costos		-69,47272	-69,47272	-69,47272	-69,47272	-69,47272	-69,47272
NCF (sense impostos)	-24,571166	-10,79277	-9,622716	-9,622716	-9,622716	-9,622716	-9,622716
Amortització		1,195797	1,134692	1,076709	1,021689	0,969481	0,919940
Benefici Brut		-10,818513	-10,757408	-10,699425	-10,644405	-10,592197	-10,542656
Base imposable		0	0	0	0	0	0
Impostos (35%)							
NCF (amb impostos)	-24,571166	-10,79277	-9,622716	-9,622716	-9,622716	-9,622716	-9,622716

Any	7	8	9	10	11	12	13
Capital Immobilitzat							
Capital Circulant							
Valor residual							
Ventas	59,85	59,85	59,85	59,85	59,85	59,85	59,85
Costos	-69,47272	-69,47272	-69,47272	-69,47272	-69,47272	-69,47272	-69,47272
NCF (sense impostos)	-9,622716	-9,622716	-9,622716	-9,622716	-9,622716	-9,622716	-9,622716
Amortització	0,872931	0,828324	0,785997	0,745833	0,707721	0,671556	0,637240
Benefici Brut	-10,495647	-10,451040	-10,408713	-10,368549	-10,330437	-10,294272	-10,259956
Base imposable	0	0	0	0	0	0	0
Impostos (35%)							
NCF (amb impostos)	-9,622716	-9,622716	-9,622716	-9,622716	-9,622716	-9,622716	-9,622716

Any	14	15	16
Capital Immobilitzat			
Capital Circulant			2,340111
Valor residual			10,647
Ventas	59,85	59,85	-
Costos	-69,47272	-69,47272	-
NCF (sense impostos)	-9,622716	-9,622716	12,987111
Amortització	0,604677	0,573778	-
Benefici Brut	-10,227393	-10,196494	-
Base imposable	0	0	-
Impostos (35%)			
NCF (amb impostos)	-9,622716	-9,622716	12,987111

Taula 7.16 Càlcul del NCF

7.4.2.2 Paràmetres de rendibilitat

A partir del Net Cash Flow (NCF) es podran obtenir una sèrie d'indicadors de la rendibilitat de la nostra empresa.

Hi han diferents mètodes per l'estudi de la rendibilitat: els mètodes convencionals que no tenen en compte la temporització dels ingressos i els mètodes amb actualització que si ho fan.

Per realitzar l'estudi s'utilitzarà una metodologia de cada tipus; primer es calcularà el període de retorn (Pay-Back) i a continuació el valor actual net (VAN).

7.4.2.2.1 Pay Back

A continuació es mostra una taula amb l'evolució del Pay Back per cadascun dels anys de vida de la planta:

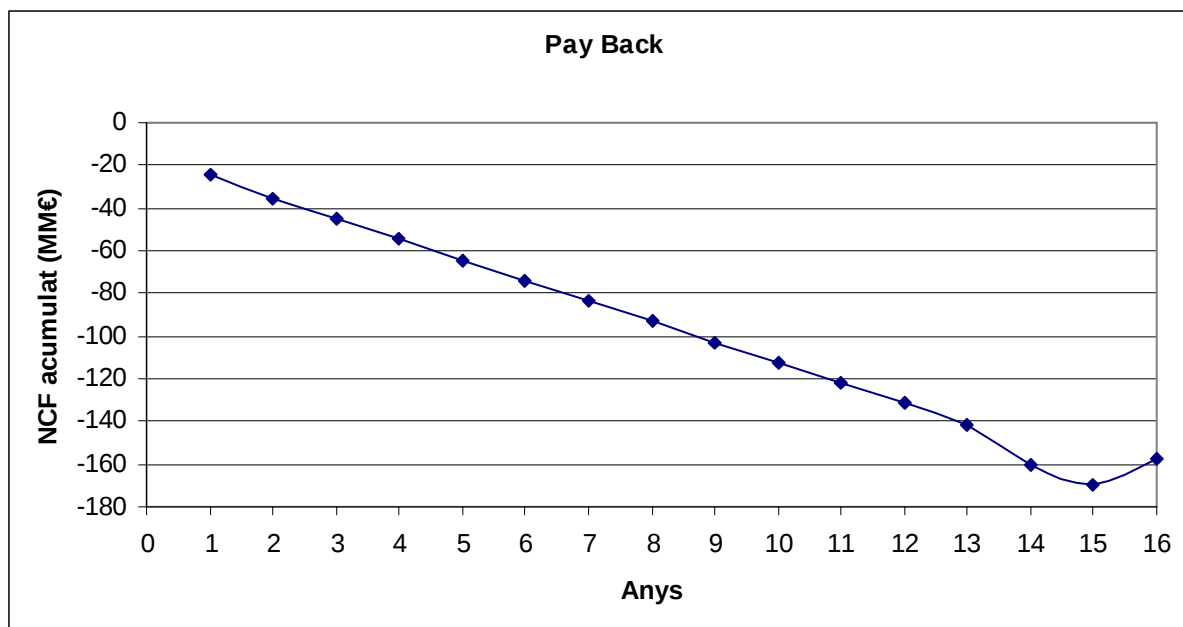


Figura 7.1 Resum del Pay Back al llarg del temps de vida de la planta

El període de retorn fa referència al temps necessari perquè el sumatori dels ingressos s'iguali a la inversió inicial. Per trobar aquest espai de temps és necessari utilitzar el NCF acumulat al llarg dels anys de vida de la planta.

S'observa que al llarg dels anys les pèrdues acumulades de l'empresa són cada vegada majors. En cap moment es podrà recuperar l'inversió inicial, per tant, no existeix el Pay Back que s'estava buscant.

7.4.2.2.2 Valor Actual Net

És la suma dels ingressos futurs de la nostra empresa amb el preu actual dels diners. Per realitzar l'estudi s'ha escollit el tipus d'interès actual del Banc Central Europeu situat en un **4,00%**.

El VAN s'ha calculat a partir de la següent equació:
$$VAN = \sum \frac{(NCF)_r}{(1+r)^r}$$

On: r = any de la inversió

i = tipus d'interès (4,00%)

El resultat obtingut és: **VAN = - 118,14 MM€**

Amb el valor del VAN obtingut es pot veure clarament que el nostre procés no és una bona inversió, ja que el capital invertit tindria unes pèrdues molt elevades al acabar l'activitat empresarial.

A continuació es mostra en forma de taula els resultats obtinguts en l'estudi del VAN per altres valors de l'interès:

Interés (%)	VAN (MM€)
7	-102,49
12	-84,16
17	-71,99
22	-63,59
27	-57,56

Taula 7.17 Valors del VAN per diferents interessos.

En la taula anterior s'observa com fins i tot amb majors valors del preu dels diners, la nostra instal·lació seguiria sense ser viable, de tal manera que seria impossible arribar a aconseguir un valor del VAN positiu.

7.5 Viabilitat de l'empresa

En aquest apartat s'estudiarà si realment el nostre procés és viable per altres produccions. És a dir, si des del punt de vista econòmic, el projecte que s'ha dissenyat es pot arribar a materialitzar.

Amb totes les dades econòmiques recollides fins ara s'observa que la planta és inviable. La causa principal és el petit marge comercial existent entre el preu de venda dels productes i el preu de compra de les matèries primeres.

La nostra producció és de 75000 Tn/any i els costos de producció anuals són molt superiors a les ventes. Tots els càlculs realitzats dels NCF's surten negatius, amb la qual cosa al tancar la nostra planta s'obtindran pèrdues acumulades de 118,00 MM€.

Tanmateix es vol realitzar un estudi per veure quina hauria de ser la capacitat de la planta per obtenir beneficis amb el nostre marge comercial. Per aconseguir-ho s'ha realitzat un estudi de l'evolució dels costos totals, fixos, variables i ventes dels nostres productes, en funció de la producció.

Per aquest estudi s'ha calculat el preu unitari de venda dels productes i el cost variable per unitat. D'aquesta manera s'han construït, en funció de la producció de la planta, les equacions del cost total i venda. Les equacions obtingudes són les següents:

$\text{Cost total} = \text{Costos fixos} + \text{Cost variable unitari} \cdot \text{Producció}$

$\text{Ventes} = \text{Preu de venda unitari} \cdot \text{Producció}$

Els resultats obtinguts per aquest model econòmic es mostren a la següent taula:

Q (Tn)	CF (MM€)	CV (MM€)	V (MM€)	CT (MM€)	B (MM€)
75000	4,761005	0,00086	59,85	69,261005	-9,411005
80000	4,761005	0,00081	63,84	69,561005	-5,721005
85000	4,761005	0,00076	67,83	69,361005	-1,531005
90000	4,761005	0,00072	71,82	69,561005	2,258995

Taula 7.18 Evolució dels costos, ventes i beneficis per diferents produccions

A continuació es mostra el valor exacte de la producció crítica que permet obtenir un benefici zero; per capacitats superiors la planta serà viable econòmicament.

Q (Tn)	CF (MM€)	CV (MM€)	V (MM€)	CT (MM€)	B (MM€)
86843	4,761005	0,00075	69,300714	69,893255	-0,592541
86844	4,761005	0,00074	69,301512	69,025565	0,275947

Taula 7.19 Producció crítica

La conclusió final és que el disseny de la planta en les condicions de producció demanades no és viable econòmicament, ja que el marge comercial del producte entre el cost de les matèries primeres i les ventes és extremadament petit i no es compensa fins a produccions més elevades de les que s'ha elaborat el projecte.

8. POSTA EN MARXA I OPERACIÓ

8.1 Introducció.....	8-1
8.2 Operacions prèvies a la posta en marxa	8-1
8.2.1 Activitats finals de la construcció.....	8-2
8.2.2 Comprovació de les activitats finals de construcció.....	8-2
8.2.3 Assignació de tasques per la preparació de la posta en marxa	8-3
8.2.4 Terminació mecànica.....	8-3
8.2.5 Comprovació de la terminació mecànica.....	8-3
8.2.6 Comprovació del subministrament elèctric i aparells.....	8-4
8.2.7 Neteja d'equips	8-4
8.2.8 Emmagatzematge de peces de manteniment	8-4
8.2.9 Realització de la prova hidràulica	8-4
8.2.10 Proves de pressió	8-5
8.2.11 Connexió del control en mode manual	8-5
8.2.12 Aire d'instrumentació	8-5
8.2.14 Configuració inicial de les posicions de les vàlvules de tota la planta.....	8-5
8.3 Posta en Marxa	8-7
8.3.1 Posta en Marxa de tots el serveis.....	8-7
8.3.1.1 Circuit d'aigua de refrigeració (torres de refrigeració)	8-7
8.3.1.2 Circuit d'aigua descalcificada	8-8
8.3.1.3 Circuit de vapor (caldera de vapor)	8-8
8.3.2 Posta en Marxa del procés	8-9
8.3.2.1 Àrea 100 (tanqueria).....	8-9
8.3.2.2 Àrea 300 (tractament de gasos)	8-9
8.3.2.3 Àrea 200 (reacció)	8-10
8.3.2.4 Àrea 400 (purificació)	8-12
8.4 Operació de la planta	8-13
8.5 Parada de la Planta.....	8-13

8. Posta en marxa i operació

8.1 Introducció

La posta en marxa de la planta consisteix en realitzar tota una sèrie d'accions, les quals s'han de tenir programades amb anterioritat, per tal que el procés evolucioni de forma controlada fins l'estat estacionari del sistema.

La posta en marxa serà la fi d'un munt d'accions per tal d'obtenir el producte desitjat amb la relació preu-qualitat fixat.

En el cas de que la planta operi en continu, com és el nostre cas, és molt important que la posta en marxa es realitzi de forma correcta, ja que s'ha d'arribar a l'estat estacionari de la forma més eficient, ràpida i segura possible, donat que durant l'etapa de posta en funcionament de la planta els equips treballen en condicions que no seran les de disseny (amb les que la planta operarà quan estigui en estat estacionari), de forma que poden aparèixer problemes que podrien, més endavant, desembocar en accidents. Aquests imprevistos s'han d'ajustar i modificar per obtenir un funcionament òptim prèviament establert segons els requisits del projecte a realitzar.

Cal destacar que totes aquestes operacions es realitzaran cada cop que la planta hagi estat en període de aturat.

Degut a la importància que té la posta en marxa és molt important que totes les parts es realitzin de forma planificada i ordenada. Per això es realitzarà un manual amb tota la informació necessària i indispensable pels operaris que porten a terme l'operació tan de la posta en marxa i del règim normal de la planta.

8.2 Operacions prèvies a la posta en marxa

La posta en marxa comprendrà des les activitats finals de la construcció fins que la planta es trobi en operació. Es compona de les següents etapes:

8.2.1 Activitats finals de la construcció

Algunes de les proves que realitzen els fabricants seran repetides amb posterioritat en planta per assegurar un correcte funcionament final. Un cop estiguin instal·lats els equips i connectats la resta del sistema s'han de portar a terme els següents preliminars:

- Identificar els errors de disseny i defectes de fabricació.
- Identificar requisits d'operació, procediments i tècniques per l'equip més complexe.
- Identificar processos de manteniment, especialment els realitzats pel personal del fabricant.
- Establir contacte amb el personal de manteniment i operació de la planta i el personal del fabricant.
- Comprovar certificats de materials, proves, calibració...
- Equip mecànic: haurà passat una sèrie de proves en l'empresa fabricant que consistiran en la comprovació mecànica, proves hidràuliques, segells mecànics...
- Són totes les comprovacions finals necessàries des dels plànols, diagrames, codis, manuals... del procés. Aquestes comprovacions implicaran en alguns casos repeticions de les revisions inicials portades a terme pel fabricant.

D'aquesta manera el disseny dels equips quedarà validat mitjançant el programa de proves, de forma que quan es subministrin, s'assegurin mitjançant el certificat de compliment.

El fabricant s'haurà d'assegurar un període de garantia de funcionament de 10 anys.

8.2.2 Comprovació de les activitats finals de construcció

La portarà a terme l'enginyeria i l'empresa constructora. Es realitzarà amb manuals, plànols i especificacions.

8.2.3 Assignació de tasques per la preparació de la posta en marxa

La realitzarà l'enginyeria, l'empresa constructora i el propietari. Es durà a terme amb la publicació API 700 que estableix les diferents tasques que componen les operacions prèvies a la posta en marxa.

8.2.4 Finalització mecànica

Implica la finalització mecànica de les operacions preparatives per la posta en marxa. S'arriba a aquest punt quan s'han fet les comprovacions inicials, que realitzen tant els subministradors com els supervisors, segons s'hagi acordat prèviament comprovant que compleixen les instruccions i plànols del projecte. La realitzaran l'enginyeria, l'empresa constructora i el propietari. Es compona de:

- Ajusts fora d'operació i aliment en fred dels equips.
- Comprovació de les polaritats elèctriques i mesures de resistència del aïllament.
- Instal·lació i inspecció dels elements interns dels dipòsits i l'instal·lació dels rebliments de les torres.
- Empaquetadura inicial de bombes i vàlvules.
- Proves d'hermeticitat mecànica, hidrostàtica o neumàtica.
- Inspecció i comprovació de les canonades amb els diagrames de flux.
- Pintura, aïllament tèrmic i neteja final.
- Sistemes de control: es considera preparat quan s'ha completat l'instal·lació, incloent canonades, cablejat, aïllament...
- Instruments i calibració: s'han de calibrar els instruments abans de l'instal·lació o immediatament després de la mateixa.

8.2.5 Comprovació de la finalització mecànica

És tasca de l'enginyeria, l'empresa constructora i el propietari. Per portar-la a terme s'ha de consultar la documentació del projecte i les normatives i regulacions utilitzades.

Un cop els equips estan instal·lats en el lloc d'emplaçament es seguiran les següents accions:

8.2.6 Comprovació del subministrament elèctric i aparells

Comprovar que tots els aparells elèctrics funcionin correctament i que el subministrament arribi adequadament a tots els llocs.

8.2.7 Neteja d'equips

Es realitzarà una neteja a fons per eliminar la brutícia que s'hagi generat en la fase de muntatge; com poden ser restes de ferralla, pols, greixos, etc.

8.2.8 Emmagatzematge de peces de manteniment

Es realitzarà un inventari de peces de recanvi per disposar de materials abans de fer proves de funcionament i d'estat dels diferents equips. L'inventari ha d'incloure:

- Jocs complets de peces de recanvi per tots els equips, sobretot per aquells que no estiguin duplicats.
- Joc de juntes per tancs i intercanviadors
- Canonades, connexions, accessoris, vàlvules i juntes.
- Canonades i connexions per l'instrumentació que necessita aire.
- Juntes per les canonades a pressió
- Termòmetres i instrumentació especial
- Discs de ruptura
- Material aïllant
- Lubricants, olis i greixos per bombes, motors
- Recanvis per aparells electrònics i equips analítics

8.2.9 Realització de la prova hidràulica

Es realitzaran amb aigua a temperatura ambient (no inferior a 7°C) i amb un grau de salinitat adequat a les característiques dels materials de construcció.

L'ús de l'aigua com a fluid de prova s'ha triat per les seves característiques d'incompressibilitat. D'aquesta manera s'eliminen riscos en cas d'un resultat negatiu de la prova.

Tenen l'objectiu de:

- Detectar possibles irregularitats en les unions o soldadures que poden provocar fuites en equips o canonades.
- Comprovar el correcte funcionament de les bombes i vàlvules.

8.2.10 Proves de pressió

Es realitzen a cada equip per comprovar perfectament la pressió a la que treballaran. Aquesta prova normalment es realitza només en canonades i equips senzills, ja que els equips més importants (reactor, columna...) acostumen a subministrar-se amb aquestes proves fetes.

8.2.11 Connexió del control en mode manual

Per la posta en marxa és bàsic tenir el control en mode manual, ja que el control està pensat per condicions estàndards de la planta. Per la posta en marxa al principi seran molt diferents. Així doncs s'efectuarà un control manual. Això no vol dir que no es controli la planta, sinó que el control serà efectuat mitjançant un operari de supervisió i no amb un PID per exemple. Del mateix mode els sensors s'han de trobar-se operatius per facilitar la caracterització del procés als encarregats de dirigir manualment l'operació en planta.

8.2.12 Aire d'instrumentació

S'accionarà l'aire d'instrumentació perquè un cop comenci la posta en marxa poder actuar sobre les diferents vàlvules.

8.2.14 Configuració inicial de les posicions de les vàlvules de tota la planta

És molt important revisar totes les posicions de les vàlvules de la planta per tal d'evitar errors en l'aplicació del protocol de posta en marca.

Per començar la posta en marxa a mode general s'estableix que totes les vàlvules estaran tancades. Aquestes vàlvules s'aniran obrint a mesura que el fluid arribi o s'indiqui en el protocol de posta en marxa.

8.3 Posta en Marxa

Primer serà necessari fer la posta en marxa dels serveis de la planta. Abans de començar a obrir la línia de procés és bàsic que funcionin bé els serveis de la planta. És a dir, en primer lloc s'han d'obrir els circuits d'aigua de refrigeració, d'aigua descalcificada i de vapor. També s'ha d'encendre la caldera i el subministre de gas natural.

Així el protocol de posta en marxa de la planta es divideix en serveis i procés, essent obligatori garantir primer la posta en marxa del serveis i assegurar un correcte funcionament.

El procés es posarà en marxa de manera seqüencial, és a dir, s'anirà obrint equip per equip a mesura que el fluid arribi a les seves condicions òptimes.

Les bombes adquirides a la planta són autocebants, de manera que no serà necessari l'encebat de les bombes.

8.3.1 Posta en Marxa de tots el serveis

8.3.1.1 Circuit d'aigua de refrigeració (torres de refrigeració)

1	Obrir les vàlvules manuals de les bombes P-501, P-502, P-503
2	Obrir les vàlvules manuals d'entrada i sortida de la torre
3	Posar en marxa les bombes P-501, P-502, P-503
4	Posar en marxa els ventiladors de les Torres de Refrigeració
5	Posar en mode automàtic les vàlvules de purga de les torres de refrigeració i les vàlvules d'entrada d'aigua descalcificada
6	Posar en automàtic les vàlvules d'entrada i sortida d'aigua de refrigeració de tots els equips

En aquest procés s'han d'habilitar primer les bombes de servei d'aigua i a continuació posar en marxa la torre per refrigerar l'aigua. Les vàlvules de regulació de l'aigua de refrigeració de la planta es posen en automàtic per garantir el servei a tots els equips de la planta.

8.3.1.2 Circuit d'aigua descalcificada

1	Obrir la vàlvula manual d'entrada d'aigua de xarxa
2	Obrir les vàlvules automàtiques d'entrada de la torre de descalcificació C-501 o C-502
3	Obrir les vàlvules manuals de la bomba P-504
4	Posar en marxa la bomba P-504

El circuit d'aigua de descalcificació és en discontinu. S'ha d'operar amb dues torres per assegurar la continuïtat del servei en el circuit. Quan una torre es satura, deixa de funcionar i mentre es fa el manteniment (regeneració) s'opera amb l'altre, i així successivament.

8.3.1.3 Circuit de vapor (caldera de vapor)

1	Obrir les dues vàlvules manuals d'entrada a la caldera d'aigua
2	Obrir les dues vàlvules manual de la bomba P-505
3	Obrir les dues vàlvules manuals d'entrada al dipòsit D-501
4	Posar en marxa la bomba P-505 i s'omplirà la caldera
5	Posar en marxa la caldera (obrir gas natural)
6	Obrir les vàlvules manuals de purga de la caldera
7	Obrir les vàlvules manuals d'entrada al dipòsit d'expansió D-502
8	Posar en automàtic la vàlvula reguladora d'entrada d'aigua descalcificada

El circuit de vapor d'aigua funciona a partir de la caldera de vapor. En primer lloc s'ha d'omplir la caldera d'aigua i a continuació posar-la en marxa. Per posar en marxa la caldera s'ha d'obrir el pas de gas natural. És important obrir el corrent de purga de la caldera ja que anirà al dipòsit d'expansió, per tal de regenerar l'aigua amb aigua descalcificada que prové de la torre de descalcificació.

Les vàlvules del circuit de vapor que van als equips es mantindran tancades fins el moment d'utilitzar l'equip per tal d'evitar sobreescalfaments.

8.3.2 Posta en Marxa del procés

8.3.2.1 Àrea 100 (tanqueria)

1	Obrir totes les vàlvules manuals associades a les bombes P-101 i la vàlvula manual d'entrada al dipòsit T-115
2	Posar en automàtic totes les vàlvules associades a l'àrea 100

L'àrea 100 (tanqueria) s'ha de posar operativa per tal de garantir el subministrament de CO i metanol al procés i emmagatzemar l'àcid acètic i el propiònic produït. El tanc d'àcid propiònic (T-115) és l'únic amb vàlvula manual que s'haurà d'obrir ja que els altres estan equipats amb vàlvules automàtiques.

8.3.2.2 Àrea 300 (tractament de gasos)

1	Obrir les vàlvules manuals d'entrada i sortida de la columna C-301
2	Posar en automàtic la vàlvula de 3 vies d'enviament de gasos al incinerador
3	Posar en automàtic la vàlvula d'entrada de gas natural a l'incineradora
4	Posar en marxa la incineradora

S'ha de garantir abans de posar en marxa el procés de reacció que el tractament de gasos està operatiu. Per posar operativa la columna d'absorció (C-301) s'han d'obrir les vàlvules d'entrada de metanol i de gasos que venen regulades per una vàlvula de 3 vies automàtica. El incinerador operarà amb gas natural.

8.3.2.3 Àrea 200 (reacció)

1	Omplir el dipòsit D-204 de metanol fins al nivell màxim
2	Posar en automàtic la vàlvula de sortida del corrent líquid del reactor i obrir les vàlvules manuals associades
3	Obrir les vàlvules manuals associades als separadors S-201, S-202 i S-203.
4	Obrir les vàlvules manuals associades als dipòsits D-202 i D-201.
5	Obrir les vàlvules manuals i posar en automàtic la vàlvula reguladora de enviament a Metanol a C-301
6	Posar en automàtic la vàlvula reguladora del dipòsit D-203
7	Obrir les vàlvules manuals associades als bescanviadors E-203 i E-204
8	Obrir les vàlvules manuals associades a la bomba P-203 i el compressor CO-204
9	Obrir les vàlvules manuals associades a la columna C-201 i les del compressor CO-203
10	Omplir els dos reactors amb la mescla inicial de la reacció incluint el catalitzador
11	Posar en marxa els agitadors dels reactors
12	Posar en automàtic la vàlvula reguladora de pressió dels reactors
13	Obrir les vàlvules manuals d'entrada de Metanol i CO
14	Posar en automàtic les vàlvules de 3 vies d'entrada de Metanol i CO
15	Posar en marxa la bomba P-201 i el compressor CO-201
16	Posar en automàtic les vàlvules del circuit de vapor del reboiler E-202
17	Obrir les vàlvules manuals de recirculació al reactor
18	Posar en automàtic els compressors CO-203 i CO-204
19	Posar en automàtic les bombes P-203 i P204
20	Obrir totes les vàlvules manuals associades a la columna C-401, el bescanviador E-403 i posar en operatiu les vàlvules automàtiques (veure Àrea-300)
21	Quan el reboiler arribi a la temperatura d'operació obrir les vàlvules manuals associades a la bomba P-205 i posar-la bomba en automàtic

L'àrea 200 és la més important i crítica de la posta en marxa ja que és l'àrea de reacció i és on hi ha la major part dels equips de procés. Primer s'ha d'omplir el dipòsit d'expansió de metanol (D-204) i obrir les vàlvules manuals dels equips d'aquesta àrea per quan el reactor comenci a operar. Això inclou separadors, columna de destil·lació, intercanviadors i les bombes i compressors associats a aquests equips. També s'ha d'obrir la vàlvula manual d'entrada a la columna C-301 per enviar els gasos provinents del reactor i posar en automàtic la vàlvula reguladora de subministrament de metanol cap a la columna.

Un cop els equips estan preparats s'ha d'omplir el reactor amb la mescla inicial d'arrancada. Aquesta és la mescla en l'estat estacionari de la reacció, on s'inclou el catalitzador necessari per la reacció. S'ha de tenir en compte que es perd aproximadament un 5% del catalitzador anualment encara que es recircula, aquest percentatge s'haurà d'anar reposant anualment. Els agitadors dels reactors es posen en marxa i la vàlvula reguladora de la pressió dels reactors en operació.

A continuació s'obren les vàlvules d'entrada de metanol, CO i les bombes i compressors per tal que arribin al reactor i comenci la reacció del procés. S'ha de posar operativa la vàlvula de regulació del reboiler (E-202) i la vàlvula de recirculació del reactor. A continuació es col·loquen operatius els compressors i les bombes per tal de recircular el líquid que prové dels flashos (S-201, S-202, S-203) i el vapor del condensador de la columna (C-201).

En arribar a aquest punt s'han d'obrir les vàlvules manuals de la columna C-401 i el bescanviador E-403 per permetre el pas del fluid cap a la següent zona. Finalment, quan el reboiler arribi a la temperatura d'operació s'obren les vàlvules manuals de la bomba P-205 i es posen en operació per enviar el líquid del reboiler cap a la zona de purificació (àrea 400).

8.3.2.4 Àrea 400 (purificació)

1	Obrir totes les vàlvules manuals associades a la columna C-401 i el bescanviador E-403 (fer-ho abans del punt 20 de zona 200)
2	Posar en automàtic totes les vàlvules associades a la columna C-401 (fer-ho abans del punt 20 de zona 200) excepte la vàlvula que regula el reflux que es posarà tancada
3	Obrir l'entrada de vapor del reboiler E-402
4	Obrir totes les vàlvules manuals associades al mesclador D-402
5	Posar en automàtic totes les vàlvules associades al mesclador D-402
6	Quan s'assoleixi el perfil de temperatura a la columna es posarà en automàtic la vàlvula reguladora del reflux
7	Obrir les vàlvules manuals associades a la bomba P-403 i posar en automàtic la bomba
8	Obrir les vàlvules manuals associades a la bomba P-402
9	Posar en marxa la bomba P-402
10	Obrir les vàlvules manuals associades a la bomba P-401
11	Posar en automàtic la bomba P-401

A la zona de purificació s'aconsegueix el producte final un cop arriba a la columna de destil·lació (C-401). S'ha d'obrir l'entrada de vapor al reboiler i les vàlvules manuals i automàtiques del mesclador D-402.

El punt més important d'aquesta zona és assolir el perfil de temperatures a la columna, a continuació es posarà en automàtic la vàlvula reguladora de reflux i en marxa les bombes i compressors. D'aquesta manera es començarà a obtenir per caps de la columna l'àcid acètic i per cues l'àcid propiònic.

Les vàlvules s'han de posar en automàtic, així s'obtindrà la relació estipulada d'àcid acètic glacial i àcid acètic al 70%. La vàlvula FV D402.02 és la que regularà aquesta operació i segons les necessitats de producció es variarà per obtenir més àcid acètic glacial o àcid acètic al 70%.

8.4 Operació de la planta

La producció d'àcid acètic és un procés en continu, per la qual cosa l'operació de la planta serà totalment automatitzada perquè funcioni les 24 hores del dia. D'aquesta manera l'operació de la planta es farà mitjançant la sala de control. La planta està dissenyada perquè qualsevol anomalia es reguli automàticament mitjançant els llaços de control del procés. Existeixen sensors amb els que els operaris, des de la sala de control, poden observar les irregularitats i actuar en conseqüència.

Així el procés ofereix la possibilitat de combinar l'actuació directa des de camp, actuació manual des de sala de control i actuació automàtica segons el funcionament dels llaços de control mitjançant controladors i PLC.

L'única part que exigeix una operació manual és la càrrega dels tancs de matèries primeres (metanol i CO) i la recollida del producte acabat que es farà amb camions cisternes segons la demanda.

8.5 Parada de la Planta

El procediment de parada de la planta s'efectuarà de manera inversa a la posta en marxa en termes generals. Existeixen una sèrie de procediments específics a fer:

Parada de l'entrada de vapor al reboiler

En primer lloc és necessària l'aturada del vapor dels reboilers per parar les columnes de destil·lació. D'aquesta manera es podrà recollir el contingut de les columnes al calderí.

Parada d'entrada de CO

S'ha d'aturar el subministrament de CO als reactors per finalitzar la reacció del procés.

Aturada de l'entrada de metanol

S'ha d'aturar el subministrament de metanol al reactor, però no el que va a la columna d'absorció ja que és necessari per acabar d'absorbir tots els gasos dels reactors.

Aigua de refrigeració

S'ha de remarcar que l'aturada de les torres de refrigeració serà l'últim procediment que es realitzarà i només quan les temperatures dels equips siguin prou baixes (assegurar que no hi ha fuites de vapor a les columnes, ja que són atmosfèriques).

10. MANUAL DE CàLCUL

10.1 Tanc de metanol.....	10-1
10.1.1 Quantitat de metanol necessaria.....	10-1
10.1.2 Número de tancs i mides	10-1
10.1.3 Disseny mecànic	10-2
10.1.4 Venteig del tanc	10-3
10.2 Tanc d'Àcid Propiònic.....	10-4
10.2.1 Quantitat d'àcid propiònic necessaria	10-4
10.2.2 Dimensions del tanc.....	10-4
10.2.3 Disseny mecànic	10-5
10.3 Tanc d'Àcid Acètic al 70%	10-6
10.3.1 Quantitat d'àcid acètic al 70% produïda.....	10-6
10.3.2 Número de tancs i mides	10-6
10.3.3 Disseny mecànic	10-7
10.4 Tanc d'Àcid Acètic glacial	10-8
10.4.1 Quantitat d'àcid acètic glacial produïda	10-8
10.4.2 Número de tancs i mides	10-8
10.4.3 Disseny mecànic	10-9
10.4.4 Sistema calefactor.....	10-9
10.5 Tanc de Monòxid de Carboni	10-11
10.5.1 Especificació dels tancs i quantitat de monòxid necessària	10-11
10.6 Mesclador d'Aigua i Acètic.....	10-13
10.6.1 Dimensionament del mesclador.....	10-13
10.6.2 Disseny de l'agitador	10-13
10.6.3 Disseny mecànic	10-15
10.7 Reactor R-201 i R-202.....	10-17
10.7.1 Disseny mecànic	10-17
10.7.2 Disseny del bescanvi de calor (mitja canya) quan el reactor treballa al 60%	10-18
10.7.3 Disseny del difusor de CO	10-26
10.7.4 Aïllament del reactor	10-29
10.7.5 Pes del reactor.....	10-30

10.8 Disseny separador S-201.....	10-32
10.8.1 Càlcul del diàmetre del tanc.....	10-32
10.8.1.1 Càlcul de K_{drum}	10-32
10.8.1.2 Càlcul de U_{perm}	10-33
10.8.1.3 Càlcul de l'àrea mínima del separador.....	10-33
10.8.1.4 Diàmetre del separador	10-33
10.8.2 Alçada del tanc.....	10-33
10.8.2.1 Distància entre l'entrada de l'aliment i el demister	10-33
10.8.2.2 Distància entre el nivell de líquid i l'entrada de l'aliment.....	10-33
10.8.2.3 Distància entre el demister i el fons de caps	10-33
10.8.2.4 Alçada del líquid	10-34
10.8.2.5 Alçada total	10-34
10.8.3 Disseny mecànic	10-34
10.8.3.1 Pressió de disseny	10-34
10.8.3.2 Temperatura de disseny	10-35
10.8.3.3 Material de l'equip.....	10-35
10.8.3.4 Gruixos de l'equip.....	10-35
10.8.4 Volum i superfície de l'equip.....	10-36
10.8.5 Aïllament de l'equip.....	10-37
10.8.6 Pes de l'equip	10-37
10.8.7 Tubuladures.....	10-38
10.9 Disseny separador S-202.....	10-39
10.9.1 Càlcul del diàmetre del tanc.....	10-39
10.9.1.1 Càlcul de K_{drum}	10-39
10.9.1.2 Càlcul de U_{perm}	10-40
10.9.1.3 Càlcul de l'àrea mínima del separador.....	10-40
10.9.1.4 Diàmetre del separador	10-40
10.9.2 Alçada del tanc.....	10-40
10.9.2.1 Distància entre l'entrada de l'aliment i el demister	10-40
10.9.2.2 Distància entre el nivell de líquid i l'entrada de l'aliment.....	10-40
10.9.2.3 Distància entre el demister i el fons de caps	10-40
10.9.2.4 Alçada del líquid	10-41
10.9.2.5 Alçada total	10-41
10.9.3 Disseny mecànic	10-41

10.9.3.1 Pressió de disseny	10-41
10.9.3.2 Temperatura de disseny	10-42
10.9.3.3 Material de l'equip.	10-42
10.9.3.4 Gruixos de l'equip.	10-42
10.9.4 Volum i superfície de l'equip	10-43
10.9.5 Aïllament de l'equip.	10-44
10.9.6 Pes de l'equip	10-44
10.9.7 Tubuladures	10-45
10.10 Disseny separador S-203	10-46
10.10.1 Càlcul del diàmetre del tanc.	10-46
10.10.1.1 Càlcul de K_{drum}	10-46
10.10.1.2 Càlcul de U_{perm}	10-47
10.10.1.3 Càlcul de l'àrea mínima del separador	10-47
10.10.1.4 Diàmetre del separador	10-47
10.10.2 Alçada del tanc	10-47
10.10.2.1 Distància entre l'entrada de l'aliment i el demister.....	10-47
10.10.2.2 Distància entre el nivell de líquid i l'entrada de l'aliment	10-47
10.10.2.3 Distància entre el demister i el fons de caps.....	10-47
10.10.2.4 Alçada del líquid.....	10-48
10.10.2.5 Alçada total.....	10-48
10.10.3 Disseny mecànic	10-48
10.10.3.1 Pressió de disseny	10-48
10.10.3.2 Temperatura de disseny	10-49
10.10.3.3 Material de l'equip.	10-49
10.10.3.4 Gruixos de l'equip.	10-49
10.10.4 Volum i superfície de l'equip	10-50
10.10.5 Aïllament de l'equip.	10-51
10.10.6 Pes de l'equip	10-51
10.10.7 Tubuladures	10-51
10.11 Columna rectificació C-201	10-53
10.11.1 Descripció de la columna	10-53
10.11.2 composicions a la columna.....	10-53
10.11.3 Càlcul de l'eficàcia global de la columna.....	10-54
10.11.4 Càlcul del plat de l'aliment.....	10-54

10.11.5 Càlcul del diàmetre de la columna	10-55
10.11.5.1 Càlcul del diàmetre en condicions de l'aliment	10-55
10.11.5.2 Càlcul del diàmetre en condicions de cues	10-57
10.11.6 Disseny detallat dels plats perforats	10-58
10.11.6.1 Disseny dels plats per les condicions de l'aliment.....	10-59
10.11.6.2 Disseny dels plats per les condicions de cues	10-66
10.11.7 Disseny mecànic	10-71
10.11.7.1 Disseny de les tubuladuras	10-71
10.11.7.2 Gruixos de la columna	10-73
10.12 Condensador E-201	10-84
10.12.1 Descripció de l'equip	10-84
10.12.10 Aïllament.....	10-99
10.12.2 Càlcul del calor a bescanviar, de l'àrea necessària i del cabal d'aigua de refrigeració	10-84
10.12.3 Característiques del bescanviador de carcassa i tubs	10-86
10.12.4 Coeficient de transferència de calor per la banda de la carcassa	10-87
10.12.5 Coeficient de transferència de calor per la banda dels tubs	10-88
10.12.6 Càlcul del coeficient global de transferència de calor	10-89
10.12.7 Càlcul de la caiguda de pressió per carcassa.....	10-91
10.12.8 Càlcul de la caiguda de pressió pels tubs	10-94
10.12.9 Disseny mecànic	10-95
10.12.9.1 Gruix del cilindre	10-95
10.12.9.2 Gruix de les tapes	10-97
10.12.9.3 Disseny de les tubuladures	10-98
10.13 Reboiler E-202	10-100
10.13.1 Descripció de l'equip	10-100
10.13.2 Càlcul del calor necessari, de l'àrea necessària i del cabal de vapor	10-100
10.13.3 Característiques del reboiler KETTLE	10-101
10.13.4 Coeficient de transferència de calor per la banda de la carcassa	10-102
10.13.5 Coeficient de transferència de calor per la banda dels tubs	10-102
10.13.6 Càlcul del coeficient global de transferència de calor	10-103
10.13.7 Càlcul del nivell de líquid al reboiler	10-103
10.13.8 Disseny mecànic	10-104
10.13.8.1 Gruix de la carcassa	10-104

10.13.8.2 Gruix de les tapes	10-106
10.13.8.3 Disseny de les tubuladures	10-108
10.13.9 Aïllament	10-108
10.14 Bescanviador E-203.....	10-110
10.14.1 Descripció de l'equip.....	10-110
10.14.10 Aïllament	10-122
10.14.2 Càlcul del calor a bescanviar, de l'àrea necessària i del cabal d'aigua de refrigeració	10-110
10.14.3 Característiques del bescanviador de carcassa i tubs.....	10-112
10.14.4 Coeficient de transferència de calor per la banda de la carcassa.....	10-113
10.14.5 Coeficient de transferència de calor per la banda dels tubs.....	10-114
10.14.6 Càlcul del coeficient global de transferència de calor	10-115
10.14.7 Càlcul de la caiguda de pressió per carcassa	10-116
10.14.8 Càlcul de la caiguda de pressió pels tubs	10-117
10.14.9 Disseny mecànic	10-118
10.14.9.1 Gruix del cilindre.....	10-118
10.14.9.2 Gruix de les tapes	10-120
10.14.9.3 Disseny de les tubuladures	10-121
10.15.1 Descripció de l'equip.....	10-123
10.15.10 Aïllament	10-134
10.15.2 Càlcul del calor a bescanviar, de l'àrea necessària i del cabal d'aigua de refrigeració	10-123
10.15.3 Característiques del bescanviador de carcassa i tubs.....	10-124
10.15.4 Coeficient de transferència de calor per la banda de la carcassa.....	10-125
10.15.5 Coeficient de transferència de calor per la banda dels tubs.....	10-126
10.15.6 Càlcul del coeficient global de transferència de calor	10-127
10.15.7 Càlcul de la caiguda de pressió per carcassa	10-127
10.15.8 Càlcul de la caiguda de pressió pels tubs	10-129
10.15.9 Disseny mecànic	10-130
10.15.9.1 Gruix del cilindre.....	10-130
10.15.9.2 Gruix de les tapes	10-131
10.15.9.3 Disseny de les tubuladures	10-133
10.16 Tanc pulmó D-201.....	10-135
10.16.1 Dimensionament del mesclador.....	10-135

10.16.2 Disseny mecànic	10-135
10.16.2.1 Càlcul del gruix de la paret a pressió interna (t):	10-135
10.16.2.2 Càlcul del fons torisfèric a pressió interna (t).	10-136
10.17 Bescanviador E-204	10-123
10.17 Tanc pulmó D-202.	10-137
10.17.1 Dimensionament del mesclador.	10-137
10.17.2 Disseny mecànic.	10-137
10.17.2.1 Càlcul del gruix de la paret a pressió interna (t).	10-138
10.17.2.2 Càlcul del fons torisfèric a pressió interna (t).	10-138
10.17.3 Disseny de l'agitador.	10-138
10.17.4 Aïllament.....	10-139
10.17.4.1 Càlcul de la h_i	10-139
10.17.4.2 Càlcul de gruix de l'aïllant.....	10-140
10.18 Tanc pulmó D-203:	10-141
10.18.1 Dimensionament del mesclador.	10-141
10.18.2 Disseny mecànic.	10-141
10.18.2.1 Càlcul del gruix de la paret a pressió interna (t).	10-142
10.18.2.2 Càlcul del fons torisfèric a pressió interna (t).	10-142
10.19 Tanc pulmó D-204.	10-143
10.19.1 Dimensionament del tanc.....	10-143
10.19.2 Disseny mecànic.	10-143
10.19.2.1 Càlcul del gruix de la paret a pressió interna (t).	10-144
10.19.2.2 Càlcul del fons torisfèric a pressió interna (t).	10-144
10.20 Tanc pulmó D-205.	10-145
10.20.1 Dimensionament del tanc.....	10-145
10.20.2 Disseny mecànic.	10-145
10.20.2.1 Càlcul del gruix de la paret a pressió interna (t).	10-146
10.20.2.2 Càlcul del fons torisfèric a pressió interna (t).	10-146
10.21 Columna d'absorció	10-147
10.21.1 Dades dels corrents	10-147
10.21.2 Càlcul del diàmetre del tanc.....	10-147
10.21.2.1 Càlcul de $(L/G) \cdot (\rho_G / \rho_L)^{1/2}$	10-148
10.21.2.2 Càlcul de $(G^2 \cdot F \cdot \psi \cdot \mu^{0.2}) / (\rho_G \cdot \rho_L \cdot g_c)$	10-149
10.21.2.3 Càlcul de G.....	10-149

10.21.2.4 Àrea del separador	10-149
10.21.2.5 Diàmetre del separador	10-149
10.21.3 Alçada del tanc	10-149
10.21.4 Disseny mecànic	10-150
10.21.4.1 Pressió de disseny	10-150
10.21.4.2 Temperatura de disseny	10-150
10.21.4.3 Material de l'equip.	10-150
10.21.4.4 Gruixos de l'equip.	10-151
10.21.5 Volum i superfície de l'equip	10-152
10.21.6 Aïllament de l'equip	10-152
10.21.7 Pes de l'equip	10-153
10.21.8 Tubuladures	10-153
10.22 Columna rectificació C-401	10-154
10.22.1 Descripció de la columna	10-154
10.22.2 Cabals i composicions a la columna.....	10-154
10.22.3 Càlcul de l'eficàcia global de la columna.....	10-155
10.22.4 Càlcul del plat de l'aliment.....	10-155
10.22.5 Càlcul del diàmetre de la columna	10-156
10.22.5.1 Càlcul del diàmetre en condicions de caps.....	10-156
10.22.5.2 Càlcul del diàmetre en condicions de cues.....	10-158
10.22.6 Disseny detallat dels plats perforats	10-160
10.22.6.1 Disseny dels plats per les condicions de caps	10-160
10.22.6.2 Disseny dels plats per les condicions de cues	10-167
10.22.7 Disseny mecànic	10-170
10.22.7.1 Disseny de les tubuladures	10-170
10.22.7.2 Gruixos de la columna.....	10-172
10.23 Condensador E-401	10-177
10.23.1 Descripció de l'equip.....	10-177
10.23.2 Càlcul del calor a bescanviar, de l'àrea necessària i del cabal d'aigua de refrigeració	10-177
10.23.3 Característiques del bescanviador de carcassa i tubs.....	10-179
10.23.4 Coeficient de transferència de calor per la banda de la carcassa.....	10-180
10.23.5 Coeficient de transferència de calor per la banda dels tubs.....	10-181
10.23.6 Càlcul del coeficient global de transferència de calor.....	10-181

10.23.7 Càlcul de la caiguda de pressió per carcassa.....	10-182
10.23.8 Càlcul de la caiguda de pressió pels tubs.....	10-184
10.23.9 Disseny mecànic	10-184
10.23.9.1 Gruix del cilindre	10-184
10.23.9.2 Gruix de les tapes.....	10-186
10.23.9.3 Disseny de les tubuladures.....	10-188
10.23.10 Aïllament.....	10-188
10.24 Reboiler E-402	10-190
10.24.1 Descripció de l'equip	10-190
10.24.2 Càlcul del calor necessari, de l'àrea necessària i del cabal de vapor	10-190
10.24.3 Característiques del reboiler KETTLE	10-191
10.24.4 Coeficient de transferència de calor per la banda de la carcassa	10-192
10.24.5 Coeficient de transferència de calor per la banda dels tubs	10-193
10.24.6 Càlcul del coeficient global de transferència de calor	10-193
10.24.7 Càlcul del nivell de líquid al reboiler.....	10-194
10.24.8 Disseny mecànic	10-194
10.24.8.1 Gruix de la carcassa	10-194
10.24.8.2 Gruix de les tapes.....	10-196
10.24.8.3 Disseny de les tubuladures.....	10-198
10.24.9 Aïllament.....	10-199
10.25 Bescanviador E-403	10-201
10.25.1 Descripció de l'equip	10-201
10.25.10 Aïllament.....	10-210
10.25.3 Característiques del bescanviador de carcassa i tubs.....	10-202
10.25.4 Coeficient de transferència de calor per la banda de la carcassa	10-203
10.25.5 Coeficient de transferència de calor per la banda dels tubs	10-204
10.25.6 Càlcul del coeficient global de transferència de calor	10-205
10.25.7 Càlcul de la caiguda de pressió per carcassa.....	10-206
10.25.8 Càlcul de la caiguda de pressió pels tubs.....	10-208
10.25.9 Disseny mecànic	10-208
10.25.9.1 Gruix del cilindre	10-208
10.25.9.2 Gruix de les tapes.....	10-209
10.25.9.3 Disseny de les tubuladures.....	10-210
10.26 Tanc pulmó D-401.	10-212

10.26.1 Disseny mecànic.	10-212
10.26.1.1 Càlcul del gruix de la paret a pressió interna (t).	10-213
10.26.1.2 Càlcul del fons toriesfèric a pressió interna (t).	10-213
10.26.1.3 Aïllament del tanc:	10-213
10.27 Bescanviador E-404.	10-215
10.27.1 Descripció de l'equip.	10-215
10.27.2 Càlcul de coeficient global de tranferència de calor.	10-216
10.27.2 Dades pel càlcul del bescanviador.	10-215
10.27.3 Càlcul de l'àrea de bescanvi i del cabal de refrigerant.	10-218
10.27.4 Longitud del bescanviador.	10-219
10.28 Tanc Pulmó D-501	10-220
10.28.1 Disseny mecànic	10-220
10.28.1.1 Càlcul del gruix de la paret a pressió interna (t).	10-221
10.28.1.2 Càlcul del fons toriesfèric a pressió interna (t).	10-221
10.28.1.3 Aïllament del tanc.	10-222
10.29 Tanc Pulmó D-502	10-223
10.29.1 Disseny mecànic.	10-223
10.29.1.1 Càlcul del gruix de la paret a pressió interna (t).	10-223
10.29.1.2 Càlcul del fons toriesfèric a pressió interna (t).	10-224
10.29.1.3 Aïllament del tanc.	10-224

10. Manual de càlcul

10.1 Tancs de metanol T-101, T-102, T-103, T-104, T-105

10.1.1 Quantitat de metanol necessària

La quantitat necessària per aquesta matèria primera s'ha fixat a una capacitat d'emmagatzematge de tres dies. Per tant, a partir del cabal d'entrada al procés s'estimen les necessitats:

$$4518 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 137,97 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \Rightarrow 137,97 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \cdot 3 \text{ d} = 413,8 \text{ m}^3$$

10.1.2 Nombre de tancs i mides

Es col·locaran un total de 5 tancs de 95 m^3 cadascun dels quals es troba a un 90% de la seva capacitat. Així doncs el volum de líquid a cada tanc serà: $95 \text{ m}^3 \cdot 0,90 = 85,5 \text{ m}^3$.

Fixant el diàmetre del tanc en 3,5 m es calcula l'alçada:

$$H_{\text{Tanc}} = \frac{V_{\text{Tanc}}}{\pi \cdot r^2} \rightarrow H_{\text{Tanc}} = \frac{95 \text{ m}^3}{\pi \cdot \left(\frac{3,5}{2}\right)^2 \text{ m}} \Rightarrow H_{\text{Tanc}} = 9,87 \text{ m}$$

Cap del cilindre (sostre cònic):

$$V_{\text{sc}} = \frac{\pi}{2} \cdot D \cdot \sqrt{\left(\frac{D^2}{4} + h^2\right)} \cdot \text{gruix}$$

Aquesta h es correspon a l'alçada del cap i és: $h \rightarrow \text{tg}(\alpha) = \frac{h}{D/2}$. Es pren $\alpha=10^\circ$.

Per tant, $h = \text{tg}(10) \cdot \frac{3,5 \text{ m}}{2} = 0,3 \text{ m}$

$$V_{\text{sc}} = \frac{\pi}{2} \cdot 3,5 \text{ m} \cdot \sqrt{\left(\frac{3,5^2 \text{ m}}{4} + 0,3^2 \text{ m}\right)} \cdot 4 \cdot 10^{-3} \text{ m} \Rightarrow V_{\text{sc}} = 0,048 \text{ m}^3$$

Pes del tanc buit:

$$Pes_{BUIIT} = S_{carcassa} \cdot t_{carcassa} \cdot \rho_{material} + 2 \cdot S_{tapa} \cdot t_{tapa} \cdot \rho_{material}$$

$$Pes_{BUIIT} = (9,87(m) \cdot 3,5(m)) \cdot \pi \cdot 5 \cdot 10^{-3}(m) \cdot 7960 \left(\frac{kg}{m^3} \right) + 2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{3,5}{2} \right)^2 (m^2) \cdot 5 \cdot 10^{-3}(m) \cdot 7960 \left(\frac{kg}{m^3} \right).$$

$$Pes_{BUIIT} = 5085 \text{ (kg)}$$

Pes del líquid de mescla reactant:

$$Pes_{Liquid} = \pi \cdot r^2 \cdot h \cdot \rho_{Liquid} = \pi \cdot \left(\frac{3,5}{2} \right)^2 (m^2) \cdot 9,87(m) \cdot 786,1 \left(\frac{kg}{m^3} \right) \Rightarrow Pes_{Liquid} = 74923,8(kg).$$

Amb Aigua:

$$Pes_{Aigua} = \pi \cdot r^2 \cdot h \cdot \rho_{Aigua} = 95000(kg).$$

$$Pes = Pes_{BUIIT} + Pes_{LIQUID}$$

$$Pes \text{ del tanc ple de líquid} = 4068 + 74923,8 = 80009(kg)$$

$$Pes \text{ del tanc ple d'aigua} = 4068 + 95000 = 100045,6(kg).$$

10.1.3 Disseny mecànic

$$\text{Densitat del metanol} = 786,1 \text{ (kg/m}^3\text{)}.$$

$$\text{On, } P_{líquid} = \rho \cdot h \cdot g \rightarrow P_{Líquid} = 786,1 \left(\frac{kg}{m^3} \right) \cdot 9,87(m) \cdot 9,8 \left(\frac{m}{s^2} \right) \Rightarrow P_{Líquid} = 76036,3(Pa)$$

$$P_{Disseny} = 1,5(bar) + P_{Líquid} \rightarrow P_{Disseny} = 1,5 + 0,76(bar) = 2,26(bar).$$

Càlcul del gruix de la paret a pressió interna (t):

$$\text{Factor SE (psi)} = 13800,$$

$$\text{Radiografiat (r)} = 0,85.$$

$$t = \frac{P_{Disseny} \cdot R}{SE \cdot r - 0,6 \cdot P} \quad \text{On, } R \text{ és el radi del tanc.}$$

$$t = \frac{2,26(\text{bar}) \cdot \frac{3500}{2}(\text{mm})}{\frac{13800}{14,5}(\text{bar}) \cdot 0,85 - 0,6 \cdot 2,26(\text{bar})} \Rightarrow t = 4,89(\text{mm}) \Rightarrow t = 5(\text{mm}).$$

10.1.4 Venteig del tanc

Cal calcular la superfície humida del recipient. En el cas d'un tanc vertical s'ha de tenir en compte l'àrea que suposa els 10 metres inicials en alçada i restar la part que estigui en contacte amb el terra.

$$A_{\text{Humida}} = \pi \cdot D_{\text{Tanc}} \cdot H_{\text{Tanc}} - \pi \cdot r^2 = \pi \cdot 3,5(\text{m}) \cdot 9,35(\text{m}) - \pi \cdot \left(\frac{3,5}{2}\right)^2 (\text{m}) \Rightarrow A_{\text{Humida}} = 93,18(\text{m}^2).$$

La següent Taula mostra la capacitat total de venteig en tancs atmosfèrics:

Superfície humida m ²	m ³ /h de aire	Superfície humida m ²	m ³ /h de aire	Superfície humida m ²	m ³ /h de aire
2	636	20	6.360	90	14.408
4	1.272	25	6.978	100	15.293
6	1.908	30	7.736	120	16.000
8	2.544	35	8.441	140	16.846
10	3.180	40	9.104	160	17.624
12	3.816	50	10.330	180	18.340
14	4.452	60	11.453	200	19.000
16	5.088	70	12.497	230	19.924
18	5.724	80	13.478	260 y superior	20.767

Taula 10.1 Capacitat de venteig per tancs atmosfèrics

S'agafa com a valor: $15,293\left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)$

10.2 Tanc d'Àcid Propiònic T-115

10.2.1 Quantitat d'àcid propiònic necessària

Tanc on s'emmagatzema el corrent que surt per la part inferior de la columna C-401; és una barreja d'àcid acètic i propiònic.

En aquest cas només s'utilitza un tanc amb un volum de recollida corresponent a la producció de 7 dies.

$$83,43 \left(\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right) \Rightarrow 0,0906 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) \cdot 24(\text{h}) \cdot 7 = 15,22(\text{m}^3).$$

10.2.2 Dimensions del tanc

El tanc de propiònic treballarà a un 90% de la seva capacitat, per tant, el seu volum serà de 17 m^3 , amb un diàmetre de 2 m:

$$H_{Tanc} = \frac{V_{Tanc}}{\pi \cdot r^2} \rightarrow H_{Tanc} = \frac{17(\text{m}^3)}{\pi \cdot \left(\frac{2}{2}\right)^2 (\text{m})} = 5,41(\text{m}) \Rightarrow H_{Tanc} = 5,45(\text{m}).$$

Pes del tanc buit:

$$Pes_{BUIIT} = S_{carcassa} \cdot t_{carcassa} \cdot \rho_{material} + 2 \cdot S_{tapa} \cdot t_{tapa} \cdot \rho_{material}$$

La superfície de la tapa es correspon a la del fons toriesfèric, per tant:

$$S_{Toriesferica} = 0,99 \cdot (D_i - 2 \cdot t_{tapa})^2 = 0,99 \cdot (2 - 2 \cdot 4 \cdot 10^{-3})^2 \Rightarrow S_{Toriesferica} = 3,9(\text{m}^2).$$

$$Pes_{BUIIT} = (2(\text{m}) \cdot 5,45(\text{m})) \cdot \pi \cdot 4 \cdot 10^{-3}(\text{m}) \cdot 7960 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) + 2 \cdot 3,9(\text{m}^2) \cdot 4 \cdot 10^{-3}(\text{m}) \cdot 7960 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

$$Pes_{BUIIT} = 1340,4 (\text{kg})$$

Amb líquid de mescla reactant:

$$Pes_{Liquid} = 1340,4 + 15765,6 = 17106(\text{kg}).$$

Amb Aigua:

$$Pes_{Liquid} = 1340,4 + 17121,6 = 18462(\text{kg}).$$

10.2.3 Disseny mecànic

A continuació es mostra el procediment per calcular el gruix de la paret:

Densitat de la mescla = $920,8(\text{kg/m}^3)$.

$$\text{On, } P_{\text{líquid}} = \rho \cdot h \cdot g \rightarrow P_{\text{Líquid}} = 920,8 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \cdot 5,45(\text{m}) \cdot 9,8 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) \Rightarrow P_{\text{Líquid}} = 49179,9(\text{Pa})$$

$$P_{\text{Disseny}} = 1,5(\text{bar}) + P_{\text{Líquid}} \rightarrow P_{\text{Disseny}} = 1,5(\text{bar}) + 0,49(\text{bar}) = 2(\text{bar}).$$

Càlcul del gruix de la paret a pressió interna (t):

Factor SE (psi)= 18700,

Radiografiat (r)= 0,85

$$t = \frac{P_{\text{Disseny}} \cdot R}{SE \cdot r - 0,6 \cdot P} + C \quad \text{On, } R \text{ és el radi del tanc i } C \text{ la corrosió.}$$

$$t = \frac{2(\text{bar}) \cdot \frac{2000}{2}(\text{mm})}{\frac{18700}{14,5}(\text{bar}) \cdot 0,85 - 0,6 \cdot 2(\text{bar})} + 1(\text{mm}) \Rightarrow t = 2,82(\text{mm}) \Rightarrow t = 4(\text{mm}).$$

Càlcul del fons torisfèric a pressió interna (t):

$$t = \frac{P \cdot D \cdot M}{2 \cdot SE - 0,2 \cdot P} + C \quad \text{On, } M=1,54 \text{ i } D \text{ és el diàmetre del tanc}$$

$$t = \frac{2(\text{bar}) \cdot 2000(\text{mm}) \cdot 1,54}{2 \cdot \frac{18700}{14,5}(\text{bar}) - 0,2 \cdot 2(\text{bar})} + 1(\text{mm}) \rightarrow t = 3,38(\text{mm}).$$

En el cas del fons torisfèric cal afegir un 10% a la t , ja que la planxa d'acer al ser moldejada perd gruix i s'ha de tenir en compte:

$$t = 3,38(\text{mm}) + 3,38(\text{mm}) \cdot 0,1 \rightarrow t = 3,7(\text{mm}) \Rightarrow t = 4(\text{mm}).$$

10.3 Tanc d'Àcid Acètic al 70% T-111, T-112, T-113, T-114

10.3.1 Quantitat d'àcid acètic al 70% produïda

Volum necessari per emmagatzemar 3 dies de producció:

$$3798\left(\frac{kg}{h}\right) \Rightarrow 3,86\left(\frac{m^3}{h}\right) \cdot 24(h) \cdot 7 = 277,92(m^3)$$

10.3.2 Nombre de tancs i mides

Es col·loquen un total de 4 tancs de 78 m³ cadascun que treballaran a un 90% de la seva capacitat.

Fixant el diàmetre a 3,5 m:

$$H_{Tanc} = \frac{V_{Tanc}}{\pi \cdot r^2} \rightarrow H_{Tanc} = \frac{78(m^3)}{\pi \cdot \left(\frac{3,5}{2}\right)^2 (m)} \Rightarrow H_{Tanc} = 8,1(m)$$

Cap del cilindre (sostre cònic):

$$V_{sc} = \frac{\pi}{2} \cdot D \cdot \sqrt{\left(\frac{D^2}{4} + h^2\right)} \cdot gruix$$

Aquesta h es correspon a l'alçada del cap i és: $h \rightarrow tg(\alpha) = \frac{h}{D/2}$. Es pren $\alpha=10^\circ$.

$$\text{Per tant, } h = tg(10) \cdot \frac{3,5(m)}{2} = 0,3(m)$$

$$V_{sc} = \frac{\pi}{2} \cdot 3,5(m) \cdot \sqrt{\left(\frac{3,5^2(m)}{4} + 0,3^2(m)\right)} \cdot 5 \cdot 10^{-3}(m) \Rightarrow V_{sc} = 0,048(m^3)$$

Pes del tanc buit= 4310,6 kg

Pes del tanc amb aigua= 82241,6 kg

Pes del tanc amb líquid= 65798,2 kg

10.3.3 Disseny mecànic

A continuació es mostra el procediment per calcular el gruix de la paret:

Densitat de l'acètic = $920,8 \text{ kg/m}^3$

$$\text{On, } P_{\text{liquid}} = \rho \cdot h \cdot g \rightarrow P_{\text{Liquid}} = 982,6 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \cdot 8,1(\text{m}) \cdot 9,8 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) \Rightarrow P_{\text{Liquid}} = 77998,78(\text{Pa})$$

$$P_{\text{Disseny}} = 1,5(\text{bar}) + P_{\text{Liquid}} \rightarrow P_{\text{Disseny}} = 1,5(\text{bar}) + 0,78(\text{bar}) = 2,28(\text{bar}).$$

Càlcul del gruix de la paret a pressió interna (t):

Factor SE (psi)= 18700,

Radiografiat (r)= 0,85

$$t = \frac{P_{\text{Disseny}} \cdot R}{SE \cdot r - 0,6 \cdot P} + C \quad \text{On, } R \text{ és el radi del tanc i } C \text{ la corrosió}$$

$$t = \frac{2,28(\text{bar}) \cdot \frac{3500}{2}(\text{mm})}{\frac{18700}{14,5}(\text{bar}) \cdot 0,85 - 0,6 \cdot 2,28(\text{bar})} + 1(\text{mm}) \Rightarrow t = 4,64(\text{mm}) \Rightarrow t = 5(\text{mm}).$$

10.4 Tanc d'Àcid Acètic glacial T-106, T-107, T-108, T-109, T-110

10.4.1 Quantitat d'àcid acètic glacial produïda

Volum necessari per emmagatzemar 3 dies de producció:

$$5694 \left(\frac{kg}{h} \right) \Rightarrow 6,027 \left(\frac{m^3}{h} \right) \cdot 24(h) \cdot 3 = 433,94(m^3)$$

10.4.2 Nombre de tancs i mides

Es col·loquen un total de 5 tancs de 97 m^3 cadascun i treballen a un 90% de la seva capacitat.

Fixant el diàmetre a 3,5 (m):

$$H_{Tanc} = \frac{V_{Tanc}}{\pi \cdot r^2} \rightarrow H_{Tanc} = \frac{97(m^3)}{\pi \cdot \left(\frac{3,5}{2}\right)^2 (m)} \Rightarrow H_{Tanc} = 10,08(m)$$

Cap del cilindre (sostre cònic):

$$V_{sc} = \frac{\pi}{2} \cdot D \cdot \sqrt{\left(\frac{D^2}{4} + h^2\right)} \cdot grui x$$

Aquesta h es correspon a l'alçada del cap i és: $h \rightarrow tg(\alpha) = \frac{h}{D/2}$. Es pren $\alpha=10^\circ$.

$$\text{Per tant, } h = tg(10) \cdot \frac{3,5(m)}{2} = 0,3(m)$$

$$V_{sc} = \frac{\pi}{2} \cdot 3,5(m) \cdot \sqrt{\left(\frac{3,5^2(m)}{4} + 0,3^2(m)\right)} \cdot 5 \cdot 10^{-3}(m) \Rightarrow V_{sc} = 0,048(m^3)$$

Pes xapa= 5177 (kg).

Pes amb aigua= 102158 (kg).

Pes amb líquid= 81695(kg).

10.4.3 Disseny mecànic

Densitat de l'acètic glacial = 944,6(kg/m³).

$$\text{On, } P_{\text{líquid}} = \rho \cdot h \cdot g \rightarrow P_{\text{Líquid}} = 944,6 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \cdot 10,08(\text{m}) \cdot 9,8 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) \Rightarrow P_{\text{Líquid}} = 93311,36(\text{Pa})$$

$$P_{\text{Disseny}} = 1,5(\text{bar}) + P_{\text{Líquid}} \rightarrow P_{\text{Disseny}} = 1,5(\text{bar}) + 0,93(\text{bar}) = 2,43(\text{bar}).$$

Càlcul del gruix de la paret a pressió interna (t):

Factor SE (psi)= 18700,

Radiografiat (r)= 0,85.

$$t = \frac{P_{\text{Disseny}} \cdot R}{SE \cdot r - 0,6 \cdot P} + C \quad \text{On, } R \text{ és el radi del tanc i } C \text{ la corrosió.}$$

$$t = \frac{2,43(\text{bar}) \cdot \frac{3500}{2}(\text{mm})}{\frac{18700}{14,5}(\text{bar}) \cdot 0,85 - 0,6 \cdot 2,43(\text{bar})} + 1(\text{mm}) \Rightarrow t = 4,88(\text{mm}) \Rightarrow t = 5(\text{mm}).$$

10.4.4 Sistema calefactor

Cal mantenir la temperatura del tanc per sobre dels 16°C de la substància per tal d'evitar la solidificació d'aquesta. Càlcul del calor a bescanviar:

$$1,722 \left(\frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right) \cdot 97(\text{m}^3) \cdot 944,6 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = 157780,31(\text{KJ}).$$

Càlcul de l'àrea de bescanvi necessària (A):

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T_{ml} \quad \text{On, } U = \frac{k_{\text{acer}}}{\Delta x_{\text{acer}}} = \frac{18 \left(\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}} \right)}{4 \cdot 10^{-3}(\text{m})} \Rightarrow U = 4500 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \right)$$

Pel càlcul de ΔT_{ml} : $T_{\text{ent. fluid calefactor}} = 40^{\circ}\text{C}$,

$$T_{\text{sort. fluid calefactor}} = 30^{\circ}\text{C},$$

$$T_{\text{int.}} = 25^{\circ}\text{C}.$$

$$\Delta T_{ml} = \frac{(40 - 25) - (30 - 25)}{\ln\left(\frac{40 - 25}{30 - 25}\right)} \Rightarrow \Delta T_{ml} = 9,1(^{\circ}\text{C}).$$

$$A = \frac{157780,31(\text{KJ})}{\frac{4500}{0,24}\left(\frac{\text{KJ}}{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}\right) \cdot 9,1(^{\circ}\text{C})} \Rightarrow A = 1,07(\text{m}^2).$$

Càlcul del cabal de fluid calefactor:

$Q = m \cdot Cp \cdot \Delta T$ On, Cp és $4,18 (\text{KJ/Kg})$,

ΔT el salt tèrmic del fluid calefactor.

$$m = \frac{157780,31(\text{KJ})}{4,18\left(\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}\right) \cdot (40 - 30)(^{\circ}\text{C})} \Rightarrow m = 3774,6\left(\frac{\text{l}}{\text{h}}\right).$$

Dimensionat del sistema calefactor:

$$\text{Cabal d'aigua} = 1,005 \cdot 10^{-3}\left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right).$$

$$v_{\text{típica}} = 1,5\left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$$

$$A_{\text{Tub}} = \frac{\text{Cabal}}{v} = \frac{1,005 \cdot 10^{-3}\left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)}{1,5\left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)} \Rightarrow A_{\text{Tub}} = 6,7 \cdot 10^{-4}(\text{m}^2).$$

$$\text{Radi del tub (r): } r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \rightarrow r = \sqrt{\frac{6,7 \cdot 10^{-4}(\text{m}^2)}{\pi}} \Rightarrow r = 0,014(\text{m}).$$

$$\text{Llargada del tub (L): } A_{\text{Bescanvi}} = \pi \cdot D \cdot L \rightarrow L = \frac{1,07(\text{m}^2)}{\pi \cdot 2 \cdot 0,014(\text{m})} \Rightarrow L = 12,16(\text{m}).$$

10.5 Tanc de Monòxid de Carboni T-116, T-117, T-118, T-119

10.5.1 Especificació dels tancs i quantitat de monòxid necessària

Per l'emmagatzematge substància en estat criogènic s'ha triat un tanc comercial de la companyia FEROX S.A. i té les següents característiques:

Recipient intern es d'acer inoxidable per aguantar les temperatures criogèniques amb un aïllament al buit amb perlita expandida i un sistema de control de la pressió.

Les dimensions del tanc són:

Vertical storage tank with outer vessel diameter 3500 mm							
Geometrical volume, m ³	65	80	94	109	123	138	152
Height, mm	11800	13800	15800	17800	19800	21800	23800
Empty weight, kg MAWP 7 barg	29800	33500	37000	41000	44700	48500	52200
Empty weight, kg MAWP 18 barg	34700	39200	43800	48600	53200	58100	62500

Taula 10.2 Pes i dimensions del tanc de monòxid

Si el consum és de: $3976 \left(\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right) \Rightarrow 5,81 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) \cdot 24(h) = 139,44 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{d}} \right)$.

S'agafen 4 tancs de 80 (m³), el volum "d'estocatge" serà de 320 m³ i és un consum equivalent superior al de 2 dies de producció.

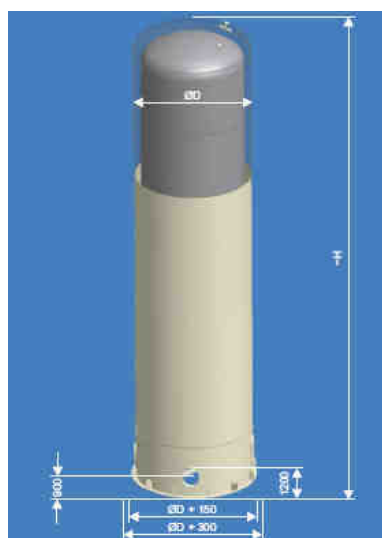


Figura 10.1 Esquema del tanc de monòxid



Figura 10.2 Sistema de control de pressió i instrumentació.

10.6 Mesclador d'Aigua i Àcid Acètic D-402

El cabal de sortida del mesclador amb destí a tanqueria és 3790 (kg/h). Fixant un temps de residència de 20 min per assegurar una bona mescla es calcula el volum del tanc.

10.6.1 Dimensionament del mesclador

$$3790 \left(\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right) \cdot \frac{1(\text{m}^3)}{944,6(\text{kg})} \cdot \frac{1(\text{h})}{60(\text{min})} \Rightarrow 0,0668 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{min}} \right)$$

$$\text{Per tant, } \tau = \frac{V}{Q} \rightarrow V = 20(\text{min}) \cdot 0,0668 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{min}} \right) \Rightarrow V = 1,33(\text{m}^3).$$

El volum real es fixa doncs en 2 (m³).

$$\text{Diàmetre (D)} = 1 \text{ (m)} \rightarrow H = \frac{V}{\pi \cdot r^2} \rightarrow H = \frac{2(\text{m}^3)}{\pi \cdot 0,5^2(\text{m})} \Rightarrow H = 2,54(\text{m}).$$

Pes xapa= 316,11 (kg).

Si suposem un pes del 60 (kg) per l'agitador, el pes total serà:

Pes tanc amb aigua= 2371(kg).

Pes tanc amb líquid=1950(kg).

10.6.2 Disseny de l'agitador

Al ser una barreja de líquids poc viscosos, s'ha triat un agitador de turbina per tal d'aconseguir una bona turbulència i assegurar un bon grau de mescla.

Dimensionament de l'agitador:

$$\frac{D_a}{D_t} = \frac{1}{3} \quad \frac{W}{D_a} = \frac{1}{5} \quad \frac{L}{D_a} = \frac{1}{4}$$

$$\frac{E}{D_a} = 1 \quad \frac{J}{D_t} = \frac{1}{12}$$

Aquestes relacions es corresponen amb les de la Figura.10.3:

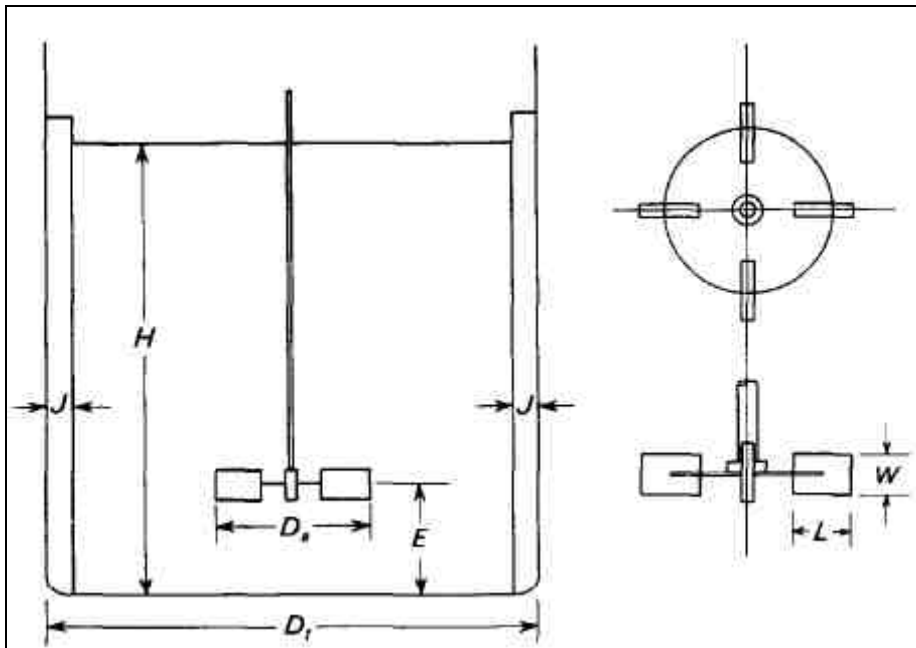


Figura 10.3 Dimensions de l'agitador.

Per tant, $D_a = 0,33$ (m)

$J = 0,083$ (m)

$E = 0,33$ (m)

$W = 0,2$ (m)

$L = 0,083$ (m)

Càlcul del Número de potència (N_p) i la Potència d'agitació (P):

El número de potència es determina gràficament i es funció del número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho \cdot N \cdot D_a^2}{\mu} \rightarrow Re = \frac{944,6 \left(\frac{kg}{m^3} \right) \cdot 3(rps) \cdot 0,33^2 (m^2)}{1,91 \cdot 10^{-3} \left(\frac{kg}{m \cdot s} \right)} \Rightarrow Re = 161571,1$$

A partir de la Figura.10.4 s'obté que per una agitador de turbina (*corba 2*) $N_p = 4$.

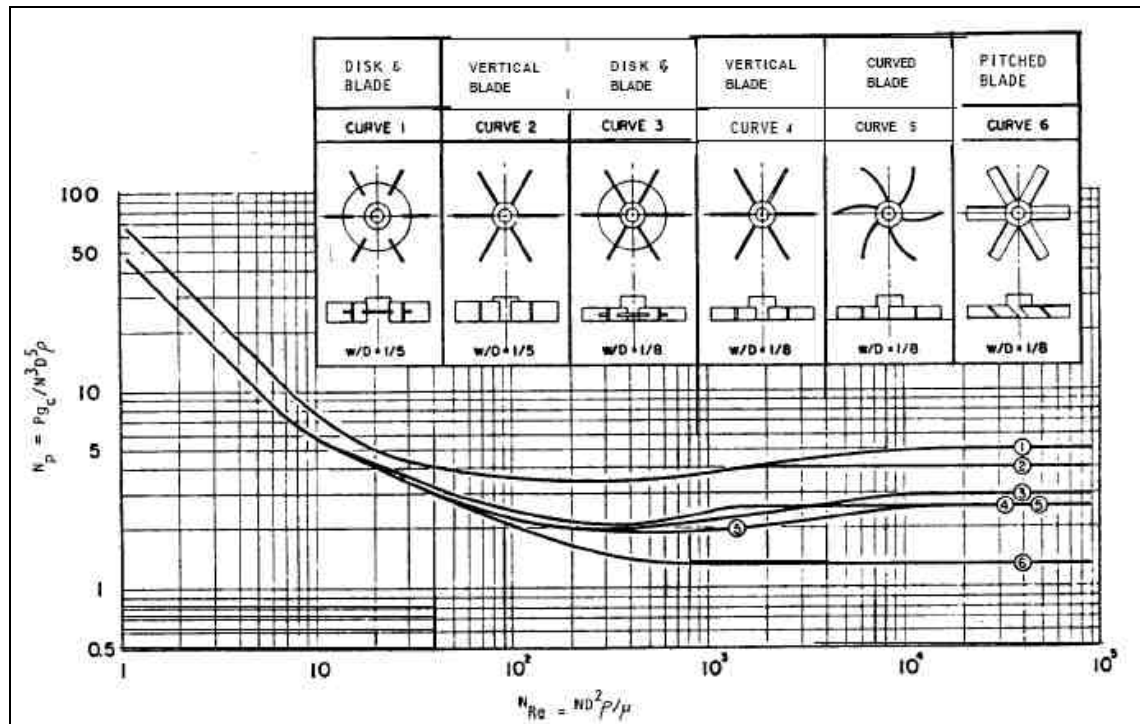


Figura 10.4 Relació entre el número de potència i el Reynolds.

$$P = N_p \cdot \rho \cdot N^3 \cdot D_2^5 \rightarrow P = 4 \cdot 944,6 \cdot 3^3 \cdot 0,33^5 \rightarrow P = 399,24(W).$$

10.6.3 Disseny mecànic

Densitat de la mescla = $944,6(\text{kg/m}^3)$.

$$\text{On, } P_{\text{líquid}} = \rho \cdot h \cdot g \rightarrow P_{\text{Líquid}} = 944,6 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \cdot 2,54(\text{m}) \cdot 9,8 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) \Rightarrow P_{\text{Líquid}} = 21593,55(\text{Pa})$$

$$P_{\text{Disseny}} = 1,5(\text{bar}) + P_{\text{Líquid}} \rightarrow P_{\text{Disseny}} = 1,5(\text{bar}) + 0,216(\text{bar}) = 1,716(\text{bar}).$$

Càlcul del gruix de la paret a pressió interna (t):

Factor SE (psi)= 18700,

Radiografiat (r)= 0,85.

$$t = \frac{P_{\text{Disseny}} \cdot R}{SE \cdot r - 0,6 \cdot P}$$

On, R és el radi del tanc i C la corrosió.

$$t = \frac{1,716(\text{bar}) \cdot \frac{1000}{2}(\text{mm})}{\frac{18700}{14,5}(\text{bar}) \cdot 0,85 - 0,6 \cdot 1,716(\text{bar})} + 1(\text{mm}) \Rightarrow 1,78(\text{mm}) \Rightarrow t = 4(\text{mm}).$$

Càlcul del fons toriesfèric a pressió interna (t):

$$t = \frac{P \cdot D \cdot M}{2 \cdot SE - 0,2 \cdot P} + C \quad \text{On, } M=1,54 \text{ i } D \text{ és el diàmetre del tanc.}$$

$$t = \frac{1,716(\text{bar}) \cdot 1000(\text{mm}) \cdot 1,54}{2 \cdot \frac{18700}{14,5}(\text{bar}) - 0,2 \cdot 1,716(\text{bar})} + 1(\text{mm}) \rightarrow t = 2,024(\text{mm}).$$

En el cas del fons toriesfèric cal afegir un 10% a la t , ja que la planxa d'acer al ser moldejada perd gruix i s'ha de tenir en compte:

$$t = 2,024(\text{mm}) + 2,024(\text{mm}) \cdot 0,1 \rightarrow t = 2,2(\text{mm}) \Rightarrow t = 4(\text{mm}).$$

10.7 Reactors R-201 i R-202

10.7.1 Disseny mecànic

A partir de les dimensions de l'equip i de la pressió a la que està sotmès, es calcula el gruix de paret lateral i fons torisfèric:

Alçada del tanc (m)= 3,5,

Diàmetre del tanc (m)= 1,5 ,

Pressió d'operació (bar)= 30 ,

Pressió de disseny (bar)= 35,

Densitat de l'H₂O (kg/m³)= 1000,

Temperatura d'operació (°C)= 190,

Temperatura de disseny (°C)= 240.

Càlcul de la pressió total:

$$P_{Total} = P_{Int.} + P_{líquid} ,$$

$$\text{On, } P_{líquid} = \rho \cdot h \cdot g \rightarrow P_{Líquid} = 1000 \left(\frac{kg}{m^3} \right) \cdot 3,5(m) \cdot 9,8 \left(\frac{m}{s^2} \right) \Rightarrow P_{Líquid} = 34300(Pa)$$

$$P_{Total} = 35(bar) + 0,34(bar) \Rightarrow P_{Total} = 35,34(bar)$$

Càlcul del gruix de la paret a pressió interna (t):

Corrosió (mm)= 1,

Factor SE (psi)= 18000,

Radiografiat (r)= 0.85.

$$t = \frac{P_{Total} \cdot R}{SE \cdot r - 0.6 \cdot P} + C \quad \text{On, } R \text{ és el radi del reactor i } C \text{ la corrosió.}$$

$$t = \frac{35,34(bar) \cdot \frac{1500}{2}(mm)}{\frac{18000}{14.5}(bar) \cdot 0,85 - 0,6 \cdot 35,34(bar)} + 1(mm) \Rightarrow t = 26,64(mm) \Rightarrow t = 2,8(cm).$$

Càlcul del fons toriesfèric a pressió interna (t):

$$t = \frac{P \cdot D \cdot M}{2 \cdot SE - 0,2 \cdot P} + C \quad \text{On, } M=1,54 \text{ i } D \text{ és el diàmetre del reactor.}$$

$$t = \frac{35,34(\text{bar}) \cdot 1500(\text{mm}) \cdot 1,54}{2 \cdot \frac{18000}{14,5}(\text{bar}) \cdot 0,85 - 0,2 \cdot 35,34(\text{bar})} + 1(\text{mm}) \Rightarrow t = 39,82(\text{mm})$$

En el cas del fons toriesfèric cal afegir un 10% a la t , ja que la planxa d'acer al ser moldejada perd gruix i s'ha de tenir en compte:

$$t = 39,82(\text{mm}) + 39,82(\text{mm}) \cdot 0,1 \rightarrow t = 43,80(\text{mm}) \Rightarrow t = 4,5(\text{cm}).$$

10.7.2 Disseny del bescanvi de calor (mitja canya) quan el reactor treballa al 60%

Els dos reactors treballen en sèrie i al 60% del seu volum per produir la quantitat d'acètic desitjada. Això s'ha fet així perquè en cas de parada de qualsevol dels dos reactor per manteniment, es pugui tornar a recuperar el nivell de producció fent-los treballar al 80%.

Càlcul del coeficient global del transferència (U):

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + \frac{\Delta x}{k_a} + \frac{1}{h_{ext}} \quad (1)$$

On h_i i h_{ext} valor son els coeficients de transferència corresponents al fluid refrigerant i al fluid del reactor. S'han calculat a partir de les següents correlacions:

Càlcul de la h_{ext} :

$$h_{ext} = \left(\frac{k_j \cdot A_1}{D_j} \right) \cdot \left(\frac{D_j \cdot v \cdot \rho_j}{\mu_j} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot \left(\frac{C_j \cdot \mu_j}{k_j} \right)^b \cdot \left(\frac{\mu_j}{\mu_w} \right)^{0,14}$$

On, k_j = Conductivitat tèrmica del fluid que circula per la mitja canya,

v = Velocitat del fluid refrigerant, μ

A_1 = 0,0265 en el cas de refredament,

D_j = Diàmetre de la mitja canya,

ρ_j = Densitat del fluid refrigerant,

C_j = Calor específic del fluid refrigerant,

$b = 0,3$ en el cas de refredament,

μ_j = Viscositat del fluid refrigerant a la temperatura d'entrada i,

μ_w = Viscositat del fluid refrigerant a la temperatura de sortida.

$$h_{ext} = \left(\frac{0,58 \left(\frac{W}{m^{\circ}C} \right) \cdot 0,0265}{0,132(m)} \right) \cdot \left(\frac{0,132(m) \cdot 1,5 \left(\frac{m}{s} \right) \cdot 10^3 \left(\frac{kg}{m^3} \right)}{8,23 \cdot 10^{-5} \left(\frac{kg}{m \cdot s} \right)} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot \left(\frac{41666 \left(\frac{J}{kg^{\circ}C} \right) \cdot 8,23 \cdot 10^{-5} \left(\frac{kg}{m \cdot s} \right)}{0,58 \left(\frac{W}{m^{\circ}C} \right)} \right)^{0,3} \cdot \left(\frac{8,23 \cdot 10^{-5} \left(\frac{kg}{m \cdot s} \right)}{6,121 \cdot 10^{-5} \left(\frac{kg}{m \cdot s} \right)} \right)^{0,14}$$

$$h_{ext} = 1866,18 \left(\frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}C} \right)$$

Càlcul de la h_{int} :

$$h_{int} = \left(\frac{k_r \cdot A_2}{D_r} \right) \cdot \left(\frac{D_a \cdot N \cdot \rho_r}{\mu_r} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot \left(\frac{C_r \cdot \mu_r}{k_r} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{\mu_r}{\mu_{wr}} \right)^M$$

On, k_r = Conductivitat tèrmica del fluid que circula pel reactor,

D_r = Diàmetre del reactor,

$A_2 = 0,54$ valor constant associat al tipus d'agitador (turbina),

D_a = Diàmetre de l'agitador,

ρ_j = Densitat del fluid del reactor,

C_j = Calor específic del fluid del reactor,

$M = 0,14$ valor constant associat al tipus d'agitador (turbina),

μ_j = Viscositat del fluid del reactor a la temperatura d'entrada i,

μ_w = Viscositat del fluid del reactor a la temperatura de sortida.

$$h_{\text{int}} = \left(\frac{0,159 \left(\frac{W}{m^{\circ}C} \right) \cdot 0,54}{1,5(m)} \right) \cdot \left(\frac{0,495(m) \cdot 3(rps) \cdot 82332 \left(\frac{kg}{m^3} \right)}{3,058 \cdot 10^{-4} \left(\frac{kg}{m \cdot s} \right)} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot \left(\frac{911776 \left(\frac{J}{kg^{\circ}C} \right) \cdot 3,058 \cdot 10^{-4} \left(\frac{kg}{m \cdot s} \right)}{0,159 \left(\frac{W}{m^{\circ}C} \right)} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{3,058 \cdot 10^{-4} \left(\frac{kg}{m \cdot s} \right)}{3,058 \cdot 10^{-4} \left(\frac{kg}{m \cdot s} \right)} \right)^{0,14}$$

$$h_{\text{int}} = 3588,4 \left(\frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}C} \right)$$

Càlcul de la U:

Aquesta es calcula a partir de l'equació (1), on el terme $[\Delta x/k_a]$ fa referència al gruix de construcció (2,8 cm) i al material utilitzat (Acer Inoxidable AISI-316).

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{1866,18 \left(\frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}C} \right)} + \frac{0,028(m)}{18 \left(\frac{W}{m^{\circ}C} \right)} + \frac{1}{3588,4 \left(\frac{W}{m^{\circ}C} \right)} \Rightarrow U = 421,92 \left(\frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}C} \right)$$

$$U = 362,85 \left(\frac{Kcal}{m^2 \cdot h \cdot ^{\circ}C} \right)$$

Càlcul de l'àrea necessària (A):

A continuació es calcula l'àrea necessària per bescanviar una $q = 1540000$ kJ/h a partir de la següent equació:

$$q = U \cdot A \cdot \Delta T_{ml} \quad \text{On, } \Delta T_{ml} = \frac{(T_{\text{Ent.Re frig.}} - T_{\text{Re actor}}) - (T_{\text{Sort.Re frig.}} - T_{\text{Re actor}})}{\ln \left(\frac{T_{\text{Ent.Re frig.}} - T_{\text{Re actor}}}{T_{\text{Sort.Re frig.}} - T_{\text{Re actor}}} \right)}$$

$$T_{\text{Ent.Refrig.}} = 30^{\circ}C,$$

$$T_{\text{Sort.Refrig.}} = 40^{\circ}C \text{ i,}$$

$$T_{\text{Reactor}} = 190^{\circ}C.$$

$$\Delta T_{ml} = 154,94^{\circ}C.$$

Càlcul del cabal de refrigerant (m):

El càlcul es realitza a partir de la següent equació:

$$q = m \cdot Cp \cdot \Delta T$$

On: ΔT correspon al salt tèrmic del fluid refrigerant i,

Cp és el calor específic del fluid refrigerant.

$$m = \frac{1540000 \left(\frac{kJ}{h} \right)}{4,17 \left(\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \right) \cdot (40 - 30) (^\circ C)} \rightarrow m = 36960 \left(\frac{kg}{h} \right) \Rightarrow m = 36960 \left(\frac{l}{h} \right)$$

Dimensionat de la mitja canya:Area del tub (A_{mc}):

En aquest cas és l'àrea es correspon a la del semicercle, per tant:

$$A_{mc} = \frac{\pi \cdot r_{mc}^2}{2} \quad \text{On } r_{mc} \text{ és el radi de la mitja canya, } r_{mc} = 0,066 \text{ (m).}$$

$$A_{mc} = \frac{\pi \cdot 0,066^2}{2} \Rightarrow A_{mc} = 6,8 \cdot 10^{-3} (m^2)$$

Distància entre els tubs (θ_L) i número de voltes (n):

La distància entre els tubs serà el doble del gruix de paret de la mitja canya. Així doncs, a partir de la següent *Taula* es determina que per una canonada amb diàmetre interior de 13,2 cm li correspon un espessor de paret d'aproximadament 7 mm.

A.5-1 Dimensiones de tubería estándar de acero

<i>Tamaño nominal de la tubería</i> (pulg.)	<i>Diámetro externo</i>		<i>Cédula</i>	<i>Espesor de la pared</i>		<i>Diámetro interno</i>		<i>Área de corte transversal interno</i>	
	<i>pulg.</i>	<i>mm</i>		<i>pulg.</i>	<i>mm</i>	<i>pulg.</i>	<i>mm</i>	<i>pie²</i>	<i>m² × 10⁴</i>
$\frac{1}{8}$	0.405	10.29	40	0.068	1.73	0.269	6.83	0.00040	0.3664
			80	0.095	2.41	0.215	5.46	0.00025	0.2341
$\frac{1}{4}$	0.540	13.72	40	0.088	2.24	0.364	9.25	0.00072	0.6720
			80	0.119	3.02	0.302	7.67	0.00050	0.4620
$\frac{3}{8}$	0.675	17.15	40	0.091	2.31	0.493	12.52	0.00133	1.231
			80	0.126	3.20	0.423	10.74	0.00098	0.9059
$\frac{1}{2}$	0.840	21.34	40	0.109	2.77	0.622	15.80	0.00211	1.961
			80	0.147	3.73	0.546	13.87	0.00163	1.511
$\frac{3}{4}$	1.050	26.67	40	0.113	2.87	0.824	20.93	0.00371	3.441
			80	0.154	3.91	0.742	18.85	0.00300	2.791
1	1.315	33.40	40	0.133	3.38	1.049	26.64	0.00600	5.574
			80	0.179	4.45	0.957	24.31	0.00499	4.641
$1\frac{1}{4}$	1.660	42.16	40	0.140	3.56	1.380	35.05	0.01040	9.648
			80	0.191	4.85	1.278	32.46	0.00891	8.275
$1\frac{1}{2}$	1.900	48.26	40	0.145	3.68	1.610	40.89	0.01414	13.13
			80	0.200	5.08	1.500	38.10	0.01225	11.40
2	2.375	60.33	40	0.154	3.91	2.067	52.50	0.02330	21.65
			80	0.218	5.54	1.939	49.25	0.02050	19.05
$2\frac{1}{2}$	2.875	73.03	40	0.203	5.16	2.469	62.71	0.03322	30.89
			80	0.276	7.01	2.323	59.00	0.02942	27.30
3	3.500	88.90	40	0.216	5.49	3.068	77.92	0.05130	47.69
				0.300	7.62	2.900	73.66	0.04587	42.61
$3\frac{1}{2}$	4.000	101.6	40	0.226	5.74	3.548	90.12	0.06870	63.79
			80	0.318	8.08	3.364	85.45	0.06170	57.35
4	4.500	114.3	40	0.237	6.02	4.026	102.3	0.08840	82.19
			80	0.337	8.56	3.826	97.18	0.07986	74.17
5	5.563	141.3	40	0.258	6.55	5.047	128.2	0.1390	129.1
			80	0.375	9.53	4.813	122.3	0.1263	117.5
6	6.625	168.3	40	0.280	7.11	6.065	154.1	0.2006	186.5
			80	0.432	10.97	5.761	146.3	0.1810	168.1
8	8.625	219.1	40	0.322	8.18	7.981	202.7	0.3474	322.7
			80	0.500	12.70	7.625	193.7	0.3171	294.7

Taula 10.3 Dimensions, capacitats i pesos de canonades normalitzades d'acer

$$\theta_L = 2 \cdot \text{gruix}_{\text{tub}} \rightarrow \theta_L = 2 \cdot 0,007 \text{ (m)} \rightarrow \theta_L = 0,014 \text{ (m)}$$

Per tant, l'amplada d'una volta serà: $0,132 + 0,014 = 0,146 \text{ (cm)}$.

El número de voltes (n) que dona la mitja canya serà:

$$n = \frac{A_{necessaria}}{D_{tub} \cdot \pi \cdot D_{reactor}} \rightarrow n = \frac{6,574(m^2)}{0,132(m) \cdot \pi \cdot 1,5(m)} \rightarrow n = 10,56$$

Alçada de la mitja canya (H_{mc}):

$$H_{mc} = (D_{mc} + \phi_L) \cdot n \rightarrow H_{mc} = (0,132(m) + 0,014(m)) \cdot 10,56 \Rightarrow H_{mc} = 1,54(m)$$

Disseny del bescanvi de calor (mitja canya) quan el reactor treballa al 80%:

En aquest cas el calor a bescanviar serà més gran, ja es treballa amb més quantitat de mescla. S'han d'eliminar 2053333,33 (KJ/h).

Càlcul l'àrea necessària (A):

Pel càlcul de l'àrea, el coeficient global de transferència de calor i l'increment de temperatura no varien respecte el cas anterior ja que no depenen del volum de líquid.

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

$$A = \frac{2053333,33 \left(\frac{kJ}{h} \right)}{\frac{362,85}{0,24} \left(\frac{kJ}{m^2 \cdot h \cdot ^\circ C} \right) \cdot 154,94(^{\circ}C)} \Rightarrow A = 8,76(m^2)$$

Càlcul del cabal refrigerant (m):

El càlcul es realitza a partir de la següent equació:

$$q = m \cdot Cp \cdot \Delta T$$

On: ΔT correspon al salt tèrmic del fluid refrigerant i,

Cp és el calor específic del fluid refrigerant.

$$m = \frac{2055333,33 \left(\frac{kJ}{h} \right)}{4,17 \left(\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \right) \cdot (40 - 30) (^{\circ} C)} \rightarrow m = 49280 \left(\frac{kg}{h} \right) \Rightarrow m = 49280 \left(\frac{l}{h} \right).$$

Dimensionat de la mitja canya:

El tub de la mitja canya tindrà la mateixa secció, però variarà el número de voltes (n), ja que ha augmentat l'àrea necessària.

Per tant, el número de voltes (n):

$$n = \frac{A_{necessaria}}{D_{tub} \cdot \pi \cdot D_{reactor}} \rightarrow n = \frac{8,76(m^2)}{0,132(m) \cdot \pi \cdot 1,5(m)} \rightarrow n = 14,08.$$

Alçada de la mitja canya (H_{mc}):

$$H_{mc} = (D_{mc} + \phi_L) \cdot n \rightarrow H_{mc} = (0,132(m) + 0,014(m)) \cdot 14,08 \Rightarrow H_{mc} = 2,057(m).$$

Càlcul de la potència d'agitació amb aeració:

S'ha triat un agitador tipus turbina per assegurar un règim turbulent, les dimensions del qual són:

$$Da/Dt = 0,33 \rightarrow da = 1,5(m) \cdot 0,33 \rightarrow Da = 0,495(m).$$

$$W/Da = 0,2 \rightarrow W = 0,495(m) \cdot 0,2 \rightarrow W = 0,099(m).$$

$$E/Da = 1 \rightarrow E = 0,495(m) \cdot 1 \rightarrow E = 0,495(m).$$

$$L/Da = 0,25 \rightarrow L = 0,123(m).$$

$$J/Dt = 1/12 \rightarrow J = 0,125(m).$$

Aquestes relacions es corresponen a la Figura.10.5:

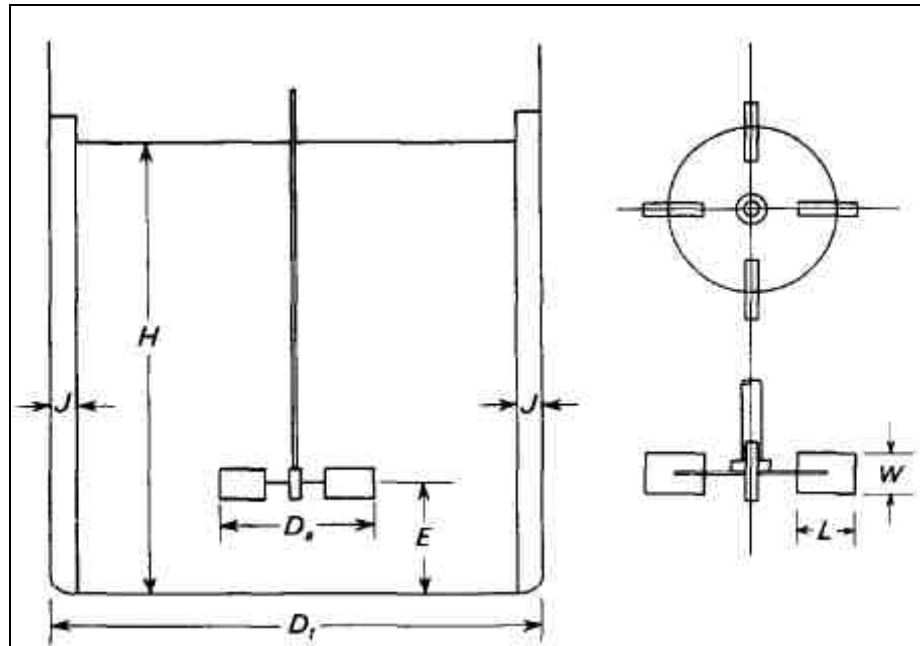


Figura 10.5 Dimensions de l'agitador

Càlcul del Número de d'agitació (N_a) i la Potència d'agitació (P):

$$N_a = \frac{Q_g}{N \cdot D^3}$$

On, Q_g és el cabal de gas
 N la velocitat d'agitació i,
 D és diàmetre de l'agitador.

$$N_a = \frac{0,000754 \left(\frac{m^3}{s} \right)}{3(rps) \cdot 0.495^3(m)} \rightarrow N_a = 0,00207.$$

Amb el número d'aeració i la Figura 10.6 s'obté el número de potència (N_p):

$$N_p = 4$$

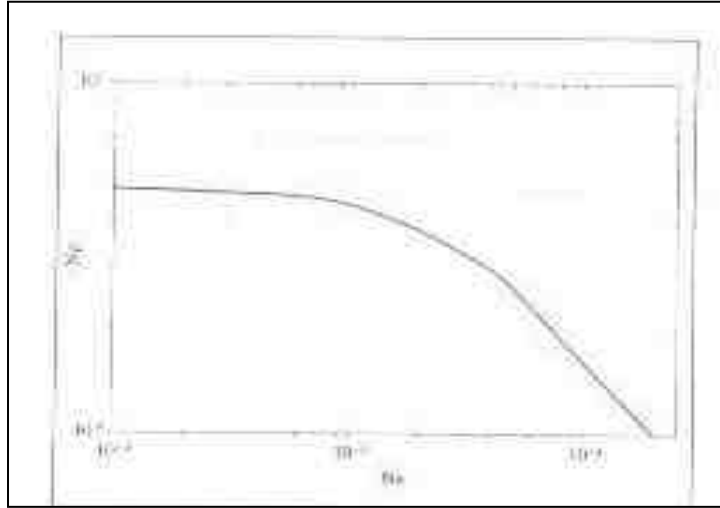


Figura 10.6 Relació entre el número de d'aeració i el de potència.

$$P = N_p \cdot \rho \cdot N^3 \cdot D_2^5 \rightarrow P = 4 \cdot 823,32 \cdot 3^3 \cdot 0,495^5 \rightarrow P = 2642,52(W)$$

En recipients agitats l'interval de l'alçada del líquid va de 0,75 a 1,5 vegades el diàmetre del tanc, si és major s'han de muntar dos o més impulsors sobre el mateix eix.

Per tant: Alçada del líquid = 2,11 (m).

$$2,11(m) > 0,75 \cdot D_{\text{Tanc}}$$

Es posaran doncs 2 impulsors a 1,5 (m).

10.7.3 Disseny del difusor de CO

Diàmetre de les bombolles (dp):

$$dp = 0,007 \cdot Re^{-0,05} \rightarrow dp = 3,47(mm)$$

$$Re = \frac{4 \cdot w_0}{\pi \cdot d_0 \cdot \mu_G} \quad \text{On, } w_0 = \text{Cabal màssic de l'orifici}$$

d_0 = Diàmetre de l'orifici,

μ_G = Viscositat del líquid.

$$Re = \frac{4 \cdot 1988 \left(\frac{kg}{h} \right)}{\pi \cdot 0,002(m) \cdot 1,055 \left(\frac{kg}{m \cdot h} \right)} \rightarrow Re = 1199440$$

Velocitat Terminal (Vt):

Per bombolles amb el diàmetre comprés entre 1,4 i 6 mm la velocitat es calcula de la següent manera.

$$V_t = \sqrt{\frac{2 \cdot \sigma}{dp \cdot \rho_L} + \frac{g \cdot dp}{2}} \rightarrow V_t = \sqrt{\left(\frac{2 \cdot 0,0005347 \left(\frac{N}{m} \right)}{0,003268(m) \cdot 823,32 \left(\frac{kg}{m^3} \right)} + \frac{9,8 \left(\frac{m}{s^2} \right) \cdot 0,00347(m)}{2} \right)}$$

$$V_t = 0,1319 \text{ (m/s)}.$$

On, σ = tensió superficial gas

dp = diàmetre de partícula

ρ_L = densitat del líquid

g = gravetat

Retenció del gas (φ_G):

Aquest paràmetre fa referència a la fracció en volum de la mescla gas-líquid del tanc que està ocupada pel gas.

On $\varphi_G = \frac{V_G}{V_s}$, que es correspon a l'eix de les ordenades. Suposant doncs una línia imaginària

que queda per sota de $T=1,07 \text{ (m)}$ corresponent a un diàmetre de 1,5 m:

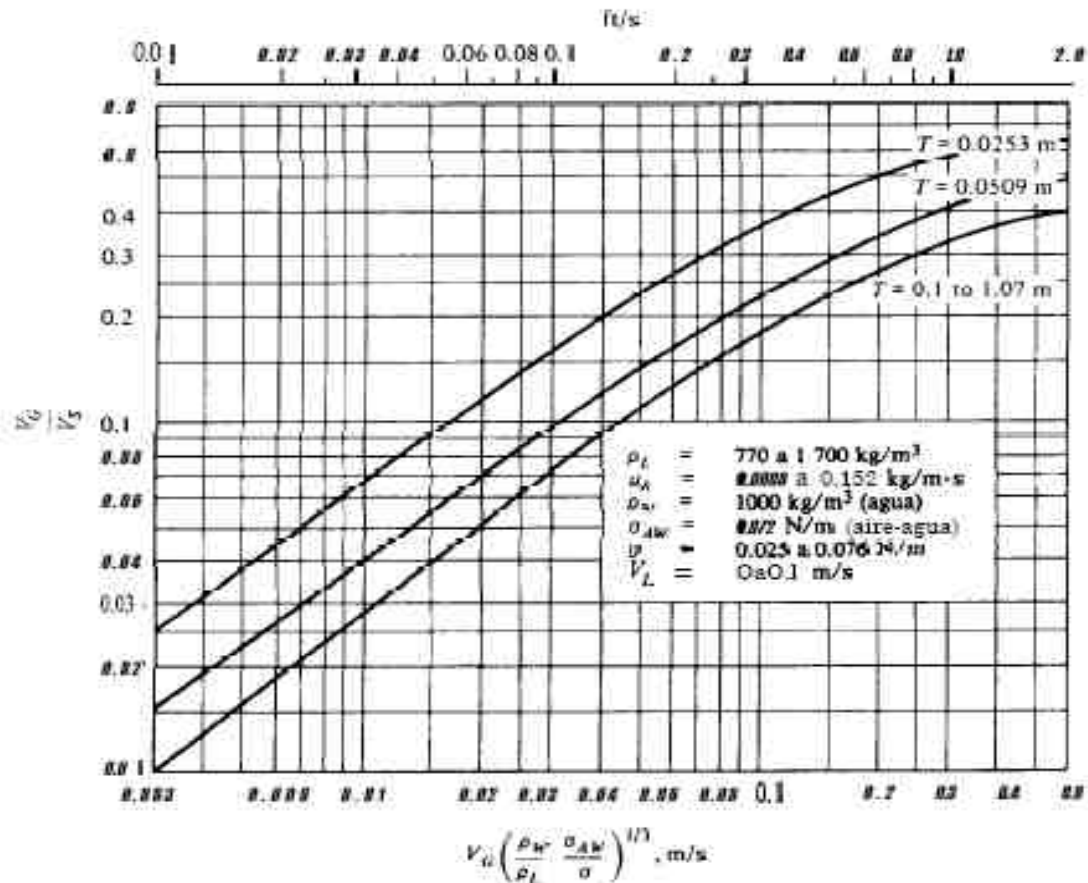


Figura 10.7 Velocitat de lliscament, tancs de bombolleig.

Calculant l'eix de les abscisses, que depèn de les densitats del líquid i del CO i de les tensions superficials respectives: $0,3 \rightarrow \varphi = 0,15$

Àrea interfacial específica (a):

$$a = \frac{6 \cdot \varphi_G}{dp} \rightarrow a = 258,87 \left(\frac{m^2}{m^3} \right) \quad \text{On; } \varphi_G \text{ és la retenció del gas i val 0,15.}$$

Nombre de forats (n):

En el disseny de reactors amb bombolleig el flux de gas puja amb una velocitat típica que va de 0,03 a 0,2 (m/s). Així doncs, s'agafa un punt entre aquest interval:

$$n = \frac{Q}{A_{\text{forat}} \cdot v_{\text{tip}}} \quad \text{On, } v_{\text{tip}} \text{ és la velocitat típica i val } 0,1 \text{ (m/s).}$$

$$A_{\text{forat}} = \frac{\pi \cdot d_0^2}{4} \rightarrow A_{\text{forat}} = \frac{\pi \cdot 0,0036^2}{4} \Rightarrow A_{\text{forat}} = 1,07 \cdot 10^{-5} \text{ (m}^2\text{)}$$

El diàmetre del forat (d_0) ha de ser superior al diàmetre de la bombolla, s'agafa per tant 3,6 (mm) com a valor.

$$n = \frac{1,18 \cdot 10^{-3} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)}{1,07 \cdot 10^{-5} \text{ (m}^2\text{)} \cdot 0,1 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)} \rightarrow n = 1158.$$

Separació entre els forats (Sf):

Aquesta distància depèn del perímetre (P) de l'anell dispersor de monòxid i el número de forats:

$$P = 2 \cdot \pi \cdot R_{\text{agitador}} \rightarrow P = 1,55 \text{ (m)}.$$

$$Sf = \frac{\text{Perímetre}}{n^{\circ} \text{ forats}} = \frac{1,55}{800,75} = 1,93 \cdot 10^{-3} \text{ (m)} \rightarrow 2 \text{ (mm)}, \text{ aproximadament.}$$

10.7.4 Aïllament del reactor

El reactor s'aïlla amb llana de roca per tal d'evitar cremades, ja que hi ha zones desprotegides i la temperatura de treball és de 190°C.

Mitjançant la següent equació:

$$Q = \frac{T_{\text{int.}} - T_{\text{ext.}}}{\sum R_i} \rightarrow Q = \frac{T_{\text{int.}} - T_{\text{ext.}}}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_{\text{aire}}} + \frac{\Delta x_{\text{acer}}}{k_{\text{acer}}} + \frac{\Delta x_{\text{aïllant}}}{k_{\text{aïllant}}}} \Leftrightarrow \frac{T_{\text{int.}} - T_2}{\frac{1}{h_i} + \frac{\Delta x_{\text{acer}}}{k_{\text{acer}}} + \frac{\Delta x_{\text{aïllant}}}{k_{\text{aïllant}}}} \quad (\text{eq.2})$$

On, $T_{\text{int.}} = 190 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

$T_{\text{ext.}} = 20^{\circ}\text{C}$.

T_2 = Temperatura de la paret l'aïllant que està en contacte amb l'exterior.

$a_{\text{aïllant}}=0,082 \text{ (W/m } ^\circ\text{C)}.$

Suposant un gruix d'aïllant de 4 cm es calcula el calor transferit a l'exterior (Q).

$$Q = \frac{190(^{\circ}\text{C}) - 20(^{\circ}\text{C})}{\frac{1}{3588,39\left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}\right)} + \frac{1}{30\left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}\right)} + \frac{0,028}{18\left(\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}\right)} + \frac{0,04}{0,082\left(\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}\right)}} \rightarrow Q = 324,82\left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}\right)$$

Aquest calor s'igual a la segona part de eq.2 i és comprova que T_2 estigui a una temperatura inferior als 40 °C:

$$324,82\left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}\right) = \frac{190(^{\circ}\text{C}) - T_2}{\frac{1}{3588,39\left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}\right)} + \frac{0,28}{18\left(\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}\right)} + \frac{0,04}{0,082\left(\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}\right)}} \rightarrow T_2 = 30,82(^{\circ}\text{C})$$

10.7.5 Pes del reactor

El reactor va soportar a sobre de tres cèl.lules de càrrega que han de soportar el següent pes:

- Pes del reactor buit:

$$Pes_{\text{BUIT}} = S_{\text{carcassa}} \cdot t_{\text{carcassa}} \cdot \rho_{\text{material}} + 2 \cdot S_{\text{tapa}} \cdot t_{\text{tapa}} \cdot \rho_{\text{material}}$$

La superfície de la tapa es correspon a la del fons toriesfèric, per tant:

$$S_{\text{Toriesferica}} = 0,99 \cdot (D_i - 2 \cdot t_{\text{tapa}})^2 = 0,99 \cdot (1,5 - 2 \cdot 4,5 \cdot 10^{-2})^2 \Rightarrow S_{\text{Toriesferica}} = 1,96(\text{m}^2).$$

$$Pes_{\text{BUIT}} = (1,5(\text{m}) \cdot 3,5(\text{m})) \cdot \pi \cdot 2,8 \cdot 10^{-2}(\text{m}) \cdot 7960\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) + 2 \cdot 1,96(\text{m}^2) \cdot 4,5 \cdot 10^{-2}(\text{m}) \cdot 7960\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right).$$

$$Pes_{\text{BUIT}} = 5080,2 \text{ (kg)}.$$

- Pes del volum de líquid i d'aigua:

Amb líquid de mescla reactant:

$$Pes_{Liquid} = \pi \cdot r^2 \cdot h \cdot \rho_{Liquid} = \pi \cdot \left(\frac{1,5}{2}\right)^2 (m^2) \cdot 3,5(m) \cdot 823,32 \left(\frac{kg}{m^3}\right) \Rightarrow Pes_{Liquid} = 5092,2(kg).$$

Amb Aigua:

$$Pes_{Aigua} = \pi \cdot r^2 \cdot h \cdot \rho_{Aigua} = \pi \cdot \left(\frac{1,5}{2}\right)^2 (m^2) \cdot 3,5(m) \cdot 1000 \left(\frac{kg}{m^3}\right) \Rightarrow Pes_{Liquid} = 6185(kg).$$

- Pes total:

$$Pes = Pes_{BUIR} + Pes_{LIQUID} + Pes_{AGITADOR}$$

Si suposem que l'agitador pesa aproximadament 1000 (kg)

Pes del reactor ple de líquid = 5080,2 + 5092,2 + 1000 = 11162,4 (kg).

Pes del reactor ple d'aigua = 5080,2 + 6185 + 1000 = 12265,2 (kg).

10.8 Disseny separador S-201

Amb aquest equip eliminen la fracció de catalitzador que arrosseguem durant la reacció als reactors.

Dades dels corrents vapor/líquid:

$$T = 147,17^{\circ}\text{C} ; P = 350 \text{ kPa}$$

$$L = 7187,1 \text{ lb/h}$$

$$V = 25000,55 \text{ lb/h}$$

$$\text{Densitat del líquid} = 59,52 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Densitat del vapor} = 0,36 \text{ lb/ft}^3$$

10.8.1 Càlcul del diàmetre del tanc

Per tal de calcular el diàmetre del tanc s'utilitza un mètode que avalua la velocitat màxima del gas per tal que hi hagi una òptima separació del líquid.

10.8.1.1 Càlcul de K_{drum}

$$F_{\text{lv}} = (L/V) \cdot (\rho_v/\rho_l)^{1/2} = 0,0222$$

$$K_{\text{drum}} = \exp[A + B \cdot \ln(F_{\text{lv}}) + C \cdot (\ln F_{\text{lv}})^2 + D \cdot (\ln F_{\text{lv}})^3 + E \cdot (\ln F_{\text{lv}})^4] = 0,407342681$$

F_{lv} : relació cabals líquid/vapor

L : cabal de líquid (lb/h)

V : cabal de vapor (lb/h)

ρ_v : densitat del vapor (lb/ft³)

ρ_l : densitat del líquid (lb/ft³)

K_{drum} : adimensional

$$A = -1,877478097$$

$$B = -0,81458046$$

$$C = -0,187074409$$

$$D = -0,014522867$$

$$E = -0,001014852$$

10.8.1.2 Càlcul de U_{perm}

$$U_{perm} = K_{drum}(\rho_l - \rho_v)^{1/2} = 5,2177333 \text{ ft/s}$$

10.8.1.3 Càlcul de l'àrea mínima del separador

$$A = V/(\rho_v \cdot U_{perm}) = 3,699267838 \text{ ft}^2 \quad V: \text{ cabal de vapor (lb/s)}$$

10.8.1.4 Diàmetre del separador

$$D = [(4 \cdot A)/\pi]^{1/2} = 2,147448583 \text{ ft} ; D = 26,04316041 \text{ inch}$$

S'especifica el diàmetre amb increments de 3 inch ja que interessa de cara a adquirir els equips al fabricant, per tant:

$$D = 27 \text{ inch} ; D = 2,25 \text{ ft (0,686 m)}$$

10.8.2 Alçada del tanc

10.8.2.1 Distància entre l'entrada de l'aliment i el demister

$$h_v = D = 2,25 \text{ ft}$$

10.8.2.2 Distància entre el nivell de líquid i l'entrada de l'aliment

$$h_f = D/2 = 1,125 \text{ ft}$$

10.8.2.3 Distància entre el demister i el fons de caps

$$h_e = 1 \text{ ft, } 3 \text{ inch mínim} = 0,25 \text{ ft}$$

10.8.2.4 Alçada del líquid

Es calcula l'alçada de líquid a partir del temps de residència que es desitja obtenir dins del tanc. El valor mínim ha de ser de 5 minuts.

$$V_L = t \cdot L = 14 \text{ ft}^3$$

t = temps de residència = 7 min

L = cabal de líquid (ft^3/min)

$$h_L = V_L / ((\pi/4) \cdot D^2) = 3,52 \text{ ft}$$

D (diàmetre del tanc) = 2,25 ft

10.8.2.5 Alçada total

$$H = h_v + h_f + h_L = 6,89 \text{ ft}$$

Com que la longitud s'ha especificat en increments de 3 inch, l'alçada final serà:

$$H = 84 \text{ inch} ; H = 7 \text{ ft} (2,13 \text{ m})$$

Es comprova que la relació H/D es troba dins dels valors típics:

$$5 > H/D = 3,11 > 3$$

10.8.3 Disseny mecànic

10.8.3.1 Pressió de disseny

$$P_{\text{operació}} = 350 \text{ kPa}$$

$$P_{\text{disseny}} = 1,1 \cdot P_{\text{operació}} = 385 \text{ kPa}$$

$$P_{\text{prova}} = 1,5 \cdot P_{\text{disseny}} = 577,5 \text{ kPa}$$

10.8.3.2 Temperatura de disseny

La temperatura de disseny s'estableix, com a mínim, 50°C per sobre de la temperatura d'operació.

$$T_{\text{operació}} = 147,17^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{disseny}} = 197,17^{\circ}\text{C}$$

10.8.3.3 Material de l'equip.

En aquest equip hi circula un corrent de vapor a alta temperatura i pressió, per tant, s'utilitzarà en la seva fabricació un acer inoxidable AISI-316 (SA-240 grade 316).

L'acabat interior i exterior es farà decapat, és un tractament químic que aplica àcid a les superfícies, durant un període de temps, per eliminar les imperfeccions de les soldadures.

10.8.3.4 Gruixos de l'equip

A continuació es calculen els gruixos de l'equip segons el codi ASME per recipients a pressió interna.

-Gruix del cilindre:

$$t = P \cdot R / (S \cdot E - 0,6 \cdot P) = 0,049 \text{ inch}$$

P: Pressió de disseny (psi)

R: Radi interior (inch)

S: Màxim estrès permès del material = 18000 psi

E: Eficàcia de soldadura = 0,85

S'afegeix 1 mil·límetre per corrosió i un 10% per soldadura.

$$t_{\text{cilindre}} = 2,5 \text{ mm}$$

-Gruix fons de caps:

S'ha escollit un fons toriesfèric tipus Köppler.

$$L = 0,8 \cdot D = 21,6 \text{ inch}$$

$$r = 0,154 \cdot D = 4,16 \text{ inch}$$

$$L/r = 5,19$$

$$M (\text{valor tabulat}) = 1,33$$

D: Diàmetre interior del cilindre (inch)

L: Diàmetre interior del fons (inch)

r: radi de curvatura (inch)

$$t = P \cdot L \cdot M / (2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P) = 0,05 \text{ inch}$$

S'afegeix 1 mil·límetre per corrosió i un 10% per soldadura.

$$t_{\text{fons caps}} = 2,5 \text{ mm}$$

-Gruix fons de cues:

Seguint el mateix mètode de càlcul del gruix del fons de caps s'obté el següent resultat:

$$t_{\text{fons cues}} = 2,5 \text{ mm}$$

10.8.4 Volum i superfície de l'equip

El volums i superfícies del separador s'han calculat amb les següents equacions.

-Volum i superfície del cilindre:

$$V_{\text{cilindre}} = (\pi \cdot L \cdot D_{\text{int}}^2) / 4 = 0,78 \text{ m}^3$$

$$S_{\text{cilindre}} = \pi \cdot L \cdot D_{\text{ext}} = 4,61 \text{ m}^2$$

-Volum i superfície del capçal i el fons:

$$V_{\text{fons/capçal}} = 0,0778 \cdot D_{\text{int}}^3 = 0,025 \text{ m}^3 \quad S_{\text{fons/capçal}} = 0,842 \cdot D_{\text{ext}}^2 = 0,255 \text{ m}^2$$

10.8.5 Aïllament de l'equip

El gruix de l'aïllant es pot calcular mitjançant la següent equació simplificada:

$$\text{Gruix} = 30/h = 30/(3,6 \cdot (\Delta T/D_{\text{ext}})^{1/4}) = 7,22 \text{ cm} \rightarrow \text{Amb un 20\% més de gruix} = 9 \text{ cm}$$

$$\text{Pes aïllant} = (S_{\text{cilindre}} + 2 \cdot S_{\text{fons/capçal}}) \cdot \text{Gruix aïllant} \cdot \rho_{\text{aïllant}} = 42,66 \text{ kg}$$

ΔT : Diferència de temperatura entre l'interior i l'exterior del tanc $(147,17-25)^\circ\text{C} = 122,17^\circ\text{C}$

D_{ext} : Diàmetre exterior del recipient.

h : coeficient de transmissió de calor.

$\rho_{\text{aïllant}}$: (Llana de vidre) = $96,11 \text{ kg/m}^3$

10.8.6 Pes de l'equip

$$\text{Pes buit} = (S_{\text{cilindre}} \cdot \text{gruix}_{\text{cilindre}} + 2 \cdot S_{\text{fons/capçal}} \cdot \text{gruix}_{\text{fons/capçal}}) \cdot \rho_{\text{SA-515}} = 42,66 \text{ kg}$$

S'afegeix un 10% pel pes de les boques, els cargols, l'aïllant...

$$\text{Pes buit}_{\text{total}} = 109,08 \text{ kg}$$

$$\text{Pes ple d'aigua} = \text{Pes buit} + (V_{\text{cilindre}} + 2 \cdot V_{\text{fons/capçal}}) \cdot 1000 \text{ kg/m}^3 = 947,00 \text{ kg}$$

$$\text{Pes en operació} = V_{\text{vapor}} \cdot \rho_{\text{vapor}} + V_{\text{líquid}} \cdot \rho_{\text{líquid}} + \text{Pes buit}_{\text{total}} = 609,25 \text{ kg}$$

$$\rho_{\text{SA-515}} = 7.850 \text{ kg/m}^3$$

10.8.7 Tubuladures

Es calcula el diàmetre intern de les canonades del separador a partir dels cabals volumètrics i fixant les velocitat de pas per les canonades. Pels corrents de vapor s'ha fixat una velocitat de 20 m/s i pels corrents líquids de 2 m/s.

$$D_{\text{int}} = \frac{4 \cdot Q_L}{\sqrt{\pi \cdot v}} = 0,0254 \text{ m}$$

Q_L : Cabal volumètric de la canonada (m^3/s)

v : velocitat del fluid (m/s)

D_{int} : Diàmetre intern de la canonada (inch)

16-Corrent entrada (vapor) = **7,34 inch**

17-Corrent sortida (vapor) = **7,33 inch**

18-Corrent sortida (líquid) = **0,96 inch**

10.9 Disseny separador S-202

Amb aquest equip s'elimina la fracció de catalitzador que s'arrosega del primer separador (S-201).

Dades dels corrents vapor/líquid:

$$T = 129,3^{\circ}\text{C} ; P = 101,3 \text{ kPa}$$

$$L = 1224,45 \text{ lb/h}$$

$$V = 5732,33 \text{ lb/h}$$

$$\text{Densitat del líquid} = 92,56 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Densitat del vapor} = 0,18 \text{ lb/ft}^3$$

10.9.1 Càlcul del diàmetre del tanc

Per calcular el diàmetre del tanc s'utilitza un mètode que avalua la velocitat màxima del gas per tal que hi hagi una òptima separació del líquid.

10.9.1.1 Càlcul de K_{drum}

$$F_{\text{lv}} = (L/V) \cdot (\rho_v/\rho_l)^{1/2} = 0,009$$

$$K_{\text{drum}} = \exp[A + B \cdot \ln(F_{\text{lv}}) + C \cdot (\ln F_{\text{lv}})^2 + D \cdot (\ln F_{\text{lv}})^3 + E \cdot (\ln F_{\text{lv}})^4] = 0,31$$

F_{lv} : relació cabals líquid/vapor

L: cabal de líquid (lb/h)

V: cabal de vapor (lb/h)

ρ_v : densitat del vapor (lb/ft³)

ρ_l : densitat del líquid (lb/ft³)

K_{drum} : adimensional

$$A = -1,877478097$$

$$B = -0,81458046$$

$$C = -0,187074409$$

$$D = -0,014522867$$

$$E = -0,001014852$$

10.9.1.2 Càlcul de U_{perm}

$$U_{perm} = K_{drum}(\rho_l - \rho_v)^{1/2} = 7,12 \text{ ft/s}$$

10.9.1.3 Càlcul de l'àrea mínima del separador

$$A = V/(\rho_v \cdot U_{perm}) = 1,2 \text{ ft}^2 \quad V: \text{ cabal de vapor (lb/s)}$$

10.9.1.4 Diàmetre del separador

$$D = [(4 \cdot A)/\pi]^{1/2} = 2,10 \text{ ft} ; D = 14,9 \text{ inch}$$

S'especifica el diàmetre amb increments de 3 inch ja que interessa de cara a adquirir l'equip al fabricant, per tant:

$$D = 15 \text{ inch} ; D = 1,25 \text{ ft (0,381 m)}$$

10.9.2 Alçada del tanc

10.9.2.1 Distància entre l'entrada de l'aliment i el demister

$$h_v = D = 1,5 \text{ ft}$$

10.9.2.2 Distància entre el nivell de líquid i l'entrada de l'aliment

$$h_f = D/2 = 0,75 \text{ ft}$$

10.9.2.3 Distància entre el demister i el fons de caps

$$h_e = 1 \text{ ft, } 3 \text{ inch mínim} = 0,25 \text{ ft}$$

10.9.2.4 Alçada del líquid

Es calcula l'alçada de líquid a partir del temps de residència que es desitja obtenir dins del tanc. El valor mínim ha de ser de 5 minuts.

$$V_L = t \cdot L = 2 \text{ ft}^3$$

On: t = temps de residència = 10 min

L = cabal de líquid (ft^3/min)

$$h_L = V_L / ((\pi/4) \cdot D^2) = 1,70 \text{ ft}$$

D (diàmetre del tanc) = 1,25 ft

10.9.2.5 Alçada total

$$H = h_v + h_f + h_L = 3,59 \text{ ft}$$

Com que la longitud s'ha d'especificar en increments de 3 inch l'alçada final serà:

$$H = 45 \text{ inch} ; H = 3,75 \text{ ft} (1,143 \text{ m})$$

Es comprova que la relació H/D es troba dins dels valors típics:

$$5 > H/D=3,0 > 3$$

10.9.3 Disseny mecànic

10.9.3.1 Pressió de disseny

$$P_{\text{operació}} = 170 \text{ kPa}$$

$$P_{\text{disseny}} = 1,1 \cdot P_{\text{operació}} = 187 \text{ kPa}$$

$$P_{\text{prova}} = 1,5 \cdot P_{\text{disseny}} = 280,5 \text{ kPa}$$

10.9.3.2 Temperatura de disseny

La temperatura de disseny s'estableix, com a mínim, en 50°C per sobre de la temperatura d'operació.

$$T_{\text{operació}} = 131,2^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{disseny}} = 181,2^{\circ}\text{C}$$

10.9.3.3 Material de l'equip

Ja que per aquest equip hi circula un corrent de vapor a alta temperatura i pressió, s'utilitzarà en la seva fabricació un acer inoxidable AISI-316 (SA-240 grade 316).

L'acabat interior i exterior es farà decapat, tractament químic que consisteix en aplicar àcid a les superfícies durant un cert temps, per eliminar les imperfeccions de les soldadures.

10.9.3.4 Gruixos de l'equip

Es calculen els gruixos de l'equip segons el codi ASME per a recipients a pressió interna.

-Gruix del cilindre:

$$t = P \cdot R / (S \cdot E - 0,6 \cdot P) = 0,013 \text{ inch}$$

P: Pressió de disseny (psi)

R: Radi interior (inch)

S: Màxim estrés permès del material (psi)=18000

E: Eficàcia de soldadura = 0,85

S'afegeix 1 mil·límetre per corrosió i un 10% per soldadura.

$$t_{\text{cilindre}} = 1 \text{ mm}$$

-Gruix fons de caps:

S'ha escollit un fons toriesfèric tipus Köppler.

$$L = 0,8 \cdot D = 12 \text{ inch}$$

$$r = 0,154 \cdot D = 2,31 \text{ inch}$$

$$L/r = 5,19$$

$$M: \text{valor tabulat} = 1,33$$

D: Diàmetre interior del cilindre (inch)

L: Diàmetre interior del fons (inch)

r: radi de curvatura (inch)

$$t = P \cdot L \cdot M / (2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P) = 0,014 \text{ inch}$$

S'afegeix 1 mil·límetre per corrosió i un 10% per soldadura.

$$t_{\text{fons caps}} = 2 \text{ mm}$$

-Gruix fons de cues:

Seguint el mateix mètode de càlcul del gruix del fons de caps obtenim

$$t_{\text{fons cues}} = 2 \text{ mm}$$

10.9.4 Volum i superfície de l'equip

El volums i superfícies del separador els calculem amb les següents equacions:

-Volum i superfície del cilindre

$$V_{\text{cilindre}} = (\pi \cdot L \cdot D_{\text{int}}^2) / 4 = 0,13 \text{ m}^3$$

$$S_{\text{cilindre}} = \pi \cdot L \cdot D_{\text{ext}} = 1,37 \text{ m}^2$$

-Volum i superfície del capçal i el fons:

$$V_{\text{fons/capçal}} = 0,0778 \cdot D_{\text{int}}^3 = 0,004 \text{ m}^3 \quad S_{\text{fons/capçal}} = 0,842 \cdot D_{\text{ext}}^2 = 0,079 \text{ m}^2$$

10.9.5 Aïllament de l'equip

El gruix de l'aïllant es pot calcular mitjançant la següent equació simplificada:

$$\text{Gruix} = 30/h = 30/(3,6 \cdot (\Delta T/D_{\text{ext}})^{1/4}) = 6,45 \text{ cm} \rightarrow \text{Amb un 20\% més de gruix} = 8 \text{ cm}$$

$$\text{Pes aïllant} = (S_{\text{cilindre}} + 2 \cdot S_{\text{fons/capçal}}) \cdot \text{Gruix aïllant} \cdot \text{païllant} = 11,39 \text{ kg}$$

ΔT : Diferència de temperatura entre l'interior i l'exterior del tanc (131,2-25) $^{\circ}\text{C}$ = 106,2 $^{\circ}\text{C}$

D_{ext} : Diàmetre exterior del recipient

h : Coeficient de transmissió de calor

païllant (Llana de vidre) = 96,11 kg/m³

10.9.6 Pes de l'equip

$$\text{-Pes buit} = (S_{\text{cilindre}} \cdot \text{gruix}_{\text{cilindre}} + 2 \cdot S_{\text{fons/capçal}} \cdot \text{gruix}_{\text{fons/capçal}}) \cdot \rho_{\text{SA-515}} = 16,76 \text{ kg}$$

S'afegeix un 10% pel pes de boques, cargols, etc i el pes de l'aïllant:

$$\text{Pes buit}_{\text{total}} = 18,44 \text{ kg}$$

$$\text{-Pes ple d'aigua} = \text{Pes buit} + (V_{\text{cilindre}} + 2 \cdot V_{\text{fons/capçal}}) \cdot 1000 \text{ kg/m}^3 = 157,29 \text{ kg}$$

$$\text{-Pes en operació} = V_{\text{vapor}} \cdot \rho_{\text{vapor}} + V_{\text{liq}} \cdot \rho_{\text{liq}} + \text{Pes buit}_{\text{total}} = 144,94 \text{ kg}$$

$$\rho_{\text{SA-515}} = 7850 \text{ kg/m}^3$$

10.9.7 Tubuladures

S'ha calculat el diàmetre intern de les canonades del separador a partir dels cabals volumètrics i fixant la velocitat de canonada. Pels corrents de vapor s'ha fixat una velocitat de 20 m/s i pels corrents de líquid de 2 m/s.

$$D_{\text{int}} = \frac{4 \cdot Q_L}{\sqrt{\pi \cdot v}} \div 0,0254$$

On: Q_L = Cabal volumètric de la canonada (m^3/s)

v = Velocitat del fluïd (m/s)

D_{int} = Diàmetre intern de la canonada (inch)

19-Corrent entrada (vapor) = 5,05 inch

20-Corrent sortida (vapor) = 5,05 inch

21-Corrent sortida (líquid) = 0,29 inch

10.10 Disseny separador S-203

Amb aquest equip s'elimina la fracció de catalitzador que s'arrossega del separador S-202.

-Dades dels corrents vapor/líquid:

$$T=170^{\circ}\text{C} \quad P=131,2\text{Kpa}$$

$$L(\text{lb/h}) = 566,15$$

$$V(\text{lb/h}) = 658,52$$

$$\text{Densitat } L (\text{lb/ft}^3) = 10990,10$$

$$\text{Densitat } V (\text{lb/ft}^3) = 3,89$$

10.10.1 Càlcul del diàmetre del tanc

Per tal de calcular el diàmetre del tanc utilitzarem un mètode que avalua la velocitat màxima del gas per tal que hi hagi una òptima separació del líquid.

10.10.1.1 Càlcul de K_{drum}

$$F_{\text{lv}}=(L/V) \cdot (\rho_v/\rho_l)^{1/2}= 0,016$$

$$K_{\text{drum}}=\exp[A + B \cdot \ln(F_{\text{lv}}) + C \cdot (\ln F_{\text{lv}})^2 + D \cdot (\ln F_{\text{lv}})^3 + E \cdot (\ln F_{\text{lv}})^4] = 0,37$$

F_{lv} : relació cabals líquid/vapor

L : cabal líquid (lb/h)

V : cabal vapor (lb/h)

ρ_v :densitat vapor (lb/ft³)

ρ_l : densitat líquid (lb/ft³)

K_{drum} : adimensional

$$A= -1,877478097$$

$$B= -0,81458046$$

$$C= -0,187074409$$

$$D= -0,014522867$$

$$E = -0,001014852$$

10.10.1.2 Càlcul de U_{perm}

$$U_{perm} = K_{drum}(\rho_l - \rho_v)^{1/2} = 20,03 \text{ ft/s}$$

10.10.1.3 Càlcul de l'àrea mínima del separador

$$A = V/(\rho_v \cdot U_{perm}) = 0,08 \text{ ft}^2 \quad V: \text{cabal vapor (lb/s)}$$

10.10.1.4 Diàmetre del separador

$$D = [(4 \cdot A)/\pi]^{1/2} = 3,89 \text{ ft} / D = 0,32 \text{ inch}$$

S'especifica el diàmetre en increments de 3 inch perquè ens interessa de cara a adquirir l'equip al fabricant. Per tant:

$$D = 6 \text{ inch} / D = 0,5 \text{ ft} (0,1524 \text{ m})$$

10.10.2 Alçada del tanc

10.10.2.1 Distància entre l'entrada de l'aliment i el demister

$$h_v = D = 0,5 \text{ ft}$$

10.10.2.2 Distància entre el nivell de líquid i l'entrada de l'aliment

$$h_f = D/2 = 0,25 \text{ ft}$$

10.10.2.3 Distància entre el demister i el fons de caps

$$h_e = 1 \text{ ft} (3 \text{ inch mínim}) = 0,25 \text{ ft}$$

10.10.2.4 Alçada del líquid.

Es calcula l'alçada de líquid a partir del temps de residència que es vol tenir dins el tanc. Aquest ha de ser d'un mínim de 5 minuts.

$$V_L = t \cdot L = 0,151 \text{ ft}^3$$

t = temps de residència = 5 min

L = cabal de líquid (ft³/min)

$$h_L = V_L / ((\pi/4) \cdot D^2) = 0,77 \text{ ft}$$

D: diàmetre del tanc = 0,5 ft

10.10.2.5 Alçada total

$$H = h_v + h_f + h_L = 1,52 \text{ ft}$$

Com que la longitud s'ha d'especificar en increments de 3 inch l'alçada final serà:

$$H = 21 \text{ inch} \quad H = 1,75 \text{ ft (0,53 m)}$$

Es comprova la relació H/D està dins del paràmetres típics:

$$5 > H/D = 3,5 > 3$$

10.10.3 Disseny mecànic**10.10.3.1 Pressió de disseny**

$$P_{\text{operació}} = 101,3 \text{ kPa}$$

$$P_{\text{disseny}} = 1.1 \cdot P_{\text{operació}} = 111,43 \text{ kPa}$$

$$P_{\text{prova}} = 1.5 \cdot P_{\text{disseny}} = 167,14 \text{ kPa}$$

10.10.3.2 Temperatura de disseny

La temperatura de disseny s'estableix, com a mínim, en 50°C per sobre de la temperatura.

$$T_{\text{operació}} = 129,3^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{disseny}} = 179,3^{\circ}\text{C}$$

10.10.3.3 Material de l'equip

Degut a que per aquest equip hi circula un corrent de vapor a alta temperatura i pressió, s'utilitzarà en la seva fabricació un acer inoxidable AISI-316 (SA-240 grade 316)

L'acabat interior i exterior es farà decapat, tractament químic que consisteix en aplicar a les superfícies àcid durant un cert temps per eliminar les imperfeccions de les soldadures.

10.10.3.4 Gruixos de l'equip

Es calculen els gruixos de l'equip segons el codi ASME per recipients a pressió interna.

-Gruix del cilindre:

$$t = P \cdot R / (S \cdot E - 0,6 \cdot P) = 0,00317 \text{ inch}$$

P: Pressió de disseny (psi)

R: Radi intern (inch)

S: Màxim estrès permès del material = 18000 psi

E: Eficàcia de soldadura = 0,85

S'afegeix 1 mil·límetre per corrosió i un 10% per soldadura.

$$t_{\text{cilindre}} = 1 \text{ mm}$$

-Gruix fons de caps:

S'ha escollit un fons toriesfèric tipus Köppler.

$$L = 0,8 \cdot D = 4,8 \text{ inch}$$

$$r = 0,154 \cdot D = 0,924 \text{ inch}$$

$$L/r = 5,19$$

M: valor tabulat = 1,33

D: Diàmetre interior del cilindre (inch)

L: Diàmetre interior del fons (inch)

r: radi de curvatura (inch)

$$t = P \cdot L \cdot M / (2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P) = 0,085 \text{ inch}$$

S'afegeix 1 mil·límetre per corrosió i un 10% per soldadura.

$$t_{\text{fons caps}} = 1 \text{ mm}$$

-Gruix fons de cues:

Seguint el mateix mètode de càlcul del gruix del fons de caps obtenim

$$t_{\text{fons cues}} = 1 \text{ mm}$$

10.10.4 Volum i superfície de l'equip

Els volums i superfícies del separador es calculen amb les següents equacions.

-Volum i superfície del cilindre:

$$V_{\text{cilindre}} = (\pi \cdot L \cdot D_{\text{int}}^2) / 4 = 0,0097 \text{ m}^3 \quad S_{\text{cilindre}} = \pi \cdot L \cdot D_{\text{ext}} = 0,257 \text{ m}^2$$

-Volum i superfície del capçal i el fons:

$$V_{\text{fons/capçal}} = 0,0778 \cdot D_{\text{int}}^3 = 0,00027 \text{ m}^3 \quad S_{\text{fons/capçal}} = 0,842 \cdot D_{\text{ext}}^2 = 0,01274 \text{ m}^2$$

10.10.5 Aïllament de l'equip

El gruix de l'aïllant es pot calcular mitjançant la següent equació simplificada:

$$\text{Gruix} = 30/h = 30/(3,6 \cdot (\Delta T/D_{\text{ext}})^{1/4}) = 5,161 \text{ cm} \rightarrow \text{Amb un 20\% més de gruix} = 7 \text{ cm}$$

$$\text{Pes aïllant} = (S_{\text{cilindre}} + 2 \cdot S_{\text{fons/capçal}}) \cdot \text{Gruix aïllant} \cdot \rho_{\text{aïllant}} = 1,68 \text{ kg}$$

ΔT : Diferència de temperatura entre l'interior i l'exterior del tanc (129,3-25)°C = 104,3°C

D_{ext} : Diàmetre exterior del recipient

h : coeficient de transmissió de calor

$\rho_{\text{aïllant}}$ (Llana de vidre) = 96,11 kg/m³

10.10.6 Pes de l'equip

$$\text{-Pes buit} = (S_{\text{cilindre}} \cdot \text{gruix}_{\text{cilindre}} + 2 \cdot S_{\text{fons/capçal}} \cdot \text{gruix}_{\text{fons/capçal}}) \cdot \rho_{\text{SA-515}} = 2,42 \text{ kg}$$

S'ha afegit un 10% pel pes de les boques, els cargols, el pes de l'aïllant...

$$\text{Pes buit}_{\text{total}} = 2,67 \text{ kg}$$

$$\text{-Pes ple d'aigua} = \text{Pes buit} + (V_{\text{cilindre}} + 2 \cdot V_{\text{fons/capçal}}) \cdot 1000 \text{ kg/m}^3 = 12,94 \text{ kg}$$

$$\text{-Pes en operació} = V_{\text{vapor}} \cdot \rho_{\text{vapor}} + V_{\text{liq}} \cdot \rho_{\text{liq}} + \text{Pes buit}_{\text{total}} = 36,84 \text{ kg}$$

$$\rho_{\text{SA-515}} = 7850 \text{ kg/m}^3$$

10.10.7 Tubuladures

Es calcula el diàmetre intern de les canonades del separador a partir dels cabals volumètrics i fixant les velocitats de canonada. Pels corrents de vapor s'ha fixat una velocitat de 20 m/s mentre que pels corrents de líquid s'ha optat per una velocitat de 2 m/s.

$$D_{\text{int}} = \frac{4 \cdot Q_L}{\sqrt{\pi \cdot v}} \div 0,0254$$

Q_L = Cabal volumètric de la canonada (m^3/s)

v = Velocitat del fluid (m/s)

D_{int} = Diàmetre intern de la canonada (inch)

22-Corrent entrada (vapor) = 2,15 inch

23-Corrent sortida (vapor) = 2,15 inch

27-Corrent sortida (líquid) = 0,11 inch

10.11 Columna rectificació C-201

10.11.1 Descripció de la columna

La columna C-201 és la columna que separa la mescla líquida que surt dels flashos de separació del catalitzador en dos corrents, un amb una composició d'àcid acètic del 99,64 % i l'altre format per una mescla d'àcid acètic, acetat de metil, aigua, iodur de metil, metanol i part dels gasos del reactor que s'han dissolt en aquest corrent.

Per aquesta operació s'ha escollit una columna de plats perforats ja que es suposa que el diàmetre obtingut serà gran. Per tant, en aquests casos es més econòmic una columna de plats perforats que de rebliment.

10.11.2 Cabals i composicions a la columna

Per a la realització del balanç de matèria s'ha utilitzat el simulador HYSYS. A partir d'aquí s'han pogut extreure les següents dades:

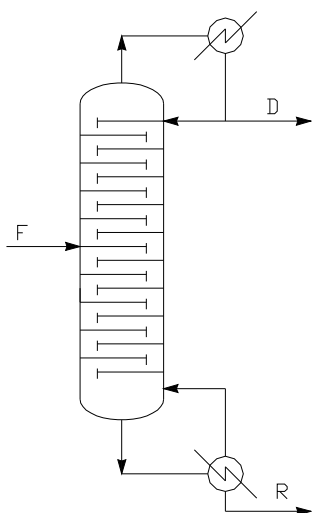


Figura 10.8 Esquema columna

	Corrent		
	F	D	R
Cabal (kg/h)	14340	5894	8444
Àcid acètic (%)	65,54	16,68	99,64
Acetat de metil (%)	24,36	59,24	0,008
Aigua (%)	4,68	11,27	0,084
Iodur de metil (%)	4,62	11,24	0
Metanol (%)	0,086	0,21	0
Àcid propiònic (%)	0,16	0	0,27

Taula 10.4 Cabals de la columna

10.11.3 Càlcul de l'eficàcia global de la columna

Pel càlcul de l'eficàcia global de la columna s'ha utilitzat la correlació de O'Connell, on l'eficàcia global de la columna es defineix:

$$E_0 = 0,52782 - 0,27511 \cdot \log_{10}(\alpha \cdot \mu) + 0,044923 \cdot [\log_{10}(\alpha \cdot \mu)]^2$$

Per utilitzar la correlació cal conèixer la volatilitat relativa dels components clau i la viscositat del líquid a la composició de l'aliment. A partir dels següents valors s'obté l'eficàcia global:

$$\alpha = 2,868$$

$$\mu = 0,0094 \text{ cp}$$

$$E_0 = 1,07$$

El resultat de l'eficàcia és major del 100%, això pot passar quan el diàmetre és molt gran, tot i

així es farà el disseny amb una eficàcia del 90%. L'eficàcia global es defineix com $\frac{N_{equilibri}}{N_{reals}}$ i

s'obtenen 10 etapes d'equilibri (contant reboiler i condensador parcial com dues etapes ideals). Per tant, la columna tindrà 8 etapes d'equilibri més el reboiler i el condensador parcial; el nombre de plats reals serà:

$$N_{reals} = \frac{8}{0,9} = \rightarrow 9 \text{ plats reals}$$

10.11.4 Càlcul del plat de l'aliment

Per a determinar el plat de l'aliment s'han utilitzat els valors obtinguts amb la simulació amb HYSYS:

$$\text{Plat aliment real} = \frac{\text{Plat aliment ideal} \times N \text{ etapes reals}}{N \text{ etapes ideals}} = \frac{5 \cdot 9}{8} = 5,63$$

L'aliment entrarà pel plat nº 6.

10.11.5 Càlcul del diàmetre de la columna

El càlcul del diàmetre de la columna s'ha realitzat per a condicions de cues i del plat de l'aliment ja que és on el cabal molar de vapor és major.

10.11.5.1 Càlcul del diàmetre en condicions de l'aliment

Per realitzar el càlcul del diàmetre de la columna es necessiten les següents dades:

Propietats físiques i condicions de caps	
Pressió	1 atm
Pes molecular del vapor	57,08 kg/kmol
Pes molecular del líquid	58,26 kg/kmol
R (Constant dels gasos)	$0,082 \frac{\text{atm} \cdot \text{l}}{\text{K} \cdot \text{mol}}$
Temperatura	372,54 K
Densitat del líquid	$947,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
Densitat del vapor	$1,808 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
Tensió superficial (Dyn/cm)	22,79
Cabal de líquid	405,3 kmol/h
Cabal de vapor	536,6 kmol/h
Relació de reflux	3

Taula 10.5 Propietats físiques i condicions de caps

A partir de les dades anteriors es calcula la velocitat d'inundació de la columna i es decideix el tant per cent d'inundació al qual es vol treballar. Pel càlcul de la velocitat d'inundació es necessita:

$$F_{lv} = \frac{W_L}{W_V} \sqrt{\frac{\rho_V}{\rho_L}} = 0,0328$$

On: W_L = Cabal màssic de líquid

W_V = Cabal màssic de vapor

Per trobar el factor de capacitat (C_{sb}) s'utilitza la correlació de Kessler i Wankat i l'espai entre plats. Per realitzar una primera iteració s'utilitza el valor obtingut amb el simulador HYSYS de 609,6 mm (24").

$$\log_{10}(C_{sb}) = -0,94506 - 0,70234 \log_{10}(F_{lv}) - 0,22618 (\log_{10}(F_{lv}))^2$$

$$C_{sb} = 0,397$$

A partir del valor de C_{sb} es calcula el factor de capacitat corregit (K). Per calcular-lo es necessita el valor de la tensió superficial ($\sigma = 20,45$ Dynes/cm):

$$K = C_{sb} \left(\frac{\sigma}{20} \right)^{0,2} = 0,4078$$

Per tant, ja es pot calcular la velocitat d'inundació com:

$$u_f = K \sqrt{\frac{\rho_L - \rho_v}{\rho_v}} = 9,33 \frac{ft}{s} \Rightarrow 2,84 \frac{m}{s}$$

Ara s'ha de decidir el tant per cent de la velocitat d'inundació al qual es vol treballar. Segons Jones i Mellborm un valor del 75 % és adequat en la majoria dels casos. Per tant, la velocitat d'operació es calcularà amb la següent expressió:

$$u_{op} = 0,75 \cdot u_f = 2,132 \frac{m}{s}$$

A partir de la velocitat d'operació i η (fracció d'àrea disponible per al vapor), es pot calcular el diàmetre de la columna com:

$$D_c = \sqrt{\frac{4 \cdot V \cdot PM_v}{\pi \cdot \eta \cdot u_{op} \cdot 3600}} = 1,767$$

Aquest és el diàmetre necessari per operar la columna en les condicions de l'aliment. Ara es calcularà el diàmetre en les condicions de cues.

10.11.5.2 Càlcul del diàmetre en condicions de cues

Per realitzar el càlcul del diàmetre de la columna es necessiten les següents dades:

Propietats físiques i condicions de cues	
Pressió	1 atm
Pes molecular del vapor	59,27 kg/kmol
Pes molecular del líquid	59,8 kg/kmol
R (Constant dels gasos)	$0,082 \frac{\text{atm} \cdot \text{l}}{\text{K} \cdot \text{mol}}$
Temperatura	390,3 K
Densitat del líquid	$944,6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
Densitat del vapor	$1,850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
Tensió superficial (Dynes/cm)	20,61
Cabal de líquid	427,3 kmol/h
Cabal de vapor	286,5 kmol/h

Taula 10.6 Propietats físiques i condicions de cues

A partir de les dades anteriors es torna a calcular el valor de F_{lv} per les condicions de cues:

$$F_{lv} = \frac{W_L}{W_v} \sqrt{\frac{\rho_v}{\rho_L}} = 0,066$$

On: W_L = Cabal màssic de líquid (kmol/h)

W_v = Cabal màssic de vapor (kmol/h)

A partir del valor de F_{lv} es calcula el factor de capacitat suposant un espai entre plats igual que en condicions de l'aliment (24").

$$\log_{10}(C_{sb}) = -0,94506 - 0,70234 \log_{10}(F_{lv}) - 0,22618 (\log_{10}(F_{lv}))^2$$

$$C_{sb} = 0,37$$

Amb aquest valor de C_{sb} ja es pot calcular el factor de capacitat corregit (K):

$$K = C_{sb} \left(\frac{\sigma}{20} \right)^{0,2} = 0,373$$

A continuació es calcula el valor de la velocitat d'inundació de la columna:

$$u_f = K \sqrt{\frac{\rho_L - \rho_V}{\rho_V}} = 8,415 \frac{ft}{s} \Rightarrow 2,564 \frac{m}{s}$$

Al treballar a un 75 % de la velocitat d'inundació, el valor de la velocitat d'operació serà:

$$u_{op} = 0,75 \cdot u_f = 1,924 \frac{m}{s}$$

Amb el valor de la velocitat d'operació i η (0,9) podem calcular el diàmetre de la columna per les condicions de cues:

$$D_c = \sqrt{\frac{4 \cdot V \cdot PM_V}{\pi \cdot \eta \cdot u_{op} \cdot 3600}} = 1,369 m$$

Si es comparen els dos diàmetres calculats, per condicions de l'aliment i de cues, es pot observar que són diferents. Per tant, es fan dues seccions amb diàmetres diferents:

Diàmetres finals de la columna	
Diàmetre caps	1,8 m
Diàmetre cues	1,4 m

Taula 10.7 Diàmetres de la columna

10.11.6 Disseny detallat dels plats perforats

Aquí com en el cas del diàmetre és farà el disseny per les condicions de l'aliment i les de cues.

10.11.6.1 Disseny dels plats per les condicions de l'aliment

Càlcul de la secció transversal del plat

Inicialment es calcula l'àrea de la columna a partir del diàmetre:

$$A_C = \frac{\pi}{4} \cdot D_C^2 = 2,54 \text{ m}^2$$

A partir de l'àrea de la columna i de la fracció de l'àrea disponible pel vapor (η), es pot calcular l'àrea neta, l'àrea del downcomer i l'àrea activa (àrea on hi ha contacte entre el vapor i el líquid). S'agafa un valor de $\eta=0,9$.

$$A_n = A_C \cdot \eta = 2,29 \text{ m}^2$$

$$A_d = A_C \cdot (1 - \eta) = 0,25 \text{ m}^2$$

$$A_a = A_C \cdot (1 - 2 \cdot (1 - \eta)) = 2,04 \text{ m}^2$$

A partir de l'àrea activa i β (fracció d'àrea que ocupen els forats) es pot calcular l'àrea total dels forats i el nombre de forats. El valor de β pot variar entre 0,07 i 0,16; s'agafa un valor de 0,1:

$$A_h = \beta \cdot A_a = 0,20 \text{ m}^2$$

Amb l'àrea dels forats es pot calcular la velocitat del vapor a través dels forats mitjançant la següent equació:

$$v_0 = \frac{V \cdot PM_v}{3600 \cdot \rho_v \cdot A_h} = 23,12 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

A partir de l'àrea del downcomer es pot calcular la seva longitud:

$$A_d = \frac{1}{2} \cdot r^2 \cdot (\theta - \sin \theta) \Rightarrow 2 \cdot (1 - \eta) \cdot \pi = \theta - \sin \theta \Rightarrow \theta = 1,627 \text{ rad}$$

Amb el diàmetre de la columna i θ es calcula la longitud del downcomer:

$$\frac{l_{weir}}{D_C} = \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \Rightarrow l_{weir} = D_C \cdot \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) = 1,308 \text{ m}$$

Un altre punt a dissenyar és el diàmetre dels forats i l'espaiat (pitch). S'ha escollit un diàmetre de forats de 5 mm i un pitch triangular ja que dóna una millor mescla entre el vapor i el líquid. El pitch ha de ser entre 2,5-5 vegades el diàmetre dels forats, s'escolleix:

$$Pitch = 3 \cdot 5 \text{ mm} = 15 \text{ mm}$$

Amb el diàmetre i l'àrea total dels forats es pot calcular el nombre de forats mitjançant la següent equació:

$$n^{\circ} \text{ forats} = \frac{A_h}{\text{Àrea 1 forat}} = 10368 \text{ forats}$$

L'àrea perforable ha de tenir una separació de 2-3 polzades de la paret de la columna i del downcomer d'entrada, i de 3-5 polzades amb el downcomer de sortida del plat. Per tant, s'escull una distància de 2 polzades per la paret de la columna i el downcomer d'entrada i de 3 polzades pel downcomer de sortida. La configuració del plat és la que es veu a la següent Figura:

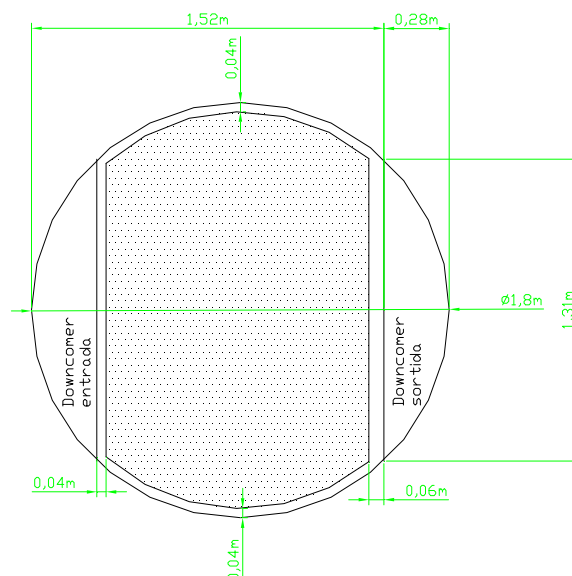


Figura 10.9 Configuració del plat de la columna en condicions de l'aliment

Càlcul de la secció longitudinal del plat

Tot seguit es calcula l'alçada del líquid al plat, l'alçada del líquid al baixant i l'alçada del sobreeixidor, tal i com es veu a la figura 10.10:

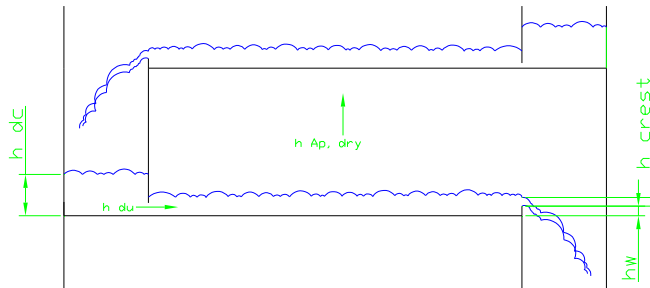


Figura 10.10 Secció longitudinal del plat

L'alçada de líquid al baixant es pot calcular com:

$$h_{dc} = h_{\Delta p, dry} + h_{weir} + h_{crest} + h_{grad} + h_{du}$$

Càlcul de la caiguda de pressió del gas en una etapa ($h_{\Delta p, dry}$)

Per al càlcul de $h_{\Delta p, dry}$ es necessari calcular el coeficient de descàrrega (C_0) que es funció del diàmetre dels forats i del gruix del plat. C_0 es pot calcular amb la següent equació (Kessler i Wankat):

$$C_0 = 0,85032 - 0,04231 \cdot \frac{d_0}{t_{tray}} + 0,0017954 \cdot \left(\frac{d_0}{t_{tray}} \right)^2 = 0,756$$

El valor de $\frac{d_0}{t_{tray}}$ és la relació entre el diàmetre dels forats i el gruix del plat. Per aquest càlcul

s'agafa un valor de $\frac{d_0}{t_{tray}} = 2,5$.

Aleshores $h_{\Delta p, dry}$ es calcula com:

$$h_{\Delta p, dry} = 0,003 \cdot v_0^2 \cdot \rho_v \cdot \left(\frac{\rho_{aigua}}{\rho_L} \right) \cdot \frac{(1 - \beta)}{C_0^2} = 3,49 \text{ polzades} \Rightarrow 9,052 \text{ cm}$$

Amb la relació $\frac{d_0}{t_{tray}}$ es pot determinar el gruix de cada plat:

$$t_{tray} = \frac{d_0}{2,5} = 2 \text{ mm}$$

Càlcul de l'alçada del sobreeixidor (h_{weir})

L'alçada del sobreeixidor ha de ser d'entre 40–90 mm, s'agafa una alçada de 40 mm perquè hi hagi més contacte entre les fases.

Càlcul de l'alçada de líquid per sobre el sobreeixidor (h_{crest})

El valor de h_{crest} es pot calcular amb l'equació de Francis:

$$h_{crest} = 0,092 \cdot F_{weir} \cdot \left(\frac{L_g}{l_{weir}} \right)^{2/3}$$

Per al càlcul de F_{weir} (factor que té en compte la curvatura de la paret de la columna en el downcomer) s'ha de calcular el cabal de líquid arrastrat (e). e es calcula amb la fracció d'arrossegament (Ψ):

$$\psi = \frac{e}{L + e}$$

A partir de la figura 10.11 es pot llegir el valor de Ψ amb F_{lv} i el tant per cent d'inundació (75 %). Si llegim a la figura:

$$\Psi = 0,065$$

Per tant e es pot calcular com:

$$e = \frac{\psi \cdot L}{1 - \psi} = 28,176 \frac{\text{kmol}}{h}$$

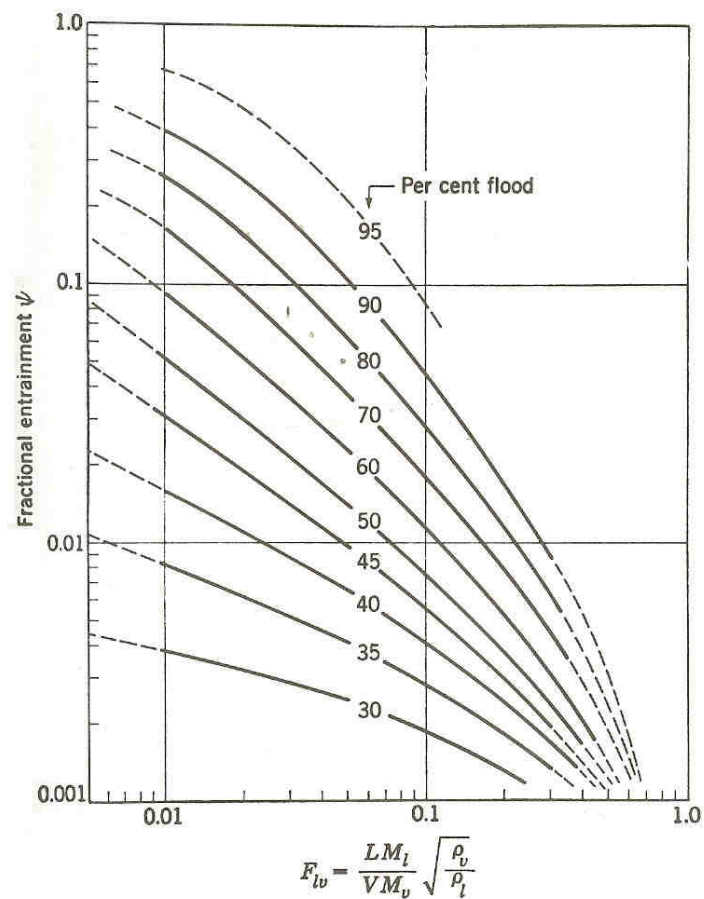


Figura 10.11 Fracció d'arrossegament en funció de F_{lv}

Aleshores el cabal total de líquid és:

$$L_g = L + e = 433,476 \frac{\text{kmol}}{h}$$

F_{weir} es pot calcular amb la figura 10.12 per això primer hem de calcular l'eix x (L_g ha de ser en galons per minut i l_{weir} en peus):

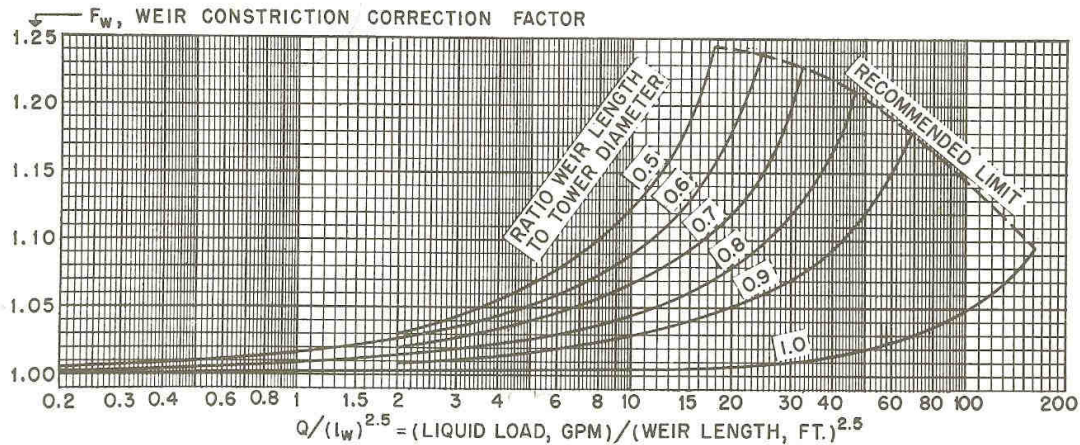


Figure 12-20. Weir correction factor, F_{weir} , for segmental weirs. From Bolles (1946). Reprinted with permission of *Petroleum Processing*.

Figura 10.12 Càlcul de F_{weir}

$$\frac{L_g}{(l_{weir})^{2.5}} = 4,34$$

i llegim el valor de $F_{weir} = 1,039$

Per tant,

$$h_{crest} = 0,092 \cdot F_{weir} \cdot \left(\frac{L_g}{l_{weir}} \right)^{2/3} = 1,09 \text{ polzades} \Rightarrow 2,77 \text{ cm}$$

Càlcul del gradient de líquid al plat (h_{grad})

El valor de h_{grad} té en compte la variació de l'alçada de líquid en el plat. Aquest valor en plats perforats acostuma a ser molt petit i per tant s'ignora.

$$h_{grad} \approx 0 \text{ mm}$$

Càlcul de l'alçada deguda al pas per l'àrea sota el downcomer (h_{du})

El valor de h_{du} es pot estimar a partir de l'equació empírica de Ludwig:

$$h_{du} = 0,56 \cdot \left(\frac{L_g}{449 \cdot A_{du}} \right)^2$$

Per al càlcul de h_{du} es necessita l'àrea sota el downcomer que es pot calcular a partir de l_{weir} i l'alçada que acostuma a ser de 1 polzada. Agafem aquest valor per al càlcul:

$$A_{du} = Alçada \cdot l_{weir} = 332,21 \text{ cm}^2$$

Per tant el valor de h_{du} és de:

$$h_{du} = 0,56 \cdot \left(\frac{L_g}{449 \cdot A_{du}} \right)^2 = 0,594 \text{ polzades} \Rightarrow 1,509 \text{ cm}$$

A partir de tots els valors anteriors es pot calcular l'alçada de líquid al downcomer de baixada de manera que:

$$h_{dc} = h_{\Delta p, dry} + h_{weir} + h_{crest} + h_{grad} + h_{du} = 6,82 \text{ polzades}$$

El valor de h_{dc} calculat no té en compte l'augment de l'alçada deguda al cabal de vapor a través de la columna. La nova alçada es pot estimar de la següent manera:

$$h_{dc \text{ aerat}} = \frac{h_{dc}}{\phi_{dc}} \quad \text{On } \phi_{dc} \text{ es pot considerar igual a } 0,5$$

Per tant,

$$h_{dc \text{ aerat}} = \frac{h_{dc}}{\phi_{dc}} = 2 \cdot h_{dc} = 13,646 \text{ polzades}$$

Ja que el valor de $h_{dc \text{ aerat}}$ és menor a l'espai entre plats (24 polzades) no tindrem problemes d'inundació de la columna.

Un altre valor a calcular és el temps de residència del líquid en el downcomer. Aquest es pot estimar amb la següent equació:

$$t_{res} = \frac{A_d \cdot h_{dc} \cdot 3600 \cdot \rho_L}{L_g \cdot PM_L} = 5,95 s$$

El valor del temps de residència ha de ser entre 3 i 7 segons, per tant esta dins el rang correcte.

Comprovació si hi haurà goteig

Per veure si hi haurà goteig a la columna hem de comprovar si es compleix la següent equació:

$$h_{\Delta p, dry} + h_{\sigma} \geq 0,10392 + 0,25119 x - 0,021675 x^2$$

$$h_{\sigma} = \frac{0,04 \sigma}{\rho_L \cdot d_0} = 0,078 \text{ polzades}$$

$$h_{\Delta p, dry} + h_{\sigma} = 3,64$$

Banda dreta = 0,6195

Ja que la banda dreta de l'equació és molt més petita que l'esquerra no hi hauran problemes de goteig a la columna.

10.11.6.2 Disseny dels plats per les condicions de cues

Càlcul de la secció transversal del plat

Primer calculem l'àrea de la columna a partir del diàmetre:

$$A_C = \frac{\pi}{4} \cdot D_C^2 = 1,4 m^2$$

A partir de l'àrea de la columna i de la fracció de àrea disponible per al vapor, η , es pot calcular l'àrea neta, l'àrea del downcomer i l'àrea activa (àrea on hi ha contacte entre el vapor i el líquid). Agafem un valor de $\eta=0,9$:

$$A_n = A_C \cdot \eta = 1,39 \text{ m}^2$$

$$A_d = A_C \cdot (1 - \eta) = 0,15 \text{ m}^2$$

$$A_a = A_C \cdot (1 - 2 \cdot (1 - \eta)) = 1,23 \text{ m}^2$$

A partir de l'àrea activa i amb β que és la fracció d'àrea que ocupen els forats, es pot calcular l'àrea total dels forats i el nombre de forats. El valor de β pot variar entre 0,07 i 0,16, agafem un valor de 0,1:

$$A_h = \beta \cdot A_a = 0,12 \text{ m}^2$$

Amb l'àrea dels forats podem calcular la velocitat del vapor a través dels forats com:

$$v_0 = \frac{V \cdot PM_v}{3600 \cdot \rho_v \cdot A_h} = 20,70 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

A partir de l'àrea del downcomer es pot calcular la longitud del downcomer:

$$A_d = \frac{1}{2} \cdot r^2 \cdot (\theta - \sin \theta) \Rightarrow 2 \cdot (1 - \eta) \cdot \pi = \theta - \sin \theta \Rightarrow \theta = 1,627 \text{ rad}$$

I amb el diàmetre de la columna i θ calculem la longitud del downcomer:

$$\frac{l_{weir}}{D_C} = \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \Rightarrow l_{weir} = D_C \cdot \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) = 1,017 \text{ m}$$

Un altre punt a dissenyar és el diàmetre dels forats i l'espaiat (pitch). El diàmetre dels forats escollit és de 5 mm i s'ha escollit un pitch triangular perquè dona una millor mescla entre el vapor i el líquid. El pitch ha de ser 2,5 a 5 vegades el diàmetre dels forats, escollim:

$$Pitch = 3 \cdot 5 \text{ mm} = 15 \text{ mm}$$

Amb el diàmetre dels forats i l'àrea total dels forats podem calcular el nombre de forats com:

$$n^{\circ} \text{ forats} = \frac{A_h}{\text{Àrea 1 forat}} = 6272 \text{ forats}$$

L'àrea perforable ha de tenir una separació de 2 – 3 polzades de la paret de la columna i del downcomer d'entrada, i de 3–5 polzades amb el downcomer de sortida del plat. Per tant, s'escull una distància de 2 polzades per la paret de la columna i el downcomer d'entrada i de 3 polzades pel downcomer de sortida. Així la configuració del plat és la que es veu a la figura 10.13:

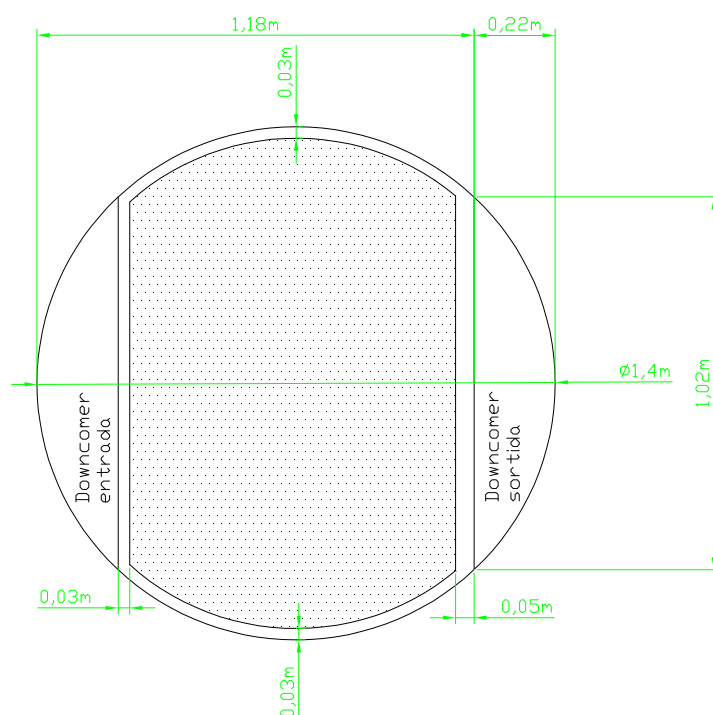


Figura 10.13 Secció transversal del plat en condicions de cues

Càlcul de la secció longitudinal del plat

En aquest cas com que els càlculs són iguals que els realitzats en condicions de caps, només es posaran els resultats finals.

Càlcul de la caiguda de pressió del gas en una etapa ($h_{\Delta p, dry}$)

$$h_{\Delta p, dry} = 0,003 \cdot v_0^2 \cdot \rho_v \cdot \left(\frac{\rho_{aigua}}{\rho_L} \right) \cdot \frac{(1-\beta)}{C_0^2} = 2,933 \text{ polzades} \Rightarrow 7,45 \text{ cm}$$

Agafem la mateixa relació $\frac{d_0}{t_{tray}} = 2,5$

Càlcul de l'alçada del sobreexidor (h_{weir})

Agafem la mateixa alçada de sobreexidor que en el cas de caps, 40 mm.

Càlcul de l'alçada de líquid per sobre el sobreexidor (h_{crest})

En aquest cas tenim un valor de $\Psi = 0,03$, per tant:

$$e = \frac{\psi \cdot L}{1 - \psi} = 13,215 \frac{kmol}{h}$$

i llegim el valor de $F_{weir} = 1,015$

Per tant,

$$h_{crest} = 0,092 \cdot F_{weir} \cdot \left(\frac{L_g}{l_{weir}} \right)^{2/3} = 1,306 \text{ polzades} \Rightarrow 3,317 \text{ cm}$$

Càlcul del gradient de líquid al plat (h_{grad})

Agafem el mateix valor, $h_{grad} \approx 0 \text{ mm}$

Càlcul de l'alçada deguda al pas per l'àrea sota el downcomer (h_{du})

$$A_{du} = \text{Alçada} \cdot l_{weir} = 258,38 \text{ cm}^2$$

Per tant el valor de h_{du} és de:

$$h_{du} = 0,56 \cdot \left(\frac{L_g}{449 \cdot A_{du}} \right)^2 = 1,094 \text{ polzades} \Rightarrow 2,778 \text{ cm}$$

A partir de tots els valors anteriors es pot calcular l'alçada de líquid al downcomer de baixada de manera que:

$$h_{dc} = h_{\Delta p, dry} + h_{weir} + h_{crest} + h_{grad} + h_{du} = 6,907 \text{ polzades}$$

I calculem l'efecte del cabal de vapor:

$$h_{dc \text{ aerat}} = \frac{h_{dc}}{\phi_{dc}} = 2 \cdot h_{dc} = 13,815 \text{ polzades}$$

Ja que el valor de $h_{dc \text{ aerat}}$ és menor a l'espai entre plats (24 polzades) no tindrem problemes d'inundació de la columna.

El temps de residència al downcomer serà:

$$t_{res} = \frac{A_d \cdot h_{dc} \cdot 3600 \cdot \rho_L}{L_g \cdot PM_L} = 3,52 \text{ s}$$

El valor del temps de residència esta entre 3 i 7 segons, per tant esta dins el rang correcte.

Comprovació si hi haurà goteig

$$h_{\Delta p, dry} + h_{\sigma} \geq 0,10392 + 0,25119x - 0,021675x^2$$

$$h_{\sigma} = \frac{0,04\sigma}{\rho_L \cdot d_0} = 0,071 \text{ polzades}$$

$$h_{\Delta p, dry} + h_{\sigma} = 3,004$$

Banda drete = 0,6476

Ja que la banda dreta de l'equació és molt més petita que l'esquerra no hi hauran problemes de goteig a la columna.

Finalment les dimensions de la columna són les següents:

Característiques finals columna	
Alçada	5,96 m
Diàmetre	1,8 / 1,4 m
Plat de l'aliment	6

Taula 10.8 Característiques finals de la columna

10.11.7 Disseny mecànic

10.11.7.1 Disseny de les tubuladures

En aquest apartat es dimensionaran els diàmetres de les tubuladures d'entrada del vapor i el líquid al llarg de la columna.

Caps de la columna

Líquid

$$\text{Cabal} = 0,0042 \text{ m}^3/\text{s}$$

Si suposem una velocitat de circulació de 1 m/s el diàmetre de la tubuladura serà de:

$$\frac{0,0042 \text{ m}^3/\text{s}}{1 \text{ m/s}} = 0,0042 \text{ m}^2 \Rightarrow D = 0,073 \text{ m} \Rightarrow DN 80$$

Vapor

$$\text{Cabal} = 3,115 \text{ m}^3/\text{s}$$

Si suposem una velocitat de circulació de 32 m/s el diàmetre de la tubuladura serà de:

$$\frac{3,115 \text{ m}^3/\text{s}}{32 \text{ m/s}} = 0,097 \text{ m}^2 \Rightarrow D = 0,352 \text{ m} \Rightarrow DN \text{ 350}$$

Entrada de l'aliment

L'aliment entra tot en fase vapor, per tant el diàmetre necessari serà:

$$\text{Cabal} = 2,364 \text{ m}^3/\text{s}$$

Si suposem una velocitat de circulació de 32 m/s el diàmetre de la tubuladura serà de:

$$\frac{2,364 \text{ m}^3/\text{s}}{32 \text{ m/s}} = 0,074 \text{ m}^2 \Rightarrow D = 0,307 \text{ m} \Rightarrow DN \text{ 300}$$

Cues de la columna

Líquid

$$\text{Cabal} = 0,0075 \text{ m}^3/\text{s}$$

En el cas de cues s'ha de calcular el nivell de líquid que es mantindrà al fons de la columna i que després anirà al reboiler. El fons de la columna tindrà un temps de residència de 1,5 minuts, per tant el nivell de líquid serà:

$$V = Q \cdot t_{\text{residència}} = 0,676 \text{ m}^3$$

$$\text{Volum del fons torisfèric: } V_{\text{fons}} = 0,0778 \cdot D_C^3 = 0,2134 \text{ m}^3$$

$$\text{Volum necessari cilindre columna: } V_{\text{cilindre}} = 0,676 - 0,2134 = 0,463 \text{ m}^3$$

$$\text{Alçada líquid fons: } h_{\text{fons}} = \frac{0,2134 \text{ m}^3}{\frac{\pi}{4} \cdot D_C^2} = 0,3006 \text{ m}$$

Si la velocitat de sortida del líquid pel fons de la columna és de 1 m/s, el diàmetre de la tubuladura de sortida serà:

$$\frac{0,0075 \text{ m}^3/\text{s}}{1 \text{ m/s}} = 0,0075 \text{ m}^2 \Rightarrow D = 0,098 \text{ m} \Rightarrow DN 100$$

Vapor

Cabal = 2,546 m³/s

Si suposem una velocitat de circulació de 32 m/s el diàmetre de la tubuladura serà de:

$$\frac{2,546 \text{ m}^3/\text{s}}{32 \text{ m/s}} = 0,0797 \text{ m}^2 \Rightarrow D = 0,319 \text{ m} \Rightarrow DN 300$$

Per tant la configuració del fons de la columna serà la següent:

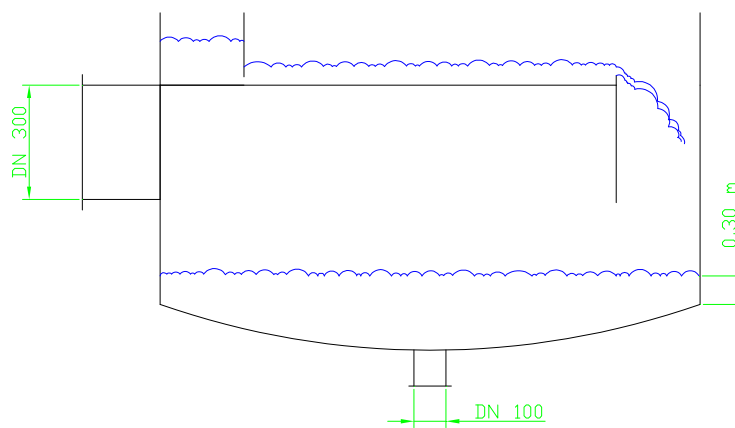


Figura 10.14 Tubuladures de cues

10.11.7.2 Gruixos de la columna

Gruix del cilindre caps

El gruix de la paret cilíndrica es mesura a pressió interna i externa, és una columna que treballa a pressió atmosfèrica. Les condicions de disseny utilitzades són les següents:

Pressió disseny: -1,5/1,5.

Temperatura de disseny: 410 K

Gruix a pressió interna

Paràmetres de disseny	
Pressió	1,5 bar
Radi	900 mm
S (acer al carboni SA-515 55)	951,7 bar
Factor de soldadura (E)	0,85
Sobreessessor per corrosió (c1)	2 mm
Sobreessessor per curvatura (c2)	0 mm

Taula 10.9 Paràmetres de disseny del cilindre de caps a pressió interna

A partir de les dades de la taula 10.9 el espessor necessari es calcula:

$$t = \frac{P \cdot R}{S \cdot E - 0,6 \cdot P} + c1 + c2 = 3,69 \text{ mm}$$

S'agafa un gruix de 4 mm.

Gruix a pressió externa

En aquest cas suposem un gruix i es comprova si el cilindre aguantarà aquesta pressió. Els paràmetres de disseny són els següents:

Paràmetres de disseny	
Pressió	1,5 bar
D₀	1828 mm
h	342 mm
Gruix suposat	14 mm
D₀/t	152,33

Taula 10.10 Paràmetres de disseny del cilindre de caps a pressió externa

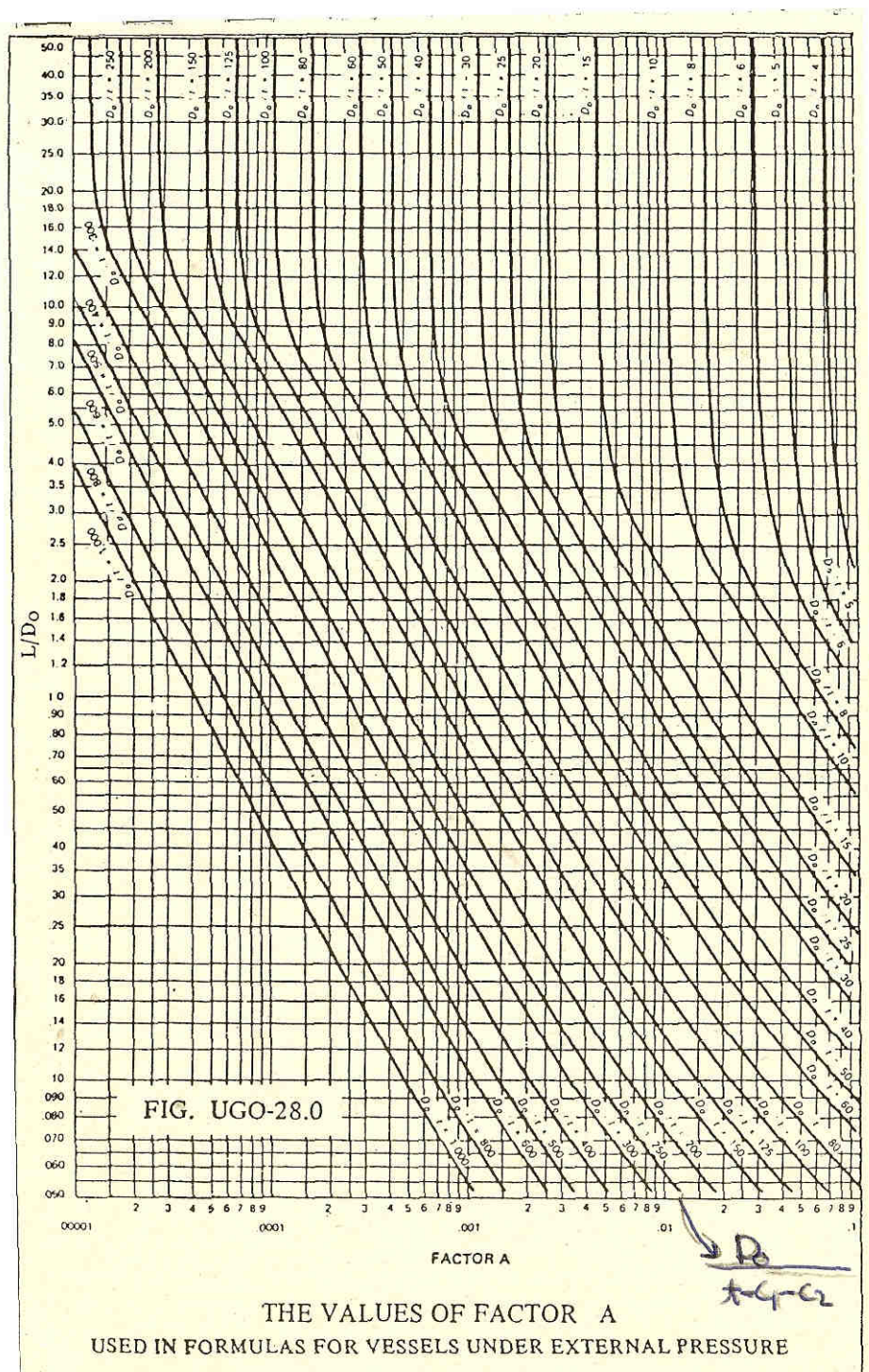


Figura 10.15 Valor de A per al gruix a pressió externa

En la primera iteració s'ha suposat el mateix gruix que a pressió interna, però al final s'ha arribat fins al valor de 14 mm. La pressió que aguantarà el cilindre es calcula de la següent manera:

$$P_a = \frac{2 \cdot A \cdot E}{3 \cdot \frac{D_0}{t}}$$

$$L = \text{Alçada cilindre} + 2 \cdot \left(\frac{h}{3} \right) = 5447,1 \text{ mm}$$

$$\frac{L}{D_0} = 2,98$$

A la figura 10.15 trobem el valor de $A = 0,00022$

A la figura 10.16 busquem el valor de B i veiem que esta fora per l'esquerra, per tant, s'utilitza $E = 1972068,966 \text{ bar}$ i es calcula la pressió:

$$P_a = \frac{2 \cdot A \cdot E}{3 \cdot \frac{D_0}{t}} = 1,93 \text{ bar}$$

Com que és més gran que la pressió de disseny s'ha decidit que el gruix de 14 mm serà el adequat.

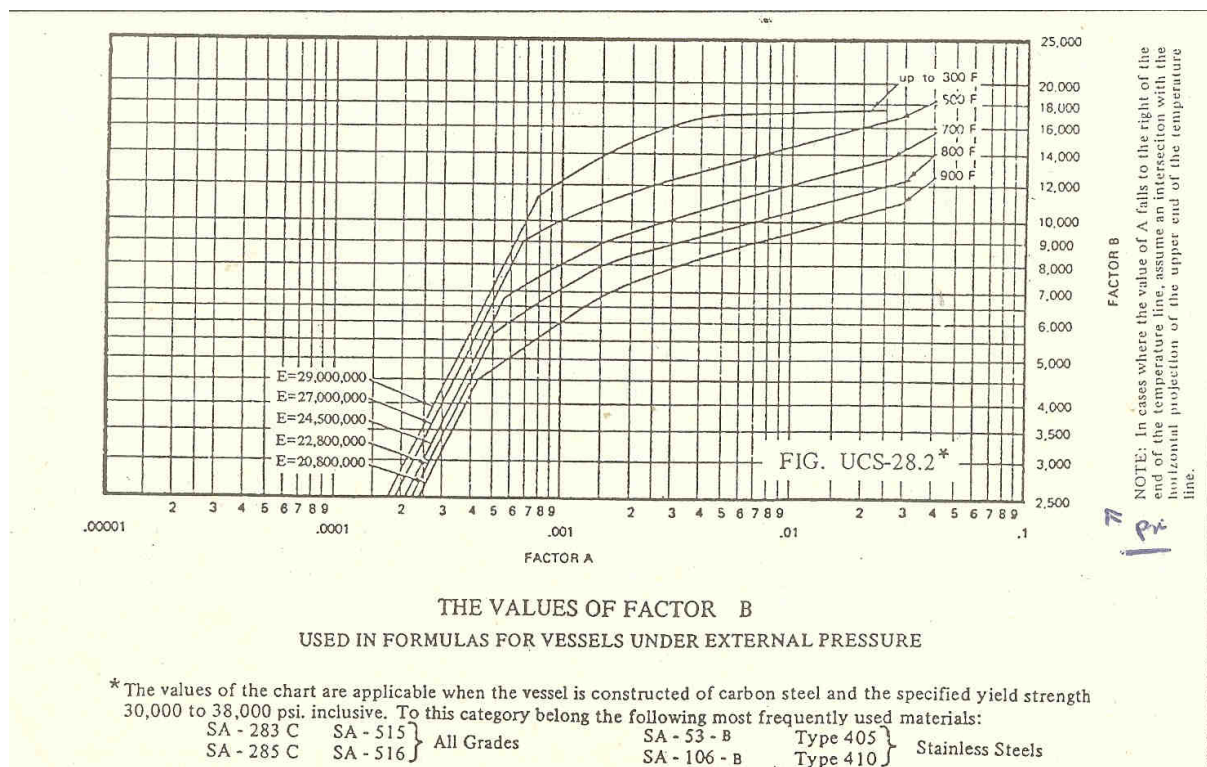


Figura 10.16 Valor de B pel gruix a pressió externa

Gruix del cilindre cues

El gruix de la paret cilíndrica es mesura a pressió interna i externa, és una columna que treballa a pressió atmosfèrica. Les condicions de disseny utilitzades són les següents:

Pressió disseny: -1,5/1,5.

Temperatura de disseny: 410 K

Gruix a pressió interna

A partir de les dades de la taula anterior el espessor necessari es calcula:

$$t = \frac{P \cdot R}{S \cdot E - 0,6 \cdot P} + c1 + c2 = 3,32 \text{ mm}$$

S'agafa un gruix de 4 mm.

Paràmetres de disseny	
Pressió	1,5 bar
Radi	700 mm
S (acer al carboni SA-515 55)	951,7 bar
Factor de soldadura (E)	0,85
Sobreesspessor per corrosió (c1)	2 mm
Sobreesspessor per curvatura (c2)	0 mm

Taula 10.11 Paràmetres de disseny del cilindre de cues a pressió interna

Gruix a pressió externa

En aquest cas s'ha suposat un gruix i es comprova si el cilindre aguantarà la pressió. Els paràmetres de disseny són els següents:

Paràmetres de disseny	
Pressió	1,5 bar
D₀	1412 mm
h	266 mm
Gruix suposat	6 mm
D₀/t	353

**Taula 10.12 Paràmetres de disseny
del cilindre de cues a pressió externa**

En la primera iteració s'ha suposat el mateix gruix que a pressió interna, però al final s'ha arribat fins al valor de 14 mm. La pressió que aguantarà el cilindre es calcula de la següent manera:

$$P_a = \frac{2 \cdot A \cdot E}{3 \cdot \frac{D_0}{t}}$$

$$L = \text{Alçada cilindre} + 2 \cdot \left(\frac{h}{3} \right) = 991,94 \text{ mm}$$

$$\frac{L}{D_0} = 0,7$$

A la figura 10.15 trobem el valor de $A = 0,0004$

A la figura 10.16 busquem el valor de B i veiem que esta fora per l'esquerra, per tant usem $E = 1972068,966 \text{ bar}$ i calculem la pressió:

$$P_a = \frac{2 \cdot A \cdot E}{3 \cdot \frac{D_0}{t}} = 1,5 \text{ bar}$$

Com que és més gran que la pressió de disseny, un gruix de 6 mm és adequat.

Gruix de la tapa a caps

El gruix de les tapes es calcula amb les mateixes pressions de disseny que en el cas del cilindre, excepte per la pressió interna de la tapa inferior en la que es té en compte el pes del líquid del fons. Tots els fons són tipus Köppler.

Gruix a pressió interna

Paràmetres de disseny	
Pressió	1,5 bar
L	1800 mm
r	180 mm
L/r	10
M	1,54
S (acer al carboni SA-515 55)	951,7 bar
Factor de soldadura (E)	0,85
Sobreessessor per corrosió (c1)	2 mm
Sobreessessor per curvatura (c2)	0,1 · t

Taula 10.13 Paràmetres de disseny del fons de caps a pressió interna

El gruix es calcula de la següent manera:

$$t = \frac{P \cdot L \cdot M}{2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P} + c1 + c2 \Rightarrow t = 5,07 \text{ mm}$$

Gruix a pressió externa

En la primera iteració s'ha suposat el mateix gruix que a pressió interna, però al final s'ha arribat fins al valor de 10 mm. La pressió que aguantarà el cilindre es calcula de la següent manera:

Paràmetres de disseny	
Pressió	1,5 bar
R = D₀	1820 mm
t – c1 – c2	7 mm
Gruix suposat	10 mm
R/t	260

Taula 10.14 Paràmetres de disseny del fons de caps a pressió externa

Es calcula el valor de A de la següent manera:

$$A = \frac{0,125}{\frac{R}{t - c_1 - c_2}} = 0,000481$$

i posteriorment trobem $B = 482,76$ bar. Calculem la pressió que aguanta de la següent manera:

$$P_a = \frac{B}{\frac{R}{t - c_1 - c_2}} = 1,86 \text{ bar}$$

Ara es torna a calcular amb un altre mètode i després s'escull el gruix:

$$t = \frac{1,67 \cdot P \cdot L \cdot M}{2 \cdot S - 0,2 \cdot 1,67 \cdot P} + 2 + 0,1 \cdot t = 6,95 \text{ mm}$$

S'agafa el gruix de 10 mm ja que és el més gran.

Gruix de la tapa a cues

El gruix de les tapes es calcula amb les mateixes pressions de disseny que en el cas del cilindre, excepte per la pressió interna de la tapa inferior en la que es té en compte el pes del líquid del fons.

Gruix a pressió interna

Paràmetres de disseny	
Pressió	1,5 bar
L	1400 mm
r	140 mm
L/r	10
M	1,54
S (acer al carboni SA-515 55)	951,7 bar
Factor de soldadura (E)	0,85
Sobreessessor per la corrosió (c1)	2 mm
Sobreessessor per la curvatura (c2)	0,1 · t

Taula 10.15 Paràmetres de disseny del fons de cues a pressió interna

El gruix es calcula de la següent manera:

$$t = \frac{P \cdot L \cdot M}{2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P} + c1 + c2 \Rightarrow t = 3,70 \text{ mm}$$

Gruix tapa a pressió externa

En la primera iteració s'ha suposat el mateix gruix que a pressió interna, però al final s'ha arribat fins al valor de 8 mm. La pressió que aguantarà el cilindre es calcula de la següent manera:

Paràmetres de disseny	
Pressió	1,5 bar
R = D₀	1416 mm
t – c1 – c2	5,2 mm
Gruix suposat	8 mm
R/t	272,31

Taula 10.16 Paràmetres de disseny del fons de cues a pressió externa

Es calcula el valor de A de la següent manera:

$$A = \frac{0,125}{\frac{R}{t - c1 - c2}} = 0,000459$$

i posteriorment trobem $B = 448,28$ bar. Calculem la pressió que aguanta de la següent manera:

$$P_a = \frac{B}{\frac{R}{t - c1 - c2}} = 1,65 \text{ bar}$$

Ara es torna a calcular amb un altre mètode i després s'escull el gruix:

$$t = \frac{1,67 \cdot P \cdot L \cdot M}{2 \cdot S - 0,2 \cdot 1,67 \cdot P} + 2 + 0,1 \cdot t = 6,95 \text{ mm}$$

S'agafa el gruix de 8 mm ja que és el més gran.

Gruix degut al pes del líquid

Primer calculem la pressió que exerceix el líquid al fons de la columna:

Paràmetres de disseny	
Densitat	944,6 kg/m ³
Gravetat	9,81 m/s ²
Alçada líquid	0,3006 m

Taula 10.17 Gruix degut al pes del líquid

La pressió de la columna de líquid serà:

$$P = \rho \cdot g \cdot h = 2779,96 \text{ Pa} \Rightarrow 0,0278 \text{ bar}$$

Ja que la pressió deguda a la columna de líquid és molt petita no afectarà al càlcul del gruix i s'agafa el calculat anteriorment.

10.12 Condensador E-201

10.12.1 Descripció de l'equip

El condensador E-201 és un condensador de carcassa i tubs que condensa part del vapor que surt per caps de la columna C-201. És un condensador atmosfèric que incorpora un venteig. El condensador utilitza aigua de refrigeració per bescanviar el calor, entra a 30 °C i en surt a 40 °C.

10.12.2 Càlcul del calor a bescanviar, de l'àrea necessària i del cabal d'aigua de refrigeració

El calor a bescanviar pel condensador és el següent:

$$q = 2578947,368 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

L'àrea de bescanvi necessària serà:

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

Com a valor del coeficient global de transferència d'energia s'agafa $650 \frac{\text{kcal}}{\text{h m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$.

Com que la temperatura de l'aigua de refrigeració va canviant al llarg del condensador s'ha de calcular l'increment de temperatura mitjana logarítmica. La temperatura dels vapors que condensen es manté constant al llarg del procés ja que aquests només canvien de fase:

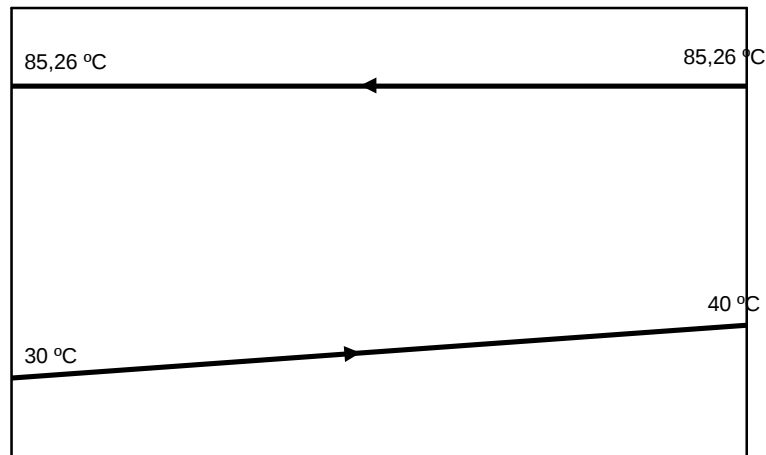


Figura 10.17 Temperatures al llarg del condensador

$$\Delta T_{ml} = \frac{(T - T_{aig. in}) - (T - T_{aig. out})}{\ln \left(\frac{T - T_{aig. in}}{T - T_{aig. out}} \right)} = 50,1^{\circ}C$$

On: T : Temperatura dels condensats ($85,26^{\circ}C$)
 $T_{aig. in}$: Temperatura entrada aigua de refrigeració ($30^{\circ}C$)
 $T_{aig. out}$: Temperatura sortida aigua de refrigeració ($40^{\circ}C$)

Per tant l'àrea de bescanvi necessària serà:

$$A = \frac{2578947,368 \frac{kcal}{h}}{650 \frac{kcal}{h \cdot m^2 \cdot ^{\circ}C} \cdot 50,1^{\circ}C} = 79,20 m^2$$

El cabal d'aigua de refrigeració necessari serà:

$$q = m \cdot cp \cdot \Delta T$$

cp : Capacitat calorífica de l'aigua ($1 \frac{kcal}{kg \cdot ^{\circ}C}$)
 ΔT : Sortida – entrada aigua refrigeració ($40 - 30$) $^{\circ}C$

$$m = \frac{q}{cp \cdot \Delta T} = \frac{2578947,368 \frac{kcal}{h}}{1 \frac{kcal}{kg \cdot ^{\circ}C} \cdot (40 - 30)^{\circ}C} = 257894,74 \frac{kg}{h}$$

10.12.3 Característiques del bescanviador de carcassa i tubs

A la taula següent s'especifiquen les característiques del condensador:

Característiques del condensador	
Longitud tubs	4 m
Diàmetre intern tubs (d_i)	26 mm
Diàmetre extern tubs (d_o)	30 mm
Nombre de passos per tubs	2
Nombre de passos per carcassa	1

Taula 10.18 Característiques del condensador

El diàmetre dels tubs s'ha escollit amb la taula 10.19:

TABLE 12.3. *Standard dimensions for steel tubes*

Outside diameter (mm)		Wall thickness (mm)				
16	1.2	1.6	2.0	—	—	
20	—	1.6	2.0	2.6	—	
25	—	1.6	2.0	2.6	3.2	
30	—	1.6	2.0	2.6	3.2	
38	—	—	2.0	2.6	3.2	
50	—	—	2.0	2.6	3.2	

Taula 10.19 Diàmetres estàndards dels tubs

Càlcul del nombre de tubs:

En primer lloc es calcula l'àrea d'un tub i després es determina el nombre de tubs necessaris:

$$A_{1\text{ tub}} = \pi \cdot d_o \cdot L = 0,377 \text{ m}^2$$

$$N_t = \frac{\text{Àrea necessària}}{\text{Àrea 1 tub}} \approx 210,09$$

Per al feix de tubs utilitzarem un pitch triangular. El pitch es calcula:

$$P_t = 1,5 \cdot d_0 = 45 \text{ mm}$$

A partir del nombre de passos per tubs i carcassa i el diàmetre extern dels tubs es calcula el diàmetre del feix de tubs com:

$$D_b = d_0 \cdot \left(\frac{N_t}{K_1} \right)^{\frac{1}{n_1}} \quad \text{On: } K_1, n_1: \text{Constants funció del nombre de passos per tubs i carcassa (taula 10.19)}$$

$$K_1 = 0,249$$

$$n_1 = 2,207$$

$$D_b = 635,33 \text{ mm}$$

Triangular pitch, $p_t = 1.25d_o$					
No. passes	1	2	4	6	8
K_1	0.319	0.249	0.175	0.0743	0.0365
n_1	2.142	2.207	2.285	2.499	2.675
Square pitch, $p_t = 1.25d_o$					
No. passes	1	2	4	6	8
K_1	0.215	0.156	0.158	0.0402	0.0331
n_1	2.207	2.291	2.263	2.617	2.643

Taula 10.20 Constants per determinar el gruix del feix de tubs

10.12.4 Coeficient de transferència de calor per la banda de la carcassa

Temperatura mitja als dos costats (carcassa i tubs):

$$T_{\text{tubs}} = \frac{40 + 30}{2} = 35 \text{ } ^\circ\text{C}$$

En el cas de la banda de la carcassa la temperatura es manté constant ja que hi ha un canvi de fase:

$$Carcassa = 85,26 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Propietats físiques del vapor i el líquid condensat	
Viscositat líquid (μ_l)	0,0007598 Pa · s
Densitat líquid (ρ_l)	974,4 $\frac{kg}{m^3}$
Conductivitat (k_l)	0,3148 $\frac{W}{m \cdot ^\circ C}$
Densitat del vapor (ρ_v)	1,856 $\frac{kg}{m^3}$

Taula 10.21 Propietats físiques dels fluïds

Cabal de condensat per longitud de tub:

$$T_h = \frac{W_c}{L \cdot N_t} = \frac{11,61 \frac{kg}{s}}{4 m \cdot 190} = 0,0138 \frac{kg}{m \cdot s}$$

Mitja de nombre de tubs per fila:

$$N_r = \frac{2}{3} \cdot \frac{D_b}{P_t} = 9,41$$

Per tant, el coeficient per la banda de la carcassa serà:

$$h_0 = 0,95 \cdot k_l \left[\frac{\rho_l (\rho_l - \rho_v) g}{\mu_l \cdot T_h} \right]^{\frac{1}{3}} \cdot N_r^{-\frac{1}{6}} = 1976,3 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

10.12.5 Coeficient de transferència de calor per la banda dels tubs

Secció de pas dels tubs:

$$S_{tubs} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_i)^2 \cdot \frac{N_t}{n^\circ \text{ de passos per tubs}} = 0,0558 m^2$$

Velocitat pels tubs:

$$u_t = \frac{71,64 \frac{kg}{s}}{\rho_{aigua}} \cdot \frac{1}{S_{tubs}} = 1,294 \text{ m/s}$$

$$\rho_{aigua} = 993 \frac{kg}{m^3}$$

$$T_{aigua} = 35^\circ C$$

Per tant el coeficient per la banda dels tubs serà:

$$h_i = 4200 \cdot (1,35 + 0,02 \cdot T_{aigua}) \cdot \frac{u_t^{0,8}}{d_i^{0,2}} = 5357,90 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

10.12.6 Càlcul del coeficient global de transferència de calor

Per al càlcul del coeficient global ens fan falta els factors d'embrutiment per la banda dels tubs i de la carcassa. A la taula 10.23 trobem:

Factors d'embrutiment	
Factor d'embrutiment extern (h_{od})	$5000 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$
Factor d'embrutiment intern (h_{id})	$5000 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$

Taula 10.22 Factors d'embrutiment pel condensador

TABLE 12.2. *Fouling factors (coefficients), typical values*

Fluid	Coefficient (W/m ² °C)
River water	3000–12,000
Sea water	1000–3000
Cooling water (towers)	3000–6000
Towns water (soft)	3000–5000
Towns water (hard)	1000–2000
Steam condensate	1500–5000
Steam (oil free)	4000–10,000
Steam (oil traces)	2000–5000
Refrigerated brine	3000–5000
Air and industrial gases	5000–10,000
Flue gases	2000–5000
Organic vapours	5000
Organic liquids	5000
Light hydrocarbons	5000
Heavy hydrocarbons	2000
Boiling organics	2500
Condensing organics	5000
Heat transfer fluids	5000
Aqueous salt solutions	3000–5000

Taula 10.23 Factors d'embrutiment en funció del fluid

Com a material de construcció s'utilitza acer, $k_w = 16 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ C}$, taula 10.24:

Metal	Temperature (°C)	k_w (W/m ² °C)
Aluminium	0	202
	100	206
Brass (70Cu, 30Zn)	0	97
	100	104
	400	116
Copper	0	388
	100	378
Nickel	0	62
	212	59
Cupro-nickel (10 per cent Ni)	0–100	45
Monel	0–100	30
Stainless steel (18/8)	0–100	16
Steel	0	45
	100	45
	600	36
Titanium	0–100	16

Taula 10.24 Conductivitat dels metalls

$$\frac{1}{U_0} = \frac{1}{h_0} + \frac{1}{h_{od}} + \frac{d_0 \cdot \ln\left(\frac{d_0}{d_i}\right)}{2 \cdot k_w} + \frac{d_0}{d_i} \cdot \frac{1}{h_{id}} + \frac{d_0}{d_i} \cdot \frac{1}{h_i} = 0,001286$$

$$U_0 = 777,44 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ C} \Rightarrow 669,56 \frac{kcal}{h \text{ } m^2 \text{ } ^\circ C}$$

El valor obtingut és bastant proper el suposat inicialment, $650 \frac{kcal}{h \text{ } m^2 \text{ } ^\circ C}$, per tant, es considerarà correcte.

10.12.7 Càlcul de la caiguda de pressió per carcassa

Càlcul del diàmetre de la carcassa:

El diàmetre de la carcassa es calcula en funció del diàmetre del feix de tubs i del tipus de bescanviador. A la figura 10.18 es troba el valor del diàmetre:

$$\text{Diàmetre feix de tubs} = 635,33 \text{ mm}$$

Si escollim un bescanviador en tubs en U trobem:

$$\text{Diàmetre carcassa} - \text{Diàmetre feix de tubs} = 20 \text{ mm}$$

Per tant el diàmetre de la carcassa serà:

$$D_s = 20 + D_b = 655,33 \text{ mm}$$

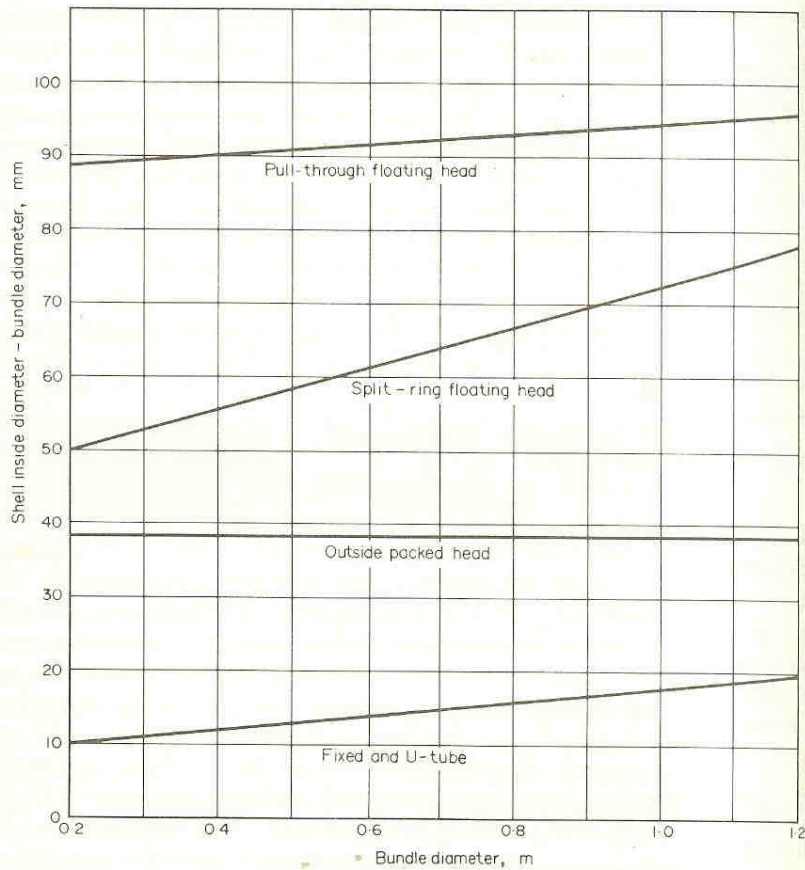


FIG. 12.10. Shell-bundle clearance

Figura 10.18 Diàmetre de la carcassa en funció del diàmetre del feix de tubs

Càlcul de l'àrea de flux transversal, la velocitat massica i la velocitat lineal:

$$A_s = \frac{(p_t - d_0) \cdot D_s \cdot l_B}{p_t} = 0,1432 \text{ m}^2$$

$$G_s = \frac{W_s}{A_s} = 81,13 \frac{\text{kg}}{\text{s m}^2}$$

$$u_s = \frac{G_s}{\rho_s} = 43,71 \text{ m/s}$$

Càlcul del diàmetre equivalent de la carcassa:

Si tenim un pitch triangular el diàmetre es calcula com:

$$d_e = \frac{1,10}{d_0} \cdot (p_t^2 - 0,917 \cdot d_0^2) = 43,99 \text{ mm}$$

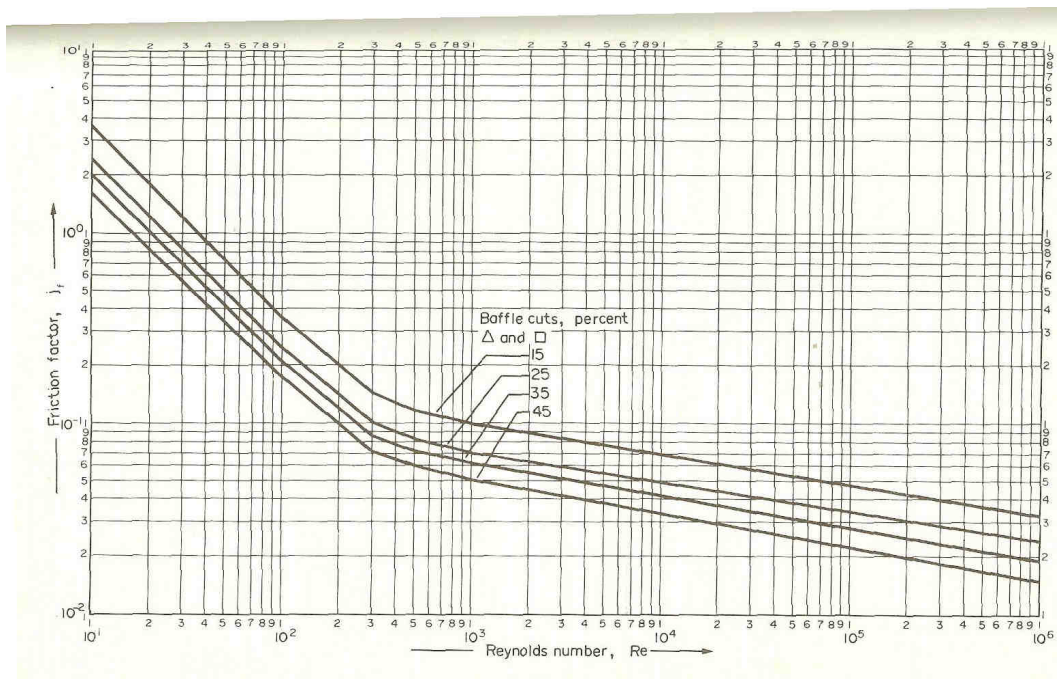


Figura 10.19 Factor de fricció

Amb el valor del reynolds es a la figura 10.19 pot trobar el factor de fricció (j_f):

$$Re = \frac{\rho \cdot u_s \cdot d_i}{\mu} = 456463,65 \quad j_f = 0,018$$

Per tant els valors necessaris per al càlcul són:

Paràmetres de disseny	
Diàmetre de la carcassa	655,33 mm
Àrea flux transversal (A_s)	0,1432 m ²
Velocitat màssica per la carcassa (G_s)	81,13 $\frac{kg}{s \cdot m^2}$
Diàmetre equivalent carcassa (d_e)	43,99 mm
Viscositat del vapor	7,818 · 10 ⁶ Pa · s
Reynolds	456463,65
J_f	0,018
Espai entre els bafles (l_B)	655,33 mm
Velocitat lineal (u_s)	43,71 m/s

Taula 10.25 Paràmetres de disseny per la pèrdua de càrrega per la carcassa

La pèrdua de pressió es pot calcular com:

$$\Delta P_s = 8 \cdot j_f \cdot \left(\frac{D_s}{d_e} \right) \cdot \left(\frac{L}{l_B} \right) \cdot \frac{\rho \cdot u_s^2}{2} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{-0,14} = 16206,67 \text{ Pa} \Rightarrow 16,21 \text{ kPa}$$

Caiguda de pressió acceptable.

10.12.8 Càlcul de la caiguda de pressió pels tubs

Paràmetres de disseny	
Viscositat aigua	0,0006 N s / m ²
Reynolds	55659,73
Factor de fricció (j _f)	0,002

Taula 10.26 Paràmetres de disseny per la pèrdua de càrrega per tubs

El factor de fricció es troba a la figura 10.20 partir del Reynolds.

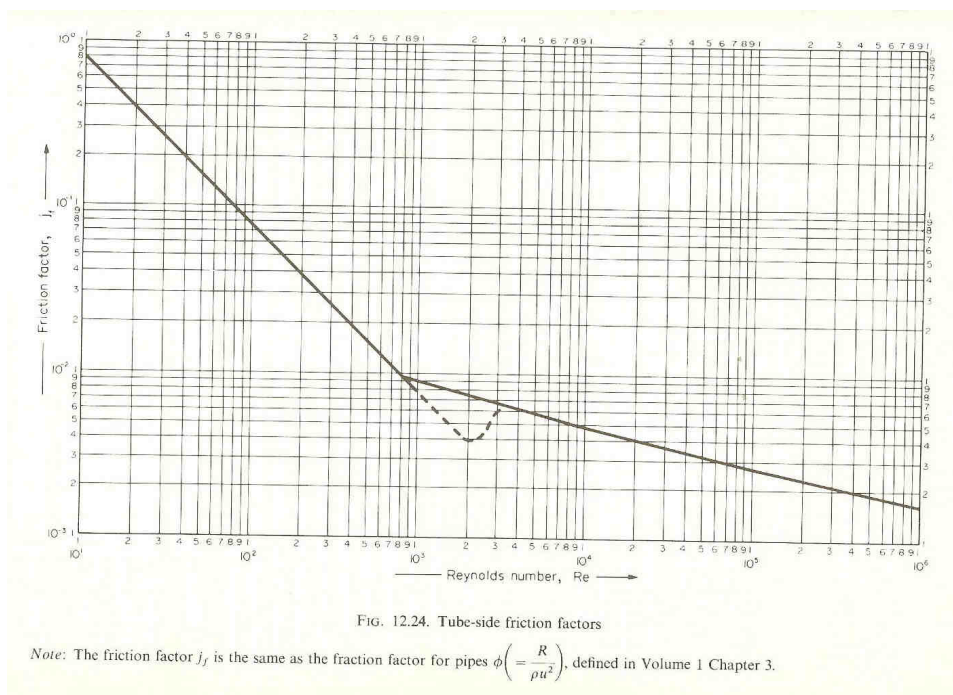


Figura 10.20 factor de fricció pels tubs

$$\Delta P_t = N_p \cdot \left[8 \cdot j_f \cdot \left(\frac{L}{d_i} \right) \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{-m} + 2,5 \right] \cdot \frac{\rho \cdot u_t^2}{2} = 8243,38 \text{ Pa} \Rightarrow 8,24 \text{ kPa}$$

Menyspreem l'ajust de les viscositats ja que treballem amb aigua pels tubs. Caiguda de pressió acceptable.

10.12.9 Disseny mecànic

10.12.9.1 Gruix del cilindre

El gruix de la paret cilíndrica es mesura a pressió interna i externa. Les condicions de disseny utilitzades són les següents:

Pressió disseny: -1,5/1,5.

Temperatura de disseny: 410 K

Gruix a pressió interna

Paràmetres de disseny	
Pressió	1,5 bar
Radi	327,67 mm
S (acer al carboni SA-515 55)	951,7 bar
Factor de soldadura (E)	0,85
Sobreessessor per corrosió (c1)	2 mm
Sobreessessor per curvatura (c2)	0 mm

Taula 10.27 Paràmetres de disseny pel gruix a pressió interna

A partir de les dades de la taula anterior el espessor necessari es calcula:

$$t = \frac{P \cdot R}{S \cdot E - 0,6 \cdot P} + c1 + c2 = 2,62 \text{ mm}$$

S'agafa un gruix de 4 mm.

Gruix a pressió externa

En aquest cas suposem un gruix i es comprova si el cilindre aguantarà aquesta pressió. Els paràmetres de disseny són els següents:

Paràmetres de disseny	
Pressió	1,5 bar
D₀	663,33 mm
h	124,51 mm
Gruix suposat	4 mm
D₀/t	331,67

**Taula 10.28 Paràmetres de disseny
pel gruix a pressió externa**

En la primera iteració s'ha suposat el mateix gruix que a pressió interna. La pressió que aguantarà el cilindre es calcula de la següent manera:

$$P_a = \frac{2 \cdot A \cdot E}{3 \cdot \frac{D_0}{t}}$$

$$L = \text{Alçada cilindre} + 2 \cdot \left(\frac{h}{3} \right) = 4083,01 \text{ mm}$$

$$\frac{L}{D_0} = 6,16$$

A la figura 10.15 trobem el valor de A = 0,00004

A la figura 10.16 busquem el valor de B i veiem que esta fora per l'esquerra, per tant usem E = 1958620,69 bar i calculem la pressió:

$$P_a = \frac{2 \cdot A \cdot E}{3 \cdot \frac{D_0}{t}} = 2,28 \text{ bar}$$

Com que és més gran que la pressió de disseny es considera que un gruix de 4 mm serà correcte.

10.12.9.2 Gruix de les tapes

El gruix de les tapes es calcula amb les mateixes pressions de disseny que en el cas del cilindre. Tots els fons són tipus Köppler.

Gruix a pressió interna

Paràmetres de disseny	
Pressió	1,5 bar
L	655,33 mm
r	65,53 mm
L/r	10
M	1,54
S (acer al carboni SA-515 55)	951,7 bar
Factor de soldadura (E)	0,85
Sobreessessor per la corrosió (c1)	2 mm
Sobreessessor per la curvatura (c2)	0,1 · t

Taula 10.29 Paràmetres de disseny pel gruix de les tapes a pressió interna

El gruix es calcula de la següent manera:

$$t = \frac{P \cdot L \cdot M}{2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P} + c1 + c2 \Rightarrow t = 2,32 \text{ mm}$$

Gruix tapa superior a pressió externa

En la primera iteració s'ha suposat el mateix gruix que a pressió interna, però al final s'ha arribat fins al valor de 5 mm. La pressió que aguantarà el cilindre es calcula de la següent manera:

Paràmetres de disseny	
Pressió	1,5 bar
R = D₀	665,33 mm
t – c₁ – c₂	2,5 mm
Gruix suposat	5 mm
R/t	266,13

**Taula 10.30 Paràmetres de disseny
pel gruix de la tapa superior a pressió externa**

Es calcula el valor de A de la següent manera:

$$A = \frac{0,125}{\frac{R}{t - c_1 - c_2}} = 0,00047$$

i posteriorment trobem B = 596,21 bar. Calculem la pressió que aguanta de la següent manera:

$$P_a = \frac{B}{\frac{R}{t - c_1 - c_2}} = 2,20 \text{ bar}$$

Ara es torna a calcular amb un altre mètode i després s'escull el gruix:

$$t = \frac{1,67 \cdot P \cdot L \cdot M}{2 \cdot S - 0,2 \cdot 1,67 \cdot P} + 2 + 0,1 \cdot t = 3,69 \text{ mm}$$

S'agafa el gruix de **5 mm** ja que és el més gran.

10.12.9.3 Disseny de les tubuladures

El diàmetre de les tubuladures és el mateix que el calculat per la columna C-201 a caps.

Per l'aigua de refrigeració:

$$\text{Cabal} = 0,072 \text{ m}^3/\text{s}$$

Si suposem una velocitat de circulació de 1 m/s el diàmetre de la tubuladura serà de:

$$\frac{0,072 \text{ m}^3/\text{s}}{1 \text{ m/s}} = 0,072 \text{ m}^2 \Rightarrow D = 0,302 \text{ m} \Rightarrow \text{DN } 300$$

10.12.10 Aïllament

Aquest bescanviador té una temperatura elevada i per tant cal un aïllament amb llana de roca.

El de gruix de l'aïllant es determina mitjançant la següent equació:

$$Q = \frac{T_{\text{int.}} - T_{\text{ext.}}}{\sum R_i} \rightarrow Q = \frac{T_{\text{int.}} - T_{\text{ext.}}}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_{\text{aire}}} + \frac{\Delta x_{\text{acer}}}{k_{\text{acer}}} + \frac{\Delta x_{\text{aïllant}}}{k_{\text{aïllant}}}} \Leftrightarrow \frac{T_{\text{int.}} - T_2}{\frac{1}{h_i} + \frac{\Delta x_{\text{acer}}}{k_{\text{acer}}} + \frac{\Delta x_{\text{aïllant}}}{k_{\text{aïllant}}}}$$

On, $T_{\text{int.}} = 85,26 \text{ }^\circ\text{C}$.

$T_{\text{ext.}} = 20^\circ\text{C}$.

T_2 = Temperatura de la paret l'aïllant que està en contacte amb l'exterior.

$k_{\text{aïllant}} = 0,082 \text{ W/m }^\circ\text{C}$

Suposant un gruix d'aïllant de 4 cm es calcula el calor transferit a l'exterior (Q).

$$Q = 125,04 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

Aquest calor s'igual a la segona part de eq.2 i és comprova que T_2 estigui a una temperatura inferior als $40 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$T_2 = 24,23^\circ\text{C}$$

10.13 Reboiler E-202

10.13.1 Descripció de l'equip

El reboiler E-202 és el reboiler de la columna C-201 i s'encarrega de vaporitzar part del corrent líquid que surt per cues de la columna i retornar-lo a la columna. És tracta d'un reboiler tipus KETTLE, és un reboiler parcial i per tant representa una etapa d'equilibri més de la columna. El corrent líquid que surt del reboiler és enviat a la columna C-401.

10.13.2 Càlcul del calor necessari, de l'àrea necessària i del cabal de vapor

El calor a aportar pel reboiler serà:

$$q=1612440,19 \frac{kcal}{h}$$

L'àrea de bescanvi necessària serà:

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

Com a valor del coeficient global de transferència d'energia s'agafa $810 \frac{kcal}{h \cdot m^2 \cdot ^\circ C}$.

El calor cedit pel vapor que entra al reboiler és degut al canvi de fase d'aquest ja que condensa en els tubs. S'utilitza vapor saturat a 6 bars (158,8 °C). Per la banda de la carcassa hi ha el líquid provinent de la columna i ja que aquest canvia de fase la seva temperatura es manté constant dins el reboiler. La diferencia de temperatura serà:

$$\Delta T = T_{Carcassa} - T_{Tubs} = 41,2 \text{ } ^\circ C$$

Per tant l'àrea de bescanvi necessària serà:

$$A = \frac{1612440,19 \frac{kcal}{h}}{810 \frac{kcal}{h \cdot m^2 \cdot ^\circ C} \cdot 41,2 \text{ } ^\circ C} = 48,317 \text{ } m^2$$

El cabal de vapor necessari serà:

$$q = m \cdot \lambda$$

cp : Capacitat calorífica del vapor $\left(1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}\right)$

λ : Calor latent de vaporització $\left(\frac{\text{kcal}}{\text{kg}}\right)$

$$m = \frac{1612440,19 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}}{499,2 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}} = 3230,03 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

10.13.3 Característiques del reboiler KETTLE

A la taula següent s'especifiquen les característiques del reboiler:

Característiques del reboiler	
Longitud tubs	3 m
Diàmetre intern tubs (d_i)	16 mm
Diàmetre extern tubs (d_o)	20 mm
Nombre de passos per tubs	2
Nombre de passos per carcassa	1

Taula 10.31 Característiques del reboiler

Càlcul del nombre de tubs:

En primer lloc es calcula l'àrea d'un tub i després es determina el nombre de tubs necessaris:

$$A_{1 \text{ tub}} = \pi \cdot d_o \cdot L = 0,1885 \text{ m}^2$$

$$N_t = \frac{\text{Àrea necessaria}}{\text{Àrea 1 tub}} \approx 160$$

Per al feix de tubs utilitzarem un pitch triangular. El pitch es calcula:

$$P_t = 1,25 \cdot d_0 = 25 \text{ mm}$$

A partir del nombre de passos per tubs i carcassa i el diàmetre extern dels tubs es calcula el diàmetre del feix de tubs com:

$$D_b = d_0 \cdot \left(\frac{N_t}{K_1} \right)^{\frac{1}{n_1}} \quad \text{On: } K_1, n_1: \text{Constants funció del nombre de passos per tubs i carcassa (taula 10.20)}$$

$$K_1 = 0,249 \quad D_b = 453,6 \text{ mm} \\ n_1 = 2,207$$

10.13.4 Coeficient de transferència de calor per la banda de la carcassa

Càlcul del flux de calor per unitat d'àrea:

$$q = \frac{Q}{A} = 38748,6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Per al càlcul del coeficient de calor necessitem:

P: Pressió operació = 1 atm

P_c: Pressió crítica = 57,9 atm

El coeficient pel costat de la carcassa serà:

$$h_{nb} = 0,104 \cdot (P_c)^{0,69} \cdot (q)^{0,7} \cdot \left[1,8 \cdot \left(\frac{P}{P_c} \right)^{0,17} + 4 \cdot \left(\frac{P}{P_c} \right)^{1,2} + 10 \cdot \left(\frac{P}{P_c} \right)^{10} \right] = 2601,30 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

10.13.5 Coeficient de transferència de calor per la banda dels tubs

En el cas de treballar amb vapor d'aigua que condensa el coeficient pels tubs es pot suposar igual a 8000 W/m² °C.

10.13.6 Càlcul del coeficient global de transferència de calor

Per al càlcul del coeficient global ens fan falta els factors d'embrutiment per la banda dels tubs i de la carcassa. A la taula 10.23 trobem:

Factors d'embrutiment	
Factor d'embrutiment extern (h_{od})	$5000 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ C}$
Factor d'embrutiment intern (h_{id})	$7000 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ C}$

Taula 10.32 Factors d'embrutiment

Com a material de construcció s'utilitza acer, $k_w = 16 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ C}$

$$\frac{1}{U_0} = \frac{1}{h_0} + \frac{1}{h_{od}} + \frac{d_0 \cdot \ln\left(\frac{d_0}{d_i}\right)}{2 \cdot k_w} + \frac{d_0}{d_i} \cdot \frac{1}{h_{id}} + \frac{d_0}{d_i} \cdot \frac{1}{h_i} = 0,00106$$

$$U_0 = 944,55 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ C} \Rightarrow 813,5 \frac{kcal}{h \text{ } m^2 \text{ } ^\circ C}$$

El valor del coeficient global calculat és gairebé el mateix que el suposat, per tant, el valor ser

10.13.7 Càlcul del nivell de líquid al reboiler

Per al diàmetre de la carcassa s'agafa un valor el doble del diàmetre del feix de tubs de manera que:

$$D_s = 2 \cdot D_b = 927 \text{ mm}$$

Si fixem que el 60% del reboiler esta ple de líquid l'alçada de líquid serà:

$$h_{líquid} = 0,6 \cdot 927 = 556,2 \text{ mm}$$

La velocitat superficial del vapor serà:

$$Velocitat\ superficial = \frac{Q}{A} = 4,06 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$$

I la màxima velocitat admissible:

$$u_v < 0,2 \cdot \left[\frac{\rho_l - \rho_v}{\rho_v} \right]^{1/2} = 4,5 \text{ m/s}$$

La velocitat és molt inferior a la màxima.

10.13.8 Disseny mecànic

10.13.8.1 Gruix de la carcassa

El gruix de la paret cilíndrica es mesura a pressió interna i externa. Les condicions de disseny utilitzades són les següents:

Pressió disseny: -1,5/1,5.

Temperatura de disseny: 410 K

Gruix a pressió interna

Paràmetres de disseny	
Pressió	1,5 bar
Radi	463,5 mm
S (acer al carboni SA-515 55)	951,7 bar
Factor de soldadura (E)	0,85
Sobreessessor per corrosió (c1)	2 mm
Sobreessessor per curvatura (c2)	0 mm

Taula 10.33 Paràmetres de disseny a pressió interna

A partir de les dades de la taula anterior el espessor necessari es calcula:

$$t = \frac{P \cdot R}{S \cdot E - 0,6 \cdot P} + c1 + c2 = 2,87 \text{ mm}$$

S'agafa un gruix de 4 mm.

Gruix a pressió externa

En aquest cas suposem un gruix i es comprova si el cilindre aguantarà aquesta pressió. Els paràmetres de disseny són els següents:

Paràmetres de disseny	
Pressió	1,5 bar
D₀	935 mm
h	176,13 mm
Gruix suposat	4 mm
D₀/t	467,5

Taula 10.34 Paràmetres de disseny a pressió externa

En la primera iteració s'ha suposat el mateix gruix que a pressió interna. La pressió que aguantarà el cilindre es calcula de la següent manera:

$$P_a = \frac{2 \cdot A \cdot E}{3 \cdot \frac{D_0}{t}}$$

$$L = \text{Alçada cilindre} + 2 \cdot \left(\frac{h}{3} \right) = 3117,42 \text{ mm}$$

$$\frac{L}{D_0} = 3,33$$

A la figura 10.15 trobem el valor de $A = 0,00004$

A la figura 10.16 busquem el valor de B i veiem que està fora per l'esquerra, per tant usem $E = 1951724,138 \text{ bar}$ i calculem la pressió:

$$P_a = \frac{2 \cdot A \cdot E}{3 \cdot \frac{D_0}{t}} = 1,61 \text{ bar}$$

Com que és més gran que la pressió de disseny el gruix de 4 mm es considerarà correcte.

10.13.8.2 Gruix de les tapes

El gruix de les tapes es calcula amb les mateixes pressions de disseny que en el cas del cilindre. Tots els fons són tipus Köppler.

Gruix a pressió interna

Paràmetres de disseny	
Pressió	1,5 bar
L	927 mm
r	92,7 mm
L/r	10
M	1,54
S (acer al carboni SA-515 55)	951,7 bar
Factor de soldadura (E)	0,85
Sobreessessor per corrosió (c1)	2 mm
Sobreessessor per curvatura (c2)	0,1 · t

Taula 10.35 Paràmetres de disseny a pressió interna

El gruix es calcula de la següent manera:

$$t = \frac{P \cdot L \cdot M}{2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P} + c1 + c2 \Rightarrow t = 3,69 \text{ mm}$$

Gruix tapa superior a pressió externa

En la primera iteració s'ha suposat el mateix gruix que a pressió interna, però al final s'ha arribat fins al valor de 6 mm. La pressió que aguantarà el cilindre es calcula de la següent manera:

Paràmetres de disseny	
Pressió	1,5 bar
R = D₀	939 mm
t – c1 – c2	3,4 mm
Gruix suposat	6 mm
R/t	276,18

Taula 10.36 Paràmetres de disseny a pressió externa

Es calcula el valor de A de la següent manera:

$$A = \frac{0,125}{\frac{R}{t - c1 - c2}} = 0,000453$$

i posteriorment trobem B = 448,28 bar. Calculem la pressió que aguanta de la següent manera:

$$P_a = \frac{B}{\frac{R}{t - c1 - c2}} = 1,62 \text{ bar}$$

Ara es torna a calcular amb un altre mètode i després s'escull el gruix:

$$t = \frac{1,67 \cdot P \cdot L \cdot M}{2 \cdot S - 0,2 \cdot 1,67 \cdot P} + 2 + 0,1 \cdot t = 4,31 \text{ mm}$$

S'agafa el gruix de **6 mm** ja que és el més gran.

10.13.8.3 Disseny de les tubuladures

El diàmetre de les tubuladures d'entrada de líquid i sortida de vapor és el mateix que el calculat per la columna C-201 a cues. La tubuladura de sortida del líquid es calcula de la següent manera:

$$\text{Cabal} = 0,0025 \text{ m}^3/\text{s}$$

Si suposem una velocitat de circulació de 1 m/s el diàmetre de la tubuladura serà de:

$$\frac{0,0025 \text{ m}^3/\text{s}}{1 \text{ m/s}} = 0,0025 \text{ m}^2 \Rightarrow D = 0,056 \text{ m} \Rightarrow DN 50$$

Entrada vapor:

$$\text{Cabal} = 0,000294 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (volum en les condicions d'operació)}$$

Si suposem una velocitat de circulació de 20 m/s el diàmetre de la tubuladura serà de:

$$\frac{0,000294 \text{ m}^3/\text{s}}{20 \text{ m/s}} = 0,000294 \text{ m}^2 \Rightarrow D = 0,004 \text{ m} \Rightarrow DN 10$$

Sortida condensats:

$$\text{Cabal} = 0,000897 \text{ m}^3/\text{s}$$

Si suposem una velocitat de circulació de 1 m/s el diàmetre de la tubuladura serà de:

$$\frac{0,000897 \text{ m}^3/\text{s}}{1 \text{ m/s}} = 0,000897 \text{ m}^2 \Rightarrow D = 0,034 \text{ m} \Rightarrow DN 20$$

10.13.9 Aïllament

Aquest bescanviador té una temperatura elevada i per tant cal un aïllament amb llana de roca.

El gruix de l'aïllant es determina mitjançant la següent equació:

$$Q = \frac{T_{int.} - T_{ext.}}{\sum R_i} \rightarrow Q = \frac{T_{int.} - T_{ext.}}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_{aire}} + \frac{\Delta x_{acer}}{k_{acer}} + \frac{\Delta x_{aillant}}{k_{aillant}}} \Leftrightarrow \frac{T_{int.} - T_2}{\frac{1}{h_i} + \frac{\Delta x_{acer}}{k_{acer}} + \frac{\Delta x_{aillant}}{k_{aillant}}}$$

On, $T_{int.}=117,6\text{ }^{\circ}\text{C}$.

$T_{ext}= 20^{\circ}\text{C}$.

T_2 = Temperatura de la paret l'aïllant que està en contacte amb l'exterior.

$k_{aillant}=0,082\text{ W/m }^{\circ}\text{C}$

Suposant un gruix d'aïllant de 4 cm es calcula el calor transferit a l'exterior (Q).

$$Q = 187,06 \frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}C}$$

Aquest calor s'igual a la segona part de eq.2 i és comprova que T_2 estigui a una temperatura inferior als $40\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$T_2 = 26,3^{\circ}\text{C}$$

10.14 Bescanviador E-203

10.14.1 Descripció de l'equip

El bescanviador E-203 és carcassa i tubs i refreda la mescla de corrents que surten de caps de la columna C-201 i part del corrent de caps de la columna C-301. Aquest corrent es refreda abans de ser recirculat als reactors R-201 i R-202 ja que així es bescanvia part del calor d'aquests.

10.14.2 Càlcul del calor a bescanviar, de l'àrea necessària i del cabal d'aigua de refrigeració

El calor a bescanviar pel condensador és el següent:

$$q=1099760,766 \frac{kcal}{h}$$

L'àrea de bescanvi necessària serà:

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

Com a valor del coeficient global de transferència d'energia s'agafa $300 \frac{kcal}{h \cdot m^2 \cdot ^\circ C}$.

Com que la temperatura de l'aigua de refrigeració va canviant al llarg del condensador s'ha de calcular l'increment de temperatura mitjana logarítmica.

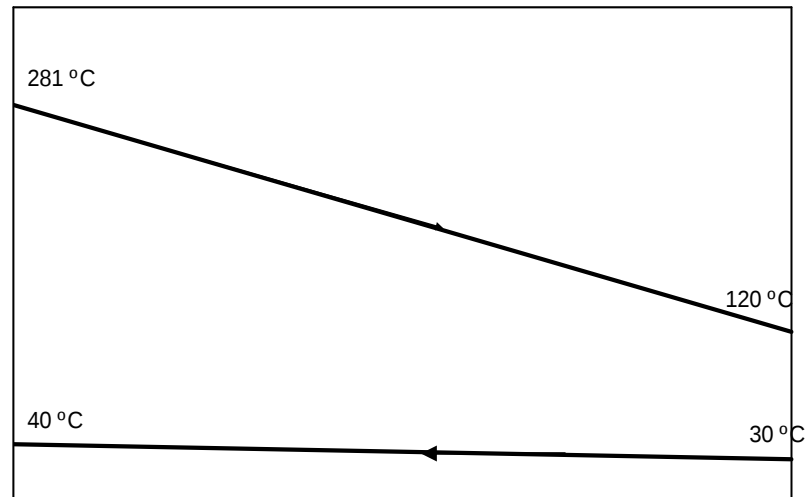


Figura 10.21 Canvi de temperatura en el bescanviador

$$\Delta T_{ml} = \frac{(T_{cin} - T_{aig.out}) - (T_{cout} - T_{aig.in})}{\ln \frac{(T_{cin} - T_{aig.out})}{(T_{cout} - T_{aig.in})}} = 153,3^{\circ}C$$

On: T_{cin} : Temperatura dels vapors
entrada (281° C)

T_{cout} : Temperatura dels vapors
sortida (120° C)

$T_{aig.in}$: Temperatura entrada aigua
de refrigeració (30° C)

$T_{aig.out}$: Temperatura sortida aigua
de refrigeració (40° C)

Per tant l'àrea de bescanvi necessària serà:

$$A = \frac{1099760,766 \text{ kcal/h}}{300 \frac{\text{kcal}}{\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^{\circ}C} \cdot 153,3^{\circ}C} = 23,91 \text{ m}^2$$

El cabal d'aigua de refrigeració necessari serà:

$$q = m \cdot cp \cdot \Delta T$$

cp : Capacitat calorífica de l'aigua $\left(1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot ^{\circ}C}\right)$
 ΔT : Sortida – entrada aigua refrigeració $(40 - 30)^{\circ}C$

$$m = \frac{q}{c_p \cdot \Delta T} = \frac{1099760,766 \text{ kcal/h}}{1 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C} \cdot (40 - 30)^\circ\text{C}} = 109976,08 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

10.14.3 Característiques del bescanviador de carcassa i tubs

A la taula següent s'especifiquen les característiques del condensador:

Característiques del condensador	
Longitud tubs	7 m
Diàmetre intern tubs (d_i)	26 mm
Diàmetre extern tubs (d_o)	30 mm
Nombre de passos per tubs	2
Nombre de passos per carcassa	1

Taula 10.37 Característiques del condensador

Càlcul del nombre de tubs:

En primer lloc es calcula l'àrea d'un tub i després es determina el nombre de tubs necessaris:

$$A_{1\text{ tub}} = \pi \cdot d_o \cdot L = 0,6597 \text{ m}^2$$

$$N_t = \frac{\text{Àrea necessària}}{\text{Àrea 1 tub}} \approx 37$$

Per al feix de tubs utilitzarem un pitch triangular. El pitch es calcula:

$$P_t = 6 \cdot d_o = 180 \text{ mm}$$

A partir del nombre de passos per tubs i carcassa i el diàmetre extern dels tubs es calcula el diàmetre del feix de tubs com:

$$D_b = d_o \cdot \left(\frac{N_t}{K_1} \right)^{\frac{1}{n_1}}$$

On: K_1, n_1 : Constants funció del nombre de passos per tubs i carcassa (taula 10.20)

$$K_1 = 0,249$$

$$n_1 = 2,207$$

$$D_b = 286,56 \text{ mm}$$

10.14.4 Coeficient de transferència de calor per la banda de la carcassa

Temperatura mitja als dos costats (carcassa i tubs):

$$T_{\text{tubs}} = \frac{40 + 30}{2} = 35 \text{ } ^\circ\text{C}$$

En el cas de la banda de la carcassa la temperatura es manté constant ja que hi ha un canvi de fase:

$$T_{\text{carcassa}} = \frac{281 + 120}{2} = 200,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Propietats físiques del vapor refredat	
Viscositat (μ_l)	0,00001758 Pa · s
Densitat (ρ_l)	32,86 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
Conductivitat (k_l)	0,036 $\frac{\text{W}}{\text{m } ^\circ\text{C}}$
Reynolds	9435012,33
Prandtl	0,7824

Taula 10.37 Propietats físiques del vapor refredat

A la figura 10.22 es troba el factor de transferència de calor: $j_h = 0,0008$

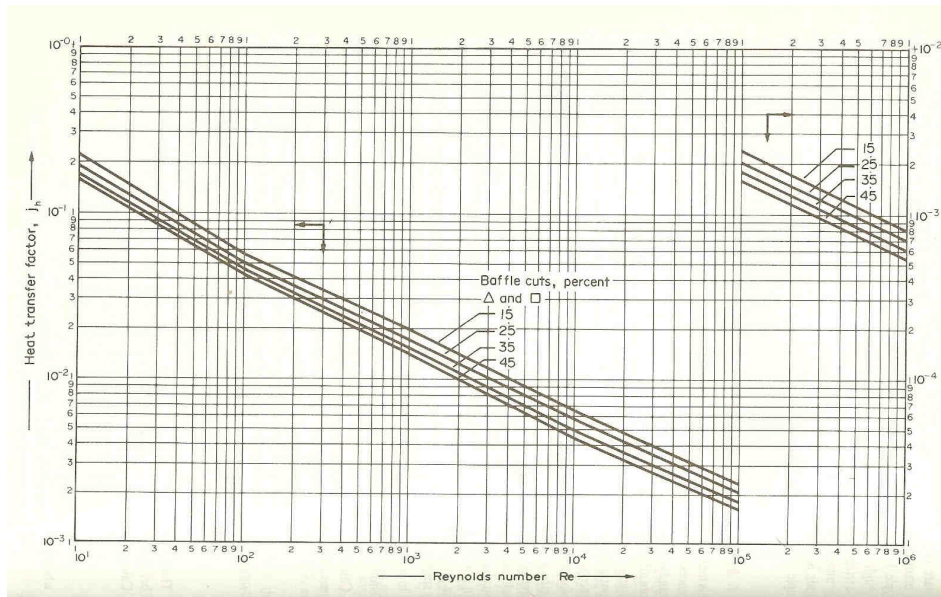


Figura 10.22 Factor de transferència de calor

Per tant el coeficient per la banda de la carcassa serà:

$$h_c = j_h \cdot \text{Re} \cdot \text{Pr}^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14} \cdot \frac{k_f}{d_e} = 520,49 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

10.14.5 Coeficient de transferència de calor per la banda dels tubs

Secció de pas dels tubs:

$$S_{tubs} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_i)^2 \cdot \frac{N_t}{\text{n}^\circ \text{ de passos per tubs}} = 0,00053 \text{ m}^2$$

Velocitat pels tubs:

$$u_t = \frac{30,55 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{\rho_{\text{aigua}}} \cdot \frac{1}{S_{tubs}} = 3,197 \text{ m/s}$$

$$\rho_{\text{aigua}} = 993 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$T_{\text{aigua}} = 35^\circ\text{C}$$

Per tant el coeficient per la banda dels tubs serà:

$$h_i = 4200 \cdot (1,35 + 0,02 \cdot T_{aigua}) \cdot \frac{u_t^{0,8}}{d_i^{0,2}} = 11371,85 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ C}$$

10.14.6 Càlcul del coeficient global de transferència de calor

Per al càlcul del coeficient global ens fan falta els factors d'embrutiment per la banda dels tubs i de la carcassa. A la taula 10.23 trobem:

Factors d'embrutiment	
Factor d'embrutiment extern (h_{od})	$3000 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ C}$
Factor d'embrutiment intern (h_{id})	$4000 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ C}$

Taula 10.38 Factors d'embrutiment

Com a material de construcció s'utilitza acer, $k_w = 16 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ C}$:

$$\frac{1}{U_0} = \frac{1}{h_0} + \frac{1}{h_{od}} + \frac{d_0 \cdot \ln\left(\frac{d_0}{d_i}\right)}{2 \cdot k_w} + \frac{d_0}{d_i} \cdot \frac{1}{h_{id}} + \frac{d_0}{d_i} \cdot \frac{1}{h_i} = 0,002779$$

$$U_0 = 359,88 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ C} \Rightarrow 309,95 \frac{kcal}{h \text{ } m^2 \text{ } ^\circ C}$$

El valor obtingut és bastant proper al suposat inicialment, $300 \frac{kcal}{h \text{ } m^2 \text{ } ^\circ C}$, per tant, s'acceptarà com a correcte.

10.14.7 Càlcul de la caiguda de pressió per carcassaCàlcul del diàmetre de la carcassa:

El diàmetre de la carcassa es calcula en funció del diàmetre del feix de tubs i del tipus de bescanviador. A la figura 10.18 es troba el valor del diàmetre com:

$$D_{\text{diàmetre feix de tubs}} = 286,56 \text{ mm}$$

Si escollim un bescanviador en tubs en U trobem:

$$D_{\text{diàmetre carcassa}} - D_{\text{diàmetre feix de tubs}} = 10 \text{ mm}$$

Per tant el diàmetre de la carcassa serà:

$$D_s = 10 + D_b = 296,56 \text{ mm}$$

Càlcul de l'àrea de flux transversal, la velocitat màssica i la velocitat lineal:

$$A_s = \frac{(p_t - d_0) \cdot D_s \cdot l_B}{p_t} = 0,0122 \text{ m}^2$$

$$G_s = \frac{W_s}{A_s} = 143,27 \frac{\text{kg}}{\text{s m}^2}$$

$$u_s = \frac{G_s}{\rho_s} = 4,36 \text{ m/s}$$

Càlcul del diàmetre equivalent de la carcassa:

Si tenim un pitch triangular el diàmetre es calcula com:

$$d_e = \frac{1,10}{d_0} \cdot (p_t^2 - 0,917 \cdot d_0^2) = 1157,74 \text{ mm}$$

Amb el valor del Reynolds es a la figura 10.19 es pot trobar el factor de fricció (j_f):

$$Re = \frac{\rho \cdot u_s \cdot d_i}{\mu} = 9435012,333 \quad j_f = 0,032$$

Per tant els valors necessaris per al càlcul són:

Paràmetres de disseny	
Diàmetre de la carcassa	296,56 mm
Àrea flux transversal (A_s)	0,0122 m ²
Velocitat màssica per la carcassa (G_s)	143,27 $\frac{kg}{s \cdot m^2}$
Diàmetre equivalent carcassa (d_e)	1157,74 mm
Viscositat del vapor	1,758 · 10 ⁵ Pa · s
Reynolds	9435012,33
J_f	0,032
Espai entre els bafles (l_B)	49,43 mm
Velocitat lineal (u_s)	4,36 m/s

Taula 10.39 Paràmetres de disseny per la caiguda de pressió per carcassa

La pèrdua de pressió es pot calcular com:

$$\Delta P_s = 8 \cdot j_f \cdot \left(\frac{D_s}{d_e} \right) \cdot \left(\frac{L}{l_B} \right) \cdot \frac{\rho \cdot u_s^2}{2} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{-0,14} = 4754,68 \text{ Pa} \Rightarrow 4,75 \text{ kPa}$$

Caiguda de pressió acceptable.

10.14.8 Càlcul de la caiguda de pressió pels tubs

Paràmetres de disseny	
Viscositat aigua	0,0006 N s / m ²
Reynolds	137578,25
Factor de fricció (j_f)	0,0025

Taula 10.40 Paràmetres de disseny per la caiguda de pressió pels tubs

El factor de fricció es troba a la figura 10.20 a partir del Reynolds.

$$\Delta P_t = N_p \cdot \left[8 \cdot j_f \cdot \left(\frac{L}{d_i} \right) \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{-m} + 2,5 \right] \cdot \frac{\rho \cdot u_t^2}{2} = 80036,227 \text{ Pa} \Rightarrow 80,036 \text{ kPa}$$

Menyspreem l'ajust de les viscositats ja que treballem amb aigua pels tubs. Caiguda de pressió acceptable.

10.14.9 Disseny mecànic

10.14.9.1 Gruix del cilindre

El gruix de la paret cilíndrica es mesura a pressió interna i externa. Les condicions de disseny utilitzades són les següents:

Pressió disseny: -30,5/1,5.

Temperatura de disseny: 410 K

Gruix a pressió interna

Paràmetres de disseny	
Pressió	30,5 bar
Radi	148,28 mm
S (acer al carboni SA-515 55)	951,7 bar
Factor de soldadura (E)	0,85
Sobreessessor per corrosió (c1)	2 mm
Sobreessessor per curvatura (c2)	0 mm

Taula 10.41 Paràmetres de disseny pel gruix del cilindre a pressió interna

A partir de les dades de la taula anterior el espessor necessari es calcula:

$$t = \frac{P \cdot R}{S \cdot E - 0,6 \cdot P} + c1 + c2 = 7,80 \text{ mm}$$

S'agafa un gruix de 8 mm.

Gruix a pressió externa

En aquest cas suposem un gruix i es comprova si el cilindre aguantarà aquesta pressió. Els paràmetres de disseny són els següents:

Paràmetres de disseny	
Pressió	1,5 bar
D₀	304,56 mm
h	56,35 mm
Gruix suposat	4 mm
D₀/t	152,28

**Taula 10.42 Paràmetres de disseny
pel gruix del cilindre a pressió externa**

$$P_a = \frac{2 \cdot A \cdot E}{3 \cdot \frac{D_0}{t}}$$

$$L = \text{Alçada cilindre} + 2 \cdot \left(\frac{h}{3} \right) = 7037,56 \text{ mm}$$

$$\frac{L}{D_0} = 23,11$$

A la figura 10.15 trobem el valor de $A = 0,00006$

A la figura 10.16 busquem el valor de B i veiem que esta fora per l'esquerra, per tant usem $E = 1824689,655 \text{ bar}$ i calculem la pressió:

$$P_a = \frac{2 \cdot A \cdot E}{3 \cdot \frac{D_0}{t}} = 6,95 \text{ bar}$$

Com que és més gran que la pressió de disseny aguantarà a pressió externa però el gruix el marcarà la pressió interna, **8 mm**.

10.14.9.2 Gruix de les tapes

El gruix de les tapes es calcula amb les mateixes pressions de disseny que en el cas del cilindre. Tots els fons són de tipus Köppler.

Gruix a pressió interna

Paràmetres de disseny	
Pressió	30,5 bar
L	296,56 mm
r	29,66 mm
L/r	10
M	1,54
S (acer al carboni SA-515 55)	951,7 bar
Factor de soldadura (E)	0,85
Sobreessessor per corrosió (c1)	2 mm
Sobreessessor per curvatura (c2)	0,1 · t

Taula 10.43 Paràmetres de disseny pel gruix de les tapes a pressió interna

El gruix es calcula de la següent manera:

$$t = \frac{P \cdot L \cdot M}{2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P} + c1 + c2 \Rightarrow t = 11,82 \text{ mm}$$

Gruix tapa a pressió externa

Paràmetres de disseny	
Pressió	1,5 bar
R = D₀	304,56 mm
t – c1 – c2	1,6 mm
Gruix suposat	4 mm
R/t	190,35

Taula 10.44 Paràmetres de disseny pel gruix de les tapes a pressió externa

Es calcula el valor de A de la següent manera:

$$A = \frac{0,125}{\frac{R}{t - c1 - c2}} = 0,000657$$

i posteriorment trobem $B = 689,66$ bar. Calculem la pressió que aguanta de la següent manera:

$$P_a = \frac{B}{\frac{R}{t - c1 - c2}} = 3,62 \text{ bar}$$

Ara es torna a calcular amb un altre mètode i després s'escull el gruix:

$$t = \frac{1,67 \cdot P \cdot L \cdot M}{2 \cdot S - 0,2 \cdot 1,67 \cdot P} + 2 + 0,1 \cdot t = 2,88 \text{ mm}$$

S'agafa el gruix de **12 mm** ja que és el més gran.

10.14.9.3 Disseny de les tubuladures

Aigua de refrigeració:

Cabal: $0,0305 \text{ m}^3/\text{s}$

Si suposem una velocitat de circulació de 1 m/s el diàmetre de la tubuladura serà de:

$$\frac{0,0305 \text{ m}^3/\text{s}}{1 \text{ m/s}} = 0,0305 \text{ m}^2 \Rightarrow D = 0,0623 \text{ m} \Rightarrow DN 65$$

Gasos de carcassa:

Cabal: $0,053 \text{ m}^3/\text{s}$

Si suposem una velocitat de circulació de 32 m/s el diàmetre de la tubuladura serà de:

$$\frac{0,053 \text{ m}^3/s}{32 \text{ m/s}} = 0,00166 \text{ m}^2 \Rightarrow D = 0,046 \text{ m} \Rightarrow DN 50$$

10.14.10 Aïllament

Aquest bescanviador té una temperatura elevada i per tant cal un aïllament amb llana de roca. El de gruix de l'aïllant es determina mitjançant la següent equació:

$$Q = \frac{T_{int.} - T_{ext.}}{\sum R_i} \rightarrow Q = \frac{T_{int.} - T_{ext.}}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_{aire}} + \frac{\Delta x_{acer}}{k_{acer}} + \frac{\Delta x_{aïllant}}{k_{aïllant}}} \Leftrightarrow \frac{T_{int.} - T_2}{\frac{1}{h_i} + \frac{\Delta x_{acer}}{k_{acer}} + \frac{\Delta x_{aïllant}}{k_{aïllant}}}$$

On, $T_{int.} = 281 \text{ }^\circ\text{C}$.

$T_{ext.} = 20^\circ\text{C}$.

T_2 = Temperatura de la paret l'aïllant que està en contacte amb l'exterior.

$k_{aïllant} = 0,082 \text{ W/m }^\circ\text{C}$

Suposant un gruix d'aïllant de 8 cm es calcula el calor transferit a l'exterior (Q).

$$Q = 258,08 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

Aquest calor s'igual a la segona part de eq.2 i és comprova que T_2 estigui a una temperatura inferior als $40 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$T_2 = 29,09^\circ\text{C}$$

10.15 Bescanviador E-204

10.15.1 Descripció de l'equip

El bescanviador E-204 és carcassa i tubs i refreda la mescla de corrents que surten de cues del separador S-203 i del corrent de cues de la columna C-301. Aquest corrent es refreda abans de ser recirculat als reactors R-201 i R-202 ja que així es bescanvia part del calor d'aquests.

10.15.2 Càlcul del calor a bescanviar, de l'àrea necessària i del cabal d'aigua de refrigeració

El calor a bescanviar pel condensador és el següent:

$$q = 743301,44 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

L'àrea de bescanvi necessària serà:

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

Com a valor del coeficient global de transferència d'energia s'agafa $300 \frac{\text{kcal}}{\text{h m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$.

Com que la temperatura de l'aigua de refrigeració va canviant al llarg del condensador s'ha de calcular l'increment de temperatura mitjana logarítmica.

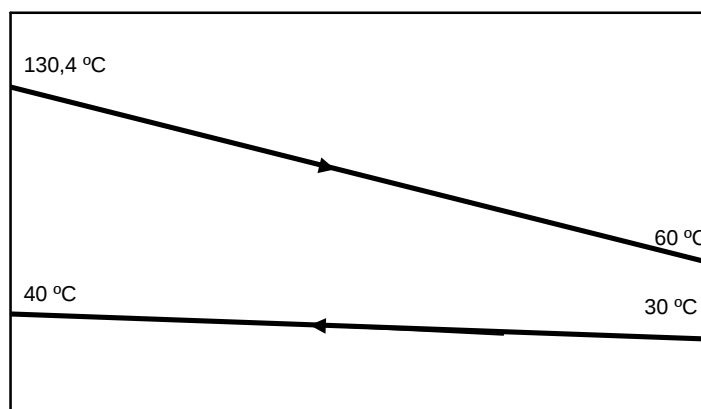


Figura 10.23 Canvi de temperatura en el bescanviador

$$\Delta T_{ml} = \frac{(T_{cin} - T_{aig.out}) - (T_{cout} - T_{aig.in})}{\ln \frac{(T_{cin} - T_{aig.out})}{(T_{cout} - T_{aig.in})}} = 54,76^{\circ}C$$

On: T_{cin} : Temperatura del corrent
entrada ($130,4^{\circ}C$)

T_{cout} : Temperatura del corrent
sortida ($60^{\circ}C$)

$T_{aig.in}$: Temperatura entrada aigua
de refrigeració ($30^{\circ}C$)

$T_{aig.out}$: Temperatura sortida aigua
de refrigeració ($40^{\circ}C$)

Per tant l'àrea de bescanvi necessària serà:

$$A = \frac{743301,44 \text{ kcal/h}}{300 \frac{\text{kcal}}{\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^{\circ}C} \cdot 54,76^{\circ}C} = 45,25 \text{ m}^2$$

El cabal d'aigua de refrigeració necessari serà:

$$q = m \cdot cp \cdot \Delta T \quad \begin{array}{l} cp : \text{Capacitat calorífica de l'aigua} \left(1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot ^{\circ}C} \right) \\ \Delta T : \text{Sortida} - \text{entrada aigua refrigeració} (40 - 30)^{\circ}C \end{array}$$

$$m = \frac{q}{cp \cdot \Delta T} = \frac{743301,44 \text{ kcal/h}}{1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot ^{\circ}C} \cdot (40 - 30)^{\circ}C} = 74330,14 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

10.15.3 Característiques del bescanviador de carcassa i tubs

A la taula següent s'especifiquen les característiques del condensador:

Característiques del bescanviador	
Longitud tubs	7 m
Diàmetre intern tubs (d_i)	16 mm
Diàmetre extern tubs (d_o)	20 mm
Nombre de passos per tubs	2
Nombre de passos per carcassa	1

Taula 10.45 Característiques del bescanviador

Càlcul del nombre de tubs:

En primer lloc es calcula l'àrea d'un tub i després es determina el nombre de tubs necessaris:

$$A_{1\text{ tub}} = \pi \cdot d_0 \cdot L = 0,4398 \text{ m}^2$$

$$N_t = \frac{\dot{A}rea \text{ necessaria}}{\dot{A}rea 1 \text{ tub}} \approx 103$$

Per al feix de tubs utilitzarem un pitch triangular. El pitch es calcula:

$$P_t = 7 \cdot d_0 = 140 \text{ mm}$$

A partir del nombre de passos per tubs i carcassa i el diàmetre extern dels tubs es calcula el diàmetre del feix de tubs com:

$$D_b = d_0 \cdot \left(\frac{N_t}{K_1} \right)^{\frac{1}{n_1}}$$

On: K_1, n_1 : Constants funció del nombre de passos per tubs i carcassa (taula 12.4 Coulson)

$$K_1 = 0,249$$

$$n_1 = 2,207$$

$$D_b = 306,48 \text{ mm}$$

10.15.4 Coeficient de transferència de calor per la banda de la carcassa

Temperatura mitja als dos costats (carcassa i tubs):

$$T_{\text{tubs}} = \frac{40 + 30}{2} = 35 \text{ } ^\circ\text{C}$$

En el cas de la banda de la carcassa la temperatura es manté constant ja que hi ha un canvi de fase:

$$Carcassa = \frac{130,4 + 60}{2} = 95,2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Propietats físiques del líquid refredat	
Viscositat (μ_l)	0,0001805 Pa · s
Densitat (ρ_l)	831,5 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
Conductivitat (k_l)	0,149 $\frac{\text{W}}{\text{m } ^\circ\text{C}}$
Reynolds	238578,97
Prandtl	32,99

Taula 10.46 Propietats físiques del líquid refredat

A la figura 10.22 es troba el factor de transferència de calor: $j_h = 0,0017$

Per tant el coeficient per la banda de la carcassa serà:

$$h_c = j_h \cdot \text{Re} \cdot \text{Pr}^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14} \cdot \frac{k_f}{d_e} = 517,31 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

10.15.5 Coeficient de transferència de calor per la banda dels tubs

Secció de pas dels tubs:

$$S_{tubs} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_i)^2 \cdot \frac{N_t}{\text{n}^\circ \text{ de passos per tubs}} = 0,0002 \text{ m}^2$$

Velocitat pels tubs:

$$u_t = \frac{20,65 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{\rho_{aigua}} \cdot \frac{1}{S_{tubs}} = 2,01 \text{ m/s}$$

$$\rho_{aigua} = 993 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$T_{aigua} = 35^\circ\text{C}$$

Per tant el coeficient per la banda dels tubs serà:

$$h_i = 4200 \cdot (1,35 + 0,02 \cdot T_{aigua}) \cdot \frac{u_t^{0,8}}{d_i^{0,2}} = 8645,93 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

10.15.6 Càlcul del coeficient global de transferència de calor

Per al càlcul del coeficient global ens fan falta els factors d'embrutiment per la banda dels tubs i de la carcassa. A la taula 10.23 trobem:

Factors d'embrutiment	
Factor d'embrutiment extern (h_{od})	$4500 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$
Factor d'embrutiment intern (h_{id})	$3000 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$

Taula 10.47 Factors d'embrutiment

Com a material de construcció s'utilitza acer, $k_w = 16 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$:

$$\frac{1}{U_0} = \frac{1}{h_0} + \frac{1}{h_{od}} + \frac{d_0 \cdot \ln\left(\frac{d_0}{d_i}\right)}{2 \cdot k_w} + \frac{d_0}{d_i} \cdot \frac{1}{h_{id}} + \frac{d_0}{d_i} \cdot \frac{1}{h_i} = 0,00286$$

$$U_0 = 350,138 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \Rightarrow 301,554 \frac{kcal}{h \cdot m^2 \cdot ^\circ C}$$

El valor obtingut és bastant proper al suposat inicialment, $300 \frac{kcal}{h \cdot m^2 \cdot ^\circ C}$, per tant, s'acceptarà com a correcte.

10.15.7 Càlcul de la caiguda de pressió per carcassa

Càlcul del diàmetre de la carcassa:

El diàmetre de la carcassa es calcula en funció del diàmetre del feix de tubs i del tipus de bescanviador. A la figura 10.18 es troba el valor del diàmetre com:

Diàmetre feix de tubs = 306,48 mm

Si escollim un bescanviador en tubs en U trobem:

Diàmetre carcassa – Diàmetre feix de tubs = 10 mm

Per tant el diàmetre de la carcassa serà:

$$D_s = 10 + D_b = 316,48 \text{ mm}$$

Càlcul de l'àrea de flux transversal, la velocitat massica i la velocitat lineal:

$$A_s = \frac{(p_t - d_0) \cdot D_s \cdot l_B}{p_t} = 0,0172 \text{ m}^2$$

$$G_s = \frac{W_s}{A_s} = 40,71 \frac{\text{kg}}{\text{s m}^2}$$

$$u_s = \frac{G_s}{\rho_s} = 0,049 \text{ m/s}$$

Càlcul del diàmetre equivalent de la carcassa:

Amb un pitch triangular el diàmetre es calcula com:

$$d_e = \frac{1,10}{d_0} \cdot (p_t^2 - 0,917 \cdot d_0^2) = 1057,83 \text{ mm}$$

Amb el valor del Reynolds es a la figura 10.19 es pot trobar el factor de fricció (j_f):

$$\text{Re} = \frac{\rho \cdot u_s \cdot d_i}{\mu} = 238578,97 \qquad j_f = 0,04$$

Per tant els valors necessaris per al càlcul són:

Paràmetres de disseny	
Diàmetre de la carcassa	316,48 mm
Àrea flux transversal (A_s)	0,0172 m ²
Velocitat màssica per la carcassa (G_s)	40,71 $\frac{kg}{s \cdot m^2}$
Diàmetre equivalent carcassa (d_e)	1057,83 mm
Viscositat del vapor	1,805 · 10 ⁻⁴ Pa · s
Reynolds	238578,97
Jf	0,04
Espai entre els bafles (l_B)	63,30 mm
Velocitat lineal (u_s)	0,049 m/s

Taula 10.48 Paràmetres de disseny per la caiguda de pressió per carcassa

La pèrdua de pressió es pot calcular com:

$$\Delta P_s = 8 \cdot j_f \cdot \left(\frac{D_s}{d_e} \right) \cdot \left(\frac{L}{l_B} \right) \cdot \frac{\rho \cdot u_s^2}{2} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{-0,14} = 12,48 \text{ Pa} \Rightarrow 0,0125 \text{ kPa}$$

Caiguda de pressió acceptable.

10.15.8 Càlcul de la caiguda de pressió pels tubs

Paràmetres de disseny	
Viscositat aigua	0,0006 N s / m ²
Reynolds	53236,38
Factor de fricció (j_f)	0,0031

Taula 10.49 Paràmetres de disseny per la caiguda de pressió per tubs

El factor de fricció es troba a la figura 10.20 a partir del Reynolds.

$$\Delta P_t = N_p \cdot \left[8 \cdot j_f \cdot \left(\frac{L}{d_i} \right) \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{-m} + 2,5 \right] \cdot \frac{\rho \cdot u_t^2}{2} = 53581,093 \text{ Pa} \Rightarrow 53,58 \text{ kPa}$$

Menyspreem l'ajust de les viscositats ja que treballem amb aigua pels tubs. Caiguda de pressió acceptable.

10.15.9 Disseny mecànic

10.15.9.1 Gruix del cilindre

El gruix de la paret cilíndrica es mesura a pressió interna i externa. Les condicions de disseny utilitzades són les següents:

Pressió disseny: -30,5/1,5.

Temperatura de disseny: 410 K

Gruix a pressió interna

Paràmetres de disseny	
Pressió	30,5 bar
Radi	158,24 mm
S (acer al carboni SA-515 55)	951,7 bar
Factor de soldadura (E)	0,85
Sobreessessor per la corrosió (c1)	2 mm
Sobreessessor per la curvatura (c2)	0 mm

Taula 10.50 Paràmetres de disseny pel gruix del cilindre a pressió interna

A partir de les dades de la taula anterior el espessor necessari es calcula:

$$t = \frac{P \cdot R}{S \cdot E - 0,6 \cdot P} + c1 + c2 = 8,19 \text{ mm}$$

S'agafa un gruix de 9 mm.

Gruix a pressió externa

En aquest cas suposem un gruix i es comprova si el cilindre aguantarà aquesta pressió. Els paràmetres de disseny són els següents:

Paràmetres de disseny	
Pressió	1,5 bar
D₀	324,48 mm
h	60,13 mm
Gruix suposat	4 mm
D₀/t	162,24

**Taula 10.51 Paràmetres de disseny
pel gruix del cilindre a pressió externa**

$$P_a = \frac{2 \cdot A \cdot E}{3 \cdot \frac{D_0}{t}}$$

$$L = \text{Alçada cilindre} + 2 \cdot \left(\frac{h}{3} \right) = 5038,11 \text{ mm}$$

$$\frac{L}{D_0} = 16,31$$

A la figura 10.15 trobem el valor de A = 0,00005

A la figura 10.16 busquem el valor de B i veiem que esta fora per l'esquerra, per tant usem E = 1956551,724 bar i calculem la pressió:

$$P_a = \frac{2 \cdot A \cdot E}{3 \cdot \frac{D_0}{t}} = 5,83 \text{ bar}$$

Com que és més gran que la pressió de disseny aguantarà a pressió externa però el gruix el marcarà la pressió interna, **9 mm**.

10.15.9.2 Gruix de les tapes

El gruix de les tapes es calcula amb les mateixes pressions de disseny que en el cas del cilindre. Tots els fons són tipus Köppler.

Gruix a pressió interna

Paràmetres de disseny	
Pressió	30,5 bar
L	316,48 mm
r	31,65 mm
L/r	10
M	1,54
S (acer al carboni SA-515 55)	951,7 bar
Factor de soldadura (E)	0,85
Sobreessessor per corrosió (c1)	2 mm
Sobreessessor per curvatura (c2)	0,1 · t

Taula 10.52 Paràmetres de disseny pel gruix de les tapes a pressió interna

El gruix es calcula de la següent manera:

$$t = \frac{P \cdot L \cdot M}{2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P} + c1 + c2 \Rightarrow t = 12,47 \text{ mm}$$

Gruix tapa a pressió externa

Paràmetres de disseny	
Pressió	1,5 bar
R = D₀	324,48 mm
t – c1 – c2	1,6 mm
Gruix suposat	4 mm
R/t	202,8

Taula 10.53 Paràmetres de disseny pel gruix de les tapes a pressió externa

Es calcula el valor de A de la següent manera:

$$A = \frac{0,125}{\frac{R}{t - c_1 - c_2}} = 0,000606$$

i posteriorment trobem $B = 689,66$ bar. Calculem la pressió que aguanta de la següent manera:

$$P_a = \frac{B}{\frac{R}{t - c_1 - c_2}} = 3,4 \text{ bar}$$

Ara es torna a calcular amb un altre mètode i després s'escull el gruix:

$$t = \frac{1,67 \cdot P \cdot L \cdot M}{2 \cdot S - 0,2 \cdot 1,67 \cdot P} + 2 + 0,1 \cdot t = 2,93 \text{ mm}$$

S'agafa el gruix de **13 mm** ja que és el més gran.

10.15.9.3 Disseny de les tubuladures

Aigua de refrigeració:

Cabal: $0,0206 \text{ m}^3/\text{s}$

Si suposem una velocitat de circulació de 1 m/s el diàmetre de la tubuladura serà de:

$$\frac{0,02065 \text{ m}^3/\text{s}}{1 \text{ m/s}} = 0,0206 \text{ m}^2 \Rightarrow D = 0,162 \text{ m} \Rightarrow DN 150$$

Líquid de carcassa:

Cabal: $0,00084 \text{ m}^3/\text{s}$

Si suposem una velocitat de circulació de 1 m/s el diàmetre de la tubuladura serà de:

$$\frac{0,00084 \text{ m}^3/\text{s}}{1 \text{ m/s}} = 0,00084 \text{ m}^2 \Rightarrow D = 0,0327 \text{ m} \Rightarrow DN 32$$

10.15.10 Aïllament

Aquest bescanviador té una temperatura elevada i per tant cal un aïllament amb llana de roca.

El de gruix de l'aïllant es determina mitjançant la següent equació:

$$Q = \frac{T_{int.} - T_{ext.}}{\sum R_i} \rightarrow Q = \frac{T_{int.} - T_{ext.}}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_{aire}} + \frac{\Delta x_{acer}}{k_{acer}} + \frac{\Delta x_{aïllant}}{k_{aïllant}}} \Leftrightarrow \frac{T_{int.} - T_2}{\frac{1}{h_i} + \frac{\Delta x_{acer}}{k_{acer}} + \frac{\Delta x_{aïllant}}{k_{aïllant}}}$$

On, $T_{int.}=130,4\text{ }^{\circ}\text{C}$.

$T_{ext}=20^{\circ}\text{C}$.

T_2 = Temperatura de la paret l'aïllant que està en contacte amb l'exterior.

$k_{aïllant}=0,082\text{ W/m }^{\circ}\text{C}$

Suposant un gruix d'aïllant de 4 cm es calcula el calor transferit a l'exterior (Q).

$$Q = 210,86 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}$$

Aquest calor s'igual a la segona part de eq.2 i és comprova que T_2 estigui a una temperatura inferior als $40\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$T_2 = 27,44\text{ }^{\circ}\text{C}$$

10.16 Tanc pulmó D-201.

Tanc que recull el fluid de procés provinent de les sortides de C-301 i E-201.

10.16.1 Dimensionament del mesclador.

$$6300 \left(\frac{kg}{h} \right) \cdot \frac{1(m^3)}{32,86(kg)} \cdot \frac{1(h)}{3600(s)} \Rightarrow 0,053 \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

Dissenyant el tanc per un temps de residència de 30 segons:

$$\text{Per tant, } \tau = \frac{V}{Q} \rightarrow V = 30(s) \cdot 0,053 \left(\frac{m^3}{s} \right) \Rightarrow V = 1,6(m^3).$$

$$\text{Diàmetre (D)= 0,9 (m)} \rightarrow H = \frac{V}{\pi \cdot r^2} \rightarrow H = \frac{1,6(m^3)}{\pi \cdot 0,45^2(m)} \Rightarrow H = 2,52(m).$$

Pes xapa= 908,6 (kg).

Pes amb aigua= 4101,75 (kg).

Pes amb líquid= 3418,74(kg).

Temperatura d'operació=281°C.

Temperatura de disseny= 331°C.

10.16.2 Disseny mecànic

Densitat de mescla = 32,86(kg/m³).

Si la pressió de disseny és de 35 (bar):

$$P_{\text{líquid}} = \rho \cdot h \cdot g \rightarrow P_{\text{Líquid}} = 32,86 \left(\frac{kg}{m^3} \right) \cdot 2,52(m) \cdot 9,8 \left(\frac{m}{s^2} \right) \Rightarrow P_{\text{Líquid}} = 809,9(Pa)$$

$$P_{\text{Disseny}} = 35 + 0,008099 \rightarrow P_{\text{Disseny}} = 35,008(bar).$$

10.16.2.1 Càlcul del gruix de la paret a pressió interna (t):

Factor SE (psi)= 18000,

Radiografiat (r)= 0,85.

$$t = \frac{P_{Disseny} \cdot R}{SE \cdot r - 0,6 \cdot P} + C \quad \text{On, } R \text{ és el radi del tanc i } C \text{ la corrosió.}$$

$$t = \frac{35,008(bar) \cdot \frac{900}{2}(mm)}{\frac{18000}{14,5}(bar) \cdot 0,85 - 0,6 \cdot 35,008(bar)} + 1(mm) \Rightarrow t = 16,39(mm) \Rightarrow t = 17(mm).$$

10.16.2.2 Càlcul del fons toriesfèric a pressió interna (t).

$$t = \frac{P \cdot D \cdot M}{2 \cdot SE - 0,2 \cdot P} + C \quad t = \frac{35(bar) \cdot 900(mm) \cdot 1,54}{2 \cdot \frac{18000}{14,5}(bar) \cdot 0,85 - 0,2 \cdot 35(bar)} + 1(mm) \rightarrow t = 24,3(mm).$$

En el cas del fons toriesfèric cal afegir un 10% a la t , ja que la xapa d'acer al ser moldejada perd gruix i s'ha de tenir en compte:

$$t = 24,3(mm) + 24,3(mm) \cdot 0,1 \rightarrow t = 26,7(mm) \Rightarrow t = 27(mm).$$

Pes xapa= 1266,8 (kg).

Pes tanc amb aigua= 2866,8(kg).

Pes tanc amb mescla de gasos=1319,4(kg).

10.17 Tanc pulmó D-202.

Tanc pulmó del fluid de procés provinent de S-203 i C-301.

10.17.1 Dimensionament del mesclador.

$$2517 \left(\frac{kg}{h} \right) \cdot \frac{1(m^3)}{831,5(kg)} \cdot \frac{1(h)}{3600(s)} \Rightarrow 0,00084 \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

Fixant un temps de residència del líquid de 20 minuts:

$$\tau = \frac{V}{Q} \rightarrow V = 20(\text{min}) \cdot \frac{60(s)}{1(\text{min})} \cdot 0,00084 \left(\frac{m^3}{s} \right) \Rightarrow V = 1(m^3)$$

Si el tancs treballa a un 90% de líquid, el volum real del tanc serà de 1,1 (m^3).

$$\text{Diàmetre (D)} = 0,8 \text{ (m)} \rightarrow H = \frac{V}{\pi \cdot r^2} \rightarrow H = \frac{1,1(m^3)}{\pi \cdot 0,4^2(m)} \Rightarrow H = 2,18(m)$$

Pes xapa= 1043,6 (kg).

Pes amb aigua= 2143,6 (kg).

Pes amb líquid= 1958,3(kg).

Temperatura d'operació=130,4°C.

Temperatura de disseny= 180,4°C.

10.17.2 Disseny mecànic.

Densitat de mescla = 831,5(kg/m³).

Si la pressió de disseny és de 35 (bar):

$$P_{\text{líquid}} = \rho \cdot h \cdot g \rightarrow P_{\text{Líquid}} = 831,5 \left(\frac{kg}{m^3} \right) \cdot 2,18(m) \cdot 9,8 \left(\frac{m}{s^2} \right) \Rightarrow P_{\text{Líquid}} = 17832,5(Pa)$$

$$P_{\text{Disseny}} = 35 + 0,017 \rightarrow P_{\text{Disseny}} = 35,017(bar).$$

10.17.2.1 Càlcul del gruix de la paret a pressió interna (t).

Factor SE (psi)= 18000,

Radiografiat (r)= 0,85.

$$t = \frac{P_{Disseny} \cdot R}{SE \cdot r - 0,6 \cdot P} + C \quad \text{On, } R \text{ és el radi del tanc i } C \text{ la corrosió.}$$

$$t = \frac{35,017(bar) \cdot \frac{800}{2}(mm)}{\frac{18000}{14,5}(bar) \cdot 0,85 - 0,6 \cdot 35,017(bar)} + 1(mm) \Rightarrow t = 14,6(mm) \Rightarrow t = 15(mm).$$

10.17.2.2 Càlcul del fons toriesfèric a pressió interna (t).

$$t = \frac{P \cdot D \cdot M}{2 \cdot SE - 0,2 \cdot P} + C \quad t = \frac{35,017(bar) \cdot 800(mm) \cdot 1,54}{2 \cdot \frac{18000}{14,5}(bar) - 0,2 \cdot 35,017(bar)} + 1(mm) \rightarrow t = 18,4(mm).$$

En el cas del fons toriesfèric cal afegir un 10% a la t , ja que la xapa d'acer al ser moldejada perd gruix i s'ha de tenir en compte:

$$t = 18,4(mm) + 18,4(mm) \cdot 0,1 \rightarrow t = 20,24(mm) \Rightarrow t = 21(mm).$$

10.17.3 Disseny de l'agitador.

El dimensionat del sistema es fa de la mateixa manera que en l'apartat (6.2).

Per tant, $D_a = 0,27(m)$

$J = 0,07 (m)$

$E = 0,27 (m)$

$W = 0,05 (m)$

$L = 0,06 (m)$

Càlcul del Número de potència (N_p) i la Potència d'agitació (P):

El número de potència es determina gràficament i es funció del número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho \cdot N \cdot D_2^2}{\mu} \rightarrow Re = \frac{831,5 \left(\frac{kg}{m^3} \right) \cdot 3(rps) \cdot 0,27^2 (m^2)}{1,8 \cdot 10^{-4} \left(\frac{kg}{m \cdot s} \right)} \Rightarrow Re = 3741750.$$

A partir de Figura.4 s'obté que per una agitador de turbina (corba 2) $N_p = 4$.

$$P = N_p \cdot \rho \cdot N^3 \cdot D_2^5 \rightarrow P = 4 \cdot 831,5 \cdot 3^3 \cdot 0,27^5 \rightarrow P = 128,85(W).$$

10.17.4 Aïllament

Aquest tanc pulmó té una temperatura molt elevada i per tant cal un aïllament amb llana de roca. El de gruix de l'aïllant es determina mitjançant la següent equació simplificada:

$$Q = \frac{T_{int.} - T_{ext.}}{\sum R_i} \rightarrow Q = \frac{T_{int.} - T_{ext.}}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_{aire}} + \frac{\Delta x_{acer}}{k_{acer}} + \frac{\Delta x_{aillant}}{k_{aillant}}} \Leftrightarrow \frac{T_{int.} - T_2}{\frac{1}{h_i} + \frac{\Delta x_{acer}}{k_{acer}} + \frac{\Delta x_{aillant}}{k_{aillant}}}$$

On, $T_{int.} = 135^\circ C$.

$T_{ext.} = 20^\circ C$.

T_2 = Temperatura de la paret l'aïllant que està en contacte amb l'exterior.

10.17.4.1 Càlcul de la h_i

La correlació empírica per calcular el coeficient de transferència intern per tancs agitats és la següent:

$$h_{int} = \left(\frac{k_m \cdot A_2}{D_t} \right) \cdot \left(\frac{D_a \cdot N \cdot \rho_m}{\mu_m} \right)^{2/3} \cdot \left(\frac{C_m \cdot \mu_m}{k_m} \right)^{1/3} \cdot \left(\frac{\mu_m}{\mu_{wm}} \right)^M$$

$$h_{int} = \left(\frac{0,149 \left(\frac{W}{m^{\circ}C} \right) \cdot 0,54}{0,8(m)} \right) \cdot \left(\frac{0,27(m) \cdot 3(rps) \cdot 831,5 \left(\frac{kg}{m^3} \right)}{1,8 \cdot 10^{-4} \left(\frac{kg}{m \cdot s} \right)} \right)^{2/3} \cdot \left(\frac{27223 \left(\frac{J}{kg^{\circ}C} \right) \cdot 3,058 \cdot 10^{-4} \left(\frac{kg}{m \cdot s} \right)}{0,149 \left(\frac{W}{m^{\circ}C} \right)} \right)^{1/3} \cdot (1)^{0,14}$$

$$h_{int} = 7755 \left(\frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}C} \right)$$

On, k_m = Conductivitat tèrmica del fluid que circula pel tanc,

D_m = Diàmetre del tanc,

$A_2 = 0,54$ valor constant associat al tipus d'agitador (turbina),

D_a = Diàmetre de l'agitador,

P_m = Densitat del fluid del tanc,

C_m = Calor específic del fluid del tanc,

$M = 0,14$ valor constant associat al tipus d'agitador (turbina),

μ_m = Viscositat del fluid del tanc a la temperatura d'entrada i,

μ_{wm} = Viscositat del fluid del tanc a la temperatura de sortida.

10.17.4.2 Càlcul de gruix de l'aïllant.

$k_{aïllant} = 0,082 \text{ (W/m } ^\circ\text{C)}.$

Suposant un gruix d'aïllant de 5 cm es calcula el calor transferit a l'exterior (Q).

$$Q = \frac{135(^{\circ}\text{C}) - 20(^{\circ}\text{C})}{\frac{1}{7755\left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}\right)} + \frac{1}{30\left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}\right)} + \frac{0,015}{18\left(\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C}}\right)} + \frac{0,05}{0,082\left(\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C}}\right)}} \rightarrow Q = 178,5 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}} \right)$$

Aquest calor s'igual a la segona part de eq.2 i és comprova que T_2 estigui a una temperatura inferior als 40 °C:

$$178,5 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}} \right) = \frac{135(^{\circ}\text{C}) - T_2}{\frac{1}{7755\left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}\right)} + \frac{0,015}{18\left(\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C}}\right)} + \frac{0,04}{0,082\left(\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C}}\right)}} \rightarrow T_2 = 26(^{\circ}\text{C})$$

10.18 Tanc pulmó D-203:

Tanc pulmó on es mescla el fluid de procés provinent de S-201, S-202 i S-202.

10.18.1 Dimensionament del mesclador.

$$14340 \left(\frac{kg}{h} \right) \cdot \frac{1(m^3)}{1,685(kg)} \cdot \frac{1(h)}{3600(s)} \Rightarrow 2,36 \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

Fixant un temps de residència del gas de 5 s:

$$\tau = \frac{V}{Q} \rightarrow V = 5(s) \cdot 2,36 \left(\frac{m^3}{s} \right) \Rightarrow V = 11,8(m^3) \rightarrow V_{real} = 12(m^3).$$

$$\text{Diàmetre (D)} = 1,9 \text{ (m)} \rightarrow H = \frac{V}{\pi \cdot r^2} \rightarrow H = \frac{12(m^3)}{\pi \cdot \left(\frac{1,9}{2} \right)^2 (m)} \Rightarrow H = 4,2(m).$$

Pes xapa= 984,9 (kg).

Pes amb aigua= 12984 (kg).

Pes amb líquid= 1005(kg).

Temperatura d'operació=130,4°C.

Temperatura de disseny= 180,4°C.

10.18.2 Disseny mecànic.

Densitat de mescla = 1,685(kg/m³).

$$\text{On, } P_{liquid} = \rho \cdot h \cdot g \rightarrow P_{Liquid} = 1,685 \left(\frac{kg}{m^3} \right) \cdot 4,2(m) \cdot 9,8 \left(\frac{m}{s^2} \right) \Rightarrow P_{Liquid} = 69,35(Pa)$$

$$P_{Disseny} = 1,5(bar) + P_{Liquid} \rightarrow P_{Disseny} = 1,5(bar).$$

10.18.2.1 Càlcul del gruix de la paret a pressió interna (t).

Factor SE (psi)= 18000,

Radiografiat (r)= 0,85.

$$t = \frac{P_{Disseny} \cdot R}{SE \cdot r - 0,6 \cdot P} + C \quad \text{On, } R \text{ és el radi del tanc i } C \text{ la corrosió.}$$

$$t = \frac{1,5(\text{bar}) \cdot \frac{900}{2}(\text{mm})}{\frac{18000}{14,5}(\text{bar}) \cdot 0,85 - 0,6 \cdot 1,5(\text{bar})} + 1(\text{mm}) \Rightarrow t = 1,6(\text{mm}) \Rightarrow t = 4(\text{mm}).$$

10.18.2.2 Càlcul del fons toriesfèric a pressió interna (t).

$$t = \frac{P \cdot D \cdot M}{2 \cdot SE - 0,2 \cdot P} + C$$

$$t = \frac{1,5(\text{bar}) \cdot 900(\text{mm}) \cdot 1,54}{2 \cdot \frac{18000}{14,5}(\text{bar}) - 0,2 \cdot 1,5(\text{bar})} + 1(\text{mm}) \rightarrow t = 1,83(\text{mm}) \Rightarrow t = 4(\text{mm}).$$

En el cas del fons toriesfèric cal afegir un 10% a la t , ja que la xapa d'acer al ser moldejada perd gruix i s'ha de tenir en compte:

$$t = 2,32(\text{mm}) + 2,32(\text{mm}) \cdot 0,1 \rightarrow t = 2,01(\text{mm}) \Rightarrow t = 4(\text{mm}).$$

10.19 Tanc pulmó D-204.

Tanc de metanol col·locat a l'entrada de procés just abans de les bombes d'alta pressió.

10.19.1 Dimensionament del tanc

$$4518 \left(\frac{kg}{h} \right) \cdot \frac{1(m^3)}{786,1(kg)} \cdot \frac{1(h)}{3600(s)} \Rightarrow 0,00159 \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

Amb un temps de residència fixat a 30 min:

$$\tau = \frac{V}{Q} \rightarrow V = 30(\text{min}) \cdot \frac{60(s)}{1(\text{min})} \cdot 0,00159 \left(\frac{m^3}{s} \right) \Rightarrow V = 2,87(m^3).$$

Si el tanc treballa a un 90% de la seva capacitat, el volum real de tanc per contenir serà de 3,2 (m³).

$$\text{Diàmetre (D)} = 1,1(m) \rightarrow H = \frac{V}{\pi \cdot r^2} \rightarrow H = \frac{3,2(m^3)}{\pi \cdot \left(\frac{1,1}{2} \right)^2 (m)} \Rightarrow H = 3,37(m).$$

Pes xapa= 430,2(kg).

Pes amb aigua= 3623,3(kg).

Pes amb líquid= 2940,3(kg).

Temperatura d'operació=25°C.

Temperatura de disseny= 75°C.

10.19.2 Disseny mecànic.

Densitat del metanol = 786,1 (kg/m³).

$$\text{On, } P_{\text{líquid}} = \rho \cdot h \cdot g \rightarrow P_{\text{Líquid}} = 786,1 \left(\frac{kg}{m^3} \right) \cdot 3,37(m) \cdot 9,8 \left(\frac{m}{s^2} \right) \Rightarrow P_{\text{Líquid}} = 25961,7(Pa)$$

$$P_{\text{Disseny}} = 1,5(bar) + P_{\text{Líquid}} \rightarrow P_{\text{Disseny}} = 1,5 + 0,26(bar) = 1,76(bar).$$

10.19.2.1 Càlcul del gruix de la paret a pressió interna (t).

Factor SE (psi)= 18700,

Radiografiat (r)= 0,85.

$$t = \frac{P_{Disseny} \cdot R}{SE \cdot r - 0,6 \cdot P} + C \quad \text{On, } R \text{ és el radi del tanc i } C \text{ la corrosió.}$$

$$t = \frac{1,76(bar) \cdot \frac{1100}{2}(mm)}{\frac{18700}{14,5}(bar) \cdot 0,85 - 0,6 \cdot 1,76(bar)} + 1(mm) \Rightarrow t = 1,88(mm) \Rightarrow t = 4(mm).$$

10.19.2.2 Càlcul del fons toriesfèric a pressió interna (t).

$$t = \frac{P \cdot D \cdot M}{2 \cdot SE - 0,2 \cdot P} + C$$
$$t = \frac{1,76(bar) \cdot 1100(mm) \cdot 1,54}{2 \cdot \frac{18700}{14,5}(bar) - 0,2 \cdot 1,76(bar)} + 1(mm) \rightarrow t = 2,15(mm) \Rightarrow t = 4(mm).$$

En el cas del fons toriesfèric cal afegir un 10% a la t , ja que la xapa d'acer al ser moldejada perd gruix i s'ha de tenir en compte:

$$t = 2,15(mm) + 2,15(mm) \cdot 0,1 \rightarrow t = 2,36(mm) \Rightarrow t = 4(mm).$$

10.20 Tanc pulmó D-205.

Tanc que recull el destil·lat per entrar a la columna C-201.

10.20.1 Dimensionament del tanc

$$1964 \left(\frac{kg}{h} \right) \cdot \frac{1(m^3)}{1000(kg)} \cdot \frac{1(h)}{3600(s)} \Rightarrow 0,00054 \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

Amb un temps de residència fixat a 20 min:

$$\tau = \frac{V}{Q} \rightarrow V = 20(\text{min}) \cdot \frac{60(s)}{1(\text{min})} \cdot 0,00054 \left(\frac{m^3}{s} \right) \Rightarrow V = 0,65(m^3).$$

Si el tanc treballa a un 90% de la seva capacitat, el volum real de tanc per contenir serà de $0,75(m^3)$.

$$\text{Diàmetre (D)} = 0,8(m) \rightarrow H = \frac{V}{\pi \cdot r^2} \rightarrow H = \frac{0,75(m^3)}{\pi \cdot \left(\frac{0,8}{2} \right)^2 (m)} \Rightarrow H = 1,5(m).$$

Pes xapa= 151,4(kg).

Pes amb aigua= 901(kg).

Pes amb líquid= 901(kg).

Temperatura d'operació=85,6°C.

Temperatura de disseny= 135,6°C.

10.20.2 Disseny mecànic.

Densitat= 1000 (kg/m³).

$$\text{On, } P_{\text{liquid}} = \rho \cdot h \cdot g \rightarrow P_{\text{Liquid}} = 1000 \left(\frac{kg}{m^3} \right) \cdot 1,5(m) \cdot 9,8 \left(\frac{m}{s^2} \right) \Rightarrow P_{\text{Liquid}} = 22000(Pa)$$

$$P_{\text{Disseny}} = 1,5(bar) + P_{\text{Liquid}} \rightarrow P_{\text{Disseny}} = 1,5 + 0,22(bar) = 1,72(bar).$$

10.20.2.1 Càlcul del gruix de la paret a pressió interna (t).

Factor SE (psi)= 18000,

Radiografiat (r)= 0,85.

$$t = \frac{P_{Disseny} \cdot R}{SE \cdot r - 0,6 \cdot P} + C \quad \text{On, } R \text{ és el radi del tanc i } C \text{ la corrosió.}$$

$$t = \frac{1,72(bar) \cdot \frac{800}{2}(mm)}{\frac{18000}{14,5}(bar) \cdot 0,85 - 0,6 \cdot 1,72(bar)} + 1(mm) \Rightarrow t = 1,65(mm) \Rightarrow t = 4(mm).$$

10.20.2.2 Càlcul del fons toriesfèric a pressió interna (t).

$$t = \frac{P \cdot D \cdot M}{2 \cdot SE - 0,2 \cdot P} + C$$
$$t = \frac{1,72(bar) \cdot 800(mm) \cdot 1,54}{2 \cdot \frac{18000}{14,5}(bar) - 0,2 \cdot 1,72(bar)} + 1(mm) \rightarrow t = 1,85(mm) \Rightarrow t = 4(mm).$$

En el cas del fons toriesfèric cal afegir un 10% a la t , ja que la xapa d'acer al ser moldejada perd gruix i s'ha de tenir en compte:

$$t = 1,85(mm) + 1,85(mm) \cdot 0,1 \rightarrow t = 2(mm) \Rightarrow t = 4(mm).$$

10.21 Columna d'absorció C-301

Amb aquest equip eliminen la fracció de CO del corrent 27 (vapor) amb el corrent 53 de metanol (líquid) a contracorrent.

10.21.1 Dades dels corrents

Corrent 5 (entrada de líquid)

$L_o=1265 \text{ kg/h}$; $\rho \cdot L_o=786,71 \text{ kg/m}^3$

Corrent 14 (entrada de vapor)

$V_o=1465 \text{ kg/h}$; $\rho \cdot V_o=34,653 \text{ kg/m}^3$

Corrent 39 (sortida de vapor)

$V=455,5 \text{ kg/h}$ $\rho V=33,472 \text{ kg/m}^3$

Corrent 42 (sortida de líquid)

$L=2265 \text{ kg/h}$ $\rho L=741,55 \text{ kg/m}^3$

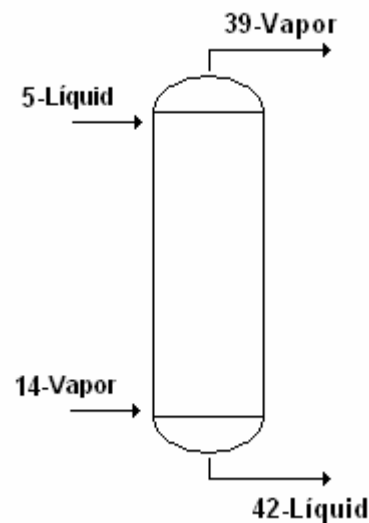


Figura 10.24 Columna d'absorció

10.21.2 Càlcul del diàmetre del tanc.

Per tal de calcular el diàmetre del tanc s'utilitza un mètode **gràfic d'Eckert** que ens permetrà trobar el valor de G ($\text{lb/s} \cdot \text{ft}^2$) a partir del gràfic $(L/G) \cdot (\rho G / \rho L)^{1/2}$ front $(G^2 \cdot F \cdot \psi \cdot \mu^{0.2}) / (\rho G \cdot \rho L \cdot g_c)$. Es fixarà una línia d'inundació (flooding line) de 0,50.

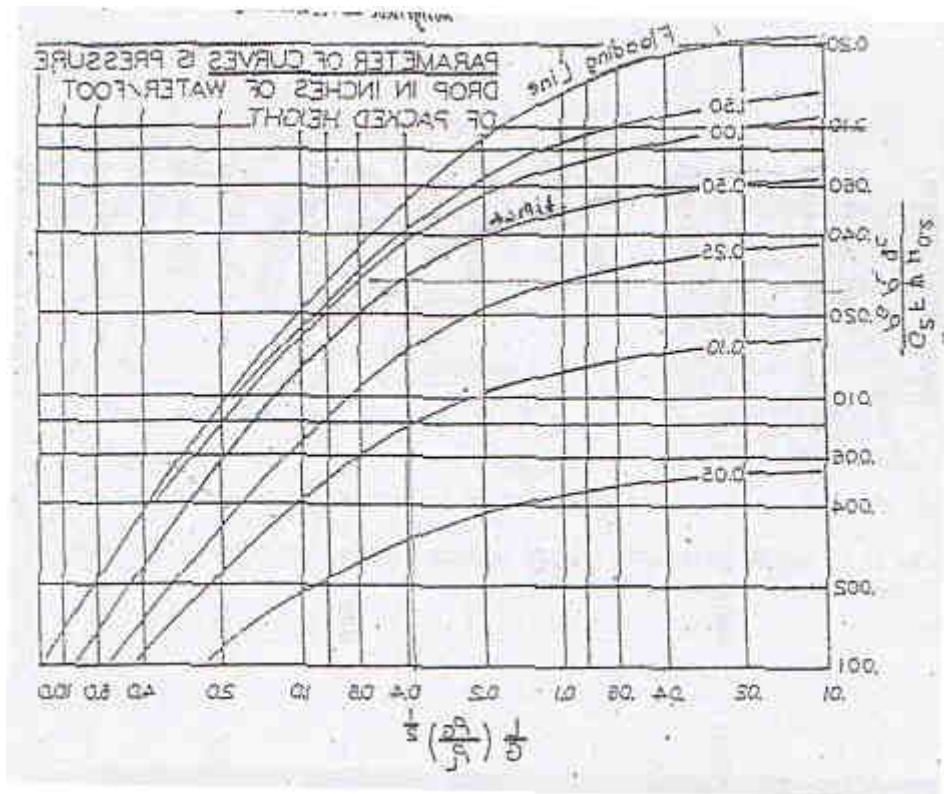


Figura 10.25 Gràfic d'Eckert

L = Líquid (lb/s·ft²)

G = Gas (lb/s·ft²)

ρ_L = Densitat líquid (lb/ft³)

ρ_G = Densitat gas (lb/ft³)

F = Factor de rebliment; es col·locaran anells Rasching 1''. El valor escollit serà de 115.

$\Psi = \rho_{\text{aigua}} / \rho_{\text{líquid}}$

μ = viscositat del líquid (cp)

$g_c = 32,3 \text{ lb} \cdot \text{ft} / \text{lbq} \cdot \text{s}^2$

10.21.2.1 Càlcul de $(L/G) \cdot (\rho_G / \rho_L)^{1/2}$

$$(L/G) \cdot (\rho_G / \rho_L)^{1/2} = 0,18$$

10.21.2.2 Càlcul de $(G^2 \cdot F \cdot \psi \cdot \mu^{0,2}) / (\rho G \cdot \rho L \cdot g_c)$

Amb el valor anterior trobem a la gràfica que per una línia d'inundació de 0,5 el valor de $(G^2 \cdot F \cdot \psi \cdot \mu^{0,2}) / (\rho G \cdot \rho L \cdot g_c) = 0,04$

10.21.2.3 Càlcul de G

$$F \cdot \psi \cdot \mu^{0,2} = 129,02$$

$$\rho G \cdot \rho L \cdot g_c = 3421,17$$

Aïllem G:

$$G = \sqrt{\frac{0,04 \cdot \rho_g \cdot \rho_L \cdot g_c}{F \cdot \psi \cdot \mu^{0,2}}} = 1,03 \text{ lb/s} \cdot \text{ft}^2$$

$$G = 18102,06 \text{ kg/h} \cdot \text{m}^2$$

10.21.2.4 Àrea del separador

$$G = V/A$$

$$A = 0,08 \text{ m}^2$$

10.21.2.5 Diàmetre del separador

$$D = \sqrt{\frac{A}{\pi/4}} = 0,32 \text{ m} = 32 \text{ cm}$$

Especifiquem el diàmetre en increments de 3 inch per que ens interessa de cara a adquirir al equips al fabricant, per tant:

$$D = 15 \text{ inch (38,1 cm)}$$

10.21.3 Alçada del tanc

Es calcula l'alçada del tanc a partir del nombre d'etapes i el HETP. S'ha seleccionat per la columna un rebliment de plàstic de 1,5 inch (Ballast rings, plastic random).

$$h = \text{HETP} \cdot N$$

On: N = Número de etapes

$$\text{HETP} = 0,5327 \text{ m}$$

$$h = 5,327 \text{ m}$$

S'especifica l'alçada en increments de 3 inch perquè ens interessa de cara a adquirir l'equip al fabricant, per tant:

$$h = 210 \text{ inch (5,334 m)}$$

10.21.4 Disseny mecànic

10.21.4.1 Pressió de disseny

$$P_{\text{operació}} = 2938 \text{ kPa}$$

$$P_{\text{disseny}} = 1.1 \cdot P_{\text{operació}} = 3231,8 \text{ kPa}$$

$$P_{\text{prova}} = 1.5 \cdot P_{\text{disseny}} = 4847,7 \text{ kPa}$$

10.21.4.2 Temperatura de disseny

La temperatura de disseny s'estableix en 50°C per sobre de la temperatura d'operació, com a mínim.

$$T_{\text{operació}} = 190^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{disseny}} = 240^{\circ}\text{C}$$

10.21.4.3 Material de l'equip.

Degut a què per aquest equip hi circula un corrent de vapor a alta temperatura i pressió, utilitzarem en la seva fabricació un acer inoxidable AISI-316 (SA-240 grade 316)

L'acabat interior i exterior es farà decapat, tractament químic que consisteix en aplicar a les superfícies àcid durant un cert temps, per eliminar les imperfeccions de les soldadures.

10.21.4.4 Gruixos de l'equip.

S'han calculat els gruixos de l'equip segons el codi ASME per recipients a pressió interna.

-Gruix del cilindre:

$$t = P \cdot R / (S \cdot E - 0,6 \cdot P) = 0,234073981 \text{ inch}$$

P: Pressió de disseny (psi)

R: Radi interior (inch)

S: Màxim estrès permès del material = 18000 psi

E: Eficàcia de soldadura = 0,85

S'afegeix 1 mil·límetre per corrosió i un 10% per soldadura.

$$t_{\text{cilindre}} = 8 \text{ mm}$$

-Gruix fons de caps:

S'ha escollit un fons toriesfèric tipus Köppler.

$$L = 0,8 \cdot D = \text{inch}$$

$$r = 0,154 \cdot D = \text{inch}$$

$$L/r = 5,19$$

M: valor tabulat = 1,33

D: Diàmetre interior del cilindre (inch)

L: Diàmetre interior del fons (inch)

r: radi de corbatura (inch)

$$t = P \cdot L \cdot M / (2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P) = 0,24522795 \text{ inch}$$

S'afegeix 1 mil·límetre per corrosió i un 10% per soldadura.

$$t_{\text{fons caps}} = 8 \text{ mm}$$

-Gruix fons de cues:

Seguint el mateix mètode de càlcul del gruix del fons de caps obtenim

$$t_{\text{fons cues}} = 8 \text{ mm}$$

10.21.5 Volum i superfície de l'equip

Els volums i superfícies del separador es calculen amb les següents equacions:

-Volum i superfície del cilindre:

$$V_{\text{cilindre}} = (\pi \cdot L \cdot D_{\text{int}}^2) / 4 = 0,62 \text{ m}^3 \quad S_{\text{cilindre}} = \pi \cdot L \cdot D_{\text{ext}} = 6,60 \text{ m}^2$$

-Volum i superfície del capçal i el fons:

$$V_{\text{fons/capçal}} = 0,0778 \cdot D_{\text{int}}^3 = 0,004 \text{ m}^3 \quad S_{\text{fons/capçal}} = 0,842 \cdot D_{\text{ext}}^2 = 5,19082\text{E-}05 \text{ m}^2$$

10.21.6 Aïllament de l'equip

El gruix de l'aïllant es pot calcular mitjançant la següent equació simplificada:

$$\text{Gruix} = 30/h = 30/(3,6 \cdot (\Delta T/D_{\text{ext}})^{1/4}) = 5,8 \text{ cm} \rightarrow \text{Amb 20\% més de gruix} = 7 \text{ cm}$$

$$\text{Pes aïllant} = (S_{\text{cilindre}} + 2 \cdot S_{\text{fons/capçal}}) \cdot \text{Gruix aïllant} \cdot \text{païllant} = 44,21 \text{ kg}$$

ΔT : Diferència de temperatura entre l'interior i l'exterior del tanc (190-25)°C=165 °C

D_{ext} : Diàmetre exterior del recipient.

h : coeficient de transmissió de calor.

païllant: (Llana de vidre) = 96,11 kg/m³

10.21.7 Pes de l'equip

$$\text{-Pes buit} = (S_{\text{cilindre}} \cdot \text{gruix}_{\text{cilindre}} + 2 \cdot S_{\text{fons/capçal}} \cdot \text{gruix}_{\text{fons/capçal}}) \cdot \rho_{\text{SA-515}} = 407,04 \text{ kg}$$

S'afegeix un 10% pel pes de les boques, els cargols, pes del aïllant, etc...

$$\text{-Pes buit}_{\text{total}} = 447,74 \text{ kg}$$

$$\text{-Pes ple d'aigua} = \text{Pes buit} + (V_{\text{cilindre}} + 2 \cdot V_{\text{fons/capçal}}) \cdot 1000 \text{ kg/m}^3 = 1072,85 \text{ kg}$$

$$\text{-Pes en operació} = (V_{\text{cilindre}} + 2 \cdot V_{\text{fons/capçal}}) \cdot \rho_{\text{mitja}} + \text{Pes buit}_{\text{total}} = 646,54 \text{ kg}$$

$$\rho_{\text{SA-515}} = 7850 \text{ kg/m}^3$$

10.21.8 Tubuladures

Calculem el diàmetre intern de las canonades del separador a partir del cabals volumètric i fixant les velocitat de canonades. Per els corrents de vapor fixem una velocitat de 20 m/s mentre que per els corrents de líquid fixem una velocitat de 2 m/s.

$$D_{\text{int}} = \frac{4 \cdot Q_L}{\sqrt{\pi \cdot v}} \div 0,0254$$

Q_L = Cabal volumètric de la canonada (m^3/s)

v = velocitat del fluid (m/s)

D_{int} = Diàmetre intern de la canonada (inch)

5-Corrent entrada (líquid) = 0,66 inch

14-Corrent entrada (vapor) = 1,07 inch

39-Corrent sortida (vapor) = 0,61 inch

42-Corrent sortida (líquid) = 0,91 inch

10.22 Columna rectificació C-401

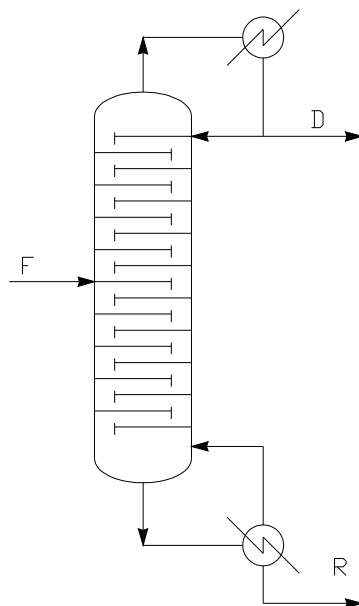
10.22.1 Descripció de la columna

La columna C-401 és l'últim equip del procés de producció abans d'obtenir l'àcid acètic glacial. En aquesta columna s'alimenta una mescla que conté bàsicament àcid acètic, aigua i àcid propiònic. L'objectiu és separar aquest últim per tal de reduir-ne la seva concentració fins a un valor per sota de 400 ppm i així obtenim un àcid acètic amb una puresa del 99,89 % per caps de la columna i un corrent d'àcid propiònic al 27 % en àcid acètic.

Per a aquesta operació s'ha escollit una columna de plats perforats ja que suposem que el diàmetre obtingut serà gran i per tant en aquests casos es més econòmic una columna de plats perforats que de rebliment, més indicades per diàmetres petits (màxim uns 50 cm).

10.22.2 Cabals i composicions a la columna

Per a la realització del balanç de matèria s'ha utilitzat el simulador HYSYS, a partir d'aquí s'han pogut extreure les següents dades:



	Corrent		
	F	D	R
Cabal (kg/h)	8444	8361	83,43
Àcid acètic (%)	99,64	99,90	73,46
Aigua (%)	0,084	0,085	0
Àcid propiònic (%)	0,27	0,0063	26,54

Taula 10.54 Cabals de la columna

Figura 10.26 Corrents de la columna

10.22.3 Càlcul de l'eficàcia global de la columna

Per al càlcul de l'eficàcia global de la columna s'ha utilitzat la correlació de O'Connell on l'eficàcia global de la columna es defineix:

$$E_0 = 0,52782 - 0,27511 \cdot \log_{10}(\alpha \cdot \mu) + 0,044923 \cdot [\log_{10}(\alpha \cdot \mu)]^2$$

Per a utilitzar la correlació fa falta saber la volatilitat relativa dels components clau i la viscositat del líquid a la composició de l'aliment. Si aquests valors són els següents el valor de l'eficàcia global és:

$$\alpha = 2,442$$

$$\mu = 0,2493 \text{ cp}$$

$$E_0 = 0,589$$

Si la eficàcia global es defineix com $\frac{N_{\text{equilibri}}}{N_{\text{reals}}}$ i tenim 11 etapes d'equilibri contant el reboiler

que és una etapa ideal, per tant, la columna tindrà 10 etapes d'equilibri més el reboiler i el nombre de plats reals serà:

$$N_{\text{reals}} = \frac{10}{0,589} = 16,973 \rightarrow 17 \text{ plats reals}$$

10.22.4 Càlcul del plat de l'aliment

Per a determinar el plat de l'aliment s'han utilitzat els valors obtinguts amb la simulació amb HYSYS:

$$\text{Plat aliment real} = \frac{\text{Plat aliment ideal} \times N \text{ etapes reals}}{N \text{ etapes ideals}} = \frac{6 \cdot 17}{10} = 10,2$$

L'aliment entrarà pel plat n° 10.

10.22.5 Càlcul del diàmetre de la columna

El càlcul del diàmetre de la columna s'ha realitzat per a condicions de caps i de cues ja que aquest pot variar segons el punt on es calculi.

10.22.5.1 Càlcul del diàmetre en condicions de caps

Per a realitzar el càlcul del diàmetre de la columna necessitem les següents dades:

Propietats físiques i condicions de caps	
Pressió	1 atm
Pes molecular del vapor	59,93 kg/kmol
Pes molecular del líquid	59,93 kg/kmol
R (Constant dels gasos)	$0,082 \frac{\text{atm} \cdot \text{l}}{\text{K} \cdot \text{mol}}$
Temperatura	390,6 K
Densitat del líquid	$944,6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
Densitat del vapor	$1,862 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
Tensió superficial (Dyn/cm)	20,45
Cabal de líquid	558 kmol/h
Cabal de vapor	697,5 kmol/h
Relació de reflux	4

Taula 10.55 Propietats físiques i condicions de caps

A partir de les dades anteriors es calcula la velocitat d'inundació de la columna i decidim a quin tant per cent d'inundació volem treballar. Per al càlcul de la velocitat d'inundació necessitem:

$$F_{lv} = \frac{W_L}{W_V} \sqrt{\frac{\rho_V}{\rho_L}} = 0,0355$$

On : W_L = Cabal màssic de líquid

W_V = Cabal màssic de vapor

Per a trobar el factor de capacitat C_{sb} s'utilitza la correlació de Kessler i Wankat. També es necessita l'espai entre plats, per fer una primera iteració s'utilitza el valor obtingut amb el simulador HYSYS que és de 609,6 mm (24").

$$\log_{10}(C_{sb}) = -0,94506 - 0,70234 \log_{10}(F_{lv}) - 0,22618 (\log_{10}(F_{lv}))^2$$

$$C_{sb} = 0,396$$

A partir del valor de C_{sb} es calcula el factor de capacitat corregit, K. Per a calcular-lo ens falta el valor de la tensió superficial ($\sigma = 20,45$ dines/cm):

$$K = C_{sb} \left(\frac{\sigma}{20} \right)^{0,2} = 0,398$$

Per tant es pot calcular la velocitat d'inundació com:

$$u_f = K \sqrt{\frac{\rho_L - \rho_V}{\rho_V}} = 8,95 \frac{ft}{s} \Rightarrow 2,73 \frac{m}{s}$$

Ara s'ha de decidir a quin tant per cent de la velocitat d'inundació volem treballar, segons Jones i Mellborm un valor del 75 % és adequat la majoria dels casos, Així que agafem aquest valor. La velocitat d'operació serà:

$$u_{op} = 0,75 \cdot u_f = 2,05 \frac{m}{s}$$

A partir de la velocitat d'operació i amb η , fracció de àrea disponible per al vapor, podem calcular el diàmetre de la columna com:

$$D_c = \sqrt{\frac{4 \cdot V \cdot PM_v}{\pi \cdot \eta \cdot u_{op} \cdot 3600}} = 2,076 m$$

Aquest és el diàmetre necessari per operar la columna en les condicions de caps. Ara es calcularà el diàmetre en les condicions de cues tot i que com que el cabal de vapor és molt semblant el diàmetre serà quasi el mateix.

10.22.5.2 Càlcul del diàmetre en condicions de cues

Per a realitzar el càlcul del diàmetre de la columna necessitem les següents dades:

Propietats físiques i condicions de cues	
Pressió	1 atm
Pes molecular del vapor	61,7 kg/kmol
Pes molecular del líquid	61,7 kg/kmol
R (Constant dels gasos)	$0,082 \frac{\text{atm} \cdot \text{l}}{\text{K} \cdot \text{mol}}$
Temperatura	395,5 K
Densitat del líquid	$933 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
Densitat del vapor	$1,90 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
Tensió superficial (Dyn/cm)	20,1
Cabal de líquid	661,9 kmol/h
Cabal de vapor	660,6 kmol/h

Taula 10.56 Propietats físiques i condicions de cues

A partir de les dades anteriors tornem a calcular el valor de F_{lv} , ara per les condicions de cues:

$$F_{lv} = \frac{W_L}{W_V} \sqrt{\frac{\rho_V}{\rho_L}} = 0,045 \quad \begin{array}{l} \text{On: } W_L = \text{Caball màssic de líquid} \\ W_V = \text{Caball màssic de vapor} \end{array}$$

A partir del valor de F_{lv} calculem el factor de capacitat suposant un espai entre plats igual que a caps, 24”:

$$\log_{10}(C_{sb}) = -0,94506 - 0,70234 \log_{10}(F_{lv}) - 0,22618 (\log_{10}(F_{lv}))^2$$

$$C_{sb} = 0,39$$

Amb aquest valor de C_{sb} calculem el valor del factor de capacitat corregit, K , com:

$$K = C_{sb} \left(\frac{\sigma}{20} \right)^{0,2} = 0,389$$

Ara ja podem calcular el valor de la velocitat d'inundació de la columna:

$$u_f = K \sqrt{\frac{\rho_L - \rho_V}{\rho_V}} = 8,627 \frac{ft}{s} \Rightarrow 2,629 \frac{m}{s}$$

Si treballem a un 75 % de la velocitat d'inundació el valor de la velocitat d'operació és el següent:

$$u_{op} = 0,75 \cdot u_f = 1,97 \frac{m}{s}$$

Amb el valor de la velocitat d'operació i η (0,9) podem calcular el diàmetre de la columna per les condicions de cues:

$$D_C = \sqrt{\frac{4 \cdot V \cdot PM_V}{\pi \cdot \eta \cdot u_{op} \cdot 3600}} = 2,066 m$$

Si ara comparem els dos diàmetres calculats, per condicions de caps i de cues, veiem que, com havíem dit prèviament, els dos diàmetres són gairebé iguals així que s'utilitza un mateix diàmetre per condicions de caps i de cues:

Diàmetres calculats i final de la columna	
Diàmetre caps	2,076 m
Diàmetre cues	2,066 m
Diàmetre columna escollit	2,1 m

Taula 10.57 Diàmetres calculats i final de la columna

10.22.6 Disseny detallat dels plats perforats

Aquí com en el cas del diàmetre es farà el disseny per les condicions de caps i per les de cues.

10.22.6.1 Disseny dels plats per les condicions de caps

Càlcul de la secció transversal del plat

Primer calculem l'àrea de la columna a partir del diàmetre:

$$A_c = \frac{\pi}{4} \cdot D_c^2 = 3,46 \text{ m}^2$$

A partir de l'àrea de la columna i de la fracció de àrea disponible per al vapor, η , es pot calcular l'àrea neta, l'àrea del downcomer i l'àrea activa (àrea on hi ha contacte entre el vapor i el líquid). Agafem un valor de $\eta=0,9$:

$$A_n = A_c \cdot \eta = 3,12 \text{ m}^2$$

$$A_d = A_c \cdot (1 - \eta) = 0,35 \text{ m}^2$$

$$A_a = A_c \cdot (1 - 2 \cdot (1 - \eta)) = 2,77 \text{ m}^2$$

A partir de l'àrea activa i amb β que és la fracció d'àrea que ocupen els forats, es pot calcular l'àrea total dels forats i el nombre de forats. El valor de β pot variar entre 0,07 i 0,16, agafem un valor de 0,1:

$$A_h = \beta \cdot A_a = 0,28 \text{ m}^2$$

Amb l'àrea dels forats podem calcular la velocitat del vapor a través dels forats com:

$$v_0 = \frac{V \cdot PM_v}{3600 \cdot \rho_v \cdot A_h} = 22,51 \frac{m}{s}$$

A partir de l'àrea del downcomer es pot calcular la longitud del downcomer:

$$A_d = \frac{1}{2} \cdot r^2 \cdot (\theta - \sin \theta) \Rightarrow 2 \cdot (1 - \eta) \cdot \pi = \theta - \sin \theta \Rightarrow \theta = 1,627 \text{ rad}$$

I amb el diàmetre de la columna i θ calculem la longitud del downcomer:

$$\frac{l_{weir}}{D_C} = \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \Rightarrow l_{weir} = D_C \cdot \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) = 1,53 \text{ m}$$

Un altre punt a dissenyar és el diàmetre dels forats i l'espaiat (pitch). El diàmetre dels forats escollit és de 5 mm i s'ha escollit un pitch triangular perquè dona una millor mescla entre el vapor i el líquid. El pitch ha de ser 2,5 a 5 vegades el diàmetre dels forats, s'ha escollit:

$$\text{Pitch} = 3 \cdot 5 \text{ mm} = 15 \text{ mm}$$

Amb el diàmetre dels forats i l'àrea total dels forats podem calcular el nombre de forats com:

$$n^{\circ} \text{ forats} = \frac{A_h}{\text{Àrea 1 forat}} = 14.112 \text{ forats}$$

L'àrea perforable ha de tenir una separació de 2-3 polzades de la paret de la columna i del downcomer d'entrada, i de 3-5 polzades amb el downcomer de sortida del plat. Per tant, s'escull una distància de 2 polzades per la paret de la columna i el downcomer d'entrada i de 3 polzades pel downcomer de sortida. Així la configuració del plat és la que es veu a la següent figura:

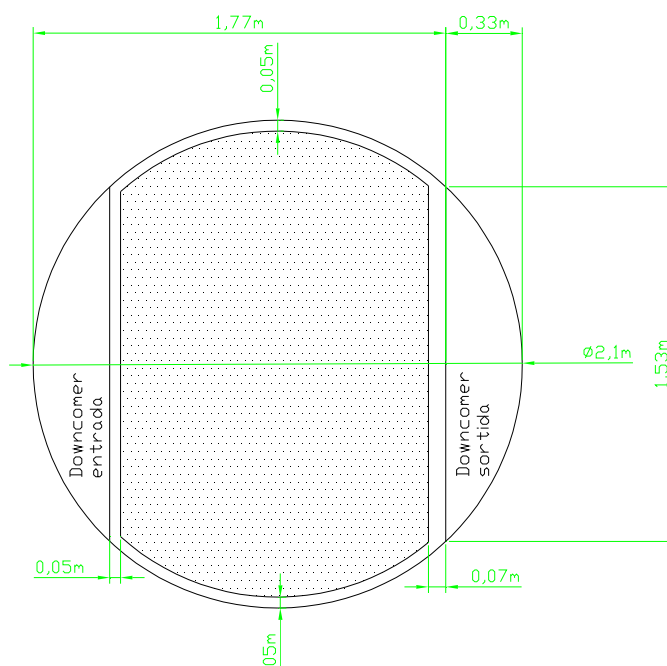


Figura 10.27 Secció transversal dels plats

Càlcul de la secció longitudinal del plat

Tot seguit es calcula l'alçada de líquid al plat, l'alçada de líquid al baixant i l'alçada del sobreexidor, tal i com es veu a la següent figura:

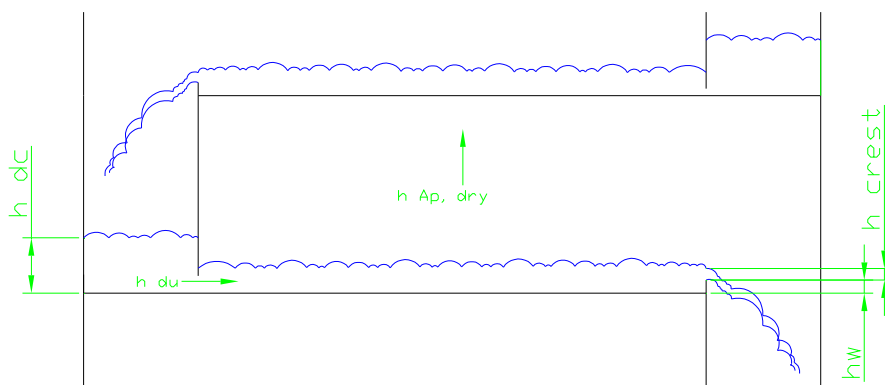


Figura 10.28 Secció longitudinal dels plats

L'alçada de líquid al baixant es pot calcular com:

$$h_{dc} = h_{\Delta p, dry} + h_{weir} + h_{crest} + h_{grad} + h_{du}$$

Càlcul de la caiguda de pressió del gas en una etapa ($h_{\Delta p, dry}$)

Per al càlcul de $h_{\Delta p, dry}$ es necessari calcular el coeficient de descàrrega (C_0) que es funció del diàmetre dels forats i del gruix del plat. C_0 es pot calcular amb la següent equació (Kessler i Wankat):

$$C_0 = 0,85032 - 0,04231 \cdot \frac{d_0}{t_{tray}} + 0,0017954 \cdot \left(\frac{d_0}{t_{tray}} \right)^2 = 0,756$$

El valor de $\frac{d_0}{t_{tray}}$ és la relació entre el diàmetre dels forats i el gruix del plat. Per aquest càlcul

s'agafa un valor de $\frac{d_0}{t_{tray}} = 2,5$. Aleshores $h_{\Delta p, dry}$ es calcula com:

$$h_{\Delta p, dry} = 0,003 \cdot v_0^2 \cdot \rho_v \cdot \left(\frac{\rho_{aigua}}{\rho_L} \right) \cdot \frac{(1 - \beta)}{C_0^2} = 3,49 \text{ polzades} \Rightarrow 8,86 \text{ cm}$$

Amb la relació $\frac{d_0}{t_{tray}}$ es pot determinar el gruix de cada plat:

$$t_{tray} = \frac{d_0}{2,5} = 2 \text{ mm}$$

Càlcul de l'alçada del sobreexidor (h_{weir})

L'alçada del sobreexidor ha de ser un valor entre 40 i 90 mm, s'agafa una alçada de 40 mm perquè hi hagi més contacte entre les fases.

Càlcul de l'alçada de líquid per sobre el sobreexidor (h_{crest})

El valor de h_{crest} es pot calcular amb l'equació de Francis:

$$h_{crest} = 0,092 \cdot F_{weir} \cdot \left(\frac{L_g}{l_{weir}} \right)^{2/3}$$

Per al càlcul de F_{weir} (factor que té en compte la curvatura de la paret de la columna en el downcomer) s'ha de calcular el cabal de líquid arrastrat (e). e es calcula amb la fracció d'arrossegament (Ψ):

$$\psi = \frac{e}{L + e}$$

A partir de la figura 10.13 es pot llegir el valor de Ψ amb F_{IV} i el tant per cent d'inundació (75 %). Si llegim al gràfic:

$$\Psi = 0,08$$

Per tant e es pot calcular com:

$$e = \frac{\psi \cdot L}{1 - \psi} = 48,552 \frac{kmol}{h}$$

Aleshores el cabal total de líquid és:

$$L_g = L + e = 606,522 \frac{kmol}{h}$$

F_{weir} es pot calcular amb la figura 10.14, per això primer es calcula l'eix x (L_g ha de ser en galons per minut i l_{weir} en peus):

$$\frac{L_g}{(l_{weir})^{2,5}} = 4,33$$

i s'obté el valor de $F_{weir} = 1,04$

Per tant,

$$h_{crest} = 0,092 \cdot F_{weir} \cdot \left(\frac{L_g}{l_{weir}} \right)^{2/3} = 1,27 \text{ polzades} \Rightarrow 3,23 \text{ cm}$$

Càlcul del gradient de líquid al plat (h_{grad})

El valor de h_{grad} té en compte la variació de l'alçada de líquid en el plat. Aquest valor en plats perforats acostuma a ser molt petit i per tant s'ignora.

$$h_{grad} \approx 0 \text{ mm}$$

Càlcul de l'alçada deguda al pas per l'àrea sota el downcomer (h_{du})

El valor de h_{du} es pot estimar a partir de l'equació empírica de Ludwig:

$$h_{du} = 0,56 \cdot \left(\frac{L_g}{449 \cdot A_{du}} \right)^2$$

Per al càlcul de h_{du} es necessita l'àrea sota el downcomer que es pot calcular a partir de l_{weir} i l'alçada que acostuma a ser de 1 polzada. Agafem aquest valor per al càlcul:

$$A_{du} = \text{Alçada} \cdot l_{weir} = 387,57 \text{ cm}^2$$

Per tant el valor de h_{du} és de:

$$h_{du} = 0,56 \cdot \left(\frac{L_g}{449 \cdot A_{du}} \right)^2 = 0,942 \text{ polzades} \Rightarrow 2,393 \text{ cm}$$

A partir de tots els valors anteriors es pot calcular l'alçada de líquid al downcomer de baixada de manera que:

$$h_{dc} = h_{\Delta p, dry} + h_{weir} + h_{crest} + h_{grad} + h_{du} = 7,28 \text{ polzades}$$

El valor de h_{dc} calculat no té en compte l'augment de l'alçada deguda al cabal de vapor a través de la columna, aquesta nova alçada es pot estimar de la següent manera:

$$h_{dc\ aerat} = \frac{h_{dc}}{\phi_{dc}} \quad \text{On } \phi_{dc} \text{ es pot considerar igual a } 0,5$$

Per tant,

$$h_{dc\ aerat} = \frac{h_{dc}}{\phi_{dc}} = 2 \cdot h_{dc} = 14,56 \text{ polzades}$$

Ja que el valor de $h_{dc\ aerat}$ és menor a l'espai entre plats (24 polzades) no tindrem problemes d'inundació de la columna.

Un altre valor a calcular és el temps de residència del líquid en el downcomer. Aquest es pot estimar amb la següent equació:

$$t_{res} = \frac{A_d \cdot h_{dc} \cdot 3600 \cdot \rho_L}{L_g \cdot PM_L} = 5,99 \text{ s}$$

El valor del temps de residència ha de ser entre 3 i 7 segons, per tant esta dins el rang correcte.

Comprovació del goteig

Per veure si hi haurà goteig a la columna hem de comprovar si es compleix la següent equació:

$$h_{\Delta p, dry} + h_{\sigma} \geq 0,10392 + 0,25119x - 0,021675x^2$$

$$h_{\sigma} = \frac{0,04\sigma}{\rho_L \cdot d_0} = 0,0705 \text{ polzades}$$

$$h_{\Delta p, dry} + h_{\sigma} = 3,56$$

Banda dreta = 0,644

Ja que la banda dreta de l'equació és molt més petita que l'esquerra no tindrem problemes de goteig a la columna.

10.22.6.2 Disseny dels plats per les condicions de cues

Càlcul de la secció transversal del plat

En aquest cas com que el diàmetre per caps i per cues és el mateix només es tornaran a calcular els valors que poden canviar respecte a les condicions de caps. L'únic paràmetre que pot variar és la velocitat de circulació del vapor pels forats. En condicions de cues la velocitat serà:

$$v_0 = \frac{V \cdot PM_v}{3600 \cdot \rho_v \cdot A_h} = 21,51 \frac{m}{s}$$

Aquest valor és molt semblant que en el cas de caps, per tant es pot dir que gairebé tindrem la mateixa velocitat de vapor a través dels forats en caps i en cues.

Càlcul de la secció longitudinal del plat

En aquest cas com que els càlculs són iguals que els realitzats en condicions de caps només es posaran els resultats finals.

Càlcul de la caiguda de pressió del gas en una etapa ($h_{\Delta p, dry}$)

$$h_{\Delta p, dry} = 0,003 \cdot v_0^2 \cdot \rho_v \cdot \left(\frac{\rho_{aigua}}{\rho_L} \right) \cdot \frac{(1 - \beta)}{C_0^2} = 3,282 \text{ polzades} \Rightarrow 8,358 \text{ cm}$$

Agafem la mateixa relació $\frac{d_0}{t_{tray}} = 2,5$

Càlcul de l'alçada del sobreeixidor (h_{weir})

Agafem la mateixa alçada de sobreeixidor que en el cas de caps, 40 mm.

Càlcul de l'alçada de líquid per sobre el sobreeixidor (h_{crest})

En aquest cas tenim un valor de $\Psi = 0,065$, per tant:

$$e = \frac{\psi \cdot L}{1 - \psi} = 38,523 \frac{\text{kmol}}{h}$$

i llegim el valor de $F_{\text{weir}} = 1,04$

Per tant,

$$h_{\text{crest}} = 0,092 \cdot F_{\text{weir}} \cdot \left(\frac{L_g}{l_{\text{weir}}} \right)^{2/3} = 1,43 \text{ polzades} \Rightarrow 3,632 \text{ cm}$$

Càlcul del gradient de líquid al plat (h_{grad})

Agafem el mateix valor, $h_{\text{grad}} \approx 0 \text{ mm}$

Càlcul de l'alçada deguda al pas per l'àrea sota el downcomer (h_{du})

$$A_{\text{du}} = \text{Alçada} \cdot l_{\text{weir}} = 387,57 \text{ cm}^2$$

Per tant el valor de h_{du} és de:

$$h_{\text{du}} = 0,56 \cdot \left(\frac{L_g}{449 \cdot A_{\text{du}}} \right)^2 = 1,332 \text{ polzades} \Rightarrow 3,382 \text{ cm}$$

A partir de tots els valors anteriors es pot calcular l'alçada de líquid al downcomer de baixada de manera que:

$$h_{\text{dc}} = h_{\Delta p, \text{ dry}} + h_{\text{weir}} + h_{\text{crest}} + h_{\text{grad}} + h_{\text{du}} = 7,627 \text{ polzades}$$

I calculem l'efecte del cabal de vapor:

$$h_{\text{dc aerat}} = \frac{h_{\text{dc}}}{\phi_{\text{dc}}} = 2 \cdot h_{\text{dc}} = 15,254 \text{ polzades}$$

Ja que el valor de $h_{dc \text{ aerat}}$ és menor a l'espai entre plats (24 polzades) no tindrem problemes d'inundació de la columna.

El temps de residència al downcomer serà:

$$t_{res} = \frac{A_d \cdot h_{dc} \cdot 3600 \cdot \rho_L}{L_g \cdot PM_L} = 5,22 \text{ s}$$

El valor del temps de residència esta entre 3 i 7 segons, per tant esta dins el rang correcte.

Comprovació del goteig

$$h_{\Delta p, dry} + h_{\sigma} \geq 0,10392 + 0,25119 x - 0,021675 x^2$$

$$h_{\sigma} = \frac{0,04 \sigma}{\rho_L \cdot d_0} = 0,0701 \text{ polzades}$$

$$h_{\Delta p, dry} + h_{\sigma} = 3,361$$

Banda drete = 0,663

Ja que la banda drete de l'equació és molt més petita que l'esquerra no hi hauran problemes de goteig a la columna.

Finalment les dimensions de la columna serán les següents:

Característiques finals columna	
Alçada	11,77 m
Diàmetre	2,1 m
Plat de l'aliment	10

Taula 10.58 Característiques finals columna

10.22.7 Disseny mecànic

10.22.7.1 Disseny de les tubuladures

En aquest apartat es dimensionaran els diàmetres de les tubuladures d'entrada del vapor i el líquid al llarg de la columna.

Caps de la columna

Líquid

Cabal = 0,0098 m³/s

Si suposem una velocitat de circulació de 1 m/s el diàmetre de la tubuladura serà de:

$$\frac{0,0098 \text{ m}^3/\text{s}}{1 \text{ m/s}} = 0,0098 \text{ m}^2 \Rightarrow D = 0,112 \text{ m} \Rightarrow DN 100$$

Vapor

Cabal = 6,237 m³/s

Si suposem una velocitat de circulació de 32 m/s el diàmetre de la tubuladura serà de:

$$\frac{6,237 \text{ m}^3/\text{s}}{32 \text{ m/s}} = 0,195 \text{ m}^2 \Rightarrow D = 0,498 \text{ m} \Rightarrow DN 500$$

Entrada de l'aliment

L'aliment entra tot en fase líquida, per tant el diàmetre necessari serà:

Cabal = 0,00248 m³/s

Si suposem una velocitat de circulació de 1 m/s el diàmetre de la tubuladura serà de:

$$\frac{0,00248 \text{ m}^3/\text{s}}{1 \text{ m/s}} = 0,00248 \text{ m}^2 \Rightarrow D = 0,056 \text{ m} \Rightarrow DN 50$$

Cues de la columna**Líquid**

$$\text{Cabal} = 0,0121 \text{ m}^3/\text{s}$$

En el cas de cues hem de calcular el nivell de líquid que es mantindrà al fons de la columna i que després anirà al reboiler. El fons de la columna tindrà un temps de residència de 1,5 minuts, per tant el nivell de líquid serà:

$$V = Q \cdot t_{\text{residència}} = 1,093 \text{ m}^3$$

$$\text{Volum del fons toriesfèric: } V_{\text{fons}} = 0,0778 \cdot D_C^3 = 0,721 \text{ m}^3$$

$$\text{Volum necessari cilindre columna: } V_{\text{cilindre}} = 1,093 - 0,721 = 0,373 \text{ m}^3$$

$$\text{Alçada líquid fons: } h_{\text{fons}} = \frac{0,373 \text{ m}^3}{\frac{\pi}{4} \cdot D_C^2} = 0,108 \text{ m}$$

Si la velocitat de sortida del líquid pel fons de la columna és de 1 m/s, el diàmetre de la tubuladura de sortida serà:

$$\frac{0,0121 \text{ m}^3/\text{s}}{1 \text{ m/s}} = 0,0121 \text{ m}^2 \Rightarrow D = 0,124 \text{ m} \Rightarrow \text{DN 125}$$

Vapor

$$\text{Cabal} = 5,951 \text{ m}^3/\text{s}$$

Si suposem una velocitat de circulació de 32 m/s el diàmetre de la tubuladura serà de:

$$\frac{5,951 \text{ m}^3/\text{s}}{32 \text{ m/s}} = 0,186 \text{ m}^2 \Rightarrow D = 0,487 \text{ m} \Rightarrow \text{DN 500}$$

Per tant la configuració del fons de la columna serà la següent:

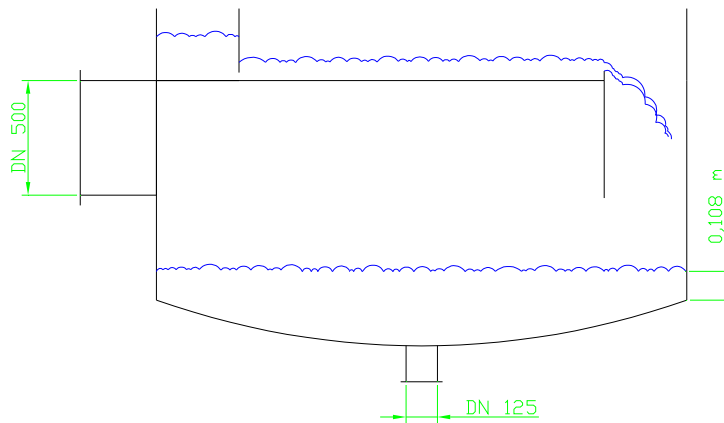


Figura 10.29 Tubuladures de cues

10.22.7.2 Gruixos de la columna

Gruix del cilindre

El gruix de la paret cilíndrica es mesura a pressió interna i externa, és una columna que treballa a pressió atmosfèrica. Les condicions de disseny utilitzades són les següents:

Pressió disseny: -1,5/1,5.

Temperatura de disseny: 410 K

Gruix a pressió interna

Paràmetres de disseny	
Pressió	1,5 bar
Radi	1050 mm
S (acer al carboni SA-515 55)	951,7 bar
Factor de soldadura (E)	0,85
Sobreessessor per corrosió (c1)	2 mm
Sobreessessor per curvatura (c2)	0 mm

Taula 10.59 Paràmetres de disseny a pressió interna

A partir de les dades de la taula anterior el espessor necessari es calcula:

$$t = \frac{P \cdot R}{S \cdot E - 0,6 \cdot P} + c1 + c2 = 3,98 \text{ mm}$$

S'agafa un gruix de 4 mm.

Gruix a pressió externa

En aquest cas es suposa un gruix i es comprova si el cilindre aguantarà aquesta pressió. Els paràmetres de disseny són els següents:

Paràmetres de disseny	
Pressió	1,5 bar
D₀	2136 mm
h	399 mm
Gruix suposat	18 mm
D₀/t	133,50

**Taula 10.60 Paràmetres de disseny
a pressió externa**

En la primera iteració s'ha suposat el mateix gruix que a pressió interna, però al final s'ha arribat fins al valor de 15 mm. La pressió que aguantarà el cilindre es calcula de la següent manera:

$$P_a = \frac{2 \cdot A \cdot E}{3 \cdot \frac{D_0}{t}}$$

$$L = \text{Alçada cilindre} + 2 \cdot \left(\frac{h}{3} \right) = 11028,31 \text{ mm}$$

$$\frac{L}{D_0} = 5,16$$

A la figura 10.15 trobem el valor de A = 0,00017

A la figura 10.16 busquem el valor de B i veiem que esta fora per l'esquerra, per tant usem E = 1972068,966 bar i calculem la pressió:

$$P_a = \frac{2 \cdot A \cdot E}{3 \cdot \frac{D_0}{t}} = 1,67 \text{ bar}$$

Com que és més gran que la pressió de disseny s'escollirà un gruix de 18 mm com a vàlid.

Gruix de les tapes

El gruix de les tapes es calcula amb les mateixes pressions de disseny que en el cas del cilindre, excepte per la pressió interna de la tapa inferior en la que es té en compte el pes del líquid del fons. Tots els fons són tipus Köppler.

Gruix a pressió interna

Paràmetres de disseny	
Pressió	1,5 bar
L	2100 mm
r	210 mm
L/r	10
M	1,54
S (acer al carboni SA-515 55)	951,7 bar
Factor de soldadura (E)	0,85
Sobreessessor per la corrosió (c1)	2 mm
Sobreessessor per la curvatura (c2)	0,1 · t

Taula 10.61 Paràmetres de disseny a pressió interna

El gruix es calcula de la següent manera:

$$t = \frac{P \cdot L \cdot M}{2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P} + c1 + c2 \Rightarrow t = 5,55 \text{ mm}$$

Gruix tapa superior a pressió externa

En la primera iteració s'ha suposat el mateix gruix que a pressió interna, però al final s'ha arribat fins al valor de 12 mm. La pressió que aguantarà el cilindre es calcula de la següent manera:

Paràmetres de disseny	
Pressió	1,5 bar
R = D₀	2124 mm
t – c₁ – c₂	8,8 mm
Gruix suposat	12 mm
R/t	241,36

**Taula 10.62 Paràmetres de disseny
a pressió externa**

Es calcula el valor de A de la següent manera:

$$A = \frac{0,125}{\frac{R}{t - c_1 - c_2}} = 0,000518$$

i posteriorment trobem B = 482,76 bar. Calculem la pressió que aguanta de la següent manera:

$$P_a = \frac{B}{\frac{R}{t - c_1 - c_2}} = 2 \text{ bar}$$

Ara es torna a calcular amb un altre mètode i després s'escull el gruix:

$$t = \frac{1,67 \cdot P \cdot L \cdot M}{2 \cdot S - 0,2 \cdot 1,67 \cdot P} + 2 + 0,1 \cdot t = 6,953 \text{ mm}$$

S'agafa el gruix de 12 mm ja que és el més gran.

Gruix tapa inferior a pressió interna

Primer calculem la pressió que exerceix el líquid al fons de la columna:

Paràmetres de disseny	
Densitat	932,8 kg/m ³
Gravetat	9,81 m/s ²
Alçada líquid	0,1076 m

**Taula 10.63 Paràmetres de disseny
a pressió interna**

La pressió de la columna de líquid serà:

$$P = \rho \cdot g \cdot h = 984,62 \text{ Pa} \Rightarrow 0,0098 \text{ bar}$$

Ja que la pressió deguda a la columna de líquid és molt petita no afectarà al càlcul del gruix i per tant s'agafa el mateix que el calculat per la tapa superior (12 mm).

10.23 Condensador E-401

10.23.1 Descripció de l'equip

El condensador E-401 és un condensador de carcassa i tubs que condensa tot el vapor que surt per caps de la columna C-401 sense subrefredar-lo. És un condensador atmosfèric que incorpora un venteig. El condensador utilitza aigua de refrigeració per bescanviar el calor que entra a 30 °C i en surt a 40 °C. Els condensats surten a 117,6 °C i estan formats bàsicament per àcid acètic (Àcid acètic glacial).

10.23.2 Càlcul del calor a bescanviar, de l'àrea necessària i del cabal d'aigua de refrigeració

El calor a bescanviar pel condensador és el següent:

$$q = 3901913,88 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

L'àrea de bescanvi necessària serà:

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

Com a valor del coeficient global de transferència d'energia s'agafa $550 \frac{\text{kcal}}{\text{h m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$.

Com que la temperatura de l'aigua de refrigeració va canviant al llarg del condensador s'ha de calcular l'increment de temperatura mitjana logarítmica. La temperatura dels vapors que condensen es manté constant al llarg del procés ja que aquests només canvien de fase:

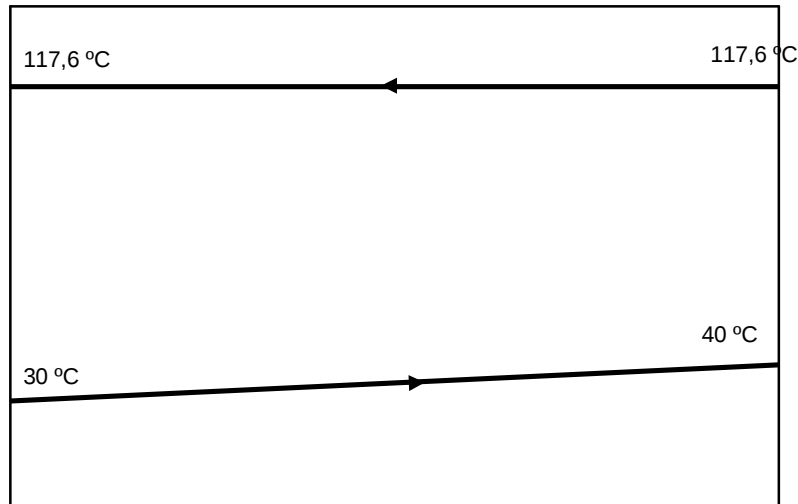


Figura 10.30 Perfil de temperatures al condensador

$$\Delta T_{ml} = \frac{(T - T_{aig. in}) - (T - T_{aig. out})}{\ln \left(\frac{(T - T_{aig. in})}{(T - T_{aig. out})} \right)} = 82,5^{\circ}C$$

On: T : Temperatura dels condensats ($117^{\circ}C$)

$T_{aig. in}$: Temperatura entrada aigua de refrigeració ($30^{\circ}C$)

$T_{aig. out}$: Temperatura sortida aigua de refrigeració ($40^{\circ}C$)

Per tant l'àrea de bescanvi necessària serà:

$$A = \frac{3901913,88 \text{ kcal/h}}{550 \frac{\text{kcal}}{\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^{\circ}C} \cdot 82,5^{\circ}C} = 85,99 \text{ m}^2$$

El cabal d'aigua de refrigeració necessari serà:

$$q = m \cdot cp \cdot \Delta T$$

cp : Capacitat calorífica de l'aigua ($1 \text{ kcal/kg} \cdot ^{\circ}C$)

ΔT : Sortida – entrada aigua refrigeració ($40 - 30$) $^{\circ}C$

$$m = \frac{q}{cp \cdot \Delta T} = \frac{3901913,88 \text{ kcal/h}}{1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot ^{\circ}C} \cdot (40 - 30)^{\circ}C} = 390191,39 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

10.23.3 Característiques del bescanviador de carcassa i tubs

A la taula següent s'especifiquen les característiques del condensador:

Característiques del condensador	
Longitud tubs	5 m
Diàmetre intern tubs (d_i)	34 mm
Diàmetre extern tubs (d_o)	38 mm
Nombre de passos per tubs	2
Nombre de passos per carcassa	1

Taula 10.64 Característiques del condensador

Càlcul del nombre de tubs:

En primer lloc es calcula l'àrea d'un tub i després es determina el nombre de tubs necessaris:

$$A_{1\text{ tub}} = \pi \cdot d_o \cdot L = 0,597 \text{ m}^2$$

$$N_t = \frac{\text{Àrea necessària}}{\text{Àrea 1 tub}} \approx 144$$

Per al feix de tubs utilitzarem un pitch triangular. El pitch es calcula:

$$P_t = 1,25 \cdot d_o = 47,5 \text{ mm}$$

A partir del nombre de passos per tubs i carcassa i el diàmetre extern dels tubs es calcula el diàmetre del feix de tubs com:

$$D_b = d_o \cdot \left(\frac{N_t}{K_1} \right)^{\frac{1}{n_1}}$$

On: K_1, n_1 : Constants funció del nombre de passos per tubs i carcassa (taula 12.4 Coulson)

$$K_1 = 0,249$$

$$n_1 = 2,207$$

$$D_b = 678,3 \text{ mm}$$

10.23.4 Coeficient de transferència de calor per la banda de la carcassa

Temperatura mitja als dos costats (carcassa i tubs):

$$T_{ubs} = \frac{40 + 30}{2} = 35 \text{ } ^\circ\text{C}$$

En el cas de la banda de la carcassa la temperatura es manté constant ja que hi ha un canvi de fase i no hi ha subrefredament:

$$Carcassa = 117,6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Propietats físiques del vapor i el líquid condensat	
Viscositat líquid (μ_l)	0,000248 Pa · s
Densitat líquid (ρ_l)	944,6 $\frac{kg}{m^3}$
Conductivitat (k_l)	0,1436 $\frac{W}{m \text{ } ^\circ\text{C}}$
Densitat del vapor (ρ_v)	1,862 $\frac{kg}{m^3}$

Taula 10.65 Propietats físiques del vapor i el líquid condensat

Cabal de condensat per longitud de tub:

$$T_h = \frac{W_c}{L \cdot N_t} = \frac{11,61 \frac{kg}{s}}{5 \text{ m} \cdot 144} = 0,0161 \frac{kg}{m \text{ s}}$$

Mitja de nombre de tubs per fila:

$$N_r = \frac{2}{3} \cdot \frac{D_b}{P_t} = 9,52$$

Per tant el coeficient per la banda de la carcassa serà:

$$h_0 = 0,95 \cdot k_l \left[\frac{\rho_l (\rho_l - \rho_v) g}{\mu_l \cdot T_h} \right]^{\frac{1}{3}} \cdot N_r^{-\frac{1}{6}} = 1215,3 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

10.23.5 Coeficient de transferència de calor per la banda dels tubs

Secció de pas dels tubs:

$$S_{tubs} = \frac{\pi \cdot (d_i)^2}{4} \cdot \frac{N_t}{n^\circ de passos per tubs} = 0,0654 m^2$$

Velocitat pels tubs:

$$u_t = \frac{108,39 \frac{kg}{s}}{\rho_{aigua}} \cdot \frac{1}{S_{tubs}} = 1,669 m/s$$

$$\rho_{aigua} = 993 \frac{kg}{m^3}$$

$$T_{aigua} = 35^\circ C$$

Per tant el coeficient per la banda dels tubs serà:

$$h_i = 4200 \cdot (1,35 + 0,02 \cdot T_{aigua}) \cdot \frac{u_t^{0,8}}{d_i^{0,2}} = 6266,18 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

10.23.6 Càlcul del coeficient global de transferència de calor

Per al càlcul del coeficient global ens fan falta els factors d'embrutiment per la banda dels tubs i de la carcassa. A continuació es mostren en forma de taula:

Factors d'embrutiment	
Factor d'embrutiment extern (h_{od})	$5000 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$
Factor d'embrutiment intern (h_{id})	$5000 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$

Taula 10.66 Factors d'embrutiment

Com a material de construcció s'utilitza acer, $k_w = 16 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ C}$:

$$\frac{1}{U_0} = \frac{1}{h_0} + \frac{1}{h_{od}} + \frac{d_0 \cdot \ln\left(\frac{d_0}{d_i}\right)}{2 \cdot k_w} + \frac{d_0}{d_i} \cdot \frac{1}{h_{id}} + \frac{d_0}{d_i} \cdot \frac{1}{h_i} = 0,001557$$
$$U_0 = 642,337 \frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ C} \Rightarrow 553,21 \frac{kcal}{h \text{ } m^2 \text{ } ^\circ C}$$

El valor obtingut és bastant proper al suposat inicialment, $550 \frac{kcal}{h \text{ } m^2 \text{ } ^\circ C}$, per tant, es pot considerar correcte.

10.23.7 Càlcul de la caiguda de pressió per carcassa

Càlcul del diàmetre de la carcassa:

El diàmetre de la carcassa es calcula en funció del diàmetre del feix de tubs i del tipus de bescanviador. A la figura 10.18 es troba el valor del diàmetre com:

$$\text{Diàmetre feix de tubs} = 678,3 \text{ mm}$$

S'ha escollit un bescanviador de tubs en U que ens permet trobar:

$$\text{Diàmetre carcassa} - \text{Diàmetre feix de tubs} = 15 \text{ mm}$$

Per tant, el diàmetre de la carcassa serà:

$$D_s = 15 + D_b = 693,3 \text{ mm}$$

Càlcul de l'àrea de flux transversal, la velocitat màssica i la velocitat lineal:

$$A_s = \frac{(p_t - d_0) \cdot D_s \cdot l_B}{p_t} = 0,0961 m^2$$

$$G_s = \frac{W_s}{A_s} = 120,81 \frac{kg}{s \cdot m^2}$$

$$u_s = \frac{G_s}{\rho_s} = 64,88 \text{ m/s}$$

Càlcul del diàmetre equivalent de la carcassa:

Amb un pitch triangular el diàmetre es calcula com:

$$d_e = \frac{1,10}{d_0} \cdot (p_t^2 - 0,917 \cdot d_0^2) = 26,98 \text{ mm}$$

Amb el valor del Reynolds i la figura 10.19 es pot trobar el factor de fricció (j_f):

$$Re = \frac{\rho \cdot u_s \cdot d_i}{\mu} = 416931,599 \quad j_f = 0,017$$

Per tant, els valors necessaris pel càlcul són:

Paràmetres de disseny	
Diàmetre de la carcassa	693,3 mm
Àrea flux transversal (A_s)	0,0961 m ²
Velocitat màssica per la carcassa (G_s)	120,81 $\frac{kg}{s \cdot m^2}$
Diàmetre equivalent carcassa (d_e)	26,98 mm
Viscositat del vapor	7,818 · 10 ⁶ Pa · s
Reynolds	416931,599
Jf	0,017
Espai entre els bafles (l_B)	693,3 mm
Velocitat lineal (u_s)	64,88 m/s

Taula 10.67 Paràmetres de disseny per la caiguda de pressió per carcassa

La pèrdua de pressió es pot calcular com:

$$\Delta P_s = 8 \cdot j_f \cdot \left(\frac{D_s}{d_e} \right) \cdot \left(\frac{L}{l_B} \right) \cdot \frac{\rho \cdot u_s^2}{2} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{-0,14} = 68946,209 \text{ Pa} \Rightarrow 68,95 \text{ kPa}$$

10.23.8 Càlcul de la caiguda de pressió pels tubs

Paràmetres de disseny	
Viscositat aigua	0,0006 N s / m ²
Reynolds	93912,28
Factor de fricció (j_f)	0,0029

Taula 10.68 Paràmetres de disseny per la caiguda de pressió pels tubs

El factor de fricció es troba a la figura 10.20 a partir del Reynolds.

$$\Delta P_t = N_p \cdot \left[8 \cdot j_f \cdot \left(\frac{L}{d_i} \right) \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{-m} + 2,5 \right] \cdot \frac{\rho \cdot u_t^2}{2} = 16351,488 \text{ Pa} \Rightarrow 16,351 \text{ kPa}$$

S'ha menyspreat l'ajust de les viscositats ja que es treballa amb aigua pels tubs.

10.23.9 Disseny mecànic

10.23.9.1 Gruix del cilindre

El gruix de la paret cilíndrica es mesura a pressió interna i externa. Les condicions de disseny utilitzades són les següents:

Pressió disseny: -1,5/1,5

Temperatura de disseny: 410 K

Gruix a pressió interna

Paràmetres de disseny	
Pressió	1,5 bar
Radi	346,65 mm
S (acer al carboni SA-515 55)	951,7 bar
Factor de soldadura (E)	0,85
Sobreessessor per corrosió (c1)	2 mm
Sobreessessor per curvatura (c2)	0 mm

Taula 10.69 Paràmetres de disseny pel gruix a pressió interna

A partir de les dades de la taula anterior l'espessor necessari es calcula mitjançant la següent equació:

$$t = \frac{P \cdot R}{S \cdot E - 0,6 \cdot P} + c1 + c2 = 2,65 \text{ mm}$$

S'agafa un gruix de 4 mm.

Gruix a pressió externa

En aquest cas es suposa un gruix i es comprova si el cilindre aguantarà la pressió. Els paràmetres de disseny són els següents:

Paràmetres de disseny	
Pressió	1,5 bar
D₀	701,298 mm
h	131,727 mm
Gruix suposat	5 mm
D₀/t	350,65

Taula 10.70 Paràmetres de disseny pel gruix a pressió externa

En la primera iteració s'ha suposat el mateix gruix que a pressió interna. La pressió que aguantarà el cilindre es calcula amb la següent expressió:

$$P_a = \frac{2 \cdot A \cdot E}{3 \cdot \frac{D_0}{t}}$$

$$L = \text{Alçada cilindre} + 2 \cdot \left(\frac{h}{3} \right) = 5087,82 \text{ mm}$$

$$\frac{L}{D_0} = 7,25$$

A la figura 10.15 s'obté el valor de $A = 0,00005$

A la figura 10.16 es busca el valor de B i s'observa que esta fora per l'esquerra. Per tant, s'utilitza $E = 1958620,69 \text{ bar}$. Finalment ja es pot calcular la pressió:

$$P_a = \frac{2 \cdot A \cdot E}{3 \cdot \frac{D_0}{t}} = 4,04 \text{ bar}$$

Com que és més gran que la pressió de disseny el gruix de 5 mm serà correcte.

10.23.9.2 Gruix de les tapes

El gruix de les tapes es calcula amb les mateixes pressions de disseny que en el cas del cilindre. Tots els fons són tipus Köppler.

Gruix a pressió interna

Paràmetres de disseny	
Pressió	1,5 bar
L	693,3 mm
r	69,33 mm
L/r	10
M	1,54
S (acer al carboni SA-515 55)	951,7 bar
Factor de soldadura (E)	0,85
Sobreessessor per corrosió (c1)	2 mm
Sobreessessor per curvatura (c2)	$0,1 \cdot t$

Taula 10.71 Paràmetres de disseny pel gruix a pressió interna

El gruix es calcula de la següent manera:

$$t = \frac{P \cdot L \cdot M}{2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P} + c1 + c2 \Rightarrow t = 3,74 \text{ mm}$$

Gruix tapa superior a pressió externa

En la primera iteració s'ha suposat el mateix gruix que a pressió interna, però al final s'ha arribat fins al valor de 6 mm. La pressió que aguantarà el cilindre es mostra a la taula següent:

Paràmetres de disseny	
Pressió	1,5 bar
R = D₀	705,298 mm
t – c1 – c2	3,4 mm
Gruix suposat	6 mm
R/t	207,44

**Taula 10.72 Paràmetres de disseny
pel gruix a pressió externa**

Es calcula el valor de A de la següent manera:

$$A = \frac{0,125}{\frac{R}{t - c1 - c2}} = 0,000603$$

i posteriorment s'obté B = 689,66 bar. La pressió que aguanta es calcula amb la següent equació:

$$P_a = \frac{B}{\frac{R}{t - c1 - c2}} = 3,32 \text{ bar}$$

Ara es torna a calcular amb un altre mètode i després s'escull el gruix:

$$t = \frac{1,67 \cdot P \cdot L \cdot M}{2 \cdot S - 0,2 \cdot 1,67 \cdot P} + 2 + 0,1 \cdot t = 3,89 \text{ mm}$$

S'agafa el gruix de 6 mm ja que és el més gran.

10.23.9.3 Disseny de les tubuladures

El diàmetre de les tubuladures és el mateix que el calculat per la columna C-401 a caps. En el cas de les tubuladures de l'aigua de refrigeració serà:

$$\text{Cabal} = 0,1084 \text{ m}^3/\text{s}$$

Si es considera una velocitat de circulació de 2 m/s el diàmetre de la tubuladura serà de:

$$\frac{0,1084 \text{ m}^3/\text{s}}{2 \text{ m/s}} = 0,054 \text{ m}^2 \Rightarrow D = 0,263 \text{ m} \Rightarrow DN 260$$

10.23.10 Aïllament

Aquest bescanviador té una temperatura elevada i per tant cal un aïllament amb llana de roca.

El de gruix de l'aïllant es determina mitjançant la següent equació:

$$Q = \frac{T_{\text{int.}} - T_{\text{ext.}}}{\sum R_i} \rightarrow Q = \frac{T_{\text{int.}} - T_{\text{ext.}}}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_{\text{aire}}} + \frac{\Delta x_{\text{acer}}}{k_{\text{acer}}} + \frac{\Delta x_{\text{aïllant}}}{k_{\text{aïllant}}}} \Leftrightarrow \frac{T_{\text{int.}} - T_2}{\frac{1}{h_i} + \frac{\Delta x_{\text{acer}}}{k_{\text{acer}}} + \frac{\Delta x_{\text{aïllant}}}{k_{\text{aïllant}}}}$$

On, $T_{\text{int.}} = 117,6 \text{ }^\circ\text{C}$.

$T_{\text{ext.}} = 20^\circ\text{C}$.

T_2 = Temperatura de la paret l'aïllant que està en contacte amb l'exterior.

$k_{\text{aïllant}} = 0,082 \text{ W/m }^\circ\text{C}$

Suposant un gruix d'aïllant de 4 cm es calcula el calor transferit a l'exterior (Q).

$$Q = 186,89 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Aquest calor s'igual a la segona part de *eq.2* i és comprova que T_2 estigui a una temperatura inferior als 40 °C:

$$T_2 = 26,4^\circ C$$

10.24 Reboiler E-402

10.24.1 Descripció de l'equip

El reboiler E-402 pertany a la columna C-401 i s'encarrega de vaporitzar part del corrent líquid que surt per cues de la columna i retornar-lo a la columna. Es tracta d'un reboiler parcial tipus KETTLE, per tant, representa una etapa d'equilibri més de la columna. El corrent líquid que surt del reboiler, format per una mescla de àcid propiònic (26,54 %) i àcid acètic (73,46 %) és enviat a la zona de tanqueria per ser tractat posteriorment.

10.24.2 Càlcul del calor necessari, de l'àrea necessària i del cabal de vapor

El calor a aportar pel reboiler serà:

$$q = 8583732,057 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

L'àrea de bescanvi necessària serà:

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

Com a valor del coeficient global de transferència d'energia s'agafen $750 \frac{\text{kcal}}{\text{h m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$.

El calor cedit pel vapor que entra al reboiler és degut al canvi de fase d'aquest ja que condensa en els tubs. S'utilitza vapor saturat a 6 bars (158,8 °C). Per la banda de la carcassa hi ha el líquid provinent de la columna i ja que aquest canvia de fase la seva temperatura es manté constant dins el reboiler. La diferencia de temperatura serà:

$$\Delta T = T_{Tubs} - T_{Carcassa} = 158,8 - 122,5 = 36,3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Per tant l'àrea de bescanvi necessària serà:

$$A = \frac{8583732,057 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}}{750 \frac{\text{kcal}}{\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 36,3^\circ\text{C}} = 315,29 \text{ m}^2$$

El cabal de vapor necessari serà:

$$q = m \cdot \lambda$$

cp : Capacitat calorífica del vapor $\left(1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}\right)$

λ : Calor latent de vaporització $\left(\frac{\text{kcal}}{\text{kg}}\right)$

$$m = \frac{8583732,057 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}}{499,2 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}} = 17194,89 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

10.24.3 Característiques del reboiler KETTLE

A la taula següent s'especifiquen les característiques del reboiler:

Característiques del reboiler	
Longitud tubs	5 m
Diàmetre intern tubs (d_i)	16 mm
Diàmetre extern tubs (d_o)	20 mm
Nombre de passos per tubs	2
Nombre de passos per carcassa	1

Taula 10.73 Característiques del reboiler

Càlcul del nombre de tubs

En primer lloc es calcula l'àrea d'un tub i després es determina el nombre de tubs necessaris:

$$A_{1\text{ tub}} = \pi \cdot d_0 \cdot L = 0,3142 \text{ m}^2$$
$$N_t = \frac{\text{Àrea necessaria}}{\text{Àrea 1 tub}} \approx 1004$$

Pel feix de tubs s'utilitzarà un pitch triangular. El pitch es calcula:

$$P_t = 1,25 \cdot d_0 = 25 \text{ mm}$$

A partir del nombre de passos per tubs i carcassa i el diàmetre extern dels tubs es calcula el diàmetre del feix de tubs com:

$$D_b = d_0 \cdot \left(\frac{N_t}{K_1} \right)^{\frac{1}{n_1}}$$

On: K_1, n_1 : Constants funció del nombre de passos per tubs i carcassa (taula 12.4 Coulson)

$$K_1 = 0,249 \quad D_b = 843,61 \text{ mm}$$
$$n_1 = 2,207$$

10.24.4 Coeficient de transferència de calor per la banda de la carcassa

Càlcul del flux de calor per unitat d'àrea:

$$q = \frac{Q}{A} = 31611,25 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Per al càlcul del coeficient de calor necessitem:

P: Pressió operació = 1 atm

P_c: Pressió crítica = 54 atm

El coeficient pel costat de la carcassa serà:

$$h_{nb} = 0,104 \cdot (P_c)^{0,69} \cdot (q)^{0,7} \cdot \left[1,8 \cdot \left(\frac{P}{P_c} \right)^{0,17} + 4 \cdot \left(\frac{P}{P_c} \right)^{1,2} + 10 \cdot \left(\frac{P}{P_c} \right)^{10} \right] = 2180,79 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

10.24.5 Coeficient de transferència de calor per la banda dels tubs

En el cas de treballar amb vapor d'aigua que condensa, el coeficient pels tubs es pot suposar igual a $8000 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.

10.24.6 Càlcul del coeficient global de transferència de calor

Per al càlcul del coeficient global ens fan falta els factors d'embrutiment per la banda dels tubs i de la carcassa. Es mostren a la següent taula:

Factors d'embrutiment	
Factor d'embrutiment extern (h_{od})	$5000 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$
Factor d'embrutiment intern (h_{id})	$7000 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$

Taula 10.74 Factors d'embrutiment

Com a material de construcció s'utilitza acer, $k_w = 16 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$:

$$\frac{1}{U_0} = \frac{1}{h_0} + \frac{1}{h_{od}} + \frac{d_0 \cdot \ln\left(\frac{d_0}{d_i}\right)}{2 \cdot k_w} + \frac{d_0}{d_i} \cdot \frac{1}{h_{id}} + \frac{d_0}{d_i} \cdot \frac{1}{h_i} = 0,00113$$

$$U_0 = 882,74 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \Rightarrow 760,25 \frac{kcal}{h \cdot m^2 \cdot ^\circ C}$$

El coeficient global obtingut és bastant semblant al suposat, per tant, es donarà com a vàlid el valor calculat.

10.24.7 Càlcul del nivell de líquid al reboiler

Per al diàmetre de la carcassa s'agafa un valor el doble del diàmetre del feix de tubs de manera que:

$$D_s = 2 \cdot D_b = 1720,53 \text{ mm}$$

Fixant que el 60% del reboiler esta ple de líquid, l'alçada del líquid serà:

$$h_{\text{líquid}} = 0,6 \cdot 1720,53 = 1032,32 \text{ mm}$$

La velocitat superficial del vapor serà:

$$\text{Velocitat superficial} = \frac{Q}{A} = 3,15 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$$

I la màxima velocitat admissible:

$$u_v < 0,2 \cdot \left[\frac{\rho_l - \rho_v}{\rho_v} \right]^{1/2} = 4,401 \text{ m/s}$$

La velocitat és molt inferior a la màxima.

10.24.8 Disseny mecànic

10.24.8.1 Gruix de la carcassa

El gruix de la paret cilíndrica es mesura a pressió interna i externa. Les condicions de disseny utilitzades són les següents:

Pressió disseny: -1,5/1,5 bar

Temperatura de disseny: 410 K

Gruix a pressió interna

Paràmetres de disseny	
Pressió	1,5 bar
Radi	860,26 mm
S (acer al carboni SA-515 55)	951,7 bar
Factor de soldadura (E)	0,85
Sobreessessor per corrosió (c1)	2 mm
Sobreessessor per curvatura (c2)	0 mm

Taula 10.75 Paràmetres de disseny a pressió interna

A partir de les dades de la taula anterior, es calcula l'essessor necessari amb la següent equació:

$$t = \frac{P \cdot R}{S \cdot E - 0,6 \cdot P} + c1 + c2 = 3,59 \text{ mm}$$

S'agafa un gruix de 4 mm.

Gruix a pressió externa

En aquest cas es suposa un gruix i es comprova si el cilindre aguantarà la pressió. Els paràmetres de disseny són els següents:

Paràmetres de disseny	
Pressió	1,5 bar
D₀	1732,53 mm
h	326,90 mm
Gruix suposat	6 mm
D₀/t	433,13

Taula 10.76 Paràmetres de disseny a pressió externa

En la primera iteració s'ha suposat el mateix gruix que a pressió interna. La pressió que aguantarà el cilindre es calcula de la següent manera:

$$P_a = \frac{2 \cdot A \cdot E}{3 \cdot \frac{D_0}{t}}$$

$$L = \text{Alçada cilindre} + 2 \cdot \left(\frac{h}{3} \right) = 5217,93 \text{ mm}$$

$$\frac{L}{D_0} = 3,01$$

A la figura 10.15 es troba el valor de $A = 0,00005$

A la figura 10.16 es troba el valor de B i s'observa que esta fora per l'esquerra, per tant, s'utilitza $E = 1951724,138 \text{ bar}$ i es calcula la pressió:

$$P_a = \frac{2 \cdot A \cdot E}{3 \cdot \frac{D_0}{t}} = 2,22 \text{ bar}$$

Com que és més gran que la pressió de disseny el gruix de 6 mm serà vàlid.

10.24.8.2 Gruix de les tapes

El gruix de les tapes es calcula amb les mateixes pressions de disseny que en el cas del cilindre. Tots els fons són tipus Köppler.

Gruix a pressió interna

Paràmetres de disseny	
Pressió	1,5 bar
L	1720,53 mm
r	172,05 mm
L/r	10
M	1,54
S (acer al carboni SA-515 55)	951,7 bar
Factor de soldadura (E)	0,85
Sobreessessor per corrosió (c1)	2 mm
Sobreessessor per curvatura (c2)	$0,1 \cdot t$

Taula 10.77 Paràmetres de disseny a pressió interna

El gruix es calcula de la següent manera:

$$t = \frac{P \cdot L \cdot M}{2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P} + c1 + c2 \Rightarrow t = 4,89 \text{ mm}$$

Gruix tapa superior a pressió externa

En la primera iteració s'ha suposat el mateix gruix que a pressió interna, però al final s'opta per un valor de 10 mm. La pressió que aguantarà el cilindre es calcula de la següent manera:

Paràmetres de disseny	
Pressió	1,5 bar
R = D₀	1740,53 mm
t – c1 – c2	7 mm
Gruix suposat	10 mm
R/t	248,65

10.78 Paràmetres de disseny a pressió externa

Es calcula el valor de A de la següent manera:

$$A = \frac{0,125}{\frac{R}{t - c1 - c2}} = 0,000513$$

i posteriorment s'obté el valor de B = 689,66 bar.

Es calcula la pressió que aguanta de la següent manera:

$$P_a = \frac{B}{\frac{R}{t - c1 - c2}} = 1,98 \text{ bar}$$

Ara es torna a calcular amb un altre mètode i després s'escull el gruix:

$$t = \frac{1,67 \cdot P \cdot L \cdot M}{2 \cdot S - 0,2 \cdot 1,67 \cdot P} + 2 + 0,1 \cdot t = 6,02 \text{ mm}$$

S'agafa el gruix de 10 mm ja que és el més gran.

10.24.8.3 Disseny de les tubuladures

El diàmetre de les tubuladures d'entrada de líquid i sortida de vapor és el mateix que el calculat per la columna C-401 a cues. La tubuladura de sortida del líquid es calcula de la següent manera:

$$\text{Cabal} = 0,0000251 \text{ m}^3/\text{s}$$

Si es suposa una velocitat de circulació de 1 m/s, el diàmetre de la tubuladura serà de:

$$\frac{0,0000251 \text{ m}^3/\text{s}}{1 \text{ m/s}} = 0,0000251 \text{ m}^2 \Rightarrow D = 0,006 \text{ m} \Rightarrow DN 10$$

Pel cabal de vapor calefactor:

$$\text{Cabal} = 0,0016 \text{ m}^3/\text{s}$$

Si es suposa una velocitat de circulació de 20 m/s, el diàmetre de la tubuladura serà de:

$$\frac{0,0016 \text{ m}^3/\text{s}}{20 \text{ m/s}} = 0,0000783 \text{ m}^2 \Rightarrow D = 0,00998 \text{ m} \Rightarrow DN 10$$

Pel cabal de condensats:

$$\text{Cabal} = 0,00477 \text{ m}^3/\text{s}$$

Si es suposa una velocitat de circulació de 1 m/s, el diàmetre de la tubuladura serà de:

$$\frac{0,00477 \text{ m}^3/\text{s}}{1 \text{ m/s}} = 0,00477 \text{ m}^2 \Rightarrow D = 0,078 \text{ m} \Rightarrow DN 80$$

10.24.9 Aïllament

Aquest bescanviador té una temperatura elevada i per tant cal un aïllament amb llana de roca.

El de gruix de l'aïllant es determina mitjançant la següent equació:

$$Q = \frac{T_{\text{int.}} - T_{\text{ext.}}}{\sum R_i} \rightarrow Q = \frac{T_{\text{int.}} - T_{\text{ext.}}}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_{\text{aire}}} + \frac{\Delta x_{\text{acer}}}{k_{\text{acer}}} + \frac{\Delta x_{\text{aïllant}}}{k_{\text{aïllant}}}} \Leftrightarrow \frac{T_{\text{int.}} - T_2}{\frac{1}{h_i} + \frac{\Delta x_{\text{acer}}}{k_{\text{acer}}} + \frac{\Delta x_{\text{aïllant}}}{k_{\text{aïllant}}}}$$

On, $T_{\text{int.}} = 122,5 \text{ }^\circ\text{C}$.

$T_{\text{ext.}} = 20^\circ\text{C}$.

T_2 = Temperatura de la paret l'aïllant que està en contacte amb l'exterior.

$k_{\text{aïllant}} = 0,082 \text{ W/m }^\circ\text{C}$

Suposant un gruix d'aïllant de 4 cm es calcula el calor transferit a l'exterior (Q).

$$Q = 196,39 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

Aquest calor s'igual a la segona part de eq.2 i és comprova que T_2 estigui a una temperatura inferior als $40 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$T_2 = 26,64^\circ\text{C}$$

10.25 Bescanviador E-403

10.25.1 Descripció de l'equip

El bescanviador E-403 és de carcassa i tubs i refreda el corrent de destil·lat de la columna C-401.

10.25.2 Càlcul del calor a bescanviar, de l'àrea necessària i del cabal d'aigua de refrigeració

El calor a bescanviar pel condensador és el següent:

$$q = 221172,25 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

L'àrea de bescanvi necessària serà:

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

Com a valor del coeficient global de transferència d'energia s'agafa $800 \frac{\text{kcal}}{\text{h m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$.

Com que la temperatura de l'aigua de refrigeració va canviant al llarg del condensador s'ha de calcular l'increment de temperatura mitjana logarítmica.

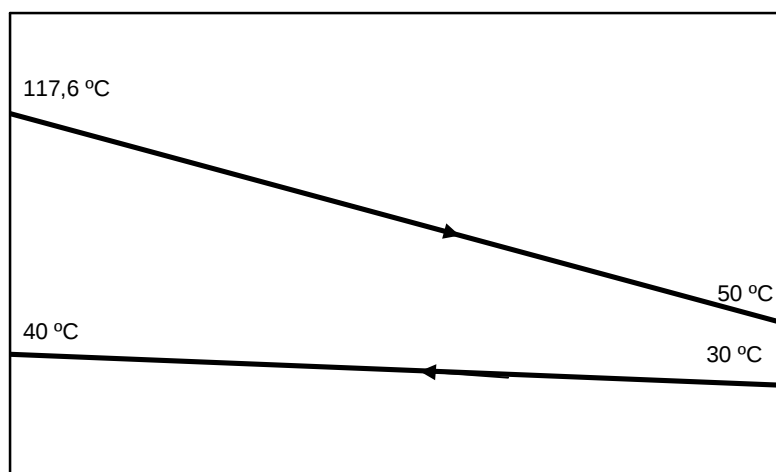


Figura 10.31 Perfil de temperatures al bescanviador

$$\Delta T_{ml} = \frac{(T_{cin} - T_{aig.out}) - (T_{cout} - T_{aig.in})}{\ln \frac{(T_{cin} - T_{aig.out})}{(T_{cout} - T_{aig.in})}} = 42,48^{\circ}C$$

On: T_{cin} : Temperatura dels vapors

entrada (117,6° C)

T_{cout} : Temperatura dels vapors

sortida (50° C)

$T_{aig.in}$: Temperatura entrada aigua

de refrigeració (30° C)

$T_{aig.out}$: Temperatura sortida aigua

de refrigeració (40° C)

Per tant l'àrea de bescanvi necessària serà:

$$A = \frac{221172,25 \text{ kcal/h}}{800 \frac{\text{kcal}}{\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^{\circ}C} \cdot 42,48^{\circ}C} = 6,51 \text{ m}^2$$

El cabal d'aigua de refrigeració necessari serà:

$$q = m \cdot cp \cdot \Delta T$$

cp : Capacitat calorífica de l'aigua $\left(1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot ^{\circ}C}\right)$
 ΔT : Sortida – entrada aigua refrigeració (40 – 30)° C

$$m = \frac{q}{cp \cdot \Delta T} = \frac{221172,25 \text{ kcal/h}}{1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot ^{\circ}C} \cdot (40 - 30)^{\circ}C} = 22117,22 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

10.25.3 Característiques del bescanviador de carcassa i tubs

A la taula següent s'especifiquen les característiques del condensador:

Característiques del condensador	
Longitud tubs	5,5 m
Diàmetre intern tubs (d _i)	32 mm
Diàmetre extern tubs (d ₀)	36 mm
Nombre de passos per tubs	2
Nombre de passos per carcassa	2

Taula 10.79 Característiques del condensador

Càlcul del nombre de tubs:

En primer lloc es calcula l'àrea d'un tub i després es determina el nombre de tubs necessaris:

$$A_{1\text{ tub}} = \pi \cdot d_0 \cdot L = 0,622 \text{ m}^2$$

$$N_t = \frac{\text{Àrea necessaria}}{\text{Àrea 1 tub}} \approx 10$$

Pel feix de tubs s'utilitza un pitch triangular. El pitch es calcula amb la següent equació:

$$P_t = 1,5 \cdot d_0 = 45 \text{ mm}$$

A partir del nombre de passos per tubs i carcassa i el diàmetre extern dels tubs es calcula el diàmetre del feix de tubs com:

$$D_b = d_0 \cdot \left(\frac{N_t}{K_1} \right)^{\frac{1}{n_1}}$$

On: K_1, n_1 : Constants funció del nombre de passos per tubs i carcassa (taula 12.4 Coulson)

$$K_1 = 0,249$$

$$n_1 = 2,207$$

$$D_b = 225,83 \text{ mm}$$

10.25.4 Coeficient de transferència de calor per la banda de la carcassa

Temperatura mitja als dos costats (carcassa i tubs):

$$T_{\text{tubs}} = \frac{40 + 30}{2} = 35 \text{ } ^\circ\text{C}$$

En el cas de la banda de la carcassa la temperatura es manté constant ja que hi ha un canvi de fase:

$$T_{\text{carcassa}} = \frac{117,6 + 50}{2} = 83,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Propietats físiques de la mescla a refredar	
Viscositat (μ_l)	0,0002425 Pa · s
Densitat (ρ_l)	944,6 $\frac{kg}{m^3}$
Conductivitat (k_l)	0,144 $\frac{W}{m \cdot ^\circ C}$
Reynolds	71928
Prandl	2,907

Taula 10.80 Propietats físiques de la mescla a refredar

A la figura 10.22 es troba el factor de transferència de calor: $j_h = 0,09$

Per tant, el coeficient per la banda de la carcassa serà:

$$h_c = j_h \cdot \text{Re} \cdot \text{Pr}^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14} \cdot \frac{k_f}{d_e} = 5175,7 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

10.25.5 Coeficient de transferència de calor per la banda dels tubs

Secció de pas dels tubs:

$$S_{tubs} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_i)^2 \cdot \frac{N_t}{n^\circ \text{ de passos per tubs}} = 0,0042 \text{ m}^2$$

Velocitat pels tubs:

$$u_t = \frac{6,14 \frac{kg}{s}}{\rho_{aigua}} \cdot \frac{1}{S_{tubs}} = 1,47 \text{ m/s}$$

$$\rho_{aigua} = 993 \frac{kg}{m^3}$$

$$T_{aigua} = 35^\circ C$$

Per tant, el coeficient per la banda dels tubs serà:

$$h_i = 4200 \cdot (1,35 + 0,02 \cdot T_{aigua}) \cdot \frac{u_i^{0,8}}{d_i^{0,2}} = 5861,12 \frac{w}{m^2 \text{ } ^\circ C}$$

10.25.6 Càlcul del coeficient global de transferència de calor

Pel càlcul del coeficient global ens fan falta els factors d'embrutiment per la banda dels tubs i de la carcassa. Es mostren a la següent taula:

Factors d'embrutiment	
Factor d'embrutiment extern (h_{od})	$3000 \frac{w}{m^2 \text{ } ^\circ C}$
Factor d'embrutiment intern (h_{id})	$4000 \frac{w}{m^2 \text{ } ^\circ C}$

Taula 10.81 Factors d'embrutiment

Com a material de construcció s'utilitza acer, $k_w = 16 \frac{w}{m^2 \text{ } ^\circ C}$:

$$\frac{1}{U_0} = \frac{1}{h_0} + \frac{1}{h_{od}} + \frac{d_0 \cdot \ln\left(\frac{d_0}{d_i}\right)}{2 \cdot k_w} + \frac{d_0}{d_i} \cdot \frac{1}{h_{id}} + \frac{d_0}{d_i} \cdot \frac{1}{h_i} = 0,001132$$

$$U_0 = 883,23 \frac{w}{m^2 \text{ } ^\circ C} \Rightarrow 760,65 \frac{kcal}{h \text{ } m^2 \text{ } ^\circ C}$$

El valor obtingut és bastant proper al suposat inicialment, $800 \frac{kcal}{h \text{ } m^2 \text{ } ^\circ C}$, per tant, s'acceptarà com a vàlid.

10.25.7 Càlcul de la caiguda de pressió per carcassaCàlcul del diàmetre de la carcassa:

El diàmetre de la carcassa es calcula en funció del diàmetre del feix de tubs i del tipus de bescanviador. A la figura 10.18 es troba el valor del diàmetre com:

$$Diàmetre \text{ feix de tubs} = 195,83 \text{ mm}$$

S'ha escollit un bescanviador de tubs en U que ens permet trobar:

$$Diàmetre \text{ carcassa} - Diàmetre \text{ feix de tubs} = 30 \text{ mm}$$

Per tant, el diàmetre de la carcassa serà:

$$D_s = 30 + D_b = 225,83 \text{ mm}$$

Càlcul de l'àrea de flux transversal, la velocitat màssica i la velocitat lineal:

$$A_s = \frac{(p_t - d_0) \cdot D_s \cdot l_B}{p_t} = 0,0034 \text{ m}^2$$

$$G_s = \frac{W_s}{A_s} = 682,37 \frac{\text{kg}}{\text{s m}^2}$$

$$u_s = \frac{G_s}{\rho_s} = 0,722 \text{ m/s}$$

Càlcul del diàmetre equivalent de la carcassa:

Amb un pitch triangular el diàmetre es calcula com:

$$d_e = \frac{1,10}{d_0} \cdot (p_t^2 - 0,917 \cdot d_0^2) = 25,56 \text{ mm}$$

Amb el valor del Reynolds i la figura 10.19 es pot trobar el factor de fricció (j_f):

$$Re = \frac{\rho \cdot u_s \cdot d_i}{\mu} = 71928 \quad j_f = 0,03$$

Per tant, els valors necessaris pel càlcul són:

Paràmetres de disseny	
Diàmetre de la carcassa	225,83mm
Àrea flux transversal (A_s)	0,0034m ²
Velocitat massica per la carcassa (G_s)	682,37 $\frac{kg}{s \cdot m^2}$
Diàmetre equivalent carcassa (d_e)	25,26 mm
Viscositat de la mescla	0,0002425 Pa · s
Reynolds	95904
Jf	0,03
Espai entre els bafles (l_B)	75,28 mm
Velocitat lineal (u_s)	0,722 m/s

Taula 10.82 Paràmetres de disseny per la caiguda de pressió per carcassa

La pèrdua de pressió es pot calcular com:

$$\Delta P_s = 8 \cdot j_f \cdot \left(\frac{D_s}{d_e} \right) \cdot \left(\frac{L}{l_B} \right) \cdot \frac{\rho \cdot u_s^2}{2} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{-0,14} = 43,35 \text{ kPa}$$

Caiguda de pressió acceptable.

10.25.8 Càlcul de la caiguda de pressió pels tubs

Paràmetres de disseny	
Viscositat aigua	0,0006 N s / m ²
Reynolds	77885
Factor de fricció (j _f)	0,005

Taula 10.83 Paràmetres de disseny per la caiguda de pressió pels tubs

El factor de fricció es troba a la figura 10.20 a partir del Reynolds.

$$\Delta P_t = N_p \cdot \left[8 \cdot j_f \cdot \left(\frac{L}{d_i} \right) \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{-m} + 2,5 \right] \cdot \frac{\rho \cdot u_t^2}{2} = 20134 Pa \Rightarrow 20,134 kPa$$

Es menysprea l'ajust de les viscositats ja que es treballa amb aigua pels tubs. Caiguda de pressió acceptable.

10.25.9 Disseny mecànic

10.25.9.1 Gruix del cilindre

El gruix de la paret cilíndrica es mesura a pressió interna i externa. Les condicions de disseny utilitzades són les següents:

Pressió disseny: -1,5/1,5 bar

Temperatura de disseny: 410 K

Gruix a pressió interna

Paràmetres de disseny	
Pressió	1,5 bar
Radi	112,91mm
S (acer al carboni SA-515 55)	951,7 bar
Factor de soldadura (E)	0,85
Sobreessessor per la corrosió (c1)	2 mm
Sobreessessor per la curvatura (c2)	0 mm

Taula 10.84 Paràmetres de disseny a pressió interna

A partir de les dades de la taula anterior l'essessor necessari es calcula amb la següent equació:

$$t = \frac{P \cdot R}{S \cdot E - 0,6 \cdot P} + c1 + c2 = 2,21mm$$

S'agafa un gruix de 4 mm.

10.25.9.2 Gruix de les tapes

El gruix de les tapes es calcula amb les mateixes pressions de disseny que en el cas del cilindre. Tots els fons són de tipus Köppler.

Gruix a pressió interna

Paràmetres de disseny	
Pressió	1,5 bar
L	225,83 mm
r	22,58 mm
L/r	10
M	1,54
S (acer al carboni SA-515 55)	951,7 bar
Factor de soldadura (E)	0,85
Sobreessessor per corrosió (c1)	2 mm
Sobreessessor per curvatura (c2)	0,1 · t

Taula 10.85 Paràmetres de disseny a pressió interna

El gruix es calcula de la següent manera:

$$t = \frac{P \cdot L \cdot M}{2 \cdot S \cdot E - 0,2 \cdot P} + c1 + c2 \Rightarrow t = 2,32 \text{ mm}$$

S'agafa el gruix de 4 mm.

10.25.9.3 Disseny de les tubuladures

Aigua de refrigeració:

Cabal: 0,0061 m³/s

Amb una velocitat de circulació suposada de 1 m/s, el diàmetre de la tubuladura serà de:

$$\frac{0,0061 \text{ m}^3/\text{s}}{1,5 \text{ m/s}} = 0,0041 \text{ m}^2 \Rightarrow D = 0,072 \text{ m} \Rightarrow DN 80$$

Gasos de carcassa:

Cabal: 0,00245 m³/s

Amb una velocitat de circulació suposada de 32 m/s, el diàmetre de la tubuladura serà de:

$$\frac{0,00245 \text{ m}^3/\text{s}}{1,5 \text{ m/s}} = 0,00164 \text{ m}^2 \Rightarrow D = 0,045 \text{ m} \Rightarrow DN 50$$

10.25.10 Aïllament

Aquest bescanviador té una temperatura elevada i per tant cal un aïllament amb llana de roca.

El de gruix de l'aïllant es determina mitjançant la següent equació:

$$Q = \frac{T_{int.} - T_{ext.}}{\sum R_i} \rightarrow Q = \frac{T_{int.} - T_{ext.}}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_{aire}} + \frac{\Delta x_{acer}}{k_{acer}} + \frac{\Delta x_{aillant}}{k_{aillant}}} \Leftrightarrow \frac{T_{int.} - T_2}{\frac{1}{h_i} + \frac{\Delta x_{acer}}{k_{acer}} + \frac{\Delta x_{aillant}}{k_{aillant}}}$$

On, $T_{int.}=117,6\text{ }^{\circ}\text{C}$.

$T_{ext}= 20^{\circ}\text{C}$.

T_2 = Temperatura de la paret l'aïllant que està en contacte amb l'exterior.

$k_{aillant}=0,082\text{ W/m }^{\circ}\text{C}$

Suposant un gruix d'aïllant de 4 cm es calcula el calor transferit a l'exterior (Q).

$$Q = 187,13 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}$$

Aquest calor s'igual a la segona part de eq.2 i és comprova que T_2 estigui a una temperatura inferior als $40\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$T_2 = 26,27\text{ }^{\circ}\text{C}$$

10.26 Tanc pulmó D-401

Tanc que es troba a la sortida del bescanviador de la columna C-401 per acumular el destil·lat.

$$8361\left(\frac{kg}{h}\right) \cdot \frac{1(m^3)}{944,6(kg)} \cdot \frac{1(h)}{3600(s)} \Rightarrow 0,0024\left(\frac{m^3}{s}\right)$$

Amb un temps de residència fixat a 3 min:

$$\tau = \frac{V}{Q} \rightarrow V = 3(\text{min}) \cdot \frac{60(s)}{1(\text{min})} \cdot 0,0024\left(\frac{m^3}{s}\right) \Rightarrow V = 0,44(m^3).$$

Si el tanc treballa a un 90% de la seva capacitat, el volum real del tanc serà de $0,5 \text{ m}^3$.

$$\text{Diàmetre (D)} = 0,6 \text{ m} \rightarrow H = \frac{V}{\pi \cdot r^2} \rightarrow H = \frac{0,5(m^3)}{\pi \cdot \left(\frac{1,3}{2}\right)^2 (m)} \Rightarrow H = 1,7(m).$$

Pes planxa = 124,1 kg.

Pes amb aigua = 624,14 kg

Pes amb líquid = 596,4 kg

Temperatura d'operació = 117,6°C

Temperatura de disseny = 167,6°C

10.26.1 Disseny mecànic

Densitat = $944,6 \text{ (kg/m}^3\text{)}$

On:

$$P_{\text{líquid}} = \rho \cdot h \cdot g \rightarrow P_{\text{Líquid}} = 944,6\left(\frac{kg}{m^3}\right) \cdot 1,7(m) \cdot 9,8\left(\frac{m}{s^2}\right) \Rightarrow P_{\text{Líquid}} = 15737(Pa)$$

$$P_{\text{Disseny}} = 1,5(bar) + P_{\text{Líquid}} \rightarrow P_{\text{Disseny}} = 1,5 + 0,15(bar) = 1,65(bar).$$

10.26.1.1 Càlcul del gruix de la paret a pressió interna (t).

A continuació es calcula el gruix de la paret a partir dels següents valors:

Factor SE (psi)= 18000

Radiografiat (r)= 0,85.

$$t = \frac{P_{Disseny} \cdot R}{SE \cdot r - 0,6 \cdot P} + C \quad \text{On, } R \text{ és el radi del tanc i } C \text{ la corrosió}$$

$$t = \frac{1,84(bar) \cdot \frac{600}{2}(mm)}{\frac{18000}{14,5}(bar) \cdot 0,85 - 0,6 \cdot 1,84(bar)} + 1(mm) \Rightarrow t = 2,13(mm) \Rightarrow t = 4(mm).$$

10.26.1.2 Càlcul del fons toriesfèric a pressió interna (t)

A partir de la següent equació es calcula el gruix del fons toriesfèric:

$$t = \frac{P \cdot D \cdot M}{2 \cdot SE - 0,2 \cdot P} + C$$

$$t = \frac{1,84(bar) \cdot 1300(mm) \cdot 1,54}{2 \cdot \frac{18000}{14,5}(bar) - 0,2 \cdot 1,84(bar)} + 1(mm) \rightarrow t = 2,48(mm) \Rightarrow t = 4(mm).$$

En el cas del fons toriesfèric es sobredimensiona el gruix (t) un 10% ja que la planxa d'acer al ser moldejada perd gruix i s'ha de tenir en compte:

$$t = 2,48(mm) + 2,48(mm) \cdot 0,1 \rightarrow t = 2,7(mm) \Rightarrow t = 4(mm).$$

10.26.1.3 Aïllament del tanc:

Cal aïllament amb llana de roca per tal d'evitar cremades, ja que la temperatura de treball és de 117,5 °C.

Degut a que és un fluid pràcticament estàtic, el coeficient intern de transmissió de calor es gairebé zero i per tant no es té en compte. El procediment a seguir serà el següent:

- Càlcul de les pèrdues de calor cap a l'exterior:

Cal suposar un gruix d'aïllant i calcular les pèrdues de calor cap a l'exterior.

$$Q = \frac{\Delta T}{\sum R_i} \rightarrow Q = \frac{T_{int.} - T_{ambient}}{\frac{1}{h_{ext}} + \frac{\Delta x_{acer}}{k_{acer}} + \frac{\Delta x_{aïllant}}{k_{aïllant}}}$$

On, $T_{int.} = 117,6 \text{ } ^\circ\text{C}$.

$T_{ext} = 20^\circ\text{C}$.

T_2 = Temperatura de la paret l'aïllant que està en contacte amb l'exterior.

$k_{aïllant} = 0,082 \text{ (W/m } ^\circ\text{C)}$.

$k_{acer} = 18 \text{ (W/m } ^\circ\text{C)}$.

Suposant un gruix d'aïllant de 3 cm es calcula el calor transferit a l'exterior (Q).

$$Q = \frac{117,5(^{\circ}\text{C}) - 20(^{\circ}\text{C})}{\frac{1}{30 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}} + \frac{0,004\text{m}}{18 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}} + \frac{0,03\text{m}}{0,082 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}}} \rightarrow Q = 244,36 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}} \right)$$

- Comprovació de la temperatura de la paret externa de l'aïllant:

Cal comprovar que amb el gruix d'aïllant suposat la temperatura de la capa externa (T_2) sigui similar a la de l'ambient per tal de no provocar cremades.

$$244,36 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}} \right) = \frac{117,5(^{\circ}\text{C}) - T_2}{\frac{0,004\text{m}}{18 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}} + \frac{0,02\text{m}}{0,082 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}}} \rightarrow T_2 = 28,14(^{\circ}\text{C})$$

10.27 Bescanviador E-404

10.27.1 Descripció de l'equip.

Aquests bescanviador és de doble tub i refreda la barreja d'acid que surten per la part de sota de la columna C-401. L'esquema d'aquest equip es presenta a continuació:

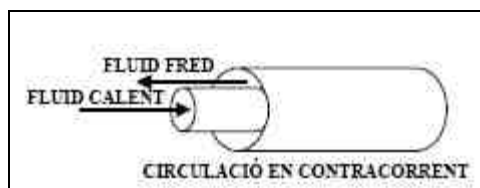


Figura 10.32 Bescanviador de doble tub.

10.27.2 Dades pel càlcul del bescanviador.

Les característiques del fluid de procés (fluid a refredar) són les següents:

Cabal (kg/h)	83,43
Densitat (kg/m ³)	920,8
Caba (m ³ /h)	0,0906
Viscositat (cp)	0,2402
Viscositat (kg·m ² /s)	2,4·10 ⁻⁵
Conductivitat tèrmica (W/m K)	0,1395
Conductivitat tèrmica (Kcal/m h K)	0,120
Cp (KJ/kg)	1,844
Cp (Kcal/kg)	0,4411

Taula 10.86 Dades del corrent a refredar.

Les característiques del fluid refrigerant (aigua) són:

Viscositat H ₂ O (kg·m ² /s)	0,0001
Conductivitat tèrmica (W/m K)	0,58
Conductivitat tèrmica (Kcal/m h K)	0,493
Cp (Kcal/kg)	0,24

Taula 10.87 Dades del corrent a refrigerant.

Aquestes dades presentades es faran servir a continuació pel càlcul del coeficient global de transferència de calor.

10.27.2 Càlcul de coeficient global de transferència de calor.

Es calcula mitjançant la següent equació:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + \frac{e}{k \cdot \frac{D_{ml}}{D_i}} + \frac{1}{h_e \cdot \frac{D_e}{D_i}}$$

On, U = Coeficient global de transferència de calor,

h_i = Coeficient individual de transmissió de calor de la banda del fluid calent,

h_e = Coeficient individual de transmissió de calor de la banda del fluid fred,

e = Gruix de la paret de separació entre els dos fluids,

k = Conductivitat tèrmica de la paret de separació entre els dos fluids,

D_i = Diàmetre intern del tub,

D_e = Diàmetre extern del tub,

D_{ml} = Diàmetre mitja logarítmic entre D_e i D_i , es calcula de següent manera:

$$D_{ml} = \frac{D_e - D_i}{\ln \frac{D_e}{D_i}}$$

Així doncs:

D_i (m)	0,01
D_e (m)	0,014
Gruix tubuladures (m)	0,004
D tub extern (D_0 ,m)	0,05
D_{ml}	0,0119

Taula 10.88 Diàmetres

- Càlcul de h_i :

Aquest valor es calcula a partir del Reynolds, Prandtl i Nussel, així doncs:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu}$$

El diàmetre nominal de la canonada per la que circula el fluid intern és de DN 10 (mm), calculant a partir d'aquí la velocitat:

Area tub (m ²)	0,00007854
Q (m ³ /s)	0,00002517
v (m/s)	0,3205

Taula 10.89 Velocitat del fluid intern.

$$\text{Per tant, } Re = \frac{920,8 \frac{kg}{m^3} \cdot 0,32 \frac{m}{s} \cdot 0,1m}{2,4 \cdot 10^{-5}} \Rightarrow Re = 122844,92.$$

$$Pr = \frac{Cp \cdot \mu}{k} \rightarrow Pr = 8,83 \cdot 10^{-5}.$$

El Nusselt es calcula com:

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^n \quad \text{On, } n \text{ val } 0,3 \text{ per líquids que es refreden i } 0,4 \text{ per líquids que s'escalfen.}$$

$$\text{Per tant: } n = 0,3 \Rightarrow Nu = 16,48.$$

$$h_i = \frac{Nu \cdot k}{D_i} \Rightarrow h_i = 197,74 \frac{Kcal}{m^2 h^\circ C}$$

- Càlcul de la **h_e**:

En aquest cas els càlculs van referits al diàmetre equivalent (D_{eq}), ja que el fluid circula per la part anular (aigua).

$$D_{eq} = D_0 - D_e \rightarrow D_{eq} = 0,05 - 0,014 = 0,036m.$$

On, D_0 és el diàmetre intern del tub exterior (fixat a la Taula 10.88),

D_e és el diàmetre extern del tub interior (fixat a la Taula 10.88).

A partir d'aquí, el procediment és el mateix que el seguit per trobar la h_i . Utilitzant però les dades corresponents a l'aigua (Taula 10.87).

La velocitat de circulació de l'aigua s'ha fixat a 1,5 m/s. Així doncs:

$$Re = 540000,$$

$$Pr = 4,868 \cdot 10^{-5},$$

Pel càlcul del Nusselt, el valor de l'exponent n val 0,4 ja que l'aigua s'escalfa.

$$Nu = 18,14.$$

$$\text{Així doncs: } h_e = 248,5 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}^\circ \text{C}}.$$

Càlcul del coeficient global de transmissió de calor (U):

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{197,74 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}^\circ \text{C}}} + \frac{4 \cdot 10^{-3} \text{ m}}{18 \frac{\text{Kcal}}{\text{m} \cdot \text{h}^\circ \text{C}} \cdot \frac{0,0119}{0,01}} + \frac{1}{248,5 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}^\circ \text{C}} \cdot \frac{0,014}{0,01}} \Rightarrow \frac{1}{U} = 0,00649.$$

$$U = 156,44 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}^\circ \text{C}}.$$

10.27.3 Càlcul de l'àrea de bescanvi i del cabal de refrigerant.

L'àrea necessària pel bescanvi és calcula a partir de la següent equació:

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T_{ml}$$

On l'increment mitja logarítmic de temperatura es calcula de la següent manera:

	Temperatures (°C)	
	Fluid refrigerant	Fluid procés
Entrada	30	122,5
Sortida	40	50

Taula 10.90 Taula de temperatures

$$\text{Així doncs, } \Delta T_{ml} = \frac{(122,5 - 30) - (50 - 40)}{\ln\left(\frac{122,5 - 30}{50 - 40}\right)} \rightarrow \Delta T_{ml} = 37,08^\circ \text{C}.$$

El calor a bescanviar és de 10610 KJ/h.

$$A = \frac{2538,27 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}}{156,44 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ \text{C}} \cdot 37,08^\circ \text{C}} \Rightarrow A = 0,437 \text{m}^2.$$

El càlcul del cabal de refrigerant es calcula de l'equació:

$$Q = m \cdot Cp \cdot \Delta T \rightarrow m = \frac{2538,27 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}}{0,24 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg} \cdot ^\circ \text{C}} \cdot (40 - 30)^\circ \text{C}} \Rightarrow m = 1057 \text{kg/h}$$

10.27.4 Longitud del bescanviador.

La longitud del cilindre vindrà determinada per l'àrea de contacte necessària que es requereixi, per tant:

$$A = \pi \cdot D_e \cdot L \rightarrow L = \frac{0,437 \text{m}^2}{\pi \cdot 0,014 \text{m}} \Rightarrow L = 9,93 \text{m} \Rightarrow L = 10 \text{m}.$$

10.28 Tanc Pulmó D-501

Tanc d'emmagatzematge de condensats:

$$20,43 \frac{m^3}{h} \cdot \frac{1h}{3600s} = 5,675 \cdot 10^{-3} m^3/s$$

Amb un temps de residència fixat a 10 min:

$$\tau = \frac{V}{Q} \rightarrow V = 10(\text{min}) \cdot \frac{60(s)}{1(\text{min})} \cdot 5,675 \cdot 10^{-3} \left(\frac{m^3}{s} \right) \Rightarrow V = 3,4(m^3)$$

Si el tanc treballa a un 90% de la seva capacitat, el volum real del tanc serà de 3,8 m³.

$$\text{Diàmetre (D)} = 1,2 \text{ m} \rightarrow H = \frac{V}{\pi \cdot r^2} \rightarrow H = \frac{3,4(m^3)}{\pi \cdot \left(\frac{1,2}{2}\right)^2 (m)} \Rightarrow H = 3,3(m)$$

Pes planxa = 475 kg.

Pes amb aigua = 4275 kg

Pes amb líquid = 4275 kg

Temperatura d'operació = 100 °C

Temperatura de disseny = 150 °C

10.22.8 Disseny mecànic

Densitat= 1000 (kg/m³)

On:

$$P_{líquid} = \rho \cdot h \cdot g \rightarrow P_{Líquid} = 1000 \left(\frac{kg}{m^3} \right) \cdot 3,3(m) \cdot 9,8 \left(\frac{m}{s^2} \right) \Rightarrow P_{Líquid} = 29700(Pa)$$

$$P_{Disseny} = 1,5(bar) + P_{Liquid} \rightarrow P_{Disseny} = 1,5 + 0,29(bar) = 1,8(bar).$$

10.28.1.1 Càlcul del gruix de la paret a pressió interna (t).

A continuació es calcula el gruix de la paret a partir dels següents valors:

$$\text{Factor SE (psi)} = 18000$$

$$\text{Radiografiat (r)} = 0,85.$$

$$t = \frac{P_{Disseny} \cdot R}{SE \cdot r - 0,6 \cdot P} + C \quad \text{On, } R \text{ és el radi del tanc i } C \text{ la corrosió}$$

$$t = \frac{1,8(bar) \cdot \frac{1200}{2}(mm)}{\frac{18000}{14,5}(bar) \cdot 0,85 - 0,6 \cdot 1,8(bar)} + 1(mm) \Rightarrow t = 2,02(mm) \Rightarrow t = 4(mm).$$

10.28.1.2 Càlcul del fons toriesfèric a pressió interna (t)

A partir de la següent equació es calcula el gruix del fons toriesfèric:

$$t = \frac{P \cdot D \cdot M}{2 \cdot SE - 0,2 \cdot P} + C$$

$$t = \frac{1,8(bar) \cdot 1200(mm) \cdot 1,54}{2 \cdot \frac{18000}{14,5}(bar) - 0,2 \cdot 1,8(bar)} + 1(mm) \rightarrow t = 2,34(mm) \Rightarrow t = 4(mm).$$

En el cas del fons toriesfèric es sobredimensiona el gruix (t) un 10% ja que la planxa d'acer al ser moldejada perd gruix i s'ha de tenir en compte:

$$t = 2,34(mm) + 2,34(mm) \cdot 0,1 \rightarrow t = 2,5(mm) \Rightarrow t = 4(mm).$$

10.28.1.3 Aïllament del tanc

Cal aïllament amb llana de roca per tal d'evitar cremades, ja que hi ha zones desprotegides i la temperatura de treball és de 100°C aproximadament.

Degut a que és un fluid pràcticament estàtic, el coeficient intern de transmissió de calor es gairebé zero i per tant no es té en compte. El procediment a seguir serà el següent:

- Càlcul de les pèrdues de calor cap a l'exterior:

Cal suposar un gruix d'aïllant i calcular les pèrdues de calor cap a l'exterior.

$$Q = \frac{\Delta T}{\sum R_i} \rightarrow Q = \frac{T_{int.} - T_{ambient}}{\frac{1}{h_{ext}} + \frac{\Delta x_{acer}}{k_{acer}} + \frac{\Delta x_{aïllant}}{k_{aïllant}}}$$

On, $T_{int.}=100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

$T_{ext}=20^{\circ}\text{C}$.

T_2 = Temperatura de la paret l'aïllant que està en contacte amb l'exterior.

$k_{aïllant}=0,082\text{ W/m }^{\circ}\text{C}$.

$k_{acer}=18\text{ W/m }^{\circ}\text{C}$.

Suposant un gruix d'aïllant de 2 cm es calcula el calor transferit a l'exterior (Q).

$$Q = \frac{100^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}}{\frac{1}{30\frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C}}} + \frac{0,004\text{m}}{18\frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C}}} + \frac{0,02\text{m}}{0,082\frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C}}}} \rightarrow Q = 288,33\frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C}}$$

- Comprovació de la temperatura de la paret externa de l'aïllant:

Cal comprovar que amb el gruix d'aïllant suposat la temperatura de la capa externa (T_2) sigui similar a la de l'ambient per tal de no provocar cremades.

$$288,33\frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C}} = \frac{100(^{\circ}\text{C}) - T_2}{\frac{0,004\text{m}}{18\frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C}}} + \frac{0,02\text{m}}{0,082\frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C}}}} \rightarrow T_2 = 29,61^{\circ}\text{C}$$

10.29 Tanc Pulmó D-502

Tanc on van a parar la purga de les calderes. El tanc s'ha fet de 1 m³.

$$\text{Diàmetre (D)} = 0,8 \text{ m} \rightarrow H = \frac{V}{\pi \cdot r^2} \rightarrow H = \frac{1 \text{ m}^3}{\pi \cdot \left(\frac{0,8}{2}\right)^2 \text{ m}} \Rightarrow H = 2 \text{ m}$$

Pes planxa = 191 kg.

Pes amb aigua = 1191 kg

Pes amb líquid = 1191 kg

Temperatura d'operació = 100 °C

Temperatura de disseny = 150 °C

10.29.1 Disseny mecànic

Densitat = 1000 kg/m³

On:

$$P_{\text{líquid}} = \rho \cdot h \cdot g \rightarrow P_{\text{Líquid}} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 2 \text{ m} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \Rightarrow P_{\text{Líquid}} = 19496 \text{ Pa}$$

$$P_{\text{Disseny}} = 1,5 \text{ bar} + P_{\text{Líquid}} \rightarrow P_{\text{Disseny}} = 1,5 + 0,19 \text{ bar} = 1,7 \text{ bar}$$

10.29.1.1 Càlcul del gruix de la paret a pressió interna (t).

A continuació es calcula el gruix de la paret a partir dels següents valors:

Factor SE psi = 18000

Radiografiat r = 0,85.

$$t = \frac{P_{\text{Disseny}} \cdot R}{SE \cdot r - 0,6 \cdot P} + C \quad \text{On, } R \text{ és el radi del tanc i } C \text{ la corrosió}$$

$$t = \frac{1,7 \text{ bar} \cdot \frac{800}{2} \text{ mm}}{\frac{18000}{14,5} \text{ bar} \cdot 0,85 - 0,6 \cdot 1,7 \text{ bar}} + 1 \text{ mm} \Rightarrow t = 1,64 \text{ mm} \Rightarrow t = 4 \text{ mm}.$$

10.29.1.2 Càlcul del fons toriesfèric a pressió interna (t)

A partir de la següent equació es calcula el gruix del fons toriesfèric:

$$t = \frac{P \cdot D \cdot M}{2 \cdot SE - 0,2 \cdot P} + C$$

$$t = \frac{1,7 \text{ bar} \cdot 800 \text{ mm} \cdot 1,54}{2 \cdot \frac{18000}{14,5} \text{ bar} - 0,2 \cdot 1,7 \text{ bar}} + 1 \text{ mm} \rightarrow t = 1,84 \text{ mm} \Rightarrow t = 4 \text{ mm}$$

En el cas del fons toriesfèric es sobredimensiona el gruix (t) un 10% ja que la planxa d'acer al ser moldejada perd gruix i s'ha de tenir en compte:

$$t = 1,84 \text{ mm} + 1,84 \text{ mm} \cdot 0,1 \rightarrow t = 2 \text{ mm} \Rightarrow t = 4 \text{ mm}$$

10.29.1.3 Aïllament del tanc

Cal aïllament amb llana de roca per tal d'evitar cremades, ja que hi ha zones desprotegides i la temperatura de treball és de 100°C aproximadament.

Degut a que és un fluid pràcticament estàtic, el coeficient intern de transmissió de calor es gairebé zero i per tant no es té en compte. El procediment a seguir serà el següent:

- Càlcul de les pèrdues de calor cap a l'exterior:

Cal suposar un gruix d'aïllant i calcular les pèrdues de calor cap a l'exterior.

$$Q = \frac{\Delta T}{\sum R_i} \rightarrow Q = \frac{T_{\text{int.}} - T_{\text{ambient}}}{\frac{1}{h_{\text{ext}}} + \frac{\Delta x_{\text{acer}}}{k_{\text{acer}}} + \frac{\Delta x_{\text{aïllant}}}{k_{\text{aïllant}}}}$$

On, $T_{int.}=100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

$T_{ext}= 20^{\circ}\text{C}$.

T_2 = Temperatura de la paret l'aïllant que està en contacte amb l'exterior.

$k_{aïllant}=0,082\text{ W/m }^{\circ}\text{C}$.

$k_{acer}=18\text{ W/m }^{\circ}\text{C}$.

Suposant un gruix d'aïllant de 2 cm es calcula el calor transferit a l'exterior (Q).

$$Q = \frac{100(^{\circ}\text{C}) - 20(^{\circ}\text{C})}{\frac{1}{30 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}} + \frac{0,004\text{m}}{18 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}} + \frac{0,02\text{m}}{0,082 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}}} \rightarrow Q = 288,33 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}$$

- Comprovació de la temperatura de la paret externa de l'aïllant:

Cal comprovar que amb el gruix d'aïllant suposat la temperatura de la capa externa (T_2) sigui similar a la de l'ambient per tal de no provocar cremades.

$$288,33 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}} = \frac{100(^{\circ}\text{C}) - T_2}{\frac{0,004\text{m}}{18 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}} + \frac{0,02\text{m}}{0,082 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}}} \rightarrow T_2 = 29,61^{\circ}\text{C}$$

11. Bibliografia

Llibres:

1. Wankat, Phillip. C, *Equilibrium staged separations*, New York. Elsevier, cop.
2. Coulson, J. M., *Coulson's & Richardson's chemical engineering*, 2nd edition, Volum 6.
3. Mc Cabe, Warren L., *Operaciones básicas en ingeniería química*, Mc Graw-Hill.
4. Donald Q.Ker, *Procesos de Transferencia de calor*, CECSA, 1999
5. Treybal, Robert E., *Operaciones de transferencia de masa*, McGraw-Hill, 1986
6. *CRC handbook of chemistry and physics*, Boca Raton, 1992
7. Coulson, J. M., *Chemical engineering*, Oxford, 1990
8. Perry's *Chemical Engineers' Handbook*, McWrawHill, 1999.
9. Peter Harriott. *Process Control*. McGraw-Hill Chemical Engineergin Series. 1964
10. Ullmann, *Enzyklopädie der technischen Chemie*", Vol. 8, p. 31, Berlin, Urban & Schwarzenberg, 1931
11. Allen, D. H., *Economic Evaluation of Projects*, 3d

Planes web:

1. Generalitat de Catalunya, www.gencat.cat
2. Revista mapping (ciències de la terra), <http://www.mappinginteractivo.com>
3. Wikipedia www.wikipedia.com
4. Portal de patents oficials d'Estats Units, www.patentstorm.us
5. Quiminet www.quiminet.com
6. Proyectes www.proyectosquimica.com
7. Costos www.fi.uba.ar/materias/7604/costos.pdf
8. Càlcul i estimacions equips www.matche.com
9. La prensa austral www.laprensaaustral.cl/lpa/noticia.asp?id=16476
10. Waste <http://waste.ideal.es>
11. Medi Ambient <http://mediambient.gencat.net>
12. Monsanto <http://www.ilpi.com/organomet/monsanto.html>
13. Chemistry <http://chemistry.lsu.edu/stanley/webpub/4571-chapt17-acetic-acid.pdf>
14. Corrosió <http://www.iapws.jp/Proceedings/Symposium11/643Petrova.pdf>
15. Iupac <http://www.iupac.org/publications/pac/1988/pdf/6008x1315.pdf>

16. Chemistrymag <http://web.chemistrymag.org/cji/2002/044019pe.htm>
17. BP <http://www.bp.com/genericarticle.do?categoryId=9008842&contentId=7016501>
18. Tufelf <http://www.tufelf.nl/live/binaries/0bbfc07b-7f77-491c-8e36-5907706321a8/doc/200308.pdf>
19. Brigestos http://www.brigestos.org/PME_final_report.pdf
20. Publicacions Acs http://pubs.acs.org/cgi-bin/abstract.cgi/iepra6/1976/15/i01/f-pdf/f_i360057a008.pdf?sessid=6006l3
21. Carbonylation <http://www.geocities.com/sendmeyoursweetmail/carbonylation.pdf>
22. Sudheer Tesis <http://www.mpri.lsu.edu/Dissertations/SudheerThesis.pdf>
23. Textos científics <http://www.textoscientificos.com/quimica/almacenaje/almacenaje-fluidos>
24. Paratherm <http://www.paratherm.com/espanol/Paratherm-OR/engineering/ORengbull.pdf>
25. Unit Conversion http://www.unitconversion.org/unit_converter/surface-tension.html