

PLANTA PRODUCCIÓ CAPROLACTAMA



ENGINYERIA QUÍMICA

AUTORS: Narcís Borrat, Lledó Carceles, Oriol Cobo, Pau Mallorga, Alberto Marín i Albert Moreno

TUTOR: Javier Lafuente

DIRECTOR: Ricard Gené

Data de presentació: 14 de Juny de 2013, Universitat Autònoma de Barcelona.

CAPÍTOL 1: ESPECIFICACIONS DEL PROJECTE

- 1.1. Definició del projecte**
- 1.2. Mètodes de producció de caprolactama**
- 1.3. Descripció del procés de fabricació**
- 1.4. Principals usos comercials de la caprolactama**
- 1.5. Aspectes econòmics**
- 1.6. Constitució de la planta**
- 1.7. Balanç de matèria**
- 1.8. Especificacions i necessitats de servei al límit de la planta**

CAPÍTOL 2: EQUIPS

- 2.1. Nomenclatura**
- 2.2. Llistat general d'equips**
- 2.3. Fulles d'especificacions àrea 100**
- 2.4. Fulles d'especificacions àrea 200**
- 2.5. Fulles d'especificacions àrea 300**
- 2.6. Fulles d'especificacions àrea 400**
- 2.7. Fulles d'especificacions àrea 500**
- 2.8. Fulles d'especificacions àrea 600**
- 2.9. Fulles d'especificacions àrea 700**
- 2.10. Fulles d'especificacions àrea 800**
- 2.11. Fulles d'especificacions àrea 900**
- 2.12. Fulles d'especificacions àrea 1200**

CAPÍTOL 3: CONTROL I INSTRUMENTACIÓ

- 3.1. Sistema de control de la planta.**

- 3.2. Llistat d'instruments i vàlvules**
- 3.3. Descripció dels llaços de control**

CAPÍTOL 4: TUBÀRIES, VÀLVULES I ACCESSORIS

- 4.1. Introducció**
- 4.2. Canonades**
- 4.3. Vàlvules**
- 4.4. Accessoris**

CAPÍTOL 5: SEGURETAT I HIGIENE

- 5.1. Estudi de seguretat i salut**
- 5.2. Identificació de les substàncies químiques perilloses**
- 5.3. Protecció contra incendis**
- 5.4. Protecció dels riscos professionals**
- 5.5. Seguretat elèctrica**
- 5.6. Seguretat en el parc de tancs**
- 5.7. Normes d'actuació preventiva i primers auxilis**
- 5.8. Pla de seguretat i salut**

CAPÍTOL 6: MEDI AMBIENT

- 6.1. Introducció**
- 6.2. Sistema de gestió mediambiental**
- 6.3. Contaminació ambiental i legislació**
- 6.4. Avaluació de l'impacte ambiental de la planta**
- 6.5. Consideracions mediambientals**

CAPÍTOL 7: EVALUACIÓ ECONÒMICA

- 7.1. Introducció**
- 7.2. Capital immobilitzat**
- 7.3. Estimació de costos – Mètode de Vian**
- 7.4. Ventes**
- 7.5. Càlcul de la rendibilitat a partir del Net Cash Flow**
- 7.6. Estudi de sensibilitat**
- 7.7. Conclusió**

CAPÍTOL 8: POSADA EN MARXA DE LA PLANTA

- 8.1. Introducció**
- 8.2. Revisions preliminars**
- 8.3. Arrancada des de zero**
- 8.4. Parada total**

CAPÍTOL 9: OPERACIONS DE PLANTA

- 9.1. Càrrega i descarrega de les matèries**
- 9.2. Controls de qualitat**
- 9.3. Control de composició de procés**
- 9.4. Manteniment dels equips de servei**
- 9.5. Manteniment de bombes i compressors**
- 9.6. Manteniment en parada anual**

CAPÍTOL 10: PLÀNOLS

- 10.1. Distribució plat**
- 10.2. Diagrama procés**

- 10.3. Zona 100**
- 10.4. Zona 200**
- 10.5. Zona 300**
- 10.6. Zona 400**
- 10.7. Zona 800**
- 10.8. Zona 700**
- 10.9. Zona 500/900**
- 10.10. Zona 1200**

CAPÍTOL 11: MANUAL DE CÀLCULS

- 11.1. Càlcul del gruix dels equips**
- 11.2. Càlcul de pesos**
- 11.3. Tancs d'emmagatzematge**
- 11.4. Equips principals**
- 11.5. Càlcul bombes**
- 11.6. Càlcul dels bescanviadors**
- 11.7. Càlcul de la cambra de combustió**
- 11.8. Apèndix**

CAPÍTOL 12: BIBLIOGRAFIA

1-ESPECIFICACIONS DEL PROECTE

CAPÍTOL 1: ESPECIFICACIONS DEL PROJECTE

1.1.	Definició del projecte.....	1
1.1.1.	Bases del projecte	1
1.1.2.	Abast del projecte	1
1.1.3.	Localització de la planta	2
1.1.3.1.	Ubicació de la planta.....	2
1.1.3.2.	Infraestructures de transport	3
1.1.3.3.	Característiques climatològiques de la zona.	3
1.1.3.4.	Característiques geològiques de la zona.	4
1.2.	Mètodes de producció de caprolactama.....	5
1.2.1.	Vies d'obtenció d'hidroxilamina i ciclohexanona oxima	5
1.2.1.1.	RaschigProcess	5
1.2.1.2.	Procés BASF.....	6
1.2.1.3.	Procés DSM HPO	6
1.2.1.4.	Procés d'amoximació amb H_2O_2	7
1.2.2.	Vies de producció de caprolactama segons la transposició de Beckmann.....	8
1.2.2.1.	Beckmann en fase gas.....	8
1.2.2.2.	Beckmann en fase líquida.	10
1.3.	Descripció del procés de fabricació	11
1.3.1.	Introducció: visió general.	11
1.3.2.	Diagrama de blocs.	12
1.3.3.	Descripció detallada.....	13
1.3.3.1.	Emmagatzematge i distribució de les matèries primes	13
1.3.3.2.	Procés HPO – Obtenció de ciclohexanona oxima	15
1.3.3.3.	Transposició de Beckmann	18
1.3.3.4.	Neutralització amb NH_3	22
1.3.3.5.	Purificació de la caprolactama i acabat del producte	23

1.3.3.6.	Cristal·lització del sulfat amònic i acabat del producte.	31
1.3.3.7.	Tractament dels gasos i les aigües residuals (EDAR).....	32
1.4.	Principals usos comercials de la caprolactama	35
1.5.	Aspectes econòmics	36
1.5.1.	Capacitat	36
1.5.2.	Producció	36
1.6.	Constitució de la planta.....	37
1.6.1.	Classificació de zones.	37
1.6.2.	Plantilla de treballadors	38
1.7.	Balanç de matèria.....	53
1.8.	Especificacions i necessitats de servei al límit de la planta	75
1.8.1.	Aigua de xarxa	75
1.8.1.1.	Aigua potable per ús personal.....	75
1.8.1.2.	Aigua per al procés	75
1.8.1.3.	Aigua per la lluita contra incendis	75
1.8.1.4.	Aigua pluvial i aigua residual de la lluita contra incendis	76
1.8.2.	Fluids tèrmics.....	76
1.8.2.1.	Aigua de refrigeració	76
1.8.2.2.	Aigua de chiller.....	76
1.8.2.3.	Vapor d'aigua	76
1.8.2.4.	Aigua descalcificada	77
1.8.3.	Energia elèctrica	77
1.8.3.1.	Estacions transformadores	77
1.8.3.2.	Característiques de les línies.....	77
1.8.3.3.	Grups electrògens	77
1.8.4.	Nitrogen	77
1.8.5.	Aire comprimit.....	78
1.8.6.	Gas natural	78

1.1. Definició del projecte

1.1.1. Bases del projecte

L'objectiu principal d'aquest projecte és el disseny d'una planta química per a la síntesi de ϵ -Caprolactama. El producte en qüestió s'obté a partir de la ciclohexanona fent servir el procés emprat per DSM (Dutch State Mines). Bàsicament, aquest procés es realitza en dues etapes, la primera correspon a la generació de la ciclohexanona oxima i la segona consisteix a la obtenció de la ϵ -Caprolactama via transposició de Beckmann de la oxima generada.

Les 45000 tones de ϵ -Caprolactama produïdes cada any seran venudes principalment a fabricants de Nylon-6 ja que la caprolactama és un dels monòmers més emprats per a la seva síntesi.

Per altra banda, també s'estudiarà la viabilitat econòmica de l'alternativa proposada, tenint en compte la interacció d'aquesta amb el medi ambient, la normativa urbanística i sectorial i la seguretat e higiene en el procés de producció.

1.1.2. Abast del projecte

El projecte haurà de contemplar els següents apartats:

- Disseny i especificació de totes les unitats de procés i reacció per la producció i purificació de caprolactama.
- Disseny i especificació de tots els sistemes de seguretat i control de la planta, per un correcte funcionament d'aquesta.
- Disseny i especificació de les unitats de servei necessàries.
- Estudi de la posada en marxa, parada i operació de la planta.
- Compliment de les normatives legals vigents urbanístiques, geogràfiques i mediambientals.

1.1.3. Localització de la planta

1.1.3.1. Ubicació de la planta

La planta es troba situada al Polígon Industrial del Francolí (NYLON-66) al terme municipal de Tarragona i disposa de 53235 m² de superfície total, dels quals són edificables un 75%. A la **Figura 1.1.3.1.** es mostra el polígon industrial del Francolí i el punt on s'ubica la planta:

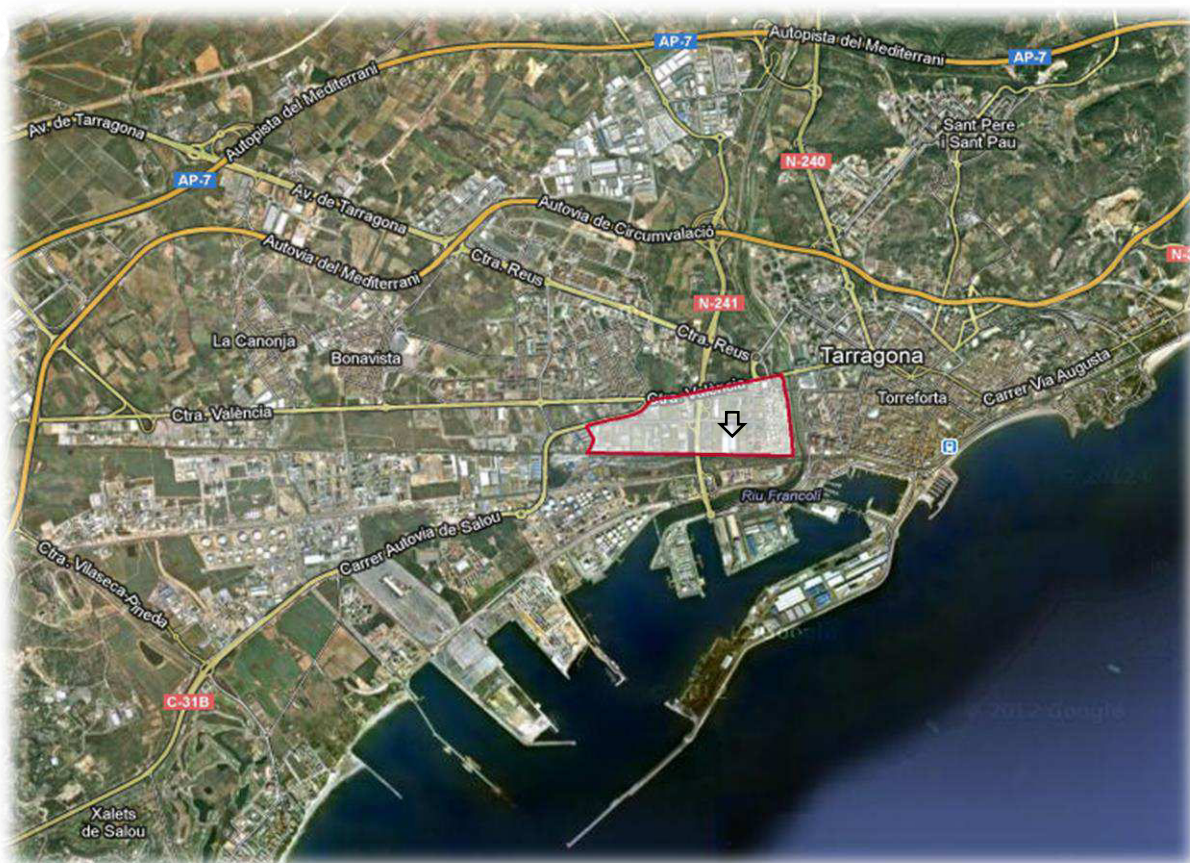


Figura 1.1.3.1.1. Localització de la planta de producció de caprolactama.

1.1.3.2. Infraestructures de transport

Per a una millor caracterització i planificació del projecte s'ha cregut convenient recopilar la informació de les infraestructures de transport més importants properes a la planta. Totes les distàncies s'han obtingut en base a la localització de la planta:

- Aeroport de Reus a 5.9 km en direcció nord-oest.
- Port de Tarragona a 1.7 km en direcció est.
- Autovia del mediterrani/ Autovia de circumval·lació a 4.2 km en direcció nord-oest.
- Autopista del Mediterrani (E-15) a 8.4 km en direcció oest.
- Estació de Tarragona (RENFE) a 2.7 km en direcció est.
- Estació del Camp de Tarragona (AVE) a 9.9 km en direcció nord-est.
- Rack de DIXQUÍMICS i ZONA SUR, C.B. son dues xarxes de canonades de distribució que arriben fins a peu de planta i permet enviar productes químics fins al port i entre empreses del polígon. La empresa gestora és AITASA (<http://www.aitasa.es>) .

1.1.3.3. Característiques climatològiques de la zona.

El terme municipal de Tarragona es caracteritza per tenir un clima mediterrani litoral amb hiverns humits i suaus i estius secs i calorosos. Aquest tipus de clima es caracteritza també per tenir una pluviometria irregular que combina períodes de sequera amb períodes amb precipitacions abundants. La precipitació mitjana anual de la regió es troba entre 500 i 600 mm i l'estació més plujosa és la tardor.

Les temperatures oscil·len entre els 34.5 i els -0.9 °C, aquestes temperatures corresponen a la temperatura màxima a l'estiu i la mínima absoluta a l'hivern, essent la temperatura mitjana anual de 16.9 °C. La humitat relativa mitjana és del 71.8% i la velocitat mitjana del vent és de 2.7 m/s bufant majoritàriament en la direcció nord-oest (NW).

1.1.3.4. Característiques geològiques de la zona.

En la **Figura 1.1.3.4.1** es pot observar el mapa de sismicitat de Catalunya entre els anys 1986 i 2000, facilitat per l'Institut cartogràfic. Es classifiquen els punts segons la magnitud dels epicentres en l'escala de Richter. D'aquesta figura i tenint en compte els antecedents anteriors a aquestes dates, es pot concloure que l'estructura de la planta no es veurà afectada per l'activitat sísmica.

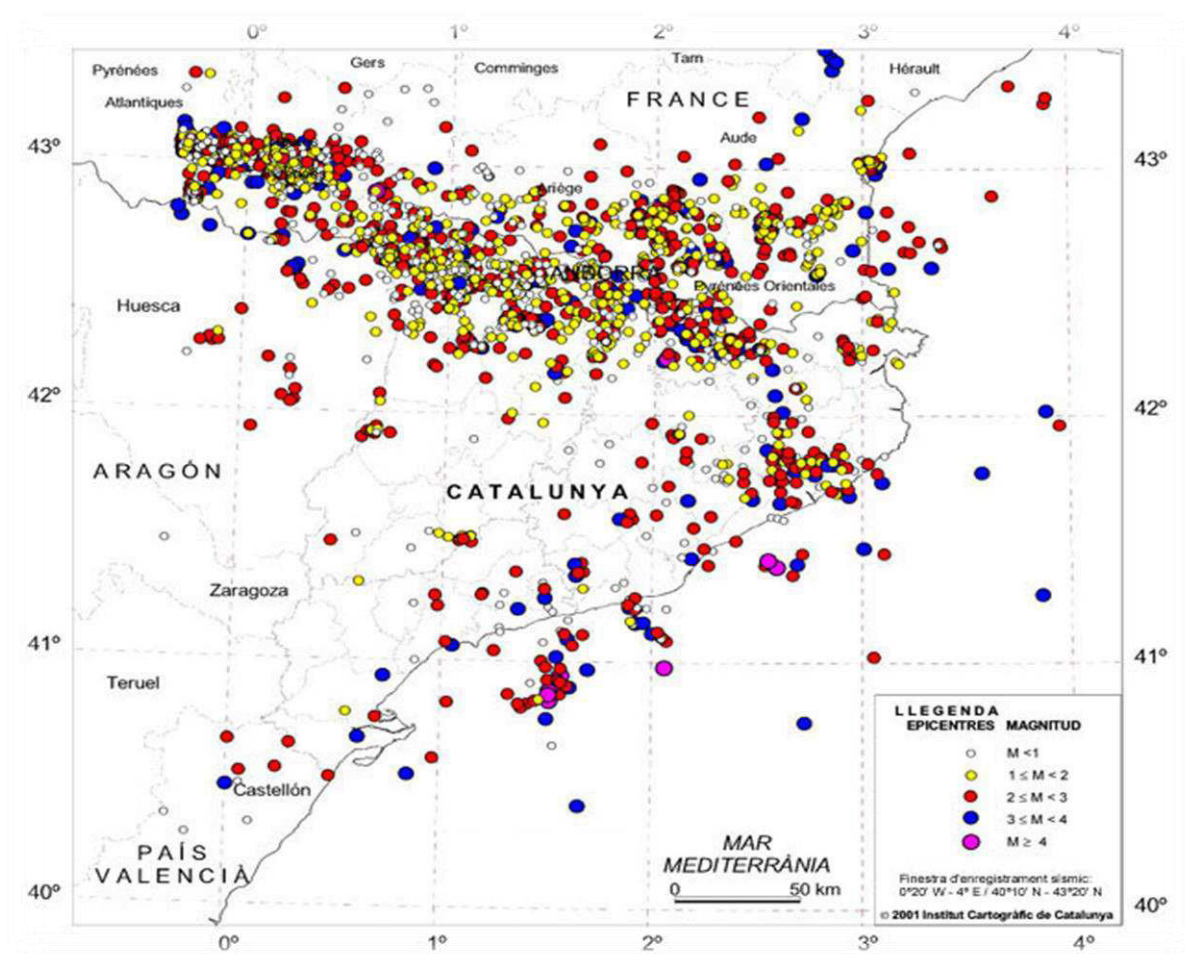


Figura 1.1.3.4.1. Activitat sísmica a Catalunya durant el període 1986-2000.

1.2. Mètodes de producció de caprolactama

En aquest apartat es resumiran les principals característiques dels mètodes d'obtenció de caprolactama que s'han consultat com a possibles vies de producció.

Aquests mètodes tenen en comú que utilitzen la ciclohexanona com a matèria prima. No obstant, utilitzen diferents vies per a la producció d'hidroxilamina i ciclohexanona oxima, intermediaris en la síntesi de caprolactama. Les 4 vies considerades són el procés Raschig, el procés BASF, el procés DSM i el procés d'amoximació amb H_2O_2 .

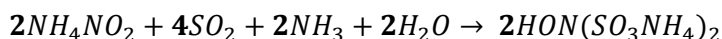
Alhora, també es fa una diferenciació entre les vies d'obtenció de caprolactama segons la transposició de Beckmann escollida (en fase gas o líquida).

En aquesta explicació s'exclouen directament les vies de producció de caprolactama que tenen un reactiu de partida diferent a la ciclohexanona. Així doncs, es descarten alternatives tals com el procés de fotooximació de Toray Industries o el procés de Snia Viscosa, que utilitzen el toluè com a reactiu de partida.

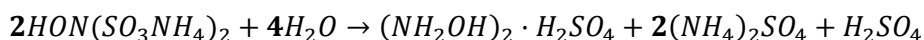
1.2.1. Vies d'obtenció d'hidroxilamina i ciclohexanona oxima

1.2.1.1. RaschigProcess

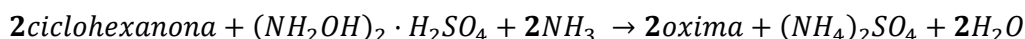
En aquesta via, el nitrit d'amoni (NH_4NO_2) es redueix amb diòxid de sofre per obtenir diamoni sulfat d'hidroxilamina o sulfat d'hidroxilamina $HON(SO_3NH_4)_2$:



A continuació el sulfat d'hidroxilamina es hidrolitzat amb aigua, obtenint una solució àcida de sulfat d'hidroxilamina:



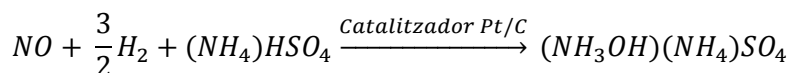
Finalment, el sulfat d'hidroxilamina reacciona amb la ciclohexanona per formar ciclohexanona oxima. A fi de mantenir el pH a un valor constant de 7, s'addiciona contínuament NH_3 , fet que comporta la formació de $(NH_4)_2SO_4$:



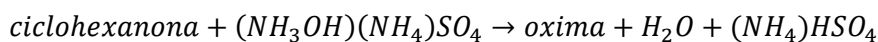
El principal inconvenient del procés Raschig és l'obtenció de grans quantitats de sulfat d'amoni. Concretament, es produeixen aproximadament 2.9 quilograms de sulfat amònic per quilogram de caprolactama. Tenint en compte, la poca sortida comercial d'aquest compost, es descarta aquesta via d'obtenció de ciclohexanona oxima.

1.2.1.2. Procés BASF.

Amb l'objectiu de reduir la quantitat de sulfat amònic format, la BASF va desenvolupar un nou procés basat en la hidrogenació catalítica de NO i en la oximació àcida, evitant la neutralització. La primera reacció correspon a la hidrogenació catalítica de NO, en una solució amb hidrogen sulfat d'amoni. El catalitzador utilitzat és de platí en suport de carboni:



Seguidament, ciclohexanona reacciona amb el sulfat d'hidroxilamina i amoni $((NH_3OH)(NH_4)SO_4)$ per formar la ciclohexanona oxima:



Tal i com es pot observar juntament amb la oxima s'obté aigua i es recupera l'hidrogen sulfat d'amoni. Un cop separada l'oxima, la solució d'hidrogen sulfat d'amoni es recircula a la zona de formació d'hidroxilamina.

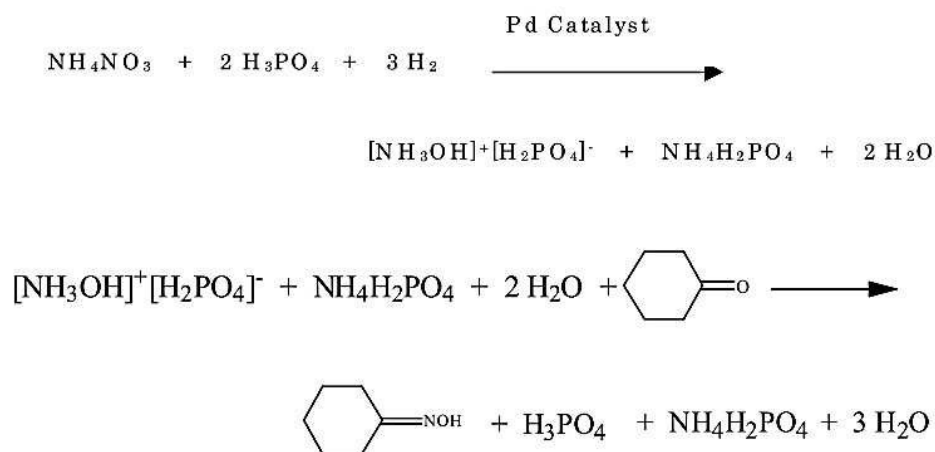
En aquesta part del procés, la neutralització de l'hidrogen sulfat d'amoni no es necessària per recuperar la ciclohexanona oxima, i per tant, la formació de sulfat amònic és nul·la. Ara bé, per tal d'aconseguir una conversió del cent per cent de ciclohexanona és generen aproximadament 0.1 tones de sulfat d'amoni per cada tona de caprolactama ja que, cal realitzar la oximació seguint la via clàssica.

Pel que fa a l'elecció de la via de producció, aquesta mínima quantitat de sulfat amònic formada en el procés BASF és suficient com per descartar-lo front el procés HPO. Un altre motiu per descartar aquesta alternativa és que cal utilitzar monòxid de nitrogen que s'obté de l'oxidació de l'amoníac amb aire. Aquesta reacció es du a terme a molt altes temperatures, més de 800 °C, i es generen productes no desitjats, en aquest aplicació, com seria el diòxid de nitrogen que podrien suposar un problema en la operació de la planta

1.2.1.3. Procés DSM HPO

La via proposada i desenvolupada per STAMICARBON BV, filial de concessió de llicències de DSM, difereix de les dos vies anteriors en que no genera sulfat amònic. La producció d'hidroxilamina pel procés HPO consisteix en la hidrogenació catalítica de l'ió nitrat (NO_3^-) en una solució també formada per àcid fosfòric i nitrat d'amoni. El catalitzador utilitzat és de pal·ladi en suport de carboni.

La hidroxilamina fosfat resultant s'envia a la zona d'oximació on reacciona amb ciclohexanona per formar la ciclohexanona oxima.

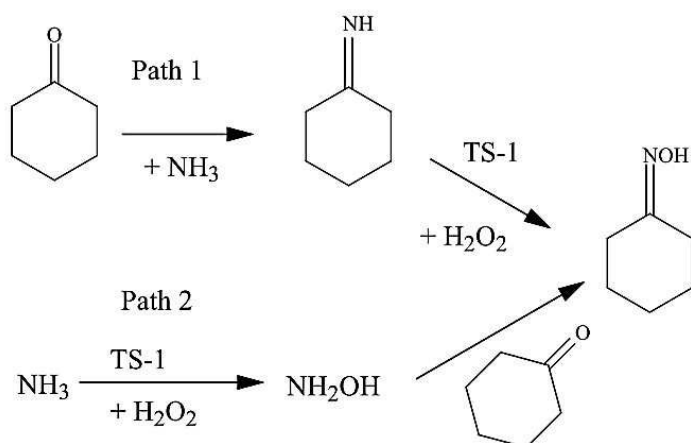


Un cop separada l'oxima, els ions nitrats consumits en la producció d'hidroxilamina, es formen de nou a partir d'àcid nítric, segons la reacció:



1.2.1.4. Procés d'amoximació amb H₂O₂

L'amoximació de la ciclohexanona és una altra alternativa de producció de la ciclohexanona oxima. Aquesta via de producció es basa en fer reaccionar la ciclohexanona amb peròxid d'hidrogen i amoníac sobre un catalitzador format per silicats de titani (TS-1). S'han proposat dos camins de reacció pel procés d'amoximació (Path 1 and Path 2):



El catalitzador pot ésser generat dins la mateixa planta i els reactius utilitzats eviten la formació de sulfat d'amoni en aquesta part del procés.

Ara bé, aquesta via presenta certes característiques que indueixen a la seva exclusió com són l'elevat temps de generació del catalitzador i les seves condicions d'emmagatzematge, a més de l'elevat cost de fabricació. També constitueixen un inconvenient les nombroses reaccions laterals que es poden produir i el fet de que requereix un elevat temps de reacció per a obtenir la oxima.

En quant a la generació del catalitzador s'ha vist que es requereixen 72 hores a 170°C, més 12 hores d'assecatge a 120°C i aquestes partícules catalítiques han de ser calcinades posteriorment a 550°C durant 24 hores. A més, cal una activació posterior fent un rentat amb peròxid d'hidrogen diluït en àcid sulfúric i una altra calcinació durant 24h. Segons la bibliografia consultada (vegeu el Capítol 12) en el cas que es vulgui reutilitzar el catalitzador cal una regeneració amb CaO i 580 °C que són condicions d'operació bastant dràstiques. En aquesta via cal treballar amb un reactor on el catalitzador es troba en suspensió. Aquest catalitzador s'hauria de conservar sec i s'hauria d'evitar l'absorció d'humitat.

Per altra banda s'ha observat que el nombre de unitats necessàries per aconseguir una elevada puresa del producte és considerable i es requereix un sistema multifàsic on es treballa amb aigua i diversos dissolvents orgànics, t-butanol o ciclohexà, i toluè (article Ammoximation of Cyclohexanone to Cyclohexanone Oxime Catalyzed by Titanium Silicalite-1 Zeolite in Three-phase System). A banda de les unitats de reacció cal tenir en compte els equips necessaris per a la formació del catalitzador així com la seva regeneració i recuperació. A més a més, es requereixen diverses matèries primeres, ortosilicat de tetraetil i titanat de butil amb hidròxid de tetrapropilamoni com a suport, per a sintetitzar el catalitzador a banda del H₂O₂ i l'NH₃.

Tenint en compte les condicions d'operació necessàries, els problemes operacionals derivats de treballar amb un catalitzador lliure, l'elevat temps de generació del catalitzador i les nombroses reaccions laterals que generen productes contaminants es decideix descartar aquesta alternativa.

1.2.2. Vies de producció de caprolactama segons la transposició de Beckmann.

1.2.2.1. Beckmann en fase gas

La transposició de Beckmann en fase gas per a la producció de ϵ -caprolactama consisteix en posar en contacte la oxima de la ciclohexanona amb un catalitzador sòlid, treballant en fase gas, amb la presència d'alcohols i/o èters. Aquesta via suposa una alternativa a la transposició de Beckmann tradicional i busca evitar la formació de sulfat d'amoni i la utilització de substàncies perilloses com és el cas de l'òleum.

Aquest sistema proposa l'addició de compostos nitrogenats com l'amoníac, les metilamines i la mateixa ϵ -caprolactama per tal d'obtenir una elevada selectivitat i allargar la vida del catalitzador obtenint-se, a més, una elevada conversió. S'aconsella treballar amb amoníac o metilamines preferiblement, i a més, s'aconsella una proporció inferior a un mol per mol de oxima (el rang òptim es troba entre 0.001-0.8 mols per mol d'oxima). En quant als alcohols es recomana que tinguin 6 o menys carbonis i els millors resultats s'obtenen amb metanol i etanol. Si es volen utilitzar èters és preferible que aquests tinguin un grup metil o etil en una de les dues cadenes.

En el cas de tenir gasos inerts com el N_2 , diòxid de carboni, benzè o toluè no hi ha problemes derivats de la seva presència ja que aquests actuen com a diluents i no interfereixen en el procés de transposició. La reacció de transposició pot tenir lloc dins un reactor de llit fluiditzat o bé dins un reactor de llit fix. El catalitzador sòlid utilitzat consisteix en una zeolita (metal·lo silicats).

Es pot treballar amb una barreja de l'oxima i el compost nitrogenat o amb ambdues substàncies per separat. En el segon cas l'alimentació dels compostos nitrogenats en el reactor es faria mitjançant càrregues mentre que, l'oxima entraria en continu. En el cas de voler treballar amb un llit fix la barreja d'ambdues substàncies ha de tenir un elevat grau d'agitació abans de fer-la circular a través del llit.

Per altre banda, les condicions d'operació consisteixen en una temperatura entre 300 i 400 °C i una pressió reduïda, atmosfèrica o a sobrepressió. Prèviament a la purificació cal refredar i condensar els gasos de reacció obtinguts i recuperar i recircular els compostos nitrogenats.

Ara bé, aquesta alternativa presenta certs problemes que compliquen la operació. Un d'ells és que el temps de regeneració del catalitzador és molt elevat ja que es proposa que un cop s'hagi acabat la reacció el llit empaquetat s'escalfi a 430°C alimentant nitrogen, metanol i aire durant 23 hores per tal d'eliminar els materials carbonosos que s'han format. Després cal disminuir la temperatura fins a 350°C introduint una corrent de nitrogen gas durant una hora per tal de escalfar el reactor.

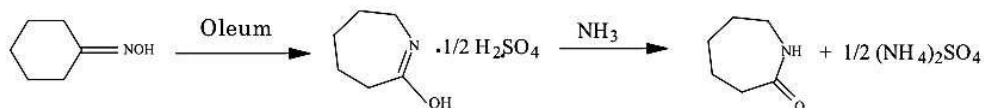
El tractament tèrmic dura 23 hores si el temps de reacció és de 6.25 hores i, en canvi, si dura 96 hores el temps de reacció pot ser de 45 hores. En quant als cicles d'operació, en el primer cas es realitzen fins a 30 vegades la reacció i la neteja passant d'una conversió de 95 a 70% mentre que la selectivitat es manté constant. Però, quan es treballa amb els temps de reacció més elevats el nombre de cicles experimentats es de quatre produint-se una disminució de la conversió del 95 al 80%.

El fet d'haver de treballar de manera discontinua, la falta d'aplicació d'aquesta tecnologia a escala industrial i haver de treballar en un reactor multifàsic amb un llit fluiditzat fan que es cregui poc convenient utilitzar aquesta via de producció.

1.2.2.2. Beckmann en fase líquida.

La caprolactama es produïda en el procés de transposició de Beckmann, on es necessiten grans quantitats d'àcid sulfúric o òleum, com a promotor de la reacció.

Al ser obtinguda en la seva forma sulfatada, es necessària una neutralització amb amoníac, fet que provoca la producció de quantitats enormes de sulfat amònic, fins el punt que per cada kg de caprolactama, sen formen entre 1,6 i 1,8 de sulfat amònic:



Tot i la reduïda sortida comercial del sulfat amònic, el mercat d'aquest subproducte es suficientment gran per absorbir aquesta producció i per tant, la seva formació no suposa un problema. Tenint en compte aquest fet i considerant també els nombrosos inconvenients de la transposició de Beckmann en fase gas, s'ha decidit seleccionar aquesta via, com a procés d'obtenció de la caprolactama.

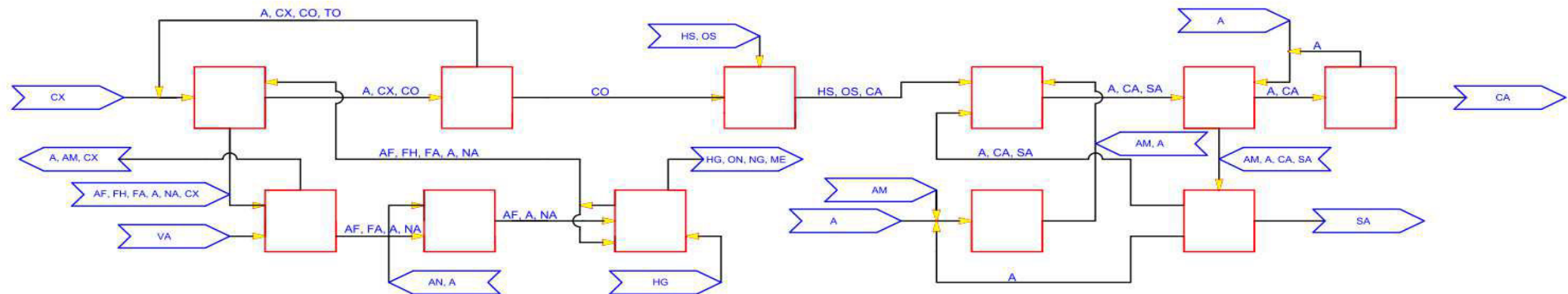
1.3. Descripció del procés de fabricació

1.3.1. Introducció: visió general.

La síntesi de Caprolactama a partir de Ciclohexanona des de un punt de vista general es pot entendre com un procés amb dos passos, tal i com ja s'ha esmentat anteriorment. El primer pas consisteix en generar la ciclohexanona oxima emprant el mètode descrit en el Procés DSM HPO, via a través de la qual s'obté la oxima sense generar sulfat d'amoni. En canvi, el segon pas consisteix en obtenir la Caprolactama a partir de la transposició de Beckmann en fase líquida i una neutralització posterior.

Finalment, la barreja obtinguda en la neutralització és tractada mitjançant una decantació i tres extraccions per tal de separar el sulfat d'amoni de la Caprolactama. Un cop es separen ambdós productes es realitzen diferents tractaments per tal d'obtenir els productes el més purs possibles. En el cas de la Caprolactama es realitza una extracció dels ions sulfat i els ions amoni mitjançant dues columnes de bescanvi iònic i, seguidament, es realitza una evaporació per obtenir la caprolactama fosa i així, poder obtenir el producte final després de passar per una escamadora. Per altra banda, el sulfat d'amoni obtingut dins una solució aquosa és fa cristal·litzar mitjançant una sèrie de dos cristal·litzadors i es separen els cristalls mitjançant dues centrifugadores.

1.3.2. Diagrama de blocs.



A	Aigua
AM	Amoniac
AF	Àcid fòsforic
AN	Àcid nítric
CA	Caprolactama
CO	Ciclohexanona Oxima
CX	Ciclohexanona
FA	Dihidrogenfosfat d'amoni
FH	Dihidrogenfosfat d'hidroxilamina
HG	Hidrogen
HS	Àcid sulfúric
ME	Gas metà
NG	Nitrogen gas
NA	Nitrat amònic
ON	Òxid de dinitrogen gas
OS	Òxid de sofre
SA	Sulfat d'amoni
TO	Toluè
VA	Vapor d'aigua

1.3.3. Descripció detallada.

Per tal de proporcionar una descripció més acurada es distribueix el procés de fabricació en set parts:

- Emmagatzematge i distribució de les matèries primes
- Procés HPO – Obtenció ciclohexanona oxima.
- Transposició de Beckmann.
- Neutralització amb NH_3 .
- Purificació caprolactama i presentació del producte.
- Cristal·lització sulfat d'amoni i presentació del producte.
- Tractament dels gasos i les aigües residuals (EDAR).

A cada part es realitzarà una descripció detallada de cada equip i les principals característiques del procés que s'hi dur a terme.

1.3.3.1. Emmagatzematge i distribució de les matèries primes

A primera vista es pot considerar l'emmagatzematge i distribució de les matèries primes com un tema poc rellevant en la manufactura de la caprolactama fet que, es podria considerar un error important. El correcte emmagatzematge de les matèries primes, el seu estat físic i les seves propietats en les condicions de conservació i distribució representen un ens important a la hora de dissenyar la resta dels equips de la planta. Per exemple, la temperatura a la que s'alimenti un reactiu pot influir directament en la temperatura a la qual opera al reactor o per exemple les condicions d'operació (adiabàtiques, isotermes o intermèdies).

Un altre fet a tenir en compte en l'emmagatzematge de compostos químics és la incompatibilitat d'algunes substàncies, fet que es detallen el capítol de Seguretat i Higiene (Capítol 5). També és important conèixer quins són els materials que cal utilitzar i els sistemes de seguretat que requereix cada tanc. Així doncs, a continuació es procedirà a detallar la distribució en la planta dels diferents tancs i sistemes de distribució juntament, amb les principals característiques d'aquests. Abans però, cal esmentar que les dimensions dels diferents tancs han estat realitzades per tal de garantir el funcionament de la planta durant tres dies.

La distribució de les matèries primes ve determinada per la compatibilitat que hi ha entre unes i les altres. La distància d'aquests tancs amb la zona en que serà emprat cada compost també ha estat un factor a tenir en compte per tal de reduir les distàncies entre els tancs i les unitats de procés, en la mesura del possible.

Cal esmentar que alguns compostos tenen grans restriccions en la seva posició degut a la seva perillositat i, per tant, requeriran unes distàncies mínimes necessàries per garantir la seguretat. En aquest cas, s'ha distribuït els tancs d'emmagatzematge en dos parcs diferents, tal i com es pot observar al Layout de la planta (Plànol n°1 del Capítol 1) , per a garantir una millor distribució i, en alguns casos allunyar al màxim compostos d'alta reactivitat a més evitar possibles problemes d'incompatibilitat.

La zona 700 compren el parc de tancs d'emmagatzematge de l'àcid nítric, òleum i l'àcid fosfòric. Aquest parc es troba molt proper a la zona 100, referida a la zona d'oximació, en la qual és necessari l'ús de l'àcid nítric i l'àcid fosfòric. El motiu pel qual s'han separat aquests tres compostos és degut a que són productes considerats del mateix tipus, compostos tipus D. Per altra banda, un dels motius principals pels quals s'ha disposat l'àcid nítric en aquest parc de tancs és a causa de que reacciona violentament amb la ciclohexanona. D'aquesta forma s'ha garantit que el contacte dels dos compostos en cas de fuga no sigui impossible i, conseqüentment, és redueix el risc associat.

Els tancs de la zona 700 treballen a temperatura ambient i a pressió atmosfèrica, en el cas dels tancs d'òleum aquests requereixen un recobriment de PTFE i una gran estanqueïtat degut a que l'òleum no pot entrar en contacte amb l'aigua. En cas de contacte, es produeix una reacció extremadament violenta i exotèrmica és per aquest motiu que és necessari afegir una protecció addicional i garantir que aquesta reacció no es produirà en cap cas. Aquesta característica també s'ha tingut en compte en les mesures de protecció contra incendi.

A l'altre parc de tancs d'emmagatzematge, denominat com a zona 800, es situen els tancs d'hidrogen, toluè, ciclohexanona i amoníac. Els tancs es disposen, tal i com s'han mencionat, tenint en compte que l'amoníac es trobarà més allunyat de l'entrada de la planta.

Tal i com ve determinat a la ITC MIE-APQ-4, l'amoníac ha d'estar situat a 75 m de distància de les zones de pas de tràfic dens i a uns 20 m de les vies públiques de circulació ràpida. A banda d'això, l'amoníac presenta distàncies més grans amb la resta de tancs i que la resta de substàncies degut a la seva perillositat.

Els tancs d'emmagatzematge d'amoníac son tancs criogènics, equips que operen a una pressió elevada que està estretament lligada amb la temperatura que requerirà el compost per estar líquid. Tot i així, la temperatura requerida serà baixa. Les línies que van cap al procés es troben a 5°C per tal de garantir aquesta temperatura d'entrada al reactor RE-303.

Cal mencionar que els tancs d'hidrogen també emmagatzemen aquesta substància a una pressió determinada per mantenir l'hidrogen pressuritzat, reduint el volum ocupat. L'hidrogen anirà a procés a temperatura ambient directament cap a la columna de bombolleig, CB-101, on es realitza l'oximació de la ciclohexanona.

En aquest parc de tancs s'han ubicat dos compostos de tipus B1, l'hidrogen i el toluè, que requeriran unes mesures determinades de seguretat específiques, tal i com s'especifica a ITC MIE-APQ-1, degut a que són altament inflamables i generen atmosferes explosives amb l'oxigen. Aquesta característica requerirà l'inertització d'aquests tancs amb nitrogen per tal de desplaçar l'oxigen i que els compostos no disposin l'oxigen necessari per crear aquestes atmosferes explosives.

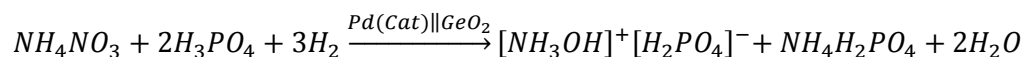
En el cas, del toluè, aquestes condueix a la unitat de procés RE-102 durant la posada en marxa. Tot seguit, el toluè circularà per un circuit tancat i participarà a la zona 100 i a la zona 400, d'oximació i d'extracció. Es important afegir que ambdós circuits treballen independentment per de simplificar la operativa i reduït la complexitat del tractament d'aquestes corrents si fos necessari. Ara bé, ambdós circuits disposen d'una purga i una entrada neta de toluè per tal de tenir un major control del procés de manufactura i de la qualitat del producte final.

1.3.3.2. Procés HPO – Obtenció de ciclohexanona oxima

La descripció d'aquesta part del procés es realitza en funció de cada equip del procés.

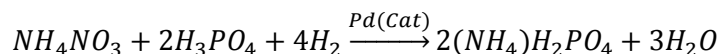
Columna de Bombolleig (Equip CB-101)

En aquest equip s'introdueix un corrent amb nitrat d'amoni i àcid fosfòric, juntament amb hidrogen gas. La columna opera a 68°C i l'hidrogen s'introdueix mitjançant un sistema de difusors a una pressió de 26.15 atmosferes. La reacció es dur a terme en presència d'un catalitzador de pal·ladi en suport de carboni i d'un promotor de GeO₂ mitjançant els quals es produeix la reacció de formació d'hidroxilamina:

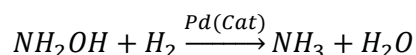


També es produeixen les següents reaccions laterals:

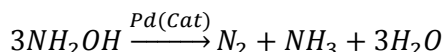
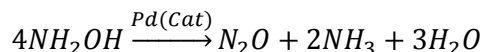
-Reacció que es produeix en paral·lel, producció d'amoni.



-Reacció que es produeix amb una hidrogenació consecutiva de l'hidroxilamina.



-Reaccions que es produeixen en absència d'hidrogen a la superfície del catalitzador, descomposició catalítica de la hidroxilamina.



Com es pot observar al diagrama de blocs, hi ha una recirculació parcial del gas no reaccionat i una recirculació parcial del corrent líquid, juntament amb el catalitzador. El gas que no ha reaccionat es comprimeix (CM-101) i es separa del nitrogen, l'òxid de nitrogen (IV) i del metà mitjançant una filtre de membrana (FM-101). Aquest equip permet separar l'hidrogen del metà, el nitrogen i el N₂O mitjançant la difusió d'aquest a través de la membrana. Seguidament es torna a comprimir (CR-102) abans de mesclar-se amb la corrent d'entrada neta de hidrogen al reactor. És important afegir que s'ha decidit elevar la complexitat en l'operativa d'aquesta columna mitjançant aquest sistema de reaprofitament degut a que una quarta part de l'hidrogen no reacciona. Tot i els costos associats al filtre de membrana i als compressors són elevats l'estalvi obtingut al recircular i reaprofitar l'hidrogen és molt superior.

Per altra banda, el corrent de sortida d'aquesta columna de llit fluïditzat, s'envia al filtre de espelma FI-101 on es separa el catalitzador per tal de poder-lo reutilitzar de nou.

Finalment, cal esmentar que el catalitzador emprat presenta una selectivitat de l'hidrogen respecte la formació d'hidroxilamina d'aproximadament el 85%, que després de 10 mesos d'operació es veu reduïda al 83% degut a la desactivació del catalitzador. Aquesta progressiva desactivació és disminueix mitjançant l'addició de catalitzador i promotor en el CB-101 mitjançant la mescla d'aquests dins el tanc de mescla TM-101.

Reactor RE-101 i RE-102 – Formació de la ciclohexanona oxima.

En aquests dos equips es produeix una de les reaccions principals del procés de manufactura, la formació de la ciclohexanona oxima. Ambdós reactors tenen un volum de 40 metres cúbics i treballen a una temperatura de 95 °C, a més, cada un d'aquests equips disposa d'un decantador, DE-101 i DE-102, on es separa la fase orgànica de la fase aquosa. La fase orgànica conté toluè, oxima, ciclohexanona, una petita quantitat de la mescla aquosa que s'ha dissolt i la resta de compostos orgànics que es produeixen mitjançant reaccions laterals que es descriuen en l'article *The catalytic reduction of nitrate and nítric oxide to hydroxylamine: kinetics and mechanism.*

En el primer dels reactors s'hi introdueix la fase aquosa provinent de la columna de bombolleig, amb tota l'hidroxilamina, que es barreja amb la fase orgànica provinent del decantador DE-102. Aquí es produirà la primera reacció amb la ciclohexanona que no hagi reaccionat en el segon reactor. El corrent de sortida s'envia al decantador DE-101 on es separaren la fase orgànica que conté la oxima de la fase aquosa. En aquest cas la fase aquosa s'envia al RE-102 on juntament amb el corrent de ciclohexanona pura s'acaba de fer reaccionar l'hidroxilamina que no ho ha fet en el primer reactor. Per altre banda, la fase orgànica del decantador DE-101 va a parar a la torre de destil·lació que és on es separa la ciclohexanona oxima del toluè i la ciclohexanona restants.

La sortida del segon reactor correspon a l'entrada del segon decantador DE-102, on la fase orgànica entra al primer reactor i l'aquosa se'n va cap a *l'Stripping*, on s'eliminarà tota la ciclohexanona, oxima i hidroxilamina que quedi.

Torre de destil·lació (TD-101)

A l'equip TD-101 s'extreu la major part de la ciclohexanona i toluè de que conté el corrent de sortida del decantador DE-101, deixant així un corrent pur de ciclohexanona oxima com a entrada als reactors Beckmann.

La finalitat d'aquest equip és evitar que en la transposició de Beckmann entrin altres compostos a part de la ciclohexanona oxima. A la torre de destil·lació s'aconsegueix separar la oxima de la fase orgànica provinent dels reactors de formació de la oxima que conté, a més d'oxima i toluè, ciclohexanona i aigua. És important que la oxima obtinguda tingui la mínima quantitat d'aigua possible ja que, com menor sigui el percentatge d'aquest component en la ciclohexanona oxima menys quantitat d'òleum es requerirà per a la neutralització i per tant, és redueix la quantitat de sulfat d'amoni produït.

El cabal a destil·lar és de 13025 quilograms per hora i aquest, s'alimenta a l'equip TD-101 on mitjançant divuit plats (quinze etapes d'equilibri reals) es separa la ciclohexanona oxima de la resta de components. La torre té una alçada de 11.6 metres, un diàmetre de 1.7 metres, una àrea de contacte efectiva de 1.9 m^2 i un espaiat entre plats de 0.6 metres. El tipus de plats que utilitza són plats perforats amb orificis de 0.24 m^2 .

Les corrents de sortida que s'obtenen són, per la part inferior ciclohexanona oxima, 6407 kg/h a 208°C (que correspon a la temperatura a la que opera el reboiler), que es dirigeix cap a la zona 200 on es realitzarà la transposició de Beckmann i per la part superior el toluè, la ciclohexanona i l'aigua. Concretament, aquesta corrent té un cabal de 6620kg/h i es troba a una temperatura de 95°C (temperatura a la que surt del condensador) seguidament, s'envia cap als reactors d'oximació.

Columna Stripping ST-101

La funció d'aquest equip és la de separar la ciclohexanona, l'oxima i l'hidroxilamina del corrent aquós que surt del decantador DE-101. Per això s'utilitza una columna de plats perforats amb un reboiler que opera a 133°C i 3 bars de pressió. En aquesta columna es produeix l' hidròlisis de l'hidroxilmina a amoníac, i de la ciclohexanona oxima a ciclohexanona més hidroxilamina (on aquesta última també s'hidrolitza).

Per tant, el vapor d'aigua format s'emporta la ciclohexanona i l'amoníac per solubilitat, deixant un corrent de sortida amb una quantitat menyspreable de ciclohexanona.

Aquesta columna presenta quinze plats de contacte (dotze etapes d'equilibri) amb una distància de 0,6m entre plats i una àrea de contacte de 0,76 m² cada un. L'alçada de la columna és de 11,38m amb un diàmetre de 1,067m.

Reactor (RE-103) - formació del nitrat d'amoni

En aquest últim equip de la zona 100 és on es produeixen els nitrats en forma de nitrats d'amoni els quals s'utilitzaran a la columna de bombolleig per la producció de l'hidroxilamina. Aquest és un reactor pel que entren dos corrents, un primer d'àcid nítric al 60% en pes a condicions ambient (T=25°C i P=1atm) i un altre corrent de procés a 96,97°C i a 2,77 atmosferes de pressió.

El corrent de sortida d'aquest equip està a una temperatura fixada de 68°C, que es manté gràcies a quatre mitges canyes com a sistema de refrigeració, a fi d'eliminar una petita exotèrmia deguda a la reacció. Aquesta reacció és la següent:



El reactor té un volum de reacció de 40 m³ i un volum total de 55 m³, amb un diàmetre intern de 3,6 metres i una alçada total de 5,9 metres.

1.3.3.3. Transposició de Beckmann

En aquest subapartat es detallaran les característiques, condicions d'operació i requeriments de la transposició de Beckmann i la neutralització.

Tal i com s'ha esmentat anteriorment la transposició de Beckmann és una reacció essencial per a l'obtenció de la caprolactama. Aquest pas en la obtenció es troba directament relacionat amb la quantitat de sulfat d'amoni produït ja que la quantitat d'òleum consumida, durant la transposició, posteriorment s'haurà de neutralitzar. Per tant, la quantitat de òleum serà un paràmetre clau en aquesta part del procés ja que caldrà que sigui el més baixa possible però que permeti aconseguir elevats graus de conversió.

Seguint les indicacions de la patent WO 2004/103963 s'ha dissenyat un sistema de 3 reactors en sèrie on s'afegeix tot l'òleum en el primer reactor i on es reparteix l'oxima en els tres reactors amb un percentatge de 71, 16 i 13 respectivament. En cada un dels reactors es realitza un recirculació de part de la sortida per tal de que aquesta passi a través d'un bescanviador de calor i disminueixi la seva temperatura. La quantitat d'òleum afegida s'ha calculat per tal de tenir un percentatge de SO_3 entre el 9 i el 15 per cent i una relació entre caprolactama i òleum entre 1 i 1.4 en el tercer reactor.

En el text també es parla de que el percentatge de SO_3 en l'òleum ha de ser elevat per tal de minimitzar la quantitat requerida i reduint-se també la quantitat de subproducte formada. En concret, s'ha decidit treballar amb òleum amb un percentatge del 30% de triòxid de sofre ja que percentatges més elevats requereixen condicions d'emmagatzematge i manipulació més complexes.

Per altra banda, les temperatures d'operació del reactor que s'aconsellen estan compreses entre els 80 i els 120°C. En els sistemes de reactors dissenyat s'ha decidit treballar a 110 °C en el primer reactor i a 105°C en el segon i tercer, per tant, es tracta d'un sistema de tres reactors isoterms. La diferència en la temperatura d'operació es basa en el fet que és en el primer reactor on es produeix la majoria de la caprolactama, ja que s'hi introdueix una gran quantitat de oxima, fet que genera una gran quantitat de calor. Així doncs, es va decidir fixar una temperatura més elevada per tal de disminuir els requeriments del sistema de refrigeració. A través de l'estudi dels balanços de matèria en el reactor mitjançant el software MATLAB s'ha observat que a temperatures d'operació superiors a 120°C es produeixen algunes reaccions en el sentit invers disminuint dràsticament la conversió. Per tant, s'intentarà treballar a temperatures menor per tal d'evitar aquests problemes durant la operació de la planta. Un altre punt que corrobora aquesta informació és la patent US 7,351,820 B2, on recomana el rang d'entre 76 fins a 120°C.

En quant al sistema de refrigeració s'utilitzen bescanviadors de calors externs que permeten treballar amb reactors isoterms ja que la temperatura d'entrada dels diferents corrents es suficientment baixa com per mantenir una temperatura a la sortida i dins del reactor prou baixa i constant. Ara bé aquests equips duen incorporada una mitja canya per tal de disminuir la temperatura d'operació si el sistema ho requereix. Les mitges canyes dels reactors han estat dissenyades per tal de poder mantenir una temperatura d'operació prou baixa en el cas que un dels bescanviadors de calor deixés de funcionar. El fet d'elevat la complexitat d'operació dels reactors al implementar una mitja canya és basa en la premissa d'evitar que es produeixi una reacció fora de control ja que la transposició és una reacció molt exotèrmica.

Degut a les condicions d'operació aquests equips aniran aïllats amb la manta SPINTEX de la casa ISOVER més una coquilla de 3 mil·límetres de gruix en AISI 304 per tal de reduir els riscos associats a l'operació de la planta. Un altre paràmetre important en l'operació és la temperatura d'entrada de cada corrent al reactor ja que cal tenir en compte les característiques dels diferents compostos. Un exemple és la ciclohexanona oxima que té una temperatura de fusió compresa entre els 86-89 °C i, per tant, caldrà que les corrents que contenen oxima estiguin a una temperatura més elevada. En el sistema dissenyat les corrents que introdueixen l'oxima provinent de la torre de destil·lació als reactors ho fan a una temperatura de 95 °C. En canvi, les corrents recirculades a cada un dels tres reactors ho fan a 76 , 83 i 86 °C , respectivament. Seguidament, es mostra la Figura 1.3.3.3.1. on es pot observar una representació del sistema de reactors dissenyat per tal de facilitar la comprensió d'aquest subapartat.

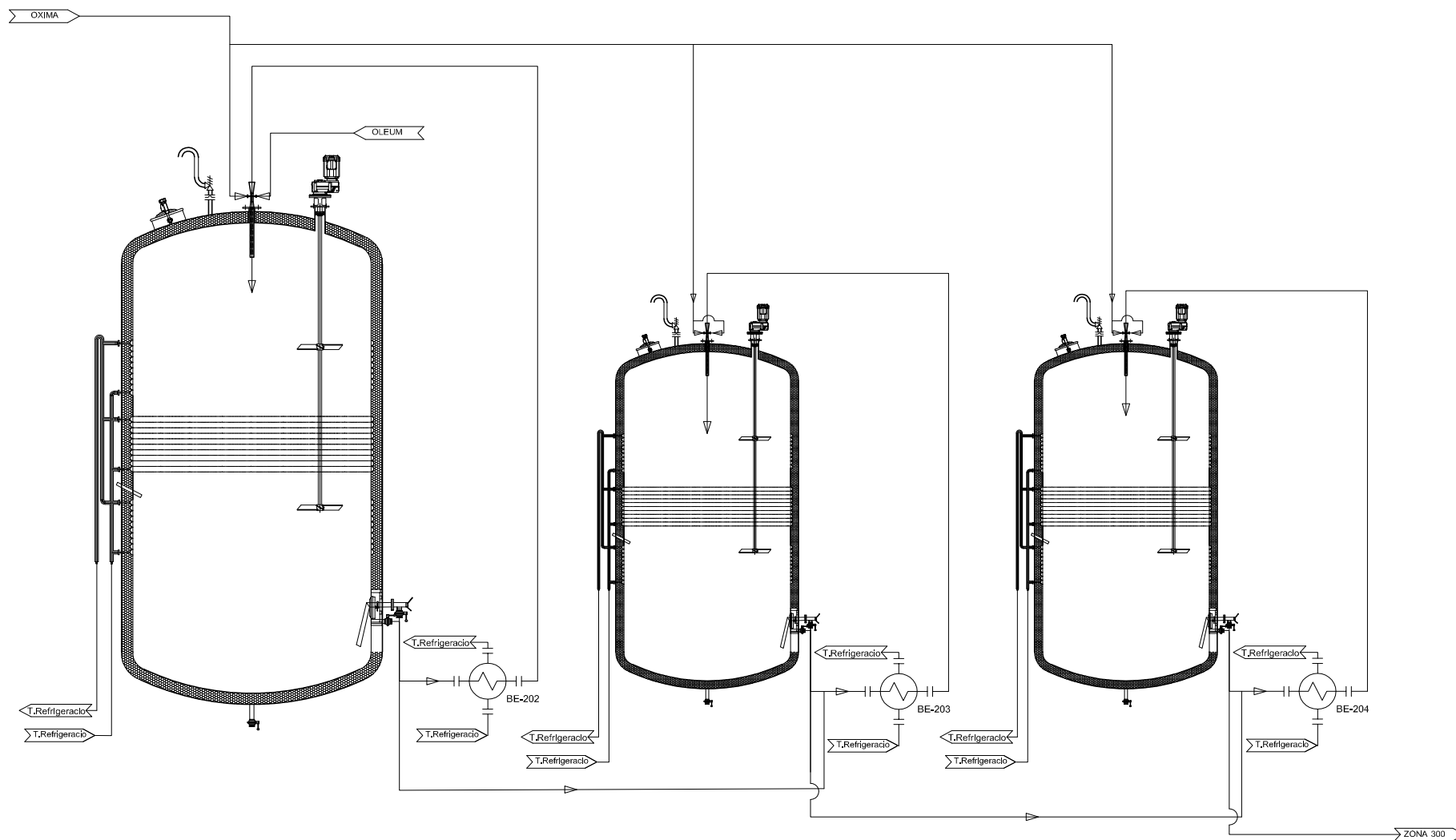


Figura 1.3.3.3.1.Plànol de distribució dels reactors on es realitza la transposició de Beckmann.

Seguidament, es mostra la Taula 1.3.3.3.1. on es recullen algunes de les principals característiques dels reactors utilitzats en la transposició de Beckmann.

Taula 1.3.3.3.1.Característiques principals dels reactors 201-3.

Equip:	Volum	Raó de recirculació	Temperatura (°C)
RE-201	12.8	0.81	110
RE-202	5	0.43	105
RE-203	5	0.37	105

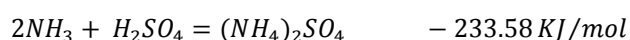
1.3.3.4. Neutralització amb NH₃

Tal i com s'ha esmentat anteriorment, un cop realitzada la transposició de Beckmann en fase líquida, la caprolactama s'obté en la seva forma sulfonada o protonada fent que sigui necessària una neutralització per tal d'obtenir-la lliure.

El primer que cal fer és que reaccioni el triòxid de sofre amb les aigües mares provinents del cristal·litzador CR-402 per produir àcid sulfúric. Aquesta reacció es porta a terme en el reactor RE-301, que s'ha dissenyat per a tenir un temps de residència de 5 minuts pel que té un volum de 22,76 m³. La temperatura de treball és de 100°C tenint en compte que, com s'ha explicat anteriorment, a 120°C pot produir-se la conversió de la caprolactama o ciclohexanona oxima. Alhora, a aquesta temperatura s'evita la solidificació de la caprolactama (69°C) i es garanteix que la solubilitat del sulfat amònic serà la major possible perquè no precipiti. Per tal de mantenir aquestes condicions cal recircular un gran cabal d'on s'elimina l'excés d'energia produïda durant la reacció permetent treballar amb reactors isoterms.



Seguidament, un cop convertit tot el SO₃ cal neutralitzar l'àcid sulfúric amb amoníac. La reacció es produeix al reactor RE-302 que opera amb un temps de residència de 10 minuts pel que té un volum de 17.37 m³ i que, igual que en el RE-301 i pels mateixos motius, es mantindrà a 100°C recirculant un cabal d'on s'extreu la calor generada. El motiu pel qual es realitza el procés de recirculació és per evitar posar un serpentí en els reactors, que estan agitats, ja que contenen àcid sulfúric i es requeririen equips més grans i complexes per a tenir prou espai per a aquests intercanviadors.



El NH₃ necessari per a la neutralització ve dissolt amb una concentració de 18.5M i es prepara prèviament al reactor RE-303. Tenint en compte que la solubilitat de l'amoníac és òptima a

20°C, el reactor s'ha de mantenir a aquesta temperatura, eliminant la calor produïda per la dissolució del gas. Per aconseguir-ho, s'emptra el mateix mètode que al dels dos reactors explicats anteriorment (recirculació amb refredament).

L'aigua utilitzada per a la dissolució és l'evaporada al cristal·litzador CR-401, juntament amb més aigua que prové de la xarxa. Ambdós compostos s'introdueixen al reactor RE-303 mitjançant un sistema d'injecció d'amoniac seguit d'un mesclador estàtic que genera un Reynolds d'agitació i, per tant, un grau de mescla molt elevat facilitant la dissolució de l'amoniac gas en aquesta corrent aquosa. El tanc està equipat amb un sistema de venteig/recirculació de l'amoniac que no dissolt, tot i que la fracció que no passa a la fase aquosa es molt baixa. La quantitat de amoniac dissolt que surt del RE-303 al RE-302 és la mínima necessària per a neutralitzar tot l'àcid sulfúric i permet que la solució resultant del RE-302 es quedi amb un pH pròxim a 4.5. Aquest pH d'operació ve determinat per la Patent 4.806.638 en la qual es refereix a aquest valor de pH com a òptim per a dur a terme la neutralització de forma eficient. Aquest reactor està dissenyat per a un temps de residència de 10 minuts pel que té un volum de 9.45 m³.

Un cop ja neutralitzat el corrent de caprolactama, aquest conté una gran quantitat de sulfat amònic en fase aquosa. Per fer-ne possible la comercialització és necessari separar aquesta caprolactama de la sal i de l'aigua que l'acompanya.

1.3.3.5. Purificació de la caprolactama i acabat del producte

Tenint en compte els requeriments de mercat, la caprolactama produïda ha de presentar un elevat grau de puresa, ja que la majoria dels consumidors es dediquen a la indústria de fabricació de fibres. Per tant, cal eliminar del producte final les impureses orgàniques, ions sulfat i amoni per, així, ampliar la quota de mercat i el preu del producte.

El cabal provinent de la neutralització conté dues fases líquides que mitjançant una decantació, que es realitza al decantador DE-401, es separarà la caprolactama de la fase aquosa que conté el sulfat amònic. Aquest equip ha estat dissenyat per a tenir un temps de residència de 30 minuts, valor que es considera suficient per separar ambdues fases, el volum de l'equip és de 11m³. Cal tenir present que aquestes dues fases, aquosa i orgànica, tenen densitats i propietats prou diferenciades com per separar-se amb el temps de residència esmentat. Malgrat aquesta separació cal que aquests corrents siguin processats en columnes d'extracció ja que la fase aquosa conté part de caprolactama i viceversa.

El corrent aquós serà l'aliment de la torre d'extracció EX-401 que utilitza toluè com agent extractor possibilitant l'extracció de la caprolactama. El residu serà tractat en els cristal·litzadors

per obtenir el sulfat amònic sòlid. En canvi, l'extracte és dirigit a la columna EX-402 ja que pot contenir traces de la sal.

El corrent de caprolactama obtingut del decantador serà l'aliment de la torre EX-402 que juntament amb el corrent de l'extracte de la torre anterior i un corrent net de toluè faran possible la separació de la part orgànica de l'aigua. L'aigua serà dirigit als cristal·litzadors tal i com es fa amb el residu de EX-401.

El corrent que conté tota la caprolactama extreta d'EX-402 és enviat a la torre d'extracció EX-403 on aquest corrent serà l'aliment i s'utilitza un corrent d'aigua pura com agent extractor fent que sigui possible la separació de caprolactama del toluè. Aquesta aigua prové part del tren d'evaporació DE-401 i una altra part és aigua pura de la xarxa. Aquesta extracció s'ha realitzat per tal d'eliminar les impureses orgàniques generades durant la transposició de Beckmann i que es troben dissoltes en el toluè. Així doncs es requereix aquesta extracció per separar el toluè i les impureses orgàniques de la caprolactama.

Com a residu s'obindrà un corrent net de toluè que serà utilitzat com extracte a les torres EX-401 i EX-402 i un altre corrent aquós que conté la caprolactama dissolta. En els plànols 2 (Diagrama de procés) i 6 (ZONA 400) es pot veure i comprendre més clarament el que s'ha explicat.

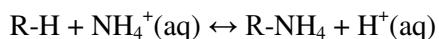
Malgrat els diversos processos de purificació, és possible que fins i tot la caprolactama dissolta contingui ions sulfat i amoni, per això el corrent es fa passar pels intercanviadors iònics IE-401/IE-402 i IE-403/IE404 on s'intercanviarà els sulfats per OH^- i els ions amoni per H^+ .

Segons la bibliografia consultada, en algun processos de manufactura de la caprolactama es realitza una hidrogenació prèvia abans del bescanvi iònic per tal d'eliminar impureses. Es va contemplar la opció de realitzar aquesta operació però es va descartar per la manca d'informació al respecte i per la complexitat que requereix. Ara bé, aquesta hidrogenació es podria afegir en futures ampliacions de la planta si els requeriments del mercat ho exigeixen.

- **Bescanvi iònic:**

Les columnes d'intercanvi iònic són equips que contenen unes matrius sòlides plenes de centres actius amb carga electrostàtica, positiva o negativa, que és neutralitzada per un ió de càrrega oposada (contraió). És en aquests centres actius té lloc la reacció d'intercanvi iònic.

Aquesta reacció s'il·lustra amb el següent exemple que consisteix en l'intercanvi entre l'ió d'hidrogen, H^+ , que es troba en els centres actius de la matriu catiònica R, i el catió NH_4^+ , present a la solució líquida que hi entra en contacte amb la matriu.



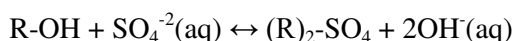
A mesura que la dissolució passa a través de la resina, els ions presents en aquesta dissolució desplacen als que estaven originàriament en els centres actius. L'eficiència d'aquest procés depèn de factors com l'afinitat de la resina per un ió en particular, el pH de la dissolució, la concentració de ions o la temperatura d'operació.

Una vegada la resina de l'intercanviador es satura s'ha de dur el procés de regeneració. Aquesta etapa de regeneració consisteix en retornar la matriu d'intercanvi iònic a la seva forma inicial, utilitzant una dissolució concentrada en l'ió originari associat a cada intercanviador.

Durant aquest procés les columnes treballaren en contracorrent i, per tant, el regenerant s'introdueix en la direcció oposada a la dissolució de carga ja que la regeneració és més ràpida i es necessita menys volum de regenerant. Tal i com s'ha esmentat anteriorment es treballa amb dos intercanviadors:

- Intercanviadors aniònics (IE-401/2)

Les resines d'intercanvi aniònic (R-OH^-) separaran els anions (SO_4^{2-}) del corrent que prové de l'extractor EX-403 i que han quedat dins l'estructura de la caprolactama, intercanviant-los per ions hidroxils. Els ions de sulfat quedaran retinguts sobre la resina. La resina aniònica es regenerarà amb una solució de NaOH al 2% i es requerirà un temps de contacte mínim de 30 minuts.



- Intercanviadors catiònics (IE-403/4)

Les resines d'intercanvi catiònic (R-H^+) separaran els cations (NH_4^+), del corrent provinent de l'intercanviador aniònic, intercanviant-los per protons. Els ions d'amoni carregats positivament quedaran retinguts sobre la resina i els protons dels centres actius passaran al medi.

La resina catiònica es regenerarà amb una solució de HNO_3 al 5% i es requereix un temps de contacte de com a mínim 30 minuts.

Descripció del procés

La barreja d'aigua i caprolactama del corrent 74, provinent de la columna d'extracció EX-403 es fa passar per les columnes d'intercanvi iònic (IE-401, IE-402, IE-403 i IE-404) per eliminar les impureses presents de sulfat d'amoni $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Encara que en els balanços de matèria de

les columnes d'extracció s'ha contemplat que la fracció de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ provinent del corrent 74 és nul·la, s'ha suposat que una petita fracció de 250 ppm de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ de la mescla no s'aconsegueix eliminar ja que queda retinguda dins l'estructura de la caprolactama.

Aquesta suposició s'ha realitzat tenint en compte que el nostre producte final de caprolactama, ha de tenir un grau molt elevat de puresa ja que serà utilitzada per produir fibres de nylon, i les bones propietats d'aquest depenen molt de la puresa de la caprolactama. El fet de tenir aquest tipus de ions dins l'estructura pot afectar a les propietats mecàniques del producte final impedit-se l'obtenció de polímers d'alta qualitat.

El corrent 74 s'introdueix per caps en IE-401 o IE-402 que correspon a l'intercanvi aniònic que es duu a terme amb la resina Amberlyst A26OH on el SO_4^{2-} de la sal dissociada queda atrapat en la resina i es bescanvia per ions hidroxils OH^- . La velocitat lineal del caudal que passa per la columna serà de 22 m/h (0.006 m/s), valor el qual es troba dins del rang de velocitats recomanat segons el fabricant. Seguidament el corrent s'introdueix per la part superior en la columna d'intercanvi catiònic (IE-403, IE-404) a la mateixa velocitat que en el cas de la columna aniònica i travessa el llit de dalt a baix i surt per la part inferior. Aquest intercanviador treballarà amb la resina Amberlyst 15WET on quedaran atrapats els ions d' NH_4^+ i es bescanviaran per protons H^+ .

Una vegada que les resines de les columnes d'intercanvi s'esgoten, es passa a la fase de regeneració. La columna que es trobava en la fase de producció passa a ser regenerada, mentre que la que estava aturada passar a estar en la fase de producció. Com s'ha dit la regeneració es fa en sentit oposat al de servei, és a dir, mitjançant la circulació en contracorrent de la solució regenerant.

Durant la regeneració, la línia regenerada romandrà aïllada del sistema de producció pel tancament i obertura de les vàlvules corresponents. Així doncs, cada parell de columnes treballarà en torns de 24 hores i després es durà a terme el procés de regeneració. En les columnes d'intercanvi aniònic el procés de regeneració durarà un temps de 165 minuts mentre que, en les columnes d'intercanvi catiònic, el temps de regeneració és de 110 minuts.

S'ha de distingir entre els dos processos de regeneració de les resines aniòniques i catiòniques ja que en cada cas el flux serà diferent i cada resina utilitzarà un tipus de regenerant diferent. En els sistemes dissenyats s'ha decidit operar durant 24 hores i així tenir temps necessari per tal de dur a terme la regeneració i assegurar una alta selectivitat en l'intercanvi. Amb aquest mètode d'operació es garanteix l'obtenció d'un producte d'alta puresa. Un altre fet a tenir en compte és que en cas d'averia, un cop transcorreguts els 165 minuts o fins i tot abans, es podrien emprar les dues columnes restants per tal de no aturar el procés.

- Resina aniònica

La instal·lació disposarà d'un dipòsit d'una capacitat de 0.020 m^3 que contindrà la dissolució de NaOH al 2% per poder regenerar la resina. Aquesta dissolució es realitzarà emprant un volum de 0.5 dm^3 de NaOH, que incorporarà un operari, concentrat al 50% i 18 dm^3 d'aigua desionitzada.

- Resina catiònica

La instal·lació disposarà també d'un dipòsit amb la dissolució de HNO_3 al 5% per poder regenerar la resina catiònica. El volum del dipòsit serà de 85 dm^3 .

La dissolució es realitzarà emprant 3 dm^3 de HNO_3 al 70% i 77 dm^3 d'aigua desionitzada.

El sistema de regeneració global consta de diferents etapes:

1. Compactació de les resines. Es fa circular a través de la columna d'intercanvi iònic un cabal d'aigua de xarxa en contracorrent, en les columnes aniòniques correspondrà a un cabal de $4.7 \text{ m}^3/\text{h}$ i en les columnes catiòniques serà de $9.5 \text{ m}^3/\text{h}$ durant 30 minuts, tot seguint les indicacions del fabricant.
2. Regeneració de la resina en contracorrent. En les resines aniòniques es farà circular la solució de NaOH al 2% amb un cabal de $4 \text{ m}^3/\text{h}$ i en les resines catiòniques el HNO_3 es farà circular amb un cabal de $6 \text{ m}^3/\text{h}$, aquestes solucions es faran circular durant 30 minuts per recomanacions del fabricant.
3. Rentat de la resina en contracorrent. S'utilitzarà aigua desionitzada on en les columnes aniòniques es farà circular durant 105 minuts amb el mateix cabal que en la regeneració. El mateix succeirà amb la columna catiònica, es farà circular l'aigua desionitzada amb el mateix cabal que en la regeneració durant 50 minuts.

Les aigües produïdes durant el procés de regeneració s'incorporaran a la sortida del digestor anaerobi on seran tractades en els reactor d'eliminació de nutrients. Per altra banda s'ha decidit mostrar la figura 1.3.3.5.1 on s'observa el procés de funcionament de les columnes per tal de facilitar la comprensió del seu funcionament.

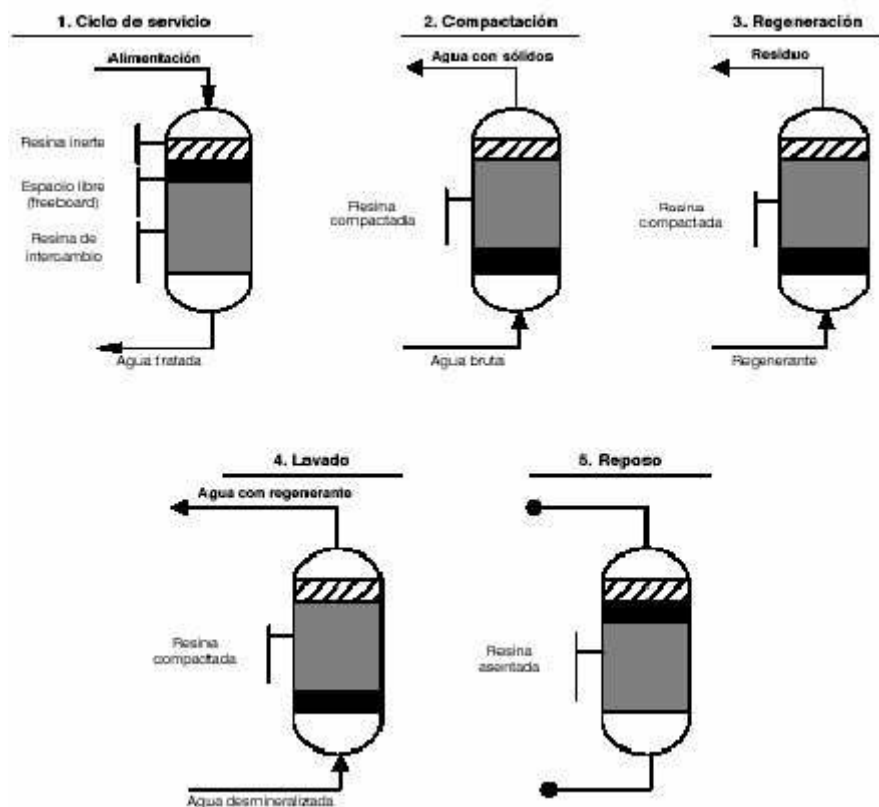


Figura 1.3.3.5.1. Procés d'operació de les columnes d'intercanvi iònic

Descripció i característiques de les columnes

En la Figura 1.3.3.5.2. es pot observar una esquema del funcionament de les columnes de bescanvi iònic descrites anteriorment.

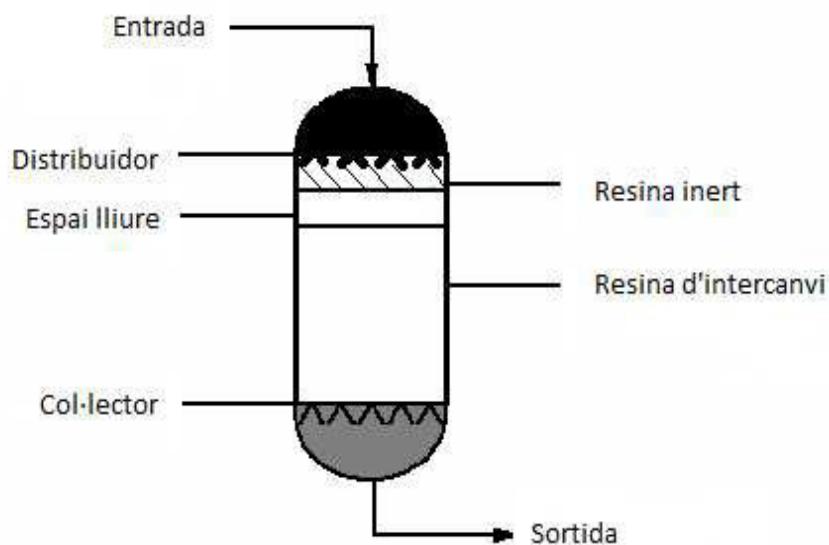


Figura 1.3.3.5.2. Procés d'operació de les columnes d'intercanvi iònic.

- Distribuïdor: permet l'entrada del corrent 74 de forma uniforme, evitant camins preferencials
- Resina inert: Té una mida d'esferes superior a les resines d'intercanvi i una densitat menor. Impedeix que la resina d'intercanvi s'escapi de la columna durant el procés de regeneració a contracorrent.
- Espai lliure (freeboard): espai lliure necessari en el procés en contracorrent
- Resina d'intercanvi iònic: Resina on es dona l'intercanvi del ions.
- Col·lector: s'encarrega de canalitzar la sortida del corrent.

Seguidament s'adjunta la taula 1.3.3.5.1 on es mostren les dimensions de les columnes:

Taula 1.3.3.5.1. Dimensions columnes

	Columna aniònica	Columna catiònica
Altura Columna (m)	1.96	2.14
Volum cilindre (m3)	1.23	1.36
Diàmetre (m)	1	0.9
Altura freeboard (m)	0.042	0.023
Altura resina (m)	0.64	1.14
Altura resina inert (m)	0.764	0.86
BV (m³)	1.2	1.35

- **Tren d'evaporació i escamadores:**

Per tal de separar la caprolactama dissolta en aigua s'ha dissenyat un evaporador (TE-401), on s'evaporarà tota l'aigua treballant a un buit de 0.38 bars i una temperatura de 75°C, degut a que la temperatura de fusió de la caprolactama és de 69°C. Aquest evaporador està dissenyat per a un temps de residència de 4 hores amb una capacitat de 90m³. D'aquest equip s'obtindrà la caprolactama pràcticament pura en fase líquida i un corrent de vapor que es condensarà i serà recirculat al EX-403 per extreure la caprolactama.

Un cop obtingut el producte final pur, cal preparar-lo per poder servir-lo en les condicions desitjades pels clients, permetent una fàcil i còmoda manipulació. El servei ha de ser en estat sòlid en forma d'escates de 10 mil·límetres. Per això, són necessàries dues escamadores GMF Gounda model K 15/20 que treballaran en paral·lel. En cas de tenir problemes amb una d'elles l'altra podrà assumir tot el cabal a solidificar ja que esta capacitada per treballar amb aquestes quantitats de caprolactama fosa. Aquests equips són estancs i se'ls introdueix nitrogen per inertitzar l'atmosfera i que no es pugui oxidar el producte.

Un cop estigui el producte final en les condicions desitjades per a la seva comercialització, el format d'empaquetament és en BIG-BAGS de 800 Kg que s'ompliran des de les sitges dissenyades que és a on es condueix la caprolactama ja solidificada. La conducció d'aquest sòlid a les sitges es fa mitjançant un transport pneumàtic amb aire i nitrogen a pressió. Inicialment, s'havia contemplat la opció de realitzar el transport mitjançant cargols sense fi però les grans distàncies entre les sitges i les escamadores, el fregament del sòlid amb el cargol sense fi i la possibilitat de que les escames per efecte del calor s'unissin entre elles va fer que es descartés aquesta alternativa. A més, cal que el transport es dugui a terme a temperatura ambient i que els cargols treballin amb una atmosfera inert o airejada ja que les altes temperatures exteriors podrien generar un sobreescalfament del producte.

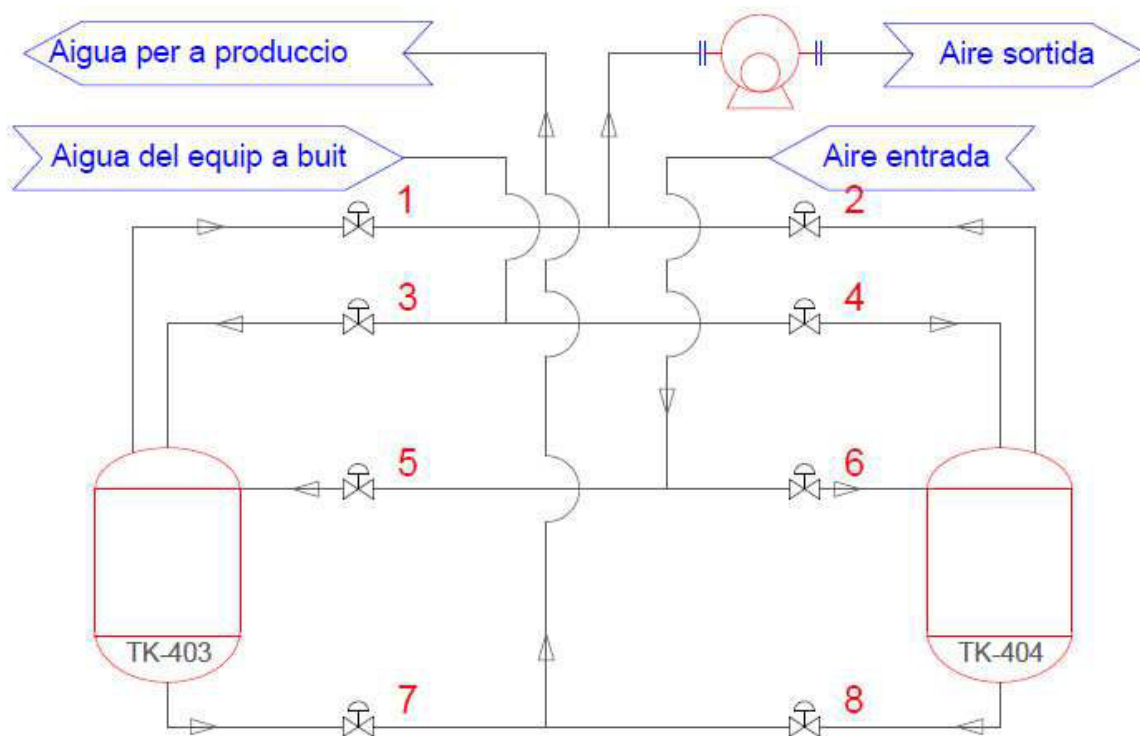
El motiu pel qual s'ha escollit el transport pneumàtic és perquè a diferència del cargol sense fi, aquest no té fregament continu entre el cargol i les escates, ni entre elles mateixes, evitant d'aquesta manera que es trenquin les escates i no puguin tenir la mida exigida pel client. Un altre raó per aquesta elecció és la seguretat durant el transport: el frec continu entre el cargol i les escates fa que s'escalfi el medi i al haver partícules petites del producte, es produiria una atmosfera amb perill d'explosió. Tenint en compte que la pols de caprolactama és inflamable, el mateix nitrogen que s'introdueix a la escamadora i que continua present en el transport, fa que el perill d'explosió sigui inexistent.

- **Equip de buit**

Per fer el buit i trencar-lo posteriorment, és necessari disposar d'una bomba de buit i dos tancs col·locats en paral·lel, juntament amb una sèrie de vàlvules i connexions que conformen el sistema que s'explica a continuació. Per facilitar l'explicació s'adjunta la imatge 1.3.3.5.3.

Vàlvules 1, 3, 6 i 8 obertes, 2, 4, 5 i 7 tancades. La bomba actua fent el buit al TK-403, que es transmet a l'equip on es desitja que s'operi a pressions baixes (tren d'evaporació TE-401). En aspirar, l'aigua d'aquest equip s'evapora parcialment i circula direcció al tanc. Abans però, passa per un intercanviador on condensa. D'aquesta manera, el tanc es va omplint mentre que la bomba segueix fent el buit. Quan el tanc està ple, automàticament es tanquen les vàlvules 1, 3, 6 i 8 i s'obren les 2, 4, 5 i 7 fent el mateix procés descrit però ara amb el TK-404, mentre el TK-403 es buida. Al obrir la vàlvula 5 s'ha trencat el buit gràcies al venteig i al obrir 7, l'aigua surt cap a l'extractor EX-403 a pressió atmosfèrica.

Un cop el TK-404 ja està ple, s'inverteixen les vàlvules i el cicle es torna a repetir indefinidament.



1.3.3.5.3 Diagrama d'equip de buit.

1.3.3.6. Cristal·lització del sulfat amònic i acabat del producte.

Les fases aquoses residuals dels extractors EX-401 i EX-402 són dirigides als dos cristal·litzadors en sèrie CR-401 i CR-402 per poder cristal·litzar el sulfat d'amoni dissolt en l'aigua i separar-los d'aquest mitjà per així poder comercialitzar-los i treure un benefici secundari.

El CR-401 treballa a buit per eliminar part de l'aigua a una temperatura de 60°C, d'aquesta manera precipitarà la sal i es podrà separar de l'aigua mare a les centrífugues. Aquest cristal·litzador està dimensionat per tenir un temps de residència de 3 hores i 15 minuts amb un volum de 44 m³. El temps de residència escollit no està basat en la velocitat de formació dels nuclis d'aquesta sal ni en la velocitat de creixement sinó que es basa en l'experiència prèvia del temps mitjà de residència emprat amb diferents cristalls d'altres sals.

La separació del sòlid de la fase aquosa es porta a terme a les centrífugues CE-401 i CE-402 que seran explicades més endavant.

La fase aquosa resultant del cristal·litzador de buit (CR-401), es refreda fins a 35°C al cristal·litzador CR-402, mitjançant un sistema de refrigeració. Al disminuir la temperatura, la solubilitat també disminueix, i precipita més sulfat d'amoni (les solubilitats en funció de la

temperatura estan exposades al full d'especificació del producte). El CR-402 està dissenyat per a un temps de residència de 3 hores i 15 minuts amb un volum de 44m³. El temps de residència s'ha escollit seguint el mateix criteri que en el CR-401.

Per poder separar les aigües mares dels sòlids s'utilitzen les centrífugues CE-401 i CE-402 , per els equips CR-401 i CR-402, respectivament. Aquestes centrífugues són fabricades per FERRUM, i corresponen concretament al model Pusher P-50. Aquests equips són capaços de separar les quantitats requerides i en cas que hi hagi algun tipus de problema amb una d'elles, una sola centrifuga disposa de capacitat suficient per a separar tot el sòlid produït en els dos cristal·litzadors.

Per últim, els cristalls són conduïts a les sitges d'emmagatzematge mitjançant cargols sense fi. Un cop a les sitges s'empaquetaran en BIG-BAGS de 800 Kg per poder comercialitzar-los. La fase aquosa resultant del CE-402 s'utilitza en el RE-301 per neutralitzar el SO₃ i l'aigua extreta del CR-401 s'utilitza juntament amb aigua de la xarxa per dissoldre l'amoníac en el RE-303.

1.3.3.7. Tractament dels gasos i les aigües residuals (EDAR)

- Tractament de gasos

Els gasos obtinguts en CB-101 del procés de producció es mostren en la taula 1.3.3.7.1

Taula 1.3.3.7.1. Gasos obtinguts en el procés de producció

Components	Cabal màssic (kg/h)	% w
CH₄	911.7	0.503
N₂O	569.4	0.314
H₂	30.8	0.017
N₂	301.5	0.166

Degut a la presència de metà i òxid nitrós, ambdós relacionats amb l'efecte hivernacle , en la sortida de gasos, es dissenya un sistema de tractament consistent en una càmera de combustió, a fi d'oxidar-los completament. Tenint en compte el seu alt poder calorífic resulta rentable utilitzar aquest mètode.

Una de les alternatives que es contemplen és la instal·lació d'un sistema de cogeneració, ja que s'assoleixen altes temperatures en la combustió. El reaprofitament d'aquesta energia implicaria una reducció de les despeses energètiques de la planta. Aquest sistema consta d'una turbina

d'expansió dels gasos generats en la combustió juntament amb un sistema de generació de vapor per al reaprofitament de les altes temperatures. Aquest vapor podria utilitzar-se també per a moure una turbina i augmentar la producció energètica de la planta.

Aquest gasos es poden utilitzar en la caldera si fos necessari.

- Tractament de les aigües residuals

Pel que fa a les aigües residuals obtingudes, aquestes provenen de la condensació dels gasos a la sortida de l'equip ST-101 i del procés de regeneració de les columnes d'intercanvi iònic.

Les característiques d'aquestes aigües es mostren en les taules següents.

Taula 1.3.3.7.2. Efluents líquids obtinguts a la sortida de ST-101

Components	% w	Kg/h	m ³ /h
C₆H₁₀O	0.007	37.98	0.04
NH₃	0.003	17.26	0.02
H₂O	0.989	5438.15	5.44

Taula 1.3.3.7.3. Efluents líquids obtinguts de la regeneració de les columnes d'intercanvi iònic.

Components	ppm
NH₄⁺	1428
SO₄²⁻	3806
Na⁺	547
NO₃⁻	3861

Els dos efluents líquids es podrien tractar conjuntament en una EDAR però s'ha considerat que degut a l'alta càrrega de DQO que es requereix per la degradació de la ciclohexanona, les despeses energètiques per l'aportació d'oxigen al sistema serien molt altes i es decideix utilitzar un digestor anaeròbic (EGSB) per el seu baix consum energètic i la petita producció de fangs com s'explica en el capítol 6.

Aquest digestor generarà biogàs que s'utilitzarà en la caldera o en la càmera de combustió si fos necessari.

Seguidament a la sortida de l'efluent del digestor s'incorporarà el corrent provinent de la regeneració de les columnes d'intercanvi iònic, que s'envien a un tractament biològic d'eliminació de nutrients que consisteix en un reactor anòxic i un altre d'aerobi.

Amb aquests tractaments es compleixen els límits legals d'abocament.

1.4. Principals usos comercials de la caprolactama

La ϵ -caprolactama és un dels productes utilitzats per a la formació de la L-lisina, un aminoàcid essencial pel metabolisme dels éssers vius. Aquest procés cobra importància pel fet que aquest aminoàcid no és sintetitzat per l'organisme.

Per altra banda, és un dels reactius necessaris per a la producció del nylon-6, utilitzat majoritàriament en l'obtenció de fibres dins del sector de la indústria tèxtil i industrial.

El nylon-6 representa un dels compostos més importants en quant al mercat de fibres de poliamides, conjuntament amb el nylon-6.6. En el seu temps va comportar una revolució tèxtil en la confecció de mitges, teixits i teles de punt i, per tant, engloba un volum de mercat molt gran. En quant a l'ús del nylon en utensilis, aquest és modelat per tal de produir mànecs, raspalls, pintes, cordes, etc.

1.5. Aspectes econòmics

1.5.1. Capacitat

S'estima que cada any, mundialment es generen més de 500000 tones, amb un increment anual en la demanda del 2% durant la dècada dels 80 i 90. Actualment, la producció de caprolactama als Estats Units i Europa s'ha estabilitzat a un punt, degut a la creixent competència dels països emergents, amb un augment anual de la producció molt més important.

Tenint en compte aquests valors i les expectatives de mercat d'aquesta substància, es considera que la producció anual de 45000 tones, serà absorbida sense problemes pel mercat global d'aquest producte.

1.5.2. Producció

Els E.U.A, Japó, Bèlgica, Països Baixos, Itàlia i Alemanya són els principals productors de caprolactama. Exceptuant Gran Bretanya i França, quasi tots els països industrialitzats posseeixen plantes de producció de caprolactama pròpies.

1.6. Constitució de la planta

A la hora de dimensionar, distribuir i organitzar la planta s'han seguit les normatives de seguretat i higiene tenint present, també, les regulacions mediambientals. Les normatives consultades es recullen i descriuen dins els Capítols 5 i 6. Dins d'aquestes normatives i regulacions s'especifiquen les distàncies mínimes aplicables tant en l'operació com en l'emmagatzematge de matèries primers i productes. Per tant, cal tenir en compte els compostos manipulats i els riscos associats per tal determinar les incompatibilitats més grans per tal de delimitar les diferents zones de la planta així com els productes manipulats dins de cadascuna d'elles.

1.6.1. Classificació de zones.

Tot seguit s'anomenen les diferents zones que configuren la planta dissenyada per CALF S.L.:

Zona 100 – Zona de formació oxima

Zona 200 – Zona de formació caprolactama

Zona 300 – Zona de neutralització

Zona 400 – Zona d'extracció i purificació

Zona 500 – Zona de depuració (EDAR) i torres de refrigeració

Zona 600 – Zona d'emmagatzematge producte final.

Zona 700 – Parc de tancs d'emmagatzematge de fosfòric, nítric i òleum.

Zona 800 – Parc de tancs d'emmagatzematge d'hidrogen, toluè, d'amoníac i ciclohexanona.

Zona 900 – Zona de serveis.

Zona 1000 – Zona d'oficines, laboratori, taller i aparcaments

Zona 1100 – Zona de control.

Zona 1200 – Zona de Sitges

La distribució de les diferents àrees es basa principalment en l'aïllament de substàncies que puguin interaccionar desfavorablement com són l'òleum amb l'amoníac o l'aigua. També s'han aïllat les àrees on s'utilitza Toluè ja que aquestes entraran dins la denominació de zona classificada. En les zones classificades s'utilitza maquinaria amb certificació ATEX zona II ja que excepcionalment els productes manipulats poden generar una atmosfera explosiva.

1.6.2. Plantilla de treballadors

En aquest subapartat es mostraran el nombre de treballadors de la planta, així com l'horari de treball, la organització temporal dels diferents torns i els torns de vacances. Per tal de calcular el nombre de torns necessaris s'han tingut en compte els dies d'operació contínua i els dies dedicats al manteniment i posada en marxa. En tots ells s'ha tingut en compte la durada de la jornada laboral que és de 24 hores en el primer cas i de 8 en el segon. En el període dedicat al manteniment cal tenir en compte que en la planta no es treballarà durant els caps de setmana. Així doncs si s'aplica la següent fórmula s'obtenen el nombre de hores de treball anuals.

$$N^{\circ} \text{hores de treball} = 300 \text{ dies} \cdot \frac{24h}{1 \text{ dia}} + (65 - 18) \text{ dies} \cdot \frac{8h}{1 \text{ dia}} = 7576 \text{ hores}$$

Per tant, si es té en compte que el nombre màxim d'hores anuals per a un treballador en la indústria química són de 1752 (vegeu BOE-A-2013-3750), s'obté que es requereixen 4.32 torns o sigui, fan falta com a mínim 5 torns per a les àrees on es treballin les 24 hores del dia. Tot i així, tal i com es veurà en el calendari adjunt, és possible cobrir aquests requeriments amb només quatre torns.

Es decideix realitzar una proposta amb tant sols quatre torns ja que, el nombre de hores anuals que hauria de realitzar el cinquè torn són irrisòries, 568 hores, i per tant, no seria comprensible assumir les despeses associades al salari d'un cinquè grup de persones. A continuació es mostra la Taula 1.6.5.1. on es recull el nombre de persones que realitzen les diferents tasques dins la planta, el nombre de torns, el grup professional al que pertanyen, el salari brut mensual, i l'horari de la jornada laboral.

Taula 1.6.5.1. Recull de tot el personal de la planta amb el nombre de torns, el salari mensual i l'horari.

					TORN/HORARI/PERSONAL		
ZONA:	Grup professional	Personal	Torns	Salari (€)	Matí	Tarda	Nit
Oficina:					6-9h	19-22h	-
Neteja	1	4	1	1187.96	4	4	0
Dept. Administració:					9-13h	15-19h	-
Recepció	3	1	1	1653.65	1	1	0
Logística	4	1	1	1808.08	1	1	0
Administratius	4	3	1	1808.08	3	3	0
Comptabilitat	5	1	1	2021.92	1	1	0
Compres-vendes	4	2	1	1808.08	2	2	
Direcció comercial	7	1	1	2758.45	1	1	0
Direcció administrativa	6	1	1	2318.91	1	1	0
Dept. Enginyeria							
Enginyers	6	1	1	2318.91	1	1	
Cap Dept. Enginyeria	8	1	1	3423.71	1	1	
Gerència	0	4	1	5416.67	-	-	-
Seguretat:					6-14h	14-22h	22-6h
Seguretat	2	10	5	1546.73	4	3	3
Laboratori:					9-13h	15-19h	-
Cap de Laboratori	8	1	1	3423.71	1	1	0
Tècnic	5	2	1	2021.92	2	2	0
Ajudants	2	2	1	1546.73	2	2	
Planta:					6-14h	14-22h	22-6h
Operaris	4	12	4	1808.08	3	3	3
Cap de Planta	8	2	2	3423.71	1	1	-
Caps de torn	7	4	4	2758.45	1	1	1
Mecànics	3	8	4	1653.65	2	2	2
Encarregat mecànics	5	4	4	2021.92	1	1	1
Magatzem	1	13	4	1463.57	4	3	3
Encarregats magatzem	3	4	4	1653.65	1	1	1

Si es comptabilitzen tot els treballadors mostrats a la taula anterior s'obté que en total es té una plantilla de 78 persones. El salari mostrat a la Taula 1.6.5.1. correspon al salari brut mensual calculat a partir del grup professional i el salari brut mínim anual que proporciona el Boletín

Oficial del Estado A-2013-3750. Les despeses anuals en salaris ascendeixen a 1,971,923.16 € el que equival a uns costos mensuals de 164,326.93 €.

Per tal de conèixer el sou real dels treballadors cal descomptar del salari mostrat en la taula anterior l'impost sobre la renda de les persones físiques (IRPF), la cotització sobre les contingències comunes, la cotització per formació i la cotització per atur.

Abans de mostrar el calendari s'ha cregut convenient explicar les seves peculiaritats per tal de facilitar la seva comprensió. El primer que cal tenir present es que l'aturada de producció es realitza entre el 28 de Juny i el 29 d'Agost; els dies 30 i 31 d'Agost es dedicarien a la posada en marxa de la planta. Així doncs, el període comprés entre el dia 1 de Setembre i el 28 de Juny de l'any següent correspondrien al pròxim període d'operació contínua.

Tal i com s'ha esmentat anteriorment, les hores d'operació en planta es repartiran en quatre grups que cobriran els tres torns de 8 hores de treball diaris en operació contínua i que treballaran 6 dies consecutius i en descansaran dos. Per tant, al llarg de l'any els treballadors de planta realitzaran un total de 142 hores extres anuals, aquestes es poden compensar mitjançant dies extres de festa o a través de una retribució econòmica a finals de mes. Amb aquesta finalitat s'han disposat uns dies específics dins del període d'aturada on els treballadors podran ampliar el seu període de descans.

Els dies de recuperació d'hores extres es repartiran entre els mateixos treballadors tenint present que en cap cas el personal present a la planta serà inferior al mínim requerit per a realitzar les operacions establertes dins una jornada de treball. Tot i així, els dies disposats amb aquesta finalitat no són suficients per a cobrir totes les hores extres realitzades i per tant les hores restants seran abonades a finals de cada mes. Aquestes hores s'abonaran al final de cada mes per tal de repartir la despesa anual.

En aquest punt cal esmentar que segons el conveni per al sector químic els treballadors d'aquesta indústria han de disposar de un mínim de 30 dies de vacances anuals amb un període obligatori de 15 dies consecutius entre els mesos de Juny i Setembre. En el calendari proposat els diferents grups realitzen tres setmanes consecutivament a més dels dies destinats a la recuperació d'hores i disposaran de una setmana de vacances més a escollir durant l'any.

Respecte les vacances en el personal relatiu a les oficines i laboratoris aquests s'organitzaran de tal manera que puguin realitzar les vacances corresponents sense generar incompatibilitats que puguin afectar al funcionament d'aquestes àrees.

A continuació, es mostra el calendari esmentat i que inclou la proposta d'organització temporal dels quatre grups a planta i que s'ha basat en el calendari de l'any actual. Aquesta proposta s'haurà d'anar repetint any rere any des de l'arrancada de planta.

CALENDARI PERSONAL PLANTA:

GENER						
DI	Dm	Dm	Dj	Dv	Ds	Dg
	1	2	3	4	5	6
	6-14h: G1 14-22h: G2 22-6h: G3	6-14h: G4 14-22h: G2 22-6h: G3	6-14h: G4 14-22h: G2 22-6h: G3	6-14h: G4 14-22h: G1 22-6h: G3	6-14h: G4 14-22h: G1 22-6h: G3	6-14h: G4 14-22h: G1 22-6h: G2
7	8	9	10	11	12	13
6-14h: G4 14-22h: G1 22-6h: G2	6-14h: G3 14-22h: G1 22-6h: G2	6-14h: G3 14-22h: G1 22-6h: G2	6-14h: G3 14-22h: G4 22-6h: G2	6-14h: G3 14-22h: G4 22-6h: G2	6-14h: G3 14-22h: G4 22-6h: G1	6-14h: G3 14-22h: G4 22-6h: G1
14	15	16	17	18	19	20
6-14h: G2 14-22h: G4 22-6h: G1	6-14h: G2 14-22h: G4 22-6h: G1	6-14h: G2 14-22h: G3 22-6h: G1	6-14h: G2 14-22h: G3 22-6h: G1	6-14h: G2 14-22h: G3 22-6h: G4	6-14h: G2 14-22h: G3 22-6h: G4	6-14h: G1 14-22h: G3 22-6h: G4
21	22	23	24	25	26	27
6-14h: G1 14-22h: G3 22-6h: G4	6-14h: G1 14-22h: G2 22-6h: G4	6-14h: G1 14-22h: G2 22-6h: G4	6-14h: G1 14-22h: G2 22-6h: G3	6-14h: G1 14-22h: G2 22-6h: G3	6-14h: G4 14-22h: G2 22-6h: G3	6-14h: G4 14-22h: G2 22-6h: G3
28	29	30	31			
6-14h: G4 14-22h: G1 22-6h: G3	6-14h: G4 14-22h: G1 22-6h: G3	6-14h: G4 14-22h: G1 22-6h: G2	6-14h: G4 14-22h: G1 22-6h: G2			

FEBRER						
DI	Dm	Dm	Dj	Dv	Ds	Dg
				1	2	3
				6-14h: G3 14-22h: G1 22-6h: G2	6-14h: G3 14-22h: G1 22-6h: G2	6-14h: G3 14-22h: G4 22-6h: G2
4	5	6	7	8	9	10
6-14h: G3 14-22h: G4 22-6h: G2	6-14h: G3 14-22h: G4 22-6h: G1	6-14h: G3 14-22h: G4 22-6h: G1	6-14h: G2 14-22h: G4 22-6h: G1	6-14h: G2 14-22h: G4 22-6h: G1	6-14h: G2 14-22h: G3 22-6h: G1	6-14h: G2 14-22h: G3 22-6h: G1
11	12	13	14	15	16	17
6-14h: G2 14-22h: G3 22-6h: G4	6-14h: G2 14-22h: G3 22-6h: G4	6-14h: G1 14-22h: G3 22-6h: G4	6-14h: G1 14-22h: G3 22-6h: G4	6-14h: G1 14-22h: G2 22-6h: G4	6-14h: G1 14-22h: G2 22-6h: G4	6-14h: G1 14-22h: G2 22-6h: G3
18	19	20	21	22	23	24
6-14h: G1 14-22h: G2 22-6h: G3	6-14h: G4 14-22h: G2 22-6h: G3	6-14h: G4 14-22h: G2 22-6h: G3	6-14h: G4 14-22h: G1 22-6h: G3	6-14h: G4 14-22h: G1 22-6h: G3	6-14h: G4 14-22h: G1 22-6h: G2	6-14h: G4 14-22h: G1 22-6h: G2
25	26	27	28			
6-14h: G3 14-22h: G1 22-6h: G2	6-14h: G3 14-22h: G1 22-6h: G2	6-14h: G3 14-22h: G4 22-6h: G2	6-14h: G3 14-22h: G4 22-6h: G2			

MARÇ						
DI	Dm	Dm	Dj	Dv	Ds	Dg
				1	2	3
				6-14h: G3 14-22h: G4 22-6h: G1	6-14h: G3 14-22h: G4 22-6h: G1	6-14h: G2 14-22h: G4 22-6h: G1
4	5	6	7	8	9	10
6-14h: G2 14-22h: G4 22-6h: G1	6-14h: G2 14-22h: G3 22-6h: G1	6-14h: G2 14-22h: G3 22-6h: G1	6-14h: G2 14-22h: G3 22-6h: G4	6-14h: G2 14-22h: G3 22-6h: G4	6-14h: G1 14-22h: G3 22-6h: G4	6-14h: G1 14-22h: G3 22-6h: G4
11	12	13	14	15	16	17
6-14h: G1 14-22h: G2 22-6h: G4	6-14h: G1 14-22h: G2 22-6h: G4	6-14h: G1 14-22h: G2 22-6h: G3	6-14h: G1 14-22h: G2 22-6h: G3	6-14h: G4 14-22h: G2 22-6h: G3	6-14h: G4 14-22h: G2 22-6h: G3	6-14h: G4 14-22h: G1 22-6h: G3
18	19	20	21	22	23	24
6-14h: G4 14-22h: G1 22-6h: G3	6-14h: G4 14-22h: G1 22-6h: G2	6-14h: G4 14-22h: G1 22-6h: G2	6-14h: G3 14-22h: G1 22-6h: G2	6-14h: G3 14-22h: G1 22-6h: G2	6-14h: G3 14-22h: G4 22-6h: G2	6-14h: G3 14-22h: G4 22-6h: G2
25	26	27	28	29	30	31
6-14h: G3 14-22h: G4 22-6h: G1	6-14h: G3 14-22h: G4 22-6h: G1	6-14h: G2 14-22h: G4 22-6h: G1	6-14h: G2 14-22h: G4 22-6h: G1	6-14h: G2 14-22h: G3 22-6h: G1	6-14h: G2 14-22h: G3 22-6h: G1	6-14h: G2 14-22h: G3 22-6h: G4

ABRIL						
DI	Dm	Dm	Dj	Dv	Ds	Dg
1	2	3	4	5	6	7
<u>6-14h:</u> G2 <u>14-22h:</u> G3 <u>22-6h:</u> G4	<u>6-14h:</u> G1 <u>14-22h:</u> G3 <u>22-6h:</u> G4	<u>6-14h:</u> G1 <u>14-22h:</u> G3 <u>22-6h:</u> G4	<u>6-14h:</u> G1 <u>14-22h:</u> G2 <u>22-6h:</u> G4	<u>6-14h:</u> G1 <u>14-22h:</u> G2 <u>22-6h:</u> G4	<u>6-14h:</u> G1 <u>14-22h:</u> G2 <u>22-6h:</u> G3	<u>6-14h:</u> G1 <u>14-22h:</u> G2 <u>22-6h:</u> G3
8	9	10	11	12	13	14
<u>6-14h:</u> G4 <u>14-22h:</u> G2 <u>22-6h:</u> G3	<u>6-14h:</u> G4 <u>14-22h:</u> G2 <u>22-6h:</u> G3	<u>6-14h:</u> G4 <u>14-22h:</u> G1 <u>22-6h:</u> G3	<u>6-14h:</u> G4 <u>14-22h:</u> G1 <u>22-6h:</u> G3	<u>6-14h:</u> G4 <u>14-22h:</u> G1 <u>22-6h:</u> G2	<u>6-14h:</u> G4 <u>14-22h:</u> G1 <u>22-6h:</u> G2	<u>6-14h:</u> G3 <u>14-22h:</u> G1 <u>22-6h:</u> G2
15	16	17	18	19	20	21
<u>6-14h:</u> G3 <u>14-22h:</u> G1 <u>22-6h:</u> G2	<u>6-14h:</u> G3 <u>14-22h:</u> G4 <u>22-6h:</u> G2	<u>6-14h:</u> G3 <u>14-22h:</u> G4 <u>22-6h:</u> G2	<u>6-14h:</u> G3 <u>14-22h:</u> G4 <u>22-6h:</u> G1	<u>6-14h:</u> G3 <u>14-22h:</u> G4 <u>22-6h:</u> G1	<u>6-14h:</u> G2 <u>14-22h:</u> G4 <u>22-6h:</u> G1	<u>6-14h:</u> G2 <u>14-22h:</u> G4 <u>22-6h:</u> G1
22	23	24	25	26	27	28
<u>6-14h:</u> G2 <u>14-22h:</u> G3 <u>22-6h:</u> G1	<u>6-14h:</u> G2 <u>14-22h:</u> G3 <u>22-6h:</u> G1	<u>6-14h:</u> G2 <u>14-22h:</u> G3 <u>22-6h:</u> G4	<u>6-14h:</u> G2 <u>14-22h:</u> G3 <u>22-6h:</u> G4	<u>6-14h:</u> G1 <u>14-22h:</u> G3 <u>22-6h:</u> G4	<u>6-14h:</u> G1 <u>14-22h:</u> G3 <u>22-6h:</u> G4	<u>6-14h:</u> G1 <u>14-22h:</u> G2 <u>22-6h:</u> G4
29	30					
<u>6-14h:</u> G1 <u>14-22h:</u> G2 <u>22-6h:</u> G4	<u>6-14h:</u> G1 <u>14-22h:</u> G2 <u>22-6h:</u> G3					

MAIG						
DI	Dm	Dm	Dj	Dv	Ds	Dg
		1	2	3	4	5
		<u>6-14h:</u> G1 <u>14-22h:</u> G2 <u>22-6h:</u> G3	<u>6-14h:</u> G4 <u>14-22h:</u> G2 <u>22-6h:</u> G3	<u>6-14h:</u> G4 <u>14-22h:</u> G2 <u>22-6h:</u> G3	<u>6-14h:</u> G4 <u>14-22h:</u> G1 <u>22-6h:</u> G3	<u>6-14h:</u> G4 <u>14-22h:</u> G1 <u>22-6h:</u> G3
6	7	8	9	10	11	12
<u>6-14h:</u> G4 <u>14-22h:</u> G1 <u>22-6h:</u> G2	<u>6-14h:</u> G4 <u>14-22h:</u> G1 <u>22-6h:</u> G2	<u>6-14h:</u> G3 <u>14-22h:</u> G1 <u>22-6h:</u> G2	<u>6-14h:</u> G3 <u>14-22h:</u> G1 <u>22-6h:</u> G2	<u>6-14h:</u> G3 <u>14-22h:</u> G4 <u>22-6h:</u> G2	<u>6-14h:</u> G3 <u>14-22h:</u> G4 <u>22-6h:</u> G2	<u>6-14h:</u> G3 <u>14-22h:</u> G4 <u>22-6h:</u> G1
13	14	15	16	17	18	19
<u>6-14h:</u> G3 <u>14-22h:</u> G4 <u>22-6h:</u> G1	<u>6-14h:</u> G2 <u>14-22h:</u> G4 <u>22-6h:</u> G1	<u>6-14h:</u> G2 <u>14-22h:</u> G4 <u>22-6h:</u> G1	<u>6-14h:</u> G2 <u>14-22h:</u> G3 <u>22-6h:</u> G1	<u>6-14h:</u> G2 <u>14-22h:</u> G3 <u>22-6h:</u> G1	<u>6-14h:</u> G2 <u>14-22h:</u> G3 <u>22-6h:</u> G4	<u>6-14h:</u> G2 <u>14-22h:</u> G3 <u>22-6h:</u> G4
20	21	22	23	24	25	26
<u>6-14h:</u> G1 <u>14-22h:</u> G3 <u>22-6h:</u> G4	<u>6-14h:</u> G1 <u>14-22h:</u> G3 <u>22-6h:</u> G4	<u>6-14h:</u> G1 <u>14-22h:</u> G2 <u>22-6h:</u> G4	<u>6-14h:</u> G1 <u>14-22h:</u> G2 <u>22-6h:</u> G4	<u>6-14h:</u> G1 <u>14-22h:</u> G2 <u>22-6h:</u> G3	<u>6-14h:</u> G1 <u>14-22h:</u> G2 <u>22-6h:</u> G3	<u>6-14h:</u> G4 <u>14-22h:</u> G2 <u>22-6h:</u> G3
27	28	29	30	31		
<u>6-14h:</u> G4 <u>14-22h:</u> G2 <u>22-6h:</u> G3	<u>6-14h:</u> G4 <u>14-22h:</u> G1 <u>22-6h:</u> G3	<u>6-14h:</u> G4 <u>14-22h:</u> G1 <u>22-6h:</u> G3	<u>6-14h:</u> G4 <u>14-22h:</u> G1 <u>22-6h:</u> G2	<u>6-14h:</u> G4 <u>14-22h:</u> G1 <u>22-6h:</u> G2		

JUNY						
DI	Dm	Dm	Dj	Dv	Ds	Dg
					1	2
					6-14h: G3 14-22h: G1 22-6h: G2	6-14h: G3 14-22h: G1 22-6h: G2
3	4	5	6	7	8	9
6-14h: G3 14-22h: G4 22-6h: G2	6-14h: G3 14-22h: G4 22-6h: G2	6-14h: G3 14-22h: G4 22-6h: G1	6-14h: G3 14-22h: G4 22-6h: G1	6-14h: G2 14-22h: G4 22-6h: G1	6-14h: G2 14-22h: G4 22-6h: G1	6-14h: G2 14-22h: G3 22-6h: G1
10	11	12	13	14	15	16
6-14h: G2 14-22h: G3 22-6h: G1	6-14h: G2 14-22h: G3 22-6h: G4	6-14h: G2 14-22h: G3 22-6h: G4	6-14h: G1 14-22h: G3 22-6h: G4	6-14h: G1 14-22h: G3 22-6h: G4	6-14h: G1 14-22h: G2 22-6h: G4	6-14h: G1 14-22h: G2 22-6h: G4
17	18	19	20	21	22	23
6-14h: G1 14-22h: G2 22-6h: G3	6-14h: G1 14-22h: G2 22-6h: G3	6-14h: G4 14-22h: G2 22-6h: G3	6-14h: G4 14-22h: G2 22-6h: G3	6-14h: G4 14-22h: G1 22-6h: G3	6-14h: G4 14-22h: G1 22-6h: G3	6-14h: G4 14-22h: G1 22-6h: G2
24	25	26	27	28	29	30
6-14h: G4 14-22h: G1 22-6h: G2	6-14h: G3 14-22h: G1 22-6h: G2	6-14h: G3 14-22h: G1 22-6h: G2	6-14h: G3 14-22h: G4 22-6h: G2	8-16h: G2, G3 i G4	-	-

	1er TORN VACANCES
	2on TORN VACANCES
	RECUPERACIÓ DIES FESTIUS
	POSADA EN MARXA

JULIOL						
DI	Dm	Dm	Dj	Dv	Ds	Dg
1	2	3	4	5	6	7
<u>8-16h:</u> G1, G2, G3 i G4	<u>8-16h:</u> G1, G2, G3 i G4	<u>8-16h:</u> G1, G2, G3 i G4	<u>8-16h:</u> G1, G2, G3 i G4	<u>8-16h:</u> G1, G2, G3 i G4	-	-
8	9	10	11	12	13	14
<u>8-16h:</u> G4 i G2	<u>8-16h:</u> G4 i G2	<u>8-16h:</u> G4 i G2	<u>8-16h:</u> G4 i G2	<u>8-16h:</u> G4 i G2	-	-
15	16	17	18	19	20	21
<u>8-16h:</u> G4 i G2	<u>8-16h:</u> G4 i G2	<u>8-16h:</u> G4 i G2	<u>8-16h:</u> G4 i G2	<u>8-16h:</u> G4 i G2	-	-
22	23	24	25	26	27	28
<u>8-16h:</u> G4 i G2	<u>8-16h:</u> G4 i G2	<u>8-16h:</u> G4 i G2	<u>8-16h:</u> G4 i G2	<u>8-16h:</u> G4 i G2	-	-
29	30	31				
<u>8-16h:</u> G1 i G3	<u>8-16h:</u> G1 i G3	<u>8-16h:</u> G1 i G3				

AGOST						
DI	Dm	Dm	Dj	Dv	Ds	Dg
			1	2	3	4
			<u>8-16h:</u> G1 i G3	<u>8-16h:</u> G1 i G3	-	-
5	6	7	8	9	10	11
<u>8-16h:</u> G1 i G3	<u>8-16h:</u> G1 i G3	<u>8-16h:</u> G1 i G3	<u>8-16h:</u> G1 i G3	<u>8-16h:</u> G1 i G3	-	-
12	13	14	15	16	17	18
<u>8-16h:</u> G1 i G3	<u>8-16h:</u> G1 i G3	<u>8-16h:</u> G1 i G3	<u>8-16h:</u> G1 i G3	<u>8-16h:</u> G1 i G3	-	-
19	20	21	22	23	24	25
<u>8-16h:</u> G1, G2, G3 i G4	<u>8-16h:</u> G1, G2, G3 i G4	<u>8-16h:</u> G1, G2, G3 i G4	<u>8-16h:</u> G1, G2, G3 i G4	<u>8-16h:</u> G1, G2, G3 i G4	-	-
26	27	28	29	30	31	
<u>8-16h:</u> G1, G2, G3 i G4	<u>8-16h:</u> G1, G2, G3 i G4	<u>8-16h:</u> G1, G2, G3	<u>8-16h:</u> G1, G2 i G4	<u>6-14h:</u> G3 <u>14-22h:</u> G4 <u>22-6h:</u> G2	<u>6-14h:</u> G3 <u>14-22h:</u> G4 <u>22-6h:</u> G1	

SETEMBRE						
DI	Dm	Dm	Dj	Dv	Ds	Dg
						1
						<u>6-14h:</u> G3 <u>14-22h:</u> G4 <u>22-6h:</u> G1
2	3	4	5	6	7	8
<u>6-14h:</u> G2 <u>14-22h:</u> G4 <u>22-6h:</u> G1	<u>6-14h:</u> G2 <u>14-22h:</u> G4 <u>22-6h:</u> G1	<u>6-14h:</u> G2 <u>14-22h:</u> G3 <u>22-6h:</u> G1	<u>6-14h:</u> G2 <u>14-22h:</u> G3 <u>22-6h:</u> G1	<u>6-14h:</u> G2 <u>14-22h:</u> G3 <u>22-6h:</u> G4	<u>6-14h:</u> G2 <u>14-22h:</u> G3 <u>22-6h:</u> G4	<u>6-14h:</u> G1 <u>14-22h:</u> G3 <u>22-6h:</u> G4
9	10	11	12	13	14	15
<u>6-14h:</u> G1 <u>14-22h:</u> G3 <u>22-6h:</u> G4	<u>6-14h:</u> G1 <u>14-22h:</u> G2 <u>22-6h:</u> G4	<u>6-14h:</u> G1 <u>14-22h:</u> G2 <u>22-6h:</u> G4	<u>6-14h:</u> G1 <u>14-22h:</u> G2 <u>22-6h:</u> G3	<u>6-14h:</u> G1 <u>14-22h:</u> G2 <u>22-6h:</u> G3	<u>6-14h:</u> G4 <u>14-22h:</u> G2 <u>22-6h:</u> G3	<u>6-14h:</u> G4 <u>14-22h:</u> G2 <u>22-6h:</u> G3
16	17	18	19	20	21	22
<u>6-14h:</u> G4 <u>14-22h:</u> G1 <u>22-6h:</u> G3	<u>6-14h:</u> G4 <u>14-22h:</u> G1 <u>22-6h:</u> G3	<u>6-14h:</u> G4 <u>14-22h:</u> G1 <u>22-6h:</u> G2	<u>6-14h:</u> G4 <u>14-22h:</u> G1 <u>22-6h:</u> G2	<u>6-14h:</u> G3 <u>14-22h:</u> G1 <u>22-6h:</u> G2	<u>6-14h:</u> G3 <u>14-22h:</u> G1 <u>22-6h:</u> G2	<u>6-14h:</u> G3 <u>14-22h:</u> G4 <u>22-6h:</u> G2
23	24	25	26	27	28	29
<u>6-14h:</u> G3 <u>14-22h:</u> G4 <u>22-6h:</u> G2	<u>6-14h:</u> G3 <u>14-22h:</u> G4 <u>22-6h:</u> G1	<u>6-14h:</u> G3 <u>14-22h:</u> G4 <u>22-6h:</u> G1	<u>6-14h:</u> G2 <u>14-22h:</u> G4 <u>22-6h:</u> G1	<u>6-14h:</u> G2 <u>14-22h:</u> G4 <u>22-6h:</u> G1	<u>6-14h:</u> G2 <u>14-22h:</u> G3 <u>22-6h:</u> G1	<u>6-14h:</u> G2 <u>14-22h:</u> G3 <u>22-6h:</u> G1
30						
<u>6-14h:</u> G2 <u>14-22h:</u> G3 <u>22-6h:</u> G4						

OCTUBRE						
DI	Dm	Dm	Dj	Dv	Ds	Dg
	1	2	3	4	5	6
	6-14h: G2 14-22h: G3 22-6h: G4	6-14h: G1 14-22h: G3 22-6h: G4	6-14h: G1 14-22h: G3 22-6h: G4	6-14h: G1 14-22h: G2 22-6h: G4	6-14h: G1 14-22h: G2 22-6h: G4	6-14h: G1 14-22h: G2 22-6h: G3
7	8	9	10	11	12	13
6-14h: G1 14-22h: G2 22-6h: G3	6-14h: G4 14-22h: G2 22-6h: G3	6-14h: G4 14-22h: G2 22-6h: G3	6-14h: G4 14-22h: G1 22-6h: G3	6-14h: G4 14-22h: G1 22-6h: G3	6-14h: G4 14-22h: G1 22-6h: G2	6-14h: G4 14-22h: G1 22-6h: G2
14	15	16	17	18	19	20
6-14h: G3 14-22h: G1 22-6h: G2	6-14h: G3 14-22h: G1 22-6h: G2	6-14h: G3 14-22h: G4 22-6h: G2	6-14h: G3 14-22h: G4 22-6h: G2	6-14h: G3 14-22h: G4 22-6h: G1	6-14h: G3 14-22h: G4 22-6h: G1	6-14h: G2 14-22h: G4 22-6h: G1
21	22	23	24	25	26	27
6-14h: G2 14-22h: G4 22-6h: G1	6-14h: G2 14-22h: G3 22-6h: G1	6-14h: G2 14-22h: G3 22-6h: G1	6-14h: G2 14-22h: G3 22-6h: G4	6-14h: G2 14-22h: G3 22-6h: G4	6-14h: G1 14-22h: G3 22-6h: G4	6-14h: G1 14-22h: G3 22-6h: G4
28	29	30	31			
6-14h: G1 14-22h: G2 22-6h: G4	6-14h: G1 14-22h: G2 22-6h: G4	6-14h: G1 14-22h: G2 22-6h: G3	6-14h: G1 14-22h: G2 22-6h: G3			

NOVEMBRE						
DI	Dm	Dm	Dj	Dv	Ds	Dg
				1	2	3
				6-14h: G4 14-22h: G2 22-6h: G3	6-14h: G4 14-22h: G2 22-6h: G3	6-14h: G4 14-22h: G1 22-6h: G3
4	5	6	7	8	9	10
6-14h: G4 14-22h: G1 22-6h: G3	6-14h: G4 14-22h: G1 22-6h: G2	6-14h: G4 14-22h: G1 22-6h: G2	6-14h: G3 14-22h: G1 22-6h: G2	6-14h: G3 14-22h: G1 22-6h: G2	6-14h: G3 14-22h: G4 22-6h: G2	6-14h: G3 14-22h: G4 22-6h: G2
11	12	13	14	15	16	17
6-14h: G3 14-22h: G4 22-6h: G1	6-14h: G3 14-22h: G4 22-6h: G1	6-14h: G2 14-22h: G4 22-6h: G1	6-14h: G2 14-22h: G4 22-6h: G1	6-14h: G2 14-22h: G3 22-6h: G1	6-14h: G2 14-22h: G3 22-6h: G1	6-14h: G2 14-22h: G3 22-6h: G4
18	19	20	21	22	23	24
6-14h: G2 14-22h: G3 22-6h: G4	6-14h: G1 14-22h: G3 22-6h: G4	6-14h: G1 14-22h: G3 22-6h: G4	6-14h: G1 14-22h: G2 22-6h: G4	6-14h: G1 14-22h: G2 22-6h: G4	6-14h: G1 14-22h: G2 22-6h: G3	6-14h: G1 14-22h: G2 22-6h: G3
25	26	27	28	29	30	
6-14h: G4 14-22h: G2 22-6h: G3	6-14h: G4 14-22h: G2 22-6h: G3	6-14h: G4 14-22h: G1 22-6h: G3	6-14h: G4 14-22h: G1 22-6h: G3	6-14h: G4 14-22h: G1 22-6h: G2	6-14h: G4 14-22h: G1 22-6h: G2	

DESEMBRE						
DI	Dm	Dm	Dj	Dv	Ds	Dg
						1
						6-14h: G3 14-22h: G1 22-6h: G2
2	3	4	5	6	7	8
6-14h: G3 14-22h: G1 22-6h: G2	6-14h: G3 14-22h: G4 22-6h: G2	6-14h: G3 14-22h: G4 22-6h: G2	6-14h: G3 14-22h: G4 22-6h: G1	6-14h: G3 14-22h: G4 22-6h: G1	6-14h: G2 14-22h: G4 22-6h: G1	6-14h: G2 14-22h: G4 22-6h: G1
9	10	11	12	13	14	15
6-14h: G2 14-22h: G3 22-6h: G1	6-14h: G2 14-22h: G3 22-6h: G1	6-14h: G2 14-22h: G3 22-6h: G4	6-14h: G2 14-22h: G3 22-6h: G4	6-14h: G1 14-22h: G3 22-6h: G4	6-14h: G1 14-22h: G3 22-6h: G4	6-14h: G1 14-22h: G2 22-6h: G4
16	17	18	19	20	21	22
6-14h: G1 14-22h: G2 22-6h: G4	6-14h: G1 14-22h: G2 22-6h: G3	6-14h: G1 14-22h: G2 22-6h: G3	6-14h: G4 14-22h: G2 22-6h: G3	6-14h: G4 14-22h: G2 22-6h: G3	6-14h: G4 14-22h: G1 22-6h: G3	6-14h: G4 14-22h: G1 22-6h: G3
23	24	25	26	27	28	29
6-14h: G4 14-22h: G1 22-6h: G2	6-14h: G4 14-22h: G1 22-6h: G2	6-14h: G3 14-22h: G1 22-6h: G2	6-14h: G3 14-22h: G1 22-6h: G2	6-14h: G3 14-22h: G4 22-6h: G2	6-14h: G3 14-22h: G4 22-6h: G2	6-14h: G3 14-22h: G4 22-6h: G1
30	31					
6-14h: G3 14-22h: G4 22-6h: G1	6-14h: G2 14-22h: G4 22-6h: G1					

1.7. Balanç de matèria

En aquest apartat s'inclou el balanç de matèria del procés, presentat per cada zona.

Components	Fórmula	Abreviatura	PM
Àcid Fosfòric	H ₃ PO ₄	AF	98
Dihidrogenfosfat d'hidroxilamina	NH ₃ OH·H ₂ PO ₄	FH	130,97
Dihidrogenfosfat d'amoni	NH ₄ H ₂ PO ₄	FA	115
Àcid Nítric	HNO ₃	AN	63
Àcid Sulfúric	H ₂ SO ₄	HS	98
Òxid de sofre	SO ₃	OS	80
Aigua	H ₂ O	A	18
Amoníac	NH ₃	AM	17
Nitrat d'amoni	NH ₄ NO ₃	NA	80
Caprolactama	C ₆ H ₁₁ NO	CA	113
Ciclohexanona	C ₆ H ₁₀ O	CX	98
Ciclohexanona Oxíma	C ₆ H ₁₁ NO	CO	113
Hidroxil Amina	NH ₃ OH ⁺	HA	34
Sulfat d'Amoni	(NH ₄) ₂ SO ₄	SA	132,14
Tolué	C ₇ H ₈	TO	92,1
Hidrogen gas	H ₂	HG	2
Gas metà	CH ₄	ME	16
Òxid de dinitrogen gas	N ₂ O	ON	44
Nitrogen gas	N ₂	NG	28

Cabal màssic total (kg/h)	CM
Cabal volumètric (m ³ /h)	CV
Densitat (kg/m ³)	d
Viscositat (cP)	v
Capacitat calorífica (kJ/kg·K)	Cp
Pressió (atm)	P
Temperatura (°C)	T

ZONA 100

CORRENT	1		2		3		4		5	
Abreviatura	kg/h	%wt	kg/h	%wt	kg/h	%wt	kg/h	%wt	kg/h	%wt
AF	4795	0,080	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
FH	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
FA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
AN	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
HS	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
OS	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
A	46806	0,780	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
AM	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
NA	8444	0,141	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
CA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
CX	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
CO	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
HA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
SA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
TO	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
HG	0	0,000	308	0,146	308	0,146	31	0,017	277	0,950
ME	0	0,000	925	0,439	925	0,439	912	0,503	13	0,044
ON	0	0,000	569	0,270	569	0,270	569	0,314	0	0,000
NG	0	0,000	303	0,144	303	0,144	302	0,166	2	0,006
CM	60045,1		2105,3		2105,3		1813,4		291,9	
CV	57,10		253,62		185,00		73,18		1310,79	
d	1051,65		8,30		11,38		24,78		0,22	
V	0,99		0,01		0,01		0,01		0,01	
Cp	2,91		3,56		3,58		2,01		13,56	
P	1,00		26,15		36,02		36,02		2,96	
T	68,00		68,00		68,00		68,00		68,00	

ZONA 100

CORRENT	6		7		8		9		10	
Abreviatura	kg/h	%wt	kg/h	%wt	kg/h	%wt	kg/h	%wt	kg/h	%wt
AF	0	0,000	0	0,000	0	0,000	7193	0,054	2398	0,054
FH	0	0,000	0	0,000	0	0,000	22389	0,169	7463	0,169
FA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	19896	0,150	6632	0,150
AN	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
HS	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
OS	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
A	0	0,000	0	0,000	0	0,000	70209	0,530	23403	0,530
AM	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
NA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	12666	0,096	4222	0,096
CA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
CX	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
CO	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
HA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
SA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
TO	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
HG	1263	0,584	277	0,950	1541	0,628	0	0,000	0	0,000
ME	899	0,416	13	0,044	912	0,372	0	0,000	0	0,000
ON	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
NG	0	0,000	2	0,006	2	0,001	0	0,000	0	0,000
CM	2162,7		291,9		2454,6		132352,3		44117,4	
CV	715,19		144,94		891,95		125,44		41,81	
d	3,02		2,01		2,75		1055,07		1055,07	
V	0,01		0,01		0,01		0,40		0,40	
Cp	9,30		13,60		9,81		3,51		3,51	
P	26,15		27,14		26,15		1,00		1,00	
T	68,00		68,00		68,00		68,00		68,00	

ZONA 100

CORRENT	11		12		13		14		15	
Abreviatura	kg/h	%wt	kg/h	%wt	kg/h	%wt	kg/h	%wt	kg/h	%wt
AF	4795	0,054	4795	0,054	2398	0,054	6908	0,122	0	0,000
FH	14926	0,169	14926	0,169	7463	0,169	1434	0,025	0	0,000
FA	13264	0,150	13264	0,150	6632	0,150	6632	0,117	0	0,000
AN	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
HS	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
OS	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
A	46806	0,530	46806	0,530	23403	0,530	24249	0,429	13	0,001
AM	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
NA	8444	0,096	8444	0,096	4222	0,096	4222	0,075	0	0,000
CA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
CX	0	0,000	0	0,000	0	0,000	513	0,009	4991	0,403
CO	0	0,000	0	0,000	0	0,000	6407	0,113	1244	0,100
HA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
SA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
TO	0	0,000	0	0,000	0	0,000	6138	0,109	6138	0,496
HG	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
ME	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
ON	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
NG	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
CM	88234,9		88234,9		44117,4		56503,1		12385,6	
CV	83,63		83,63		41,81		52,35		13,56	
d	1055,07		1055,07		1055,07		1079,35		913,42	
V	0,40		0,66		0,24		0,20		0,32	
Cp	3,51		3,33		3,83		3,35		2,03	
P	1,00		0,94		0,89		1,00		1,00	
T	68,00		42,15		95,00		95,00		95,00	

ZONA 100

CORRENT	16		17		18		19		20	
Abreviatura	kg/h	%wt	kg/h	%wt	kg/h	%wt	kg/h	%wt	kg/h	%wt
AF	6908	0,159	7912	0,142	7912	0,183	0	0,000	0	0,000
FH	1434	0,033	34	0,001	34	0,001	0	0,000	0	0,000
FA	6632	0,152	6632	0,119	6632	0,153	0	0,000	0	0,000
AN	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
HS	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
OS	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
A	24249	0,558	24503	0,440	24490	0,565	13	0,002	11	0,002
AM	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
NA	4222	0,097	4222	0,076	4222	0,097	0	0,000	0	0,000
CA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
CX	44	0,001	5035	0,090	44	0,001	469	0,071	5601	0,998
CO	0	0,000	1244	0,022	0	0,000	0	0,000	0	0,000
HA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
SA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
TO	0	0,000	6138	0,110	0	0,000	6138	0,927	0	0,000
HG	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
ME	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
ON	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
NG	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
CM	43489,1		55720,7		43335,0		6619,8		5611,8	
CV	38,66		51,11		37,99		7,56		5,91	
d	1124,93		1090,16		1140,68		875,92		950,10	
V	0,02		0,38		0,38		0,25		0,71	
Cp	2,13		3,51		3,73		2,00		2,00	
P	1,00		1,00		1,00		1,00		1,00	
T	95,00		95,00		95,00		95,00		95,00	

ZONA 100

CORRENT	21		22		23		24		25	
Abreviatura	kg/h	%wt	kg/h	%wt	kg/h	%wt	kg/h	%wt	kg/h	%wt
AF	0	0,000	7912	0,174	0	0,000	7912	0,210	7912	0,210
FH	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
FA	0	0,000	6632	0,146	0	0,000	6632	0,176	6632	0,176
AN	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
HS	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
OS	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
A	24	0,002	26674	0,587	7678	0,996	19052	0,505	19052	0,505
AM	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
NA	0	0,000	4222	0,093	0	0,000	4166	0,110	4166	0,110
CA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
CX	6070	0,496	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
CO	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
HA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
SA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
TO	6138	0,502	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
HG	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
ME	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
ON	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
NG	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
CM	12231,7		45440,5		7709,0		37762,3		37762,3	
CV	13,44		40,07		4941,67		32,51		32,51	
d	909,95		1134,13		1,56		1161,53		1161,53	
V	0,41		0,26		0,01		0,27		0,45	
Cp	2,00		4,11		2,25		3,96		3,55	
P	1,00		2,96		2,89		2,96		2,74	
T	95,00		133,00		133,00		133,00		96,97	

ZONA 100

CORRENT	26		27		28		29		30	
Abreviatura	kg/h	%wt	kg/h	%wt	kg/h	%wt	kg/h	%wt	kg/h	%wt
AF	0	0,000	4795	0,054	0	0,000	0	0,000	0	0,000
FH	0	0,000	14926	0,169	0	0,000	0	0,000	0	0,000
FA	0	0,000	13264	0,150	0	0,000	0	0,000	0	0,000
AN	3633	0,605	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
HS	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
OS	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
A	2373	0,395	46806	0,530	5438	0,989	5438	0,989	13	0,001
AM	0	0,000	0	0,000	17	0,003	17	0,003	0	0,000
NA	0	0,000	8444	0,096	0	0,000	0	0,000	0	0,000
CA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
CX	0	0,000	0	0,000	44	0,008	44	0,008	469	0,036
CO	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	6407	0,492
HA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
SA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
TO	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	6138	0,471
HG	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
ME	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
ON	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
NG	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
CM	6006,3		88234,9		5499,4		5499,4		13026,7	
CV	4,92		83,63		9376,69		5,51		14,05	
d	1222,00		1055,07		0,59		998,66		927,11	
V	0,87		0,78		0,01		0,36		0,36	
Cp	3,12		2,99		2,11		4,28		2,00	
P	1,00		1,00		0,99		1,00		1,00	
T	25,00		68,00		99,44		40,00		95,00	

ZONA 100

CORRENT	31		32		33		34		35	
Abreviatura	kg/h	%wt	kg/h	%wt	kg/h	%wt	kg/h	%wt	kg/h	%wt
AF	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
FH	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
FA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
AN	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
HS	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
OS	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
A	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
AM	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
NA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
CA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
CX	1876	0,071	1407	0,071	1	0,000	1	0,000	0	0,000
CO	0	0,000	0	0,000	34397	1,000	27990	1,000	6407	1,000
HA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
SA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
TO	24551	0,929	18413	0,929	0	0,000	0	0,000	0	0,000
HG	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
ME	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
ON	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
NG	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
CM	26427,7		19820,5		34397,6		27990,6		6406,9	
CV	9135,06		22,63		35,10		9773,25		7,31	
d	2,89		875,68		980,00		2,86		876,00	
V	0,01		0,25		0,37		0,01		0,37	
Cp	1,48		2,00		2,55		1,91		2,55	
P	1,00		1,00		1,00		1,00		1,00	
T	116,70		95,00		208,30		208,30		208,30	

ZONA 200

CORRENT	36		37		38		39		40	
Abreviatura	kg/h	%wt	kg/h	%wt	kg/h	%wt	kg/h	%wt	kg/h	%wt
AF	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
FH	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
FA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
AN	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
HS	0	0,000	0	0,000	0	0,000	17835	0,363	14446	0,363
OS	0	0,000	0	0,000	0	0,000	7654	0,156	6200	0,156
A	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
AM	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
NA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
CA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	23615	0,481	19128	0,481
CX	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
CO	6407	1,000	5574	1,000	4549	1,000	0	0,000	0	0,000
HA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
SA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
TO	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
HG	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
ME	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
ON	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
NG	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
CM	6442,9		5611,0		4586,9		49142,4		39813,8	
CV	6,56		5,71		4,67		33,03		26,76	
d	982,00		982,00		982,00		1487,80		1487,80	
Vi	0,37		0,37		0,37		2,30		2,30	
Cp	2,55		2,55		2,55		2,55		2,55	
P	1,00		1,00		1,00		1,00		1,00	
T	95,00		95,00		95,00		110,00		110,00	

ZONA 200

CORRENT	41		42		43		44		45	
Abreviatura	kg/h	%wt	kg/h	%wt	kg/h	%wt	kg/h	%wt	kg/h	%wt
AF	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
FH	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
FA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
AN	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
HS	14446	0,363	3433	0,700	3389	0,363	5993	0,459	5993	0,459
OS	6200	0,156	1471	0,300	1454	0,156	2571	0,197	2571	0,197
A	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
AM	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
NA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
CA	19128	0,481	0	0,000	4487	0,481	4487	0,344	4487	0,344
CX	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
CO	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
HA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
SA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
TO	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
HG	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
ME	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
ON	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
NG	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
CM	39814,8		4946,0		9372,7		13094,9		13095,9	
CV	-		2,68		-		9,01		9,01	
d	-		1843		-		1453,3		1453,3	
Vi	5,23		5,33		2,18		2,30		3,61	
Cp	2,55		2,55		2,55		2,55		2,55	
P	1,00		1,00		1,00		1,00		1,00	
T	76,00		45,00		110,00		108,50		83,00	

ZONA 200

CORRENT	46		47		48		49		50	
Abreviatura	kg/h	%wt	kg/h	%wt	kg/h	%wt	kg/h	%wt	kg/h	%wt
AF	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
FH	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
FA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
AN	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
HS	0	0,000	6058	0,700	2605	0,700	3453	0,700	5440	0,474
OS	0	0,000	2596	0,300	1116	0,300	1480	0,300	2332	0,203
A	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
AM	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
NA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
CA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	3709	0,323
CX	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
CO	1025	1,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
HA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
SA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
TO	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
HG	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
ME	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
ON	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
NG	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
CM	1071,1		8700,9		3769,2		4981,8		11530,8	
CV	#iREF!		6,16		2,67		3,52		8,76	
d	#iREF!		1413,3		1413,3		1413,3		1315,88	
Vi	0,37		1,65		1,65		2,00		1,25	
Cp	2,55		2,27		2,27		2,23		2,24	
P	1,00		1,00		1,00		1,00		1,00	
T	95,00		105,00		105,00		95,00		105,00	

ZONA 200

CORRENT	51		96		97		98		99	
Abreviatura	kg/h	%wt	kg/h	%wt	kg/h	%wt	kg/h	%wt	kg/h	%wt
AF	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
FH	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
FA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
AN	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
HS	5440	0,474	0	0,000	5420	0,303	1987	0,303	3433	0,303
OS	2332	0,203	0	0,000	2323	0,130	852	0,130	1471	0,130
A	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
AM	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
NA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
CA	3709	0,323	0	0,000	10116	0,566	3709	0,566	6407	0,566
CX	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
CO	0	0,000	833	1,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
HA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
SA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
TO	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
HG	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
ME	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
ON	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
NG	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
CM	11531,8		928,9		17955,4		6646,1		11409,3	
CV	8,61		0,95		15,95		5,90		10,13	
d	1339,41		982		1125,94		1125,94		1125,94	
Vi	1,67		0,37		1,01		1,01		1,01	
Cp	2,16		2,55		2,22		2,22		2,22	
P	1,00		1,00		1,00		1,00		1,00	
T	87,00		95,00		105,00		105,00		105,00	

ZONA 200

CORRENT	100	
Abreviatura	kg/h	%wt
AF	0	0,000
FH	0	0,000
FA	0	0,000
AN	0	0,000
HS	3433	0,303
OS	1471	0,130
A	0	0,000
AM	0	0,000
NA	0	0,000
CA	6407	0,566
CX	0	0,000
CO	0	0,000
HA	0	0,000
SA	0	0,000
TO	0	0,000
HG	0	0,000
ME	0	0,000
ON	0	0,000
NG	0	0,000
CM	11410,3	
CV	10,00	
d	1140,77	
Vi	1,26	
Cp	2,15	
P	1,00	
T	90,00	

ZONA 300

CORRENT	52	
Abreviatura	kg/h	%wt
AF	0	0,000
FH	0	0,000
FA	0	0,000
AN	0	0,000
HS	3433	0,304
OS	1471	0,130
A	0	0,000
AM	0	0,000
NA	0	0,000
CA	6407	0,566
CX	0	0,000
CO	0	0,000
HA	0	0,000
SA	0	0,000
TO	0	0,000
HG	0	0,000
ME	0	0,000
ON	0	0,000
NG	0	0,000
CM	11310,96407	
CV	8,21482	
d	1376,896953	
Vi	5,710580782	
Cp	2,761572839	
P	1	
T	90	

ZONA 300

CORRENT	53		54		73		79		80	
Abreviatura	kg/h	%wt	kg/h	%wt	kg/h	%wt	kg/h	%wt	kg/h	%wt
AF	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
FH	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
FA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
AN	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
HS	5235	0,178	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
OS	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
A	10000	0,339	5770	0,760	10331	0,568	5022	1,000	747	1,000
AM	0	0,000	1820	0,240	0	0,000	0	0,000	0	0,000
NA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
CA	6570	0,223	0	0,000	164	0,009	0	0,000	0	0,000
CX	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
CO	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
HA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
SA	7686	0,261	0	0,000	7686	0,423	0	0,000	0	0,000
TO	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
HG	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
ME	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
ON	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
NG	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
CM	29491,84597		7589,342977		18180,8819		5022,351424		747,4066058	
CV	18,05344271		7,589342977		10,13833533		5,022351424		0,747406606	
d	1633,585707		1000		1793,28078		1000		1000	
Vi	2,879353131		1		1,048572673		1		1	
Cp	2,525791261		4,305227422		3,087640617		4,18		4,18	
P	1,5		1		1		1,2		1	
T	90		20		35		65		20	

ZONA 300

CORRENT	81		82		84		85		86	
Abreviatura	kg/h	%wt	kg/h	%wt	kg/h	%wt	kg/h	%wt	kg/h	%wt
AF	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
FH	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
FA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
AN	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
HS	0	0,000	0	0,000	0	0,000	21468	0,178	26704	0,178
OS	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
A	5770	1,000	0	0,000	5770	1,000	41005	0,339	51005	0,339
AM	0	0,000	1820	1,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
NA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
CA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	26941	0,223	33511	0,223
CX	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
CO	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
HA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
SA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	31518	0,261	39204	0,261
TO	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
HG	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
ME	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
ON	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
NG	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
CM	5769,75803		1819,584947		5769,75803		120932,5585		150424,4045	
CV	5,76975803		412,2699931		5,76975803		74,02890343		92,08234614	
d	1000		4,413576		1000		1633,585707		1633,585707	
Vi	1		0		1		2,879353131		2,879353131	
Cp	4,18		1,68132707		0,486920997		2,525791261		2,525791261	
P	1		5,92		1		1,5		1,5	
T	35		5		59		90		90	

ZONA 300

CORRENT	87		88		89		90		91	
Abreviatura	kg/h	%wt	kg/h	%wt	kg/h	%wt	kg/h	%wt	kg/h	%wt
AF	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
FH	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
FA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
AN	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
HS	26704	0,178	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
OS	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
A	51005	0,339	148286	0,425	164056	0,425	164056	0,425	19818	0,760
AM	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	6250	0,240
NA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
CA	33511	0,223	61780	0,177	68350	0,177	68350	0,177	0	0,000
CX	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
CO	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
HA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
SA	39204	0,261	138656	0,398	153402	0,398	153402	0,398	0	0,000
TO	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
HG	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
ME	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
ON	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
NG	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
CM	150424,4045		348722,5588		385807,9398		385807,9398		26068,16759	
CV	92,08234614		209,1087817		231,3467432		231,3467432		26,06816759	
d	1633,585707		1667,660994		1667,660994		1667,660994		1000	
Vi	2,879353131		1,95666751		1,95666751		1,95666751		1	
Cp	2,525791261		2,853728183		2,853728183		2,853728183		4,305227422	
P	1,5		1		1		1		1	
T	100		90		90		100		10	

ZONA 300

CORRENT	92		93		94	
Abreviatura	kg/h	%wt	kg/h	%wt	kg/h	%wt
AF	0	0,000	0	0,000	0	0,000
FH	0	0,000	0	0,000	0	0,000
FA	0	0,000	0	0,000	0	0,000
AN	0	0,000	0	0,000	0	0,000
HS	0	0,000	0	0,000	0	0,000
OS	0	0,000	0	0,000	0	0,000
A	19818	0,760	25588	0,760	25588	0,804
AM	6250	0,240	8070	0,240	6250	0,196
NA	0	0,000	0	0,000	0	0,000
CA	0	0,000	0	0,000	0	0,000
CX	0	0,000	0	0,000	0	0,000
CO	0	0,000	0	0,000	0	0,000
HA	0	0,000	0	0,000	0	0,000
SA	0	0,000	0	0,000	0	0,000
TO	0	0,000	0	0,000	0	0,000
HG	0	0,000	0	0,000	0	0,000
ME	0	0,000	0	0,000	0	0,000
ON	0	0,000	0	0,000	0	0,000
NG	0	0,000	0	0,000	0	0,000
CM	26068,16759		33657,51057		31837,92562	
CV	26,06816759		33,65751057		31,83792562	
d	1000		1000		1000	
Vi	1		1		1	
Cp	4,305227422		4,305227422		4,305227422	
P	1		1		1	
T	20		20		20	

ZONA 400

CORRENT	55		56		57		58		59	
Abreviatura	kg/h	%wt	kg/h	%wt	kg/h	%wt	kg/h	%wt	kg/h	%wt
AF	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
FH	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
FA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
AN	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
HS	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
OS	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
A	15770	0,425	14094	0,491	27	0,010	14092	0,494	1675	0,200
AM	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
NA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
CA	6570	0,177	287	0,010	149	0,055	143	0,005	6283	0,750
CX	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
CO	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
HA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
SA	14746	0,398	14327	0,499	27	0,010	14300	0,501	419	0,050
TO	0	0,000	0	0,000	2488	0,925	0	0,000	0	0,000
HG	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
ME	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
ON	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
NG	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
CM	37085,54918		28708,19063		2691,1177		28534,79997		8377,358548	
CV	22,23806235		16,01545876		2,99409281		15,88561358		6,757296671	
d	1667,660994		1792,530021		898,8090452		1796,266781		1239,75	
Vi	1,95666751		1,053999846		0,644876382		1,026987127		5,05	
Cp	2,853728183		2,891645814		2,056508269		2,895201702		2,723789065	
P	1		1		1		1,35		1	
T	90		90		90		90		90	

ZONA 400

CORRENT	60		61		62		63		64	
Abreviatura	kg/h	%wt	kg/h	%wt	kg/h	%wt	kg/h	%wt	kg/h	%wt
AF	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
FH	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
FA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
AN	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
HS	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
OS	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
A	1613	0,775	280	0,010	11081	1,000	215	0,010	190	0,010
AM	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
NA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
CA	21	0,010	6443	0,230	0	0,000	37	0,002	32	0,002
CX	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
CO	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
HA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
SA	446	0,214	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
TO	0	0,000	21291	0,760	0	0,000	21291	0,988	18802	0,988
HG	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
ME	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
ON	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
NG	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
CM	2079,472372		28013,85413		11080,95349		21542,5773		19024,85026	
CV	1,160108187		30,67020017		11,08095349		24,71581339		21,82722347	
d	1792,481421		913,39		1000		871,6111		871,6111	
Vi	1,054351172		1,704756		1		0,31055073		0,31055073	
Cp	3,616184057		2,128589258		4,18		2,039294916		2,039294916	
P	1,6		1		1		1		1	
T	90		90		90		90		90	

ZONA 400

CORRENT	65		66		67		68		69	
Abreviatura	kg/h	%wt	kg/h	%wt	kg/h	%wt	kg/h	%wt	kg/h	%wt
AF	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
FH	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
FA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
AN	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
HS	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
OS	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
A	25	0,010	15705	0,513	10683	0,417	193	0,048	353	0,048
AM	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
NA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
CA	4	0,002	164	0,005	164	0,006	0	0,000	0	0,000
CX	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
CO	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
HA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
SA	0	0,000	14746	0,482	14746	0,576	3856	0,952	7059	0,952
TO	2488	0,988	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
HG	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
ME	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
ON	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
NG	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
CM	2517,727038		4048,384987		25591,92092		4048,384987		7412,271071	
CV	2,888589921		4,434156612		14,25553821		4,434156612		8,118588248	
d	871,6111		913		1795,226566		913		913	
Vi	0,31055073				1,028845828					
Cp	2,039294916		1,633873165		2,944174379		1,633873165		1,633873165	
P	1				1					
T	90		65		65		65		50	

ZONA 400

CORRENT	70		71		72		74		75	
Abreviatura	kg/h	%wt	kg/h	%wt	kg/h	%wt	kg/h	%wt	kg/h	%wt
AF	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
FH	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
FA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
AN	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
HS	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
OS	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
A	10490	0,487	10491	0,487	160	0,048	11146	0,635	11034	1,000
AM	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
NA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
CA	164	0,008	164	0,008	0	0,000	6407	0,365	0	0,000
CX	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
CO	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
HA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
SA	10890	0,505	10890	0,505	3204	0,952	0	0,000	0	0,000
TO	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
HG	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
ME	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
ON	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
NG	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
CM	21543,53593		21544,76798		3363,886084		17552,23033		11034,20959	
CV	12,00645434		12,00714098		3,684431636		17,21912633		11,03420959	
d	1794,329559		1794,329559		913		1019,345		1000	
Vi	1,040991137		1,040991137				2,971		1	
Cp	2,879513107		2,879513107		1,633873165		3,533266431		4,18	
P	1		1				1,3		1,38	
T	65		35		35		90		75	

ZONA 400

CORRENT	76		77		78		83	
Abreviatura	kg/h	%wt	kg/h	%wt	kg/h	%wt	kg/h	%wt
AF	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
FH	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
FA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
AN	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
HS	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
OS	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
A	215	1,000	111	0,017	0	0,000	11081	1,000
AM	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
NA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
CA	0	0,000	6407	0,983	6407	1,000	0	0,000
CX	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
CO	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
HA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
SA	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
TO	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
HG	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
ME	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
ON	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
NG	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
CM	215,425773		6518,020732		6406,564069		11080,95349	
CV	0,215425773		6,189953211		6,084106428		11,08095349	
d	1000		1053		1053		1000	
Vi	1		6,4				1	
Cp	4,18		2,408127208		2,408127208		0,486920997	
P	1		1				1	
T	20		75		60		73	

1.8. Especificacions i necessitats de servei al límit de la planta

En l'últim apartat d'aquest capítol s'especificaran els serveis requerits durant la operació de la planta. S'han separat en diferents subapartats els diversos serveis en funció de la seva naturalesa i finalitat.

1.8.1. Aigua de xarxa

Tal i com succeeix en totes les indústries, durant la operació normal d'una planta es requereix l'ús d'aigua de xarxa ja sigui per a ús personal, per al mateix procés o per a la lluita contra incendis.

1.8.1.1. Aigua potable per ús personal

Dins la classificació de aigua potable per a ús personal s'inclou l'aigua utilitzada en la zona d'oficines, el menjador, les dutxes, els vestuaris, els laboratoris i els tallers. També s'inclou el consum d'aigua relacionat amb les dutxes de seguretat i les estacions de rentat d'ulls. Tota aquesta aigua anirà a parar al clavegueram i després cap al col·lector que la conduirà cap a la EDAR corresponent.

1.8.1.2. Aigua per al procés

Durant el procés de fabricació de la Caprolactama es requereix aigua de xarxa per tal de realitzar dilucions, sobretot la d'amoníac en aigua, i en la extracció de la caprolactama del toluè. El disseny del sistema de reacció busca optimitzar el màxim l'ús d'aquest be natural mitjançant recirculacions ja que posteriorment es requereix un tractament. Si es tenen en compte tots els requeriments de la planta s'obté un consum de $0.962 \text{ m}^3/\text{h}$, les entrades d'aigua de xarxa al sistema es realitzen mitjançant els corrent 76 i 80.

1.8.1.3. Aigua per la lluita contra incendis

L'aigua utilitzada amb aquesta finalitat és imprescindible però a més, representa el consum més gran que aigua de xarxa si es té en compte els metres cúbics hora emprats (en el cas que funcione constantment) ja que els requeriments dels diferents sistemes de extinció d'incendis són elevats.

Les reserves requerides mes elevades corresponen als hidrants i al sistema d'aigua polvoritzada. Tenint en compte que aquests dos sistemes corresponen a les dues simultaneïtats més desfavorables s'ha dissenyat el tanc d'emmagatzematge en funció d'aquest requeriment. Si se sumen ambdues reserves s'obté que es requereixen $862.93 \text{ m}^3/\text{h}$. Així doncs, si s'aplica un coeficient de seguretat de 1.5 h, aquest valor és funció del risc de la planta i s'aplica per tal de garantir les tasques de extinció un mínim de 1.5 hores en el cas més desfavorable, s'obté que cal una reserva de 1300 metres cúbics.

Per tant, en la planta es disposa de dos tancs de 650 m^3 amb una alçada de 5 metres i un diàmetre de 13 metres que emmagatzemen la reserva d'aigua esmentada. Cal afegir que s'ha repartit el volum d'aigua necessària en dos tancs per tal de minimitzar els riscos en cas de trencament d'un dels dipòsits i per facilitar les tasques de manteniment.

1.8.1.4. Aigua pluvial i aigua residual de la lluita contra incendis

A la hora de fer el disseny de les canonades de la planta no es pot passar per alt el sistema de recollida d'aigües tant pluvials com la utilitzada en l'extinció. El disseny de la xarxa de canonades i de l'estructura metàl·lica evita que s'hagin de tractar les aigües pluvials o les utilitzades en l'extinció ja que aquestes es recullen aïlladament de la resta de fluids del procés. Un cop recollides s'envien al col·lector principal que les enviarà a l'EDAR.

1.8.2. Fluids tèrmics

1.8.2.1. Aigua de refrigeració

S'utilitzen tres o quatre torres de refrigeració simultàniament, segons les necessitats de refrigeració, amb un cabal mitjà de $1700 \text{ m}^3/\text{h}$.

1.8.2.2. Aigua de chiller

S'utilitza en el reactor RE-303.

1.8.2.3. Vapor d'aigua

En la planta es requereix vapor d'aigua en el bescanviadors BE-101/102/401/901, el cristal·litzador CR-401 i en l'evaporador TE-401. En tots aquests equips s'utilitza vapor a 250°C i a una pressió de 39.8 atmosferes que es genera en la caldera. En total es té un requeriment de vapor de 24252 kg/h el que implica tenir una caldera amb una capacitat de producció de $174.3 \text{ m}^3/\text{h}$ i amb un volum de 35 m^3 , ambdues dades ja inclouen el coeficient de seguretat per tal de garantir el servei en tots els casos.

En el cas del BE-102 que correspon al reboiler de la torre de destil·lació TD-101 es necessari escalfar la barreja de cucs per tal que es vaporitzi el toluè, l'aigua i la ciclohexanona. Per tal de dur a terme aquest canvi de fase la mescla s'ha de mantenir a 208°C ja que en aquesta temperatura i a una pressió d'una atmosfera, la ciclohexanona oxima es manté en estat líquid permeten la seva separació de la resta de components. L'elevada temperatura implica l'ús de vapor a alta temperatura i pressió com a fluid calefactor. En concret, es treballa amb vapor a

250°C i a una pressió de 39.8 atmosferes que gràcies al canvi de fase es capaç de donar l'energia necessària al sistema.

Els requeriments de vapor són de 6762 kg/h tot i que es dissenya una caldera capaç de proporcionar un cabal de vapor, en aquestes condicions, un vint per cent superior. Així doncs cal una caldera amb capacitat de generació de 8114.4 kg/h de vapor.

1.8.2.4. Aigua descalcificada

S'utilitza per suplir les necessitats de les torres de refrigeració i de la caldera.

1.8.3. Energia elèctrica

1.8.3.1. Estacions transformadores

Diversos equips i elements de control requereixen d'energia elèctrica. L'electricitat proporcionada és a alta tensió, pel que es necessita d'una estació transformadora per passar-la a baixa tensió i 380 volts (electricitat amb que funcionen la majoria d'equips industrials).

Hi ha un consum de 1330 kWh, però al disposar d'un sistema de cogeneració a la pròpia caldera aprofitant els gasos residuals produïts, s'obté una planta autosuficient energèticament parlant ja que aquesta té una capacitat de producció d'uns 8.5 MWe.

Com es pot apreciar, es genera una quantitat d'energia molt gran en comparació amb la consumida.

Per tal de poder fer servir cogeneració s'ha de consumir un 25% de vapor, condició que es compleix.

1.8.3.2. Característiques de les línies

1.8.3.3. Grups electrògens

1.8.4. Nitrogen

Per tal d'assegurar el correcte funcionament de la planta es requereix un servei de nitrogen gas que serà utilitzat ens els tancs d'emmagatzematge d'algunes substàncies (toluè i hidrogen) i durant l'obtenció de la caprolactama en la part de purificació. En el primer cas cal una aportació de gas inert per tal d'evitar la formació de mescles explosives amb l'aire. En l'escamadora, en canvi, s'utilitza el nitrogen gas per tal de evitar l'oxidació de la caprolactama fosa.

Per altra banda, també es requereix nitrogen per a transportar la caprolactama un cop surt de l'escamadora cap a les sitges d'emmagatzematge tal i com s'ha esmentat anteriorment.

1.8.5. Aire comprimit

En la planta dissenyada es té requereix un servei d'aire comprimit per a la instrumentació i per al transport de la caprolactama des de les escamadores fins a les sitges. Segons els consums dels diferents equips es té que fan falta tres compressors de 22kW amb tres tancs pulmó de 1 m³. Addicionalment, s'ha decidit disposar com a reforç de un compressor de 7 kW per tal de garantir un cabal mínim per al funcionament de la instrumentació i de part del sistema de transport de producte final. Ara bé, degut a que no es recomana que un compressor treballi constantment a la màxima capacitat es disposa de dos compressors de 22 kW més per tal d'anar realitzant una rotació en el funcionament i allargar la durada dels equips.

Cal afegir que, la instal·lació serà en forma de anell tancat per tal d'aprofitar al màxim aquest servei i permetent mantenir una pressió constant. Aquesta pressió en tot el sistema equival a la màxima pressió requerida que és la que s'utilitza en el sistema de transport, és a dir, 13 bars. El valor de la pressió d'operació requerida s'ha extret de les recomanacions proporcionades per la bibliografia (per a més informació vegeu els Capítols 11 i 12).

1.8.6. Gas natural

El gas natural s'utilitza com a combustible per a la caldera de generació de vapor a alta pressió, en règim normal d'operació de la planta les necessitats d'aquest servei son nul·les ja que la planta és autosuficient. És a dir, el combustible o barreja de gasos que se separa en el filtre membrana FM-101 té una capacitat calorífica suficient com per generar aquest vapor.

Per altra banda, s'utilitzarà aquest combustible per alimentar la caldera que proporciona aigua calenta a la zona d'oficines però el seu consum és ínfim comparat amb els requeriments de la caldera de vapor.