



# CAPROJAMS S.L.

PRODUCCIÓN DE CAPROLACTAMA

JESÚS JUAN CALZADO  
ALBA GARCÍA CERDEÑO  
MANUEL PORTERO LEIVA  
SANDRA CRUZ NÚÑEZ

GRUPO 8

TUTOR: CARLES SOLÀ

1.- Especificaciones del proyecto

# 1.- ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

## 1.- Especificaciones del proyecto

**ÍNDICE**

<b>1.- ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO .....</b>	<b>6</b>
1.1.- DEFINICIÓN DEL PROYECTO .....	6
1.1.1.- <i>Objeto del proyecto</i> .....	6
1.1.2.- <i>Alcance del proyecto</i> .....	6
1.1.3.- <i>Localización geográfica de la planta</i> .....	7
1.1.4.- <i>Comunicación y accesibilidad</i> .....	7
1.1.5.- <i>Nomenclatura de la memoria</i> .....	9
1.2.- CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES DE E-CAPROLACTAMA.....	12
1.2.1.- <i>Historia del compuesto</i> .....	12
1.2.2.- <i>Propiedades físicas de la caprolactama</i> .....	12
1.2.3.- <i>Propiedades químicas</i> .....	13
1.2.4.- <i>Aplicaciones del compuesto</i> .....	15
1.3.- METODOS DE OBTENCIÓN DE E-CAPROLACTAMA.....	16
1.3.1.- <i>Proceso BASF (1940)</i> .....	16
1.3.2.- <i>Reordenamiento de Beckmann hacia caprolactama</i> .....	17
1.3.3.- <i>Mejora del proceso de oxidación (Proceso DSM y BASF (1950))</i> .....	18
1.3.4.- <i>Reducción sin neutralización u oximación acídica</i> .....	19
1.3.5.- <i>Proceso DuPont</i> .....	21
1.3.6.- <i>Fotoximación (Proceso Toray)</i> .....	22
1.3.7.- <i>Producción con Tolueno como punto de partida</i> .....	24
1.3.8.- <i>Proceso Enichem (peróxido de hidrógeno)</i> .....	25
1.4.- DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN .....	27
1.4.1.- <i>Almacenamiento de reactivos y productos</i> .....	27
1.4.2.- <i>Proceso DSM</i> .....	30
1.4.3.- <i>Modificaciones del Proceso</i> .....	32

1.- Especificaciones del proyecto

1.4.4.- <i>Reactores de Beckmann</i> .....	33
1.4.5.- <i>Purificación de la caprolactama</i> .....	33
1.4.6.- <i>Purificación del sulfato de amonio</i> .....	34
1.5.- CONSTITUCIÓN DE LA PLANTA.....	35
1.5.1.- <i>Normativa urbanística y criterios de construcción</i> .....	35
1.5.2.- <i>Descripción cualitativa de la planta</i> .....	36
1.5.3.- <i>Distribución en áreas</i> .....	36
1.5.4.- <i>Plantilla de trabajadores</i> .....	39
1.6.- BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA .....	41
1.7.- SERVICIOS DE PLANTA.....	60
1.7.1.- <i>Energía eléctrica</i> .....	60
1.7.2.- <i>Vapor de agua</i> .....	60
1.7.3.- <i>Gas natural</i> .....	61
1.7.4.- <i>Agua de red</i> .....	61
1.7.5.- <i>Agua descalcificada</i> .....	62
1.7.6.- <i>Agua de refrigeración</i> .....	62
1.7.7.- <i>Torres de refrigeración</i> .....	63
1.7.8.- <i>Aire comprimido</i> .....	66

## PLANTA DE PRODUCCIÓN DE CAPROLACTAMA

---

### 1.- Especificaciones del proyecto

1.- Especificaciones del proyecto

**1.- ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO**

**1.1.- DEFINICIÓN DEL PROYECTO**

**1.1.1.- Objeto del proyecto**

La finalidad de este proyecto es la realización del diseño de una planta de fabricación de caprolactama a partir de ciclohexanona, así como el estudio de la viabilidad de construcción y operación de la misma.

Las características específicas de este proyecto son la capacidad de producción de 45.000 Tn/año de caprolactama, el periodo anual de funcionamiento de 300 días/año de producción y la presentación del producto en estado sólido en 'big-bags' de 800 kg.

**1.1.2.- Alcance del proyecto**

El proyecto ha de incluir diversas áreas de diseño, como son:

- Diseño y especificaciones de las unidades de proceso y reacción para la producción y purificación de la caprolactama.
- Diseño y especificaciones de las unidades de almacenamiento de materias primas, de producto acabado y estación de carga y descarga.
- Diseño y especificaciones de los distintos sistemas de control para cada una de las unidades.
- Definición de los sistemas de seguridad e higiene necesarios.
- Evaluación económica (estudio de viabilidad) y medioambiental de la planta.
- Puesta en marcha de la planta.
- Áreas de servicios, de oficinas, de laboratorios, de vestuarios y auxiliares (aparcamiento, control de acceso, contra incendios, depuración de aguas y gases).

## 1.- Especificaciones del proyecto

### 1.1.3.- Localización geográfica de la planta

La ubicación de la planta a diseñar se encuentra en un polígono ficticio en el término municipal de Tarragona, específicamente en el Polígono Industrial 'Nylon-66'. La superficie disponible para el emplazamiento de la planta es de 53.235 m<sup>2</sup>.

Debido a su localización, el proyecto habrá de cumplir principalmente las normativas urbanísticas para el polígono mencionado en lo que hace referencia a viales y vecinos, altura de edificios, ocupación de la parcela y edificabilidad. Además, el proyecto habrá de satisfacer la normativa sectorial de aplicación, de medioambiente y de protección contra incendios.

### 1.1.4.- Comunicación y accesibilidad

Para empezar, se presenta el mapa político de Cataluña (*Figura 1.1.3.1.*) con el objetivo de poder observar la situación del municipio de Tarragona. Como se puede ver, éste se encuentra en la zona inferior de la costa Catalana.



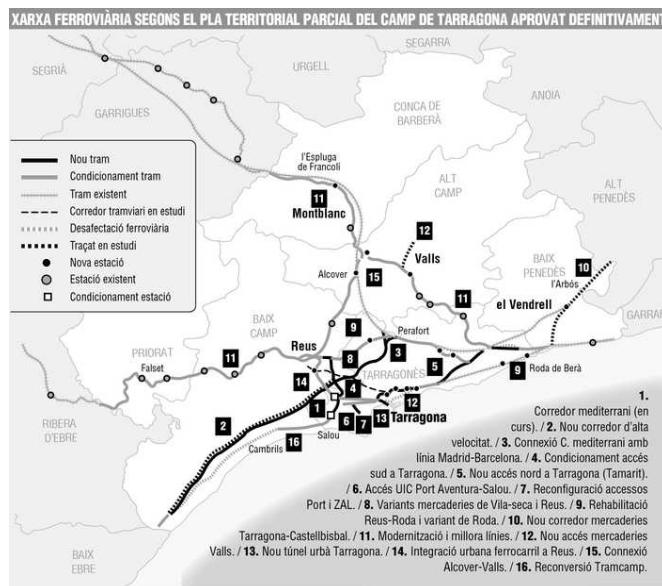
*Figura 1.1.3.1.-Mapapoltíco de Cataluña.*

## PLANTA DE PRODUCCIÓN DE CAPROLACTAMA

### 1.- Especificaciones del proyecto

En lo que hace referencia a la red de comunicaciones, Tarragona tiene cuatro posibles vías de acceso. Se dispone del área portuaria de Tarragona, del Aeropuerto de Reus, de una red ferroviaria y una de carreteras. Este conjunto de infraestructuras permite una excelente comunicación entre la Planta y el resto de Cataluña, de España o del mundo.

A continuación, se muestra la *Figura 1.1.3.2.* donde se exponen las redes ferroviarias.



*Figura 1.1.3.2.-Red ferroviaria de Tarragona.*

Seguidamente, se presenta un mapa con la red de carreteras (*Figura 1.1.3.3.*).

## 1.- Especificaciones del proyecto



*Figura 1.1.3.3.- Red de carreteras de Tarragona.*

En la figura se puede apreciar que por Tarragona cruzan importantes carreteras como la autopista AP-7, la cual comunica toda la costa del Mar Mediterráneo y llega hasta Francia. También se observan diversas carreteras nacionales y comarcales.

Por último, es necesario mencionar que además de la buena infraestructura de la cual dispone el Polígono Industrial 'Nylon-66', también se encuentra en un entorno de actividad completamente industrial. Esto será de gran ayuda a la hora de la necesidad de primeras materias.

### 1.1.5.- Nomenclatura de la memoria

En este apartado se definirá las áreas en la que la planta de producción de la caprolactana está dividida. A parte, también se especificará la nomenclatura utilizada a lo largo del proyecto para definir los reactivos, productos, las corrientes, equipos...etc.

## PLANTA DE PRODUCCIÓN DE CAPROLACTAMA

---

### 1.- Especificaciones del proyecto

- Áreas de la planta de caprolactama

*Tabla. 1.1.5.1.- Nomenclatura de las áreas de la planta.*

NOMBRE	ÁREA
A-100	Almacenaje de reactivos
A-200	Formación de oxima
A-300	Transposición de Beckman
A-400	Purificación de caprolactama
A-500	Purificación de sulfato de amonio
A-600	Servicios
A-700	Almacenaje de productos
A-800	Oficinas
A-900	Laboratorios - Sala de control
A-1000	Aparcamiento
A-1100	Balsa contra incendios
A-1200	Estación transformadora

- Equipos del proceso.

*Tabla. 1.1.5.2.- Nomenclatura de los equipos de proceso.*

Letra	Equipo
A	Agitador
M	Mezclador
CA	Columna adsorción
CB	Columna burbujeo
CD	Columna destilación
CE	Columna extracción
CO	Compresor
CS	Columna stripping
DE	Decantador
EN	Estación nitrógeno líquido
ES	Escamadora
ETE	Evaporador triple efecto
F	Filtro
MO	Motor
P	Bomba
PV	Bomba de vacío
R	Reactor
S	Separador
T	Tanque/Depósito/Silo

## PLANTA DE PRODUCCIÓN DE CAPROLACTAMA

### 1.- Especificaciones del proyecto

- Equipos de servicio

*Tabla. 1.1.5.3.- Nomenclatura de los equipos de proceso.*

Letra	Equipo
CL	Enfriador (Cooler)
CR	Condensador
CV	Caldera vapor
DC	Descalcificador
H	Calentador (Heater)
TR	Torre de refrigeracion

- Fluidos del proceso

*Tabla. 1.1.5.4.- Nomenclatura de los fluidos de proceso.*

ITEM	COMPUESTOS
CH	Ciclohexanona
HA	Hidroxilamina
CHO	Ciclohexanona oxima
CPL	Caprolactama
W	Agua
H <sub>2</sub>	Hidrógeno
NH <sub>3</sub>	Amoniaco
NA	Nitrato de amonio
AF	Ácido fosfórico
NHP	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$
NO	NO
NO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>
AN	Ácido nítrico
AS	Ácido sulfúrico
SO <sub>3</sub>	Óxido de azufre
T	Tolueno
NH <sub>4</sub> OH	Hidróxido de amonio

## 1.- Especificaciones del proyecto

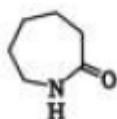
**1.2.- CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES DE  $\epsilon$ -CAPROLACTAMA****1.2.1.- Historia del compuesto**

La caprolactama es un compuesto conocido desde hace varios siglos, concretamente su descubrimiento se produce en el 1899, año en el cual, S. Gabriel y TA Maas descubren su sintetización por ciclación del ácido e-aminocaproico. Posteriormente, se desarrollan nuevas rutas de sintetización del compuesto, entre las cuales, cabe destacar por su posterior interés industrial, la transposición de Becknamm a partir de ciclohexanona oxima, descubierta por O Wallach.

El interés en este compuesto se incrementará en 1938, cuando se descubre su gran utilidad en la fabricación de polímeros. A partir de entonces, su producción a gran escala ha ido en aumento rápidamente, hasta alcanzar cuotas de 2,2 millones de toneladas producidas en 1994. Dato significativo para indicar las necesidades de este producto en la sociedad de hoy en día, y para entender porque es la lactama más importante a nivel industrial.

**1.2.2.- Propiedades físicas de la caprolactama**

La caprolactama se caracteriza por ser un compuesto blanco, higroscópico, cristalino y con un olor identificativo al mismo compuesto. Su formulación desarrollada se muestra a continuación.



*Figura 1.2.2.1.-Molécula de Caprolactama ( $C_6H_{11}ON$ ).*

## 1.- Especificaciones del proyecto

A continuación, se muestran datos de diferentes propiedades físicas del compuesto, como puntos de ebullición, evaporación, densidad, solubilidad con varios compuestos, etc.:

$M_r$	113.16
$mp$ , °C	69.2
$bp$ , °C	
at 101.3 kPa	268.5
at 6.7 kPa	174
at 1.3 kPa	134
at 0.4 kPa	111
Density, kg/L	
at 120 °C	0.9829
at 100 °C	0.9983
at 80 °C	1.0135
Viscosity, mPa · s	
at 120 °C	2.93
at 100 °C	4.87
at 80 °C	8.82
Specific heat, $\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$	
at 150 °C	2.345
at 80 °C	2.135
Heat of fusion, $\text{kJ/kg}$	123.5
Heat of polycondensation, $\text{kJ/kg}$	138
Heat of vaporization, $\text{kJ/kg}$	
at 268 °C	481
at 168 °C	574
at 105 °C	628
Vapor pressure, kPa	
at 268 °C	101.3
at 168 °C	5.3
at 105 °C	0.25
Flash point, °C	139.5
Ignition temperature, °C	375
Lower explosion limit	1.4 vol% at 135 °C
Upper explosion limit	8.0 vol% at 180.5 °C
Thermal conductivity coefficient, $\text{kJ m}^{-1} \text{h}^{-1} \text{K}^{-1}$ , at 76–183 °C	0.5
Coefficient of volume expansion, $\text{K}^{-1}$ , at 80–90 °C	0.00104

**Tabla 1.2.2.2: Solubilidad de la caprolactama a con diferentes solventes a diferentes temperaturas.**

**Table 1. Solubility of caprolactam (wt %)**

Solvent	Solubilities at			
	20	30	40	50 °C
Water	82	86.5	90	93.5
Toluene	26	36.5	51	66.5
Ethyl acetate	24.2	33.3	48.5	66.2
Methyl ethyl ketone	34.6	45.7	59.2	72.9
Cyclohexanone	34.6	42.2	54.5	68.2
Cyclohexane	2	2.5	7	18.5

**Figura 1.2.2.3.- Propiedades físicas de la caprolactama.**

### 1.2.3.- Propiedades químicas

La propiedad más importante de la caprolactama, por su interés industrial tal como ya hemos visto antes, es la polimerización; esta se produce por condensación en un rango de temperaturas comprendido entre 260-270 °C. Es soluble en componentes polares, disolventes aromáticos y ligeramente solubles en hidrocarburos alifáticos con gran peso molecular.

A continuación, se muestran otras reacciones a tener en cuenta, debido a su importancia a la hora de llevar a cabo la producción industrial de caprolactama:

1.- Especificaciones del proyecto

- La polimerización de caprolactama, también puede darse por poliadición con cadenas poliméricas. La reacción de poliadición, se caracteriza por ser una reacción de equilibrio entre el polímero y la caprolactama con un 90% de conversión del polímero.
- La polimerización aniónica, puede darse siempre y cuando se produzca a baja humedad, preferiblemente a menos de 100 ppm de humedad ambiental. También es necesario, para que esta polimerización se realice, que la reacción tenga un sistema de co-catalización para llevar a cabo este proceso.
- El compuesto puede reaccionar, de diferentes maneras con amidas cíclicas, pueden generarse en contacto con amidas, oxidaciones, hidrólisis, fosfogenaciones, nitraciones a nitrocaprolactama y N-alquilaciones de caprolactama, entre otras reacciones.
- Un factor a tener en cuenta durante la operación del proceso para obtener caprolactama, es la tendencia a la absorción y reacción de la caprolactama y el oxígeno. El oxígeno reacciona a una temperatura de 75 Cº con caprolactama, para producir peróxido de hidrógeno. Otra reacción a alrededor de 100 Cº, es la formación de la amida de ácido adípico. Cabe decir también, que el compuesto es estable en ausencia de oxígeno.
- La caprolactama puede ser convertida a ácido aminocaproico, por hidrólisis con diferentes ácidos acuosos y alcalinos.
- El tratamiento con soluciones gaseosas de metanol, en presencia de catalizadores deshidratantes, produce N-metil-e-caprolactama, conocido por ser un solvente versátil.
- Es posible la reacción con fósforo para dar ácido clorofórmico y éster de caprolactama.

1.- Especificaciones del proyecto

- Una alternativa a la ruta de Becknamm, es el ataque de ciclohexanona con NOCl y HCl para producir caprolactama (Toray).

**1.2.4.- Aplicaciones del compuesto**

La caprolactama se emplea, en aplicaciones industriales, como monómero para la fabricación de poliamidas, polímeros, termoplásticos, resinas y resinas termoendurecidas. La más común es la producción de nylon 6, este, es el precursor de diferentes fibras con diferentes aplicaciones importantes en el sector textil e industrial.

Otras aplicaciones de menor importancia, son la utilización de caprolactama como producto intermedio para la producción de L-lisina (aminoácido no sintetizable por vía animal) y laurilactama (monómero del nylon 12). También la caprolactama se utiliza como reactivo en el laboratorio.

## 1.- Especificaciones del proyecto

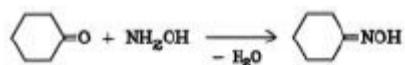
**1.3.- METODOS DE OBTENCIÓN DE  $\epsilon$ -CAPROLACTAMA**

A la hora de producir caprolactama, se ha de tener en cuenta que, todos los procesos de producción de caprolactama a nivel industrial, están basados en el benceno o el tolueno como punto de partida del mismo, no obstante, cabe resaltar que el 90 % de la producción mundial de caprolactama se realiza a partir de ciclohexanona. En todos los procesos de producción industrial de caprolactama, se generan amonio sulfatos en menor o mayor medida, y aunque este subproducto posee utilidad como fertilizante, su salida comercial es más bien escasa, siendo la producción y eliminación de este subproducto el indicador de la eficiencia del proceso y un coste muy importante en la economía del mismo.

Existen varios procesos para la obtención de caprolactama, los procesos más importantes se describen a continuación.

**1.3.1.- Proceso BASF (1940)**

Fue el primer proceso de producción de caprolactama, desarrollado en los años 40 por la compañía BASF. En este proceso, una corriente de hidroxilaminosulfato acuoso, reacciona con ciclohexanona para producir ciclohexanonaoxima, según la siguiente reacción:



*Figura 1.3.1.1.- Reacción descrita por el proceso BASF (1940)*

Durante el proceso, se libera ácido sulfúrico que será neutralizado por una corriente de amoniaco, produciendo como residuo amonio sulfatos. Esta reacción se caracteriza por generar una gran cantidad de amonio sulfatos como residuo, concretamente 2,7 toneladas por tonelada de ciclohexanonaoxima producida.

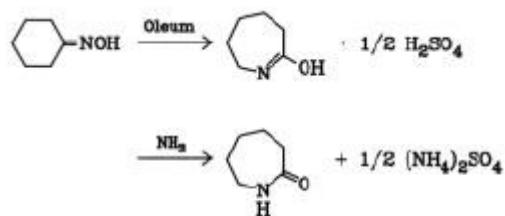
## 1.- Especificaciones del proyecto

La ciclohexanona oxima, será separada de la solución de amonio sulfato mediante un tambor separador.

**1.3.2.- Reordenamiento de Beckmann hacia caprolactama**

Todos los procesos utilizan ácido sulfúrico como reactivo en la reacción de reordenamiento de Becknamm, esta reacción será más eficiente, cuanto más concentrada sea la corriente de entrada de ácido sulfúrico y más proporción de trióxido de azufre contenga la misma.

En este proceso, en concreto, una corriente de ciclohexanona oxima y otra corriente de óleum concentrado al 27%, se introducen en un reactor de tanque agitado de manera simultánea para producir caprolactama. Los restos de sulfato en medio ácido, serán neutralizados por una solución de amoniaco en fase acuosa, o con amoniaco puro, según el siguiente esquema de reacciones:



*Figura 1.3.2.1.- Reacción de transposición de Becknamm y reacción de neutralización de iones sulfato.*

Al neutralizar la solución saliente, prevenimos la precipitación de sólidos de amonio sulfato. Los ratios molares entre los dos compuestos son respectivamente 1 y 1,05.

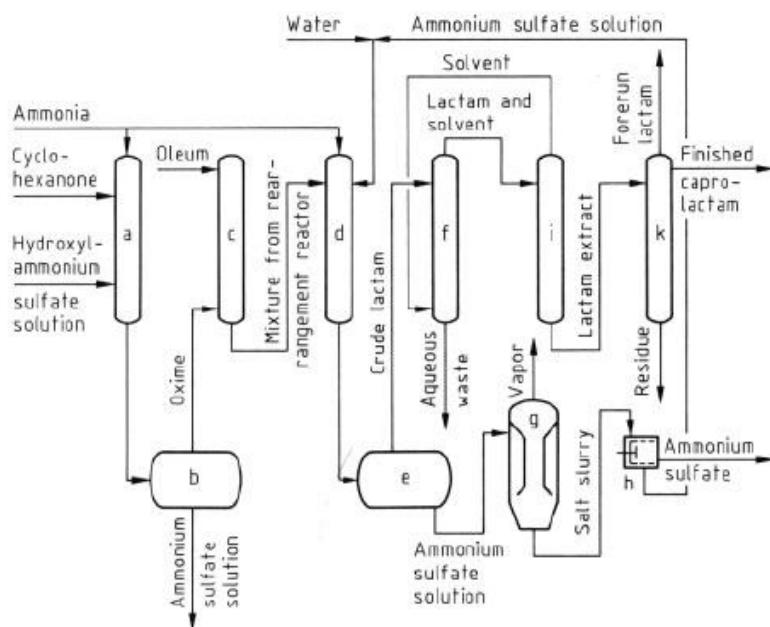
Una vez producida la reacción, la solución saliente del reactor es extraída separando una solución al 70 % de caprolactama, y otra solución de amonio sulfatos. La solución de caprolactama se enviará a un tambor separador y

## 1.- Especificaciones del proyecto

posteriormente a un extractor para su purificación. Por último, la caprolactama será destilada a baja presión y la corriente de subproducto de amonio sulfato será evaporada y cristalizada.

Este proceso, genera en total 2,5 toneladas de amonio sulfatos por cada tonelada de caprolactama producida, lo cual, es poco viable económicoamente.

A continuación, se muestra el diagrama de bloques del proceso BASF (1940):



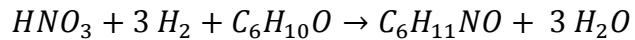
**Figure 2. BASF caprolactam production**  
 a) Oximation; b) Oxime separation; c) Rearrangement; d) Neutralization; e) Crude-lactam separation; f) Extraction; g) Crystallization; h) Centrifuge; i) Solvent distillation; k) Lactam distillation

*Figura 1.3.2.- Proceso BASF de producción de caprolactama.*

### 1.3.3.- Mejora del proceso de oxidación (Proceso DSM y BASF (1950))

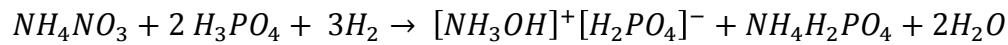
En la década de los 50, DSM y BASF desarrollaron un proceso de mejora de la oximación de caprolactama, intentando con esta mejora, que este proceso produjera pocos o ningún residuo de amonio sulfato. Estos procesos parten de la siguiente reacción:

## 1.- Especificaciones del proyecto

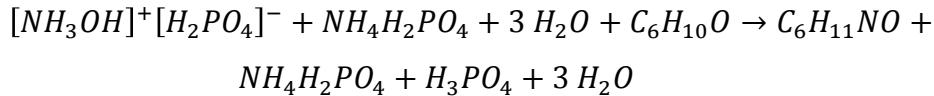


En este proceso, la oximación es producida por la reacción de ciclohexanona con hidroxiloamino-fosfato (utilizando como catalizador paladio o grafito a PH: 1,8). Para obtener este compuesto, se hará reaccionar previamente una corriente de hidroxilamina e hidrógeno, con otra corriente de ácido fosfórico. Las reacciones involucradas en el proceso son las siguientes:

- Formación del hidroxilamonio fosfato:



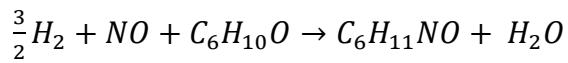
- Oximación:



Este proceso, por ser el escogido para este proyecto, se explicará con detalle más adelante.

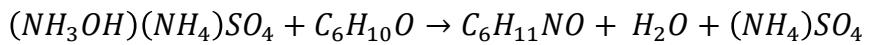
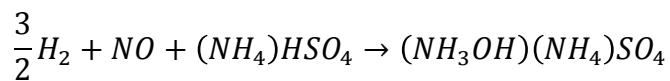
#### 1.3.4.- Reducción sin neutralización u oximación acídica

La reacción en que se basa este tipo de proceso es la siguiente:



## 1.- Especificaciones del proyecto

Es la reacción de producción de la oxima sin la neutralización. El óxido nítrico se hidrogena catalíticamente en una solución de hidrógeno sulfato de amonio (catalizador de platino). La ciclohexanona e hidrógeno sulfato de amonio reaccionan para producir ciclohexanona oxima, tal como se describe en el siguiente esquema de reacciones:

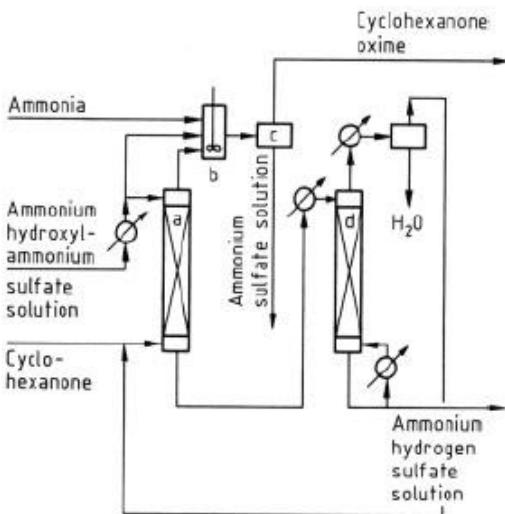


A diferencia de los otros procesos, la solución de hidrógeno amonio sulfato, es reciclada directamente a la producción de hidroxilamina. El nivel de amonio del proceso, puede permanecer constante durante el proceso de oximación si hacemos una pequeña purga del mismo.

La conversión de este proceso es del 97-98 %. Las condiciones de operación serán próximas a la temperatura de fusión de la ciclohexanona oxima, cabe decir, que este proceso produce 0,1 toneladas de amonio sulfato por cada tonelada de ciclohexanona, producción de residuo mayor que la generada en el proceso HPO.

A continuación se muestra el diagrama de bloques del proceso:

## 1.- Especificaciones del proyecto



**Figure 4.** BASF acidic oximation  
a) Oximation; b) After-oximation; c) Ammonium purge;  
d) Stripping column

*Figura 1.3.4.1.- Proceso sin neutralización.*

### 1.3.5.- Proceso DuPont

En 1938 la empresa Dupont, propone un proceso en el que la ciclohexanona sea oximada en fase vapor.

El proceso se realiza en un reactor de lecho fijo o lecho fluidizado, donde se produce la oximación de la ciclohexanona, la corriente saliente de la misma pasa a través de una corriente de agua eliminando el catalizador del fluido, así como óxidos de silicio, aluminio, titanio y otras impurezas en presencia de amoniaco.

Las condiciones de operación del proceso serán 1 atm de presión (o presión reducida), y una temperatura de 250-350 Cº.

El catalizador será transportado neumáticamente hacia el regenerador, donde, será expuesto a una corriente de aire que lo regenerará; esta regeneración se producirá a una temperatura de 700-900 Cº; el catalizador será enfriado posteriormente antes de reciclarse.. El polvo generado durante el proceso, es separado en un ciclón y los vapores salientes del ciclón, serán condensados en una columna y recirculados al proceso.

## 1.- Especificaciones del proyecto

En la siguiente figura podemos ver el diagrama del proceso desarrollado por Dupont.

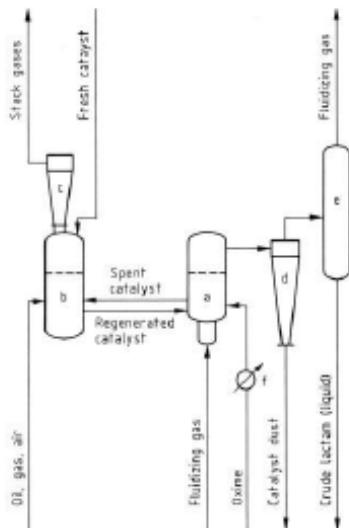


Figure 5. Catalytic oxime rearrangement  
a) Fluidized-bed reactor; b) Catalyst regenerator; c) Cyclone; d) Cyclone; e) Condensation; f) Pre-evaporation

Figura 1.3.5.1.- Regeneración del catalizador mediante ciclohexanona en fase gasa.

Una variante de la operación del reactor, puede ser la operación a elevadas presiones introduciendo una proporción de gas inerte como agente fluidizante por la cola del reactor.

En este proceso se obtendrá caprolactama a un 96 % de pureza, dicha pureza, será menor que en el proceso HPO. Por ahora, este proceso no es utilizado a escala industrial.

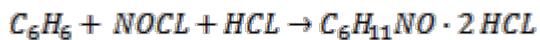
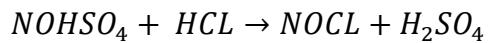
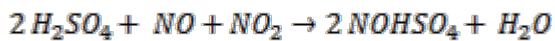
### 1.3.6.- Fotoximación (Proceso Toray)

En 1950, industrias Toray desarrolla un proceso fotoquímico para producir caprolactama.

El proceso de foto-nitrificación, se basa en el desarrollo de reactores lumínicos, con esta premisa, Toray inventa una lámpara de inmersión de alta radiación. Esta irradia a una longitud de onda inferior a 365 NM (estas longitudes de onda permiten la eliminación de radiación de manera rápida).

Las reacciones involucradas en el proceso, se describen a continuación:

## 1.- Especificaciones del proyecto



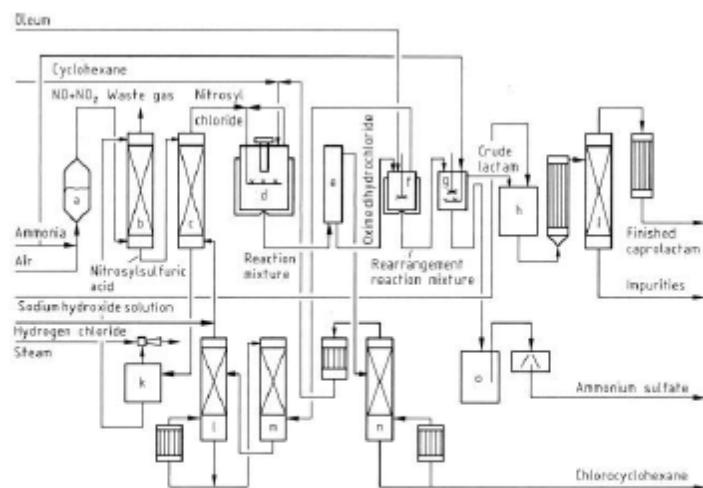
La oxima producida, es separada del cloruro de di-hidrógeno en medio ácido (ácido clorhídrico). Una corriente de cloruro de di-hidrógeno y ciclohexanona oxima reaccionará con una corriente de óleum para producir caprolactama en un reactor de tanque agitado; posteriormente, la corriente saliente del reactor, será neutralizada con amoniaco. El ácido clorhídrico liberado será recirculado en el proceso.

Este proceso tiene por desventaja el requerimiento de demasiada energía y la producción de una elevada cantidad de amonio sulfatos (1,55 toneladas de amonio sulfato por tonelada de caprolactama producida) por este motivo, es menos viable económico que el proceso HPO. Uno de los principales problemas del diseño del proceso, reside en el diseño de una lámpara de mercurio con una buena selectividad y eficiencia.

Este proceso, es descrito en el siguiente diagrama de bloques:

## PLANTA DE PRODUCCIÓN DE CAPROLACTAMA

### 1.- Especificaciones del proyecto

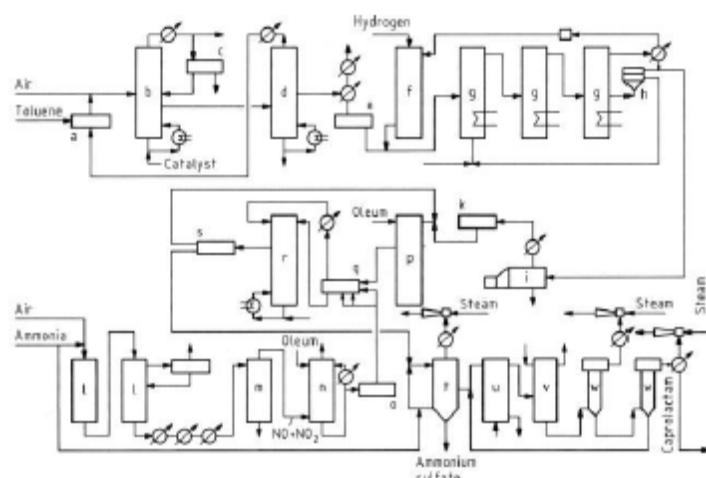


**Figure 6.** Toray PNC caprolactam production  
a) Ammonia combustion; b) Nitrosylsulfuric acid generator; c) Nitrosyl chloride generator; d) Photonitrosation; e) Cyclohexane/cyclohexanone oxime separation; f) Rearrangement; g) Neutralization; h) Chemical treatment; i) Drying and lactam distillation; k) Dewatering of sulfuric acid; l) Hydrogen chloride regenerator; m) Hydrogen chloride recovery; n) Cyclohexane recovery; o) Ammonium sulfate recovery

**Figura 1.3.6.1.- Proceso Toray de producción de caprolactama.**

### 1.3.7.- Producción con Tolueno como punto de partida

Snia Viscosa, desarrolla un proceso basado en tolueno como punto de partida en 1960. El diagrama de bloques se muestra a continuación:

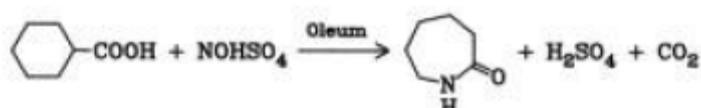
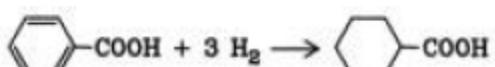
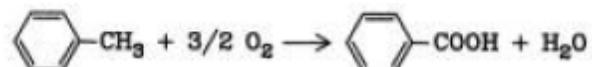


**Figure 7.** Snia caprolactam production  
a) Toluene tank; b) Oxidation; c) Separation; d) Rectification; e) Benzaldehyde/hydrogen mixture; f) Benzoic acid/hydrogen mixture; g) Benzoic acid; h) Removal of catalyst; i) Cyclohexanecarboxylic acid distillation; k) Cyclohexanecarboxylic acid tank; l) Ammonia combustion; m) Separation; n) Nitrosylsulfuric acid generator; o) Nitrosylsulfuric acid tank; p) Cyclohexanecarboxylic acid/oleum mixture; q) Rearrangement; r) Hydrolysis; s) Solution of cyclohexanecarboxylic acid in cyclohexane; t) Neutralization and ammonium sulfate crystallization; u) Solvent extraction; v) Water extraction; w) Lactam distillation

**Figura 1.3.7.1.- Proceso de generación de caprolactama mediante el Snia Viscosa.**

## 1.- Especificaciones del proyecto

En este proceso la caprolactama se obtiene en tres pasos:



*Figura 1.3.14.- Reacciones involucradas en la producción de caprolactama desdetolueno.*

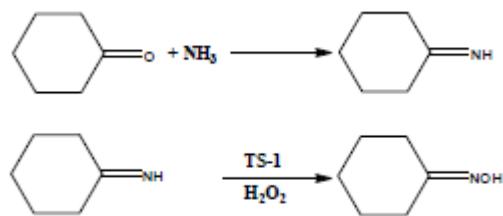
En este proceso, se oxida primeramente eltolueno con aire en fase líquida a 160 -170 Cº y aproximadamente a 1 bar de presión (catalizador de cobalto). Seguidamente se hidrogena eltolueno oxidado, en fase líquida a 170 Cº y a 10-17 bares de presión. Con sulfato de nitrosilo y óleum, se forma directamente sulfato de caprolactama y CO<sub>2</sub> que se desprenderá a la atmósfera. La caprolactama será extraída con alcoholfenol, y posteriormente volverá a ser extraída con agua. En este proceso la pureza conseguida es del 90 %, este hecho, hace observar una menor eficiencia que el proceso HPO.

### 1.3.8.- Proceso Enichem (peróxido de hidrógeno)

Enichem en 1994, desarrolla un nuevo proceso de oximación de ciclohexanona utilizando peróxido de hidrógeno y amoniaco como reactivos. Esta reacción, opera en fase líquida bajo condiciones moderadas, y da muy buenos resultados de pureza. Este proceso proporciona el 100 % de la conversión teórica de ciclohexanona.

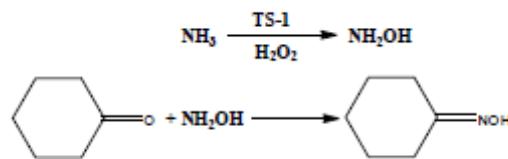
## 1.- Especificaciones del proyecto

Para desarrollar este proceso disponemos de dos vías:



*Figura 1.3.8.1.- Reacciones proceso Enmichen 1º vía.*

En la primera vía, la reacción produce una imina que será oxidada en el siguiente paso al reaccionar con peróxido de hidrogeno dentro de los poros del catalizador (TS-1), dando lugar a la formación de la oxima.



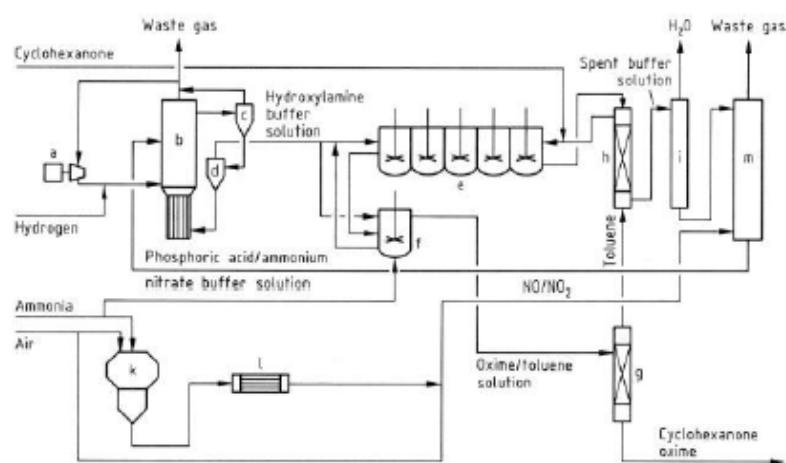
*Figura 1.3.8.1.- Reacción proceso Enmichen 2º vía.*

En la segunda vía, el amoniaco reacciona fuera de los poros del catalizador (TS-1), formando hidroxilamina, que reacciona inmediatamente con la ciclohexanona produciendo la oxima.

## 1.- Especificaciones del proyecto

## 1.4.- DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN

En el apartado anterior se muestran diferentes procesos, analizando de manera comparativa, las ventajas y desventajas de cada proceso. El resultado de este análisis es la elección del proceso DSM, como mejor proceso para la producción de caprolactama, desde el punto de vista de rentabilidad económica y ambiental. Esta ventaja a nivel económico, es debida a la mejora del proceso de oximación, que nos permite producir muy poco amonio sulfato en el proceso.



**Figure 3. DSM HPO hydroxylamine and cyclohexanone oxime production**  
a) Compressor; b) Hydroxylamine generator; c) Separation; d) Filtration; e) Oximation; f) Neutralization; g) Solvent distillation; h) Extraction; i) Toluene stripping; k) Ammonia combustion; l) Condenser; m) Decomposition and absorption column

*Figura 1.4.1.- Proceso DSM .*

A continuación se explicará todo el proceso de producción de la caprolactama más detalladamente, pero previamente se detalla una lista del almacenaje de reactivos y productos.

## 1.4.1.- Almacenamiento de reactivos y productos

Para la producción de la caprolactama, al estar relacionada directamente con la industria petroquímica, se considera que al lado de la planta de producción de la caprolactama tenemos una empresa petroquímica donde se produce ácido nítrico.

A continuación se especifican las características que contemplan la recepción y almacenamiento de las diferentes materias primas:

1.- Especificaciones del proyecto

- Ciclohexanona

La ciclohexanona es un reactivo que se necesita para obtener la caprolactama. Al necesitar un volumen muy elevado de caprolactama al día, se instala una canalización que proviene de la industria petroquímica vecina. En el área de almacenamiento, hay dos tanques de 400 m<sup>3</sup> de reserva, por posibles averías en las canalizaciones.

- Ácido fosfórico

El ácido fosfórico se utiliza para la formación de la hidroxilamina. El ácido fosfórico se transporta a la planta mediante camiones cisterna. Este ácido se almacena en dos tanques de 300 m<sup>2</sup>.

- Tolueno

El tolueno se emplea como disolvente para la formación de la ciclohexanona oxima, y más tarde, para la purificación de la caprolactama. El tolueno se transporta en camiones cisterna hasta llegar a la planta. El tolueno se almacena en un tanque de 50 m<sup>2</sup>.

- Ácido nítrico

El ácido nítrico se utiliza para la formación de ácido fosfórico y nitrato de amonio, en la columna de adsorción CA-201. El ácido nítrico se transporta en camiones cisterna hasta llegar a la industria. El ácido nítrico se almacena en un tanque de 35m<sup>2</sup>.

1.- Especificaciones del proyecto

- Óleum

El óleum se hace servir para la formación de la caprolactama en los reactores de Beckmann. Este, se transporta en camiones cisterna hasta la planta. El óleum se almacena en un tanque de 35 m<sup>2</sup>.

- Nitrógeno e hidrógeno

El nitrógeno y el hidrógeno se utilizan para la producción de hidroxilamina. A parte, el nitrógeno también sirve para inertizar los tanques de almacenamiento. Tanto el tanque como las cargas de nitrógeno nos lo proporciona la empresa Air Liquide. Los tanques de almacenamiento de nitrógeno e hidrógeno son de 200 m<sup>2</sup>.

- Amoniaco

El amoniaco se utiliza para diferentes partes del proceso, una de ellas es para producción de hidroxilamina. Más adelante, el amónico se utiliza para la neutralización de los corrientes del reactor de oximación y del reactor de Beckmann. El amoniaco se encuentra líquido en los tanques de almacenamiento, a una temperatura de -33 °C. Se almacena en dos tanques de 100 m<sup>2</sup> cada uno.

- Nitrato de amonio

El nitrato de amonio se necesita debido a que en la columna de adsorción no se produce suficiente para la producción de hidroxilamina. Al ser un sólido, se almacena en dos silos de 100 m<sup>2</sup>.

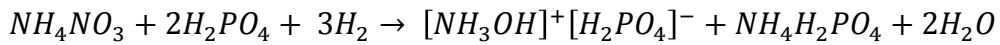
## 1.- Especificaciones del proyecto

- NO/ NO<sub>2</sub>

Al producir el ácido nítrico en la industria petroquímica adjacente tiene una corriente residual de NO y de NO<sub>2</sub>, que se aprovecha para nuestra industria con una instalación de una canalización de NO y de NO<sub>2</sub>. Así reducimos los costes del reactivo ya que se evita la instalación de un tanque de almacenamiento y la combustión de amoniaco para producir los NO y NO<sub>2</sub>.

#### 1.4.2.- Proceso DSM

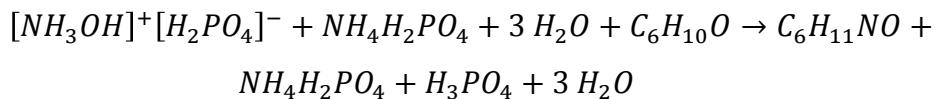
El proceso es continuo, se inicia con la producción de hidroxilamina. La producción de la misma se da según la siguiente reacción:



La hidroxilamina se genera en un reactor de lecho fluidizado trifásico, dicho reactor es abastecido por una corriente de ácido fosfórico y amonionitratos, así como otra corriente de hidrógeno y nitrógeno, utilizando un catalizador de platino con soporte de alúmina. El catalizador, será filtrado para su regeneración y posterior reutilización del proceso.

La solución saliente del reactor de producción de hidroxilamina, será separada de la corriente de hidrógeno sin reaccionar, y será introducida en el reactor de oximación.

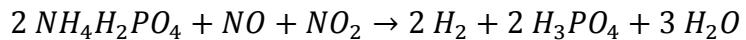
La reacción de oximación se muestra a continuación:



## 1.- Especificaciones del proyecto

Esta reacción es producida en una serie de reactores de tanque agitado, a pH 1,8 y 98% de conversión. El 2 % restante, reaccionará con una fracción del 3% de la hidroxilamina de entrada a pH 4.5 en un reactor de neutralización de tanque agitado. El pH se aumentará añadiendo una corriente de amoniaco.

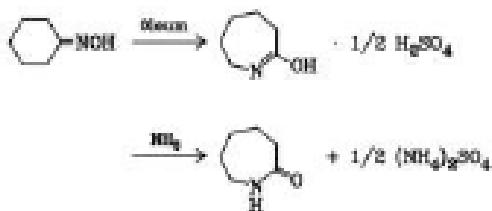
La corriente de oxima en fase acuosa saliente, conteniendo tolueno, será separada mediante una columna de destilación. El resultado de esta operación será una corriente de oxima a alta concentración saliente por colas, y una corriente de tolueno y fase acuosa saliente por cabezas, que será llevada a una unidad de extracción, donde el tolueno se recirculará hacia el reactor de oximación, y otra corriente, conteniendo fase acuosa será llevada a una unidad de stripping. Después del mismo y de haber eliminado grandes cantidades de agua y por completo el residuo de tolueno de la corriente de colas, la corriente saliente del stripping se introducirá en una unidad de adsorción-eliminación de iones amonio, que operará según las siguientes reacciones.



La corriente saliente se recirculara al reactor de hidroxilamina. Por otra parte la corriente de alta concentración de oxima saliente de la torre de destilación, será llevada a un reactor de tanque agitado, donde utilizando óleum como medio, se producirá una reacción denominada transposición de Beckmann, esta reacción nos dará como producto la caprolactama, que después de purificar, será apta para el consumo comercial.

## 1.- Especificaciones del proyecto

La reacción de trasposición de Beckmann se muestra a continuación:



*Figura 1.4.1.1.- Reacción de Transposición de Beckmann.*

#### 1.4.3.- Modificaciones del Proceso

El proceso DSM no se ha modificado sustancialmente, simplemente se mejoran o se concretan los diseños que se especifican en el diagrama de proceso.

La primera modificación es en el diseño del reactor de hidroxilamina. Este se ha diseñado como un reactor de tipo *airlift*. Consta de dos partes bien diferenciadas, el cuerpo (de forma cilíndrica) y el cabezal (zona de mayor área). El catalizador permanece fluyendo por el interior del mismo y no llega a salir debido a que el área del cabezal es superior a la que precisa el catalizador para sedimentarse. Con este sistema, el filtro a la salida de este reactor deja de ser necesario. A parte, el reactor de hidroxilamina tiene dispone de un serpentín situado en el tubo interior concéntrico para disipar el calor de la reacción, ya que es exotérmica.

La segunda modificación es en el reactor de oximación, como se ha descrito, en el proceso DSM se utilizan reactores en serie de tanque agitado. En este caso, se ha diseñado una columna de extracción líquido-líquido. La ciclohexanona es muy soluble en la fase orgánica (el tolueno), y se considera que no es la etapa limitante del proceso. Al estar en contacto la ciclohexanona y el tolueno en la fase orgánica, reacciona con la hidroxilamina formando la ciclohexanona oxima. Se ha tenido en cuenta el mismo porcentaje de reacción el 98% y luego más tarde en el neutralizador el 2% restante.

## 1.- Especificaciones del proyecto

**1.4.4.- Reactores de Beckmann**

Los reactores de Beckmann se han diseñado a partir de una patente. La patente describe que para la producción de la caprolactama mediante la ciclohexanona oxima y el óleum, se necesitan tres reactores en serie para garantizar así, una reacción del 100% de conversión. Estos reactores se han diseñado como un flujo pistón y un tanque de expansión. La reacción de la producción de caprolactama ácida se produce en el flujo pistón, ya que la reacción de transposición de Beckmann es muy rápida y muy exotérmica. A parte, entre los tres reactores se hacen diferentes recirculaciones para que la conversión sea la deseada. Como ya se ha comentado la reacción es muy exotérmica, y en las tres recirculaciones se diseñan 3 intercambiadores de calor para así eliminar todo el calor generado.

**1.4.5.- Purificación de la caprolactama**

En el proceso de purificación de la caprolactama se han utilizado diferentes patentes para así optimizar la purificación.

En la purificación de la caprolactama, se inicia con una extracción con tolueno de la corriente saliente del decantador, después de la neutralización de la caprolactama ácida que proviene del reactor de Beckmann. Al hacer la extracción líquido-líquido con el tolueno, separamos la caprolactama contenida en la fase acuosa a la fase orgánica. En la segunda extracción se hace con agua para que la caprolactama pase a la fase acuosa. Una vez la caprolactama está en la fase acuosa, se envía a un proceso de intercambio iónico. Los equipos de intercambio iónico constan de dos baterías de tres columnas, de cada batería, las dos primeras columnas serán para eliminar los cationes y la última para eliminar los aniones. El objetivo es la eliminación del sulfato de amonio y otros aniones y cationes que se puedan haber.

1.- Especificaciones del proyecto

Una vez se eliminan los aniones y cationes, se pasa por una hidrogenación para eliminar los compuestos insaturados. Este equipo es fundamental, ya que los compuestos insaturados orgánicos pueden oxidarse más adelante y producir un color amarillento en la caprolactama. Cuando se han saturado dichos compuestos, se lleva directamente a un reactor evaporador. Este equipo elimina el agua que contiene la caprolactama mediante la evaporación del agua. Este equipo proporciona una corriente de alta concentración de caprolactama, lista para ser escamada y comercializada.

**1.4.6.- Purificación del sulfato de amonio**

La corriente de sulfato de amonio y agua será evaporada y cristalizada, por un evaporador triple efecto, obteniendo una pureza apta para su utilización y aprovechamiento en otros procesos industriales. Esta corriente será utilizada como sinergia a otra planta contigua de nuestro polígono industrial. Se utiliza un evaporador de triple efecto, ya que optimizamos la energía en forma de calor del primer efecto, para aplicarla en la segunda fase y en la tercera, asegurándonos así, de realizar una optimización del consumo de energía en el proceso de purificación de amonio sulfatos.

1.- Especificaciones del proyecto

### **1.5.- CONSTITUCIÓN DE LA PLANTA**

Seguidamente, se describen todas las normativas que se han de seguir para la construcción del polígono Nylon 66.

#### **1.5.1.- Normativa urbanística y criterios de construcción**

Los criterios de construcción según la normativa urbanística 179/1995, de 13 de Junio referida a reglamento de obras, actividades y servicios de las entidades Locales, que se han seguido a la hora de dimensionar equipos y elaborar los planos de construcción de nuestra práctica son los siguientes:

- Edificabilidad: 1,5 m<sup>2</sup> techo/m<sup>2</sup> suelo.
- Ocupación máxima de la parcela: 75%.
- Ocupación mínima de la parcela: 20% de la superficie de ocupación máxima.
- Retranqueos: 5 m a viales y vecinos.
- Altura Máxima: 16 m y 3 tres plantas excepto en producción justificando la necesidad del proceso.
- Altura mínima: 4 m y 1 planta.
- Aparcamientos: 1 plaza/150 m<sup>2</sup> construidos.
- Distancia entre edificios: 1/3 del edificio más alto con construido con mínimo de 5 m.

## 1.- Especificaciones del proyecto

**1.5.2.- Descripción cualitativa de la planta**

La planta de producción de caprolactama diseñada, consta de seis edificios, en cuatro de ellos, reside el proceso de producción, en otra a residirán los vestuarios, almacenes y salas de control, y en el último, tendremos las oficinas de trabajo.

La zona de producción se ubica de tal manera en que las materias primas para la producción del proceso, y la producción del mismo, son próximas al parking de carga y descarga de producto, asegurándonos así , de que los camiones de mercancías circulen lo menos posible por nuestra planta. Por otra parte el parking de operarios y personal de oficina, se encuentra ubicado a gran proximidad de la zona de oficinas y vestuarios. Asegurándonos así, de que los trabajadores de oficinas circulan lo menos posible por la zona de proceso, disminuyendo riesgo de accidente.

El parque de tanques se sitúa de manera separada dentro del edificio de proceso según la normativa vigente y con las debidas medidas de emergencia, ya que los reactivos almacenados en dichos tanques, llevan un riesgo asociados por inflamación, explosión o corrosión que se han de tener en cuenta.

Por último nuestra planta cuenta con una zona preparada para una ampliación del proceso de un 20% del espacio de la misma, asegurándonos así, la posibilidad de ampliación de la producción, mejora de eliminación de residuos, disminución de impacto ambiental , o cualquier otra eventualidad que pueda surgir durante la vida útil de operación de la misma.

**1.5.3.- Distribución en áreas**

La planta de producción de caprolactama, se encuentra dividida en áreas en función de la actividad que se desarrolle en la misma, las diferentes áreas y sus funciones se exponen a continuación:

1.- Especificaciones del proyecto

- Área 100. Parque de almacenamiento de reactivos:

Esta área está constituida por el parque de tanques, la función a cumplir es la de almacenar y suministrar los reactivos de proceso que se utilizaran durante toda la operación del mismo, su distribución ha sido diseñada según las normativas APQ que rige cada reactivo a almacenar.

- Área 200. Zona de producción de hidroxilamina:

Esta área, comprende todos los equipos que se destinan a la producción de hidroxilamina y de ciclohexanona oxima, principalmente el área consta de los reactores de producción de hidroxilamina y oxima, y las válvulas compresores y bombas para el funcionamiento de los mismos.

- Área 300. Zona de reacción transposición de Beckmann:

Esta área, está constituida por todos los equipos necesarios para la producción de caprolactama mediante la reacción de transposición de Beckmann. Consta de las bombas, intercambios de calor y los reactores necesarios para garantizar la reacción.

- Área 400. Zona de purificación de caprolactama:

Esta área, comprende todos los equipos para la purificación de caprolactama, estos son varias extracciones, destilaciones y columnas de intercambio iónico y una destilación.

- Área 500. Zona de purificación de sulfato de amonio:

Esta área, comprende todos los equipos para la purificación del sulfato de amonio, esta consta de un evaporador de triple efecto.

1.- Especificaciones del proyecto

- Área 600. Zona de servicios:

Esta área comprende todos los equipos de servicio de planta.

- Área 700. Zona de almacenamiento de productos:

Área destinada al almacenamiento de productos, es decir, la caprolactama y el sulfato de amonio.

- Área 800: Oficinas:

Esta área, comprende las zonas de oficina.

- Área 900. Laboratorio, zona de control y almacén de equipos:

Área destinada al control vestuarios, laboratorios de I+D así como el almacén de equipos.

- Área 1000. Aparcamiento de personal y de mercancías:

Esta área comprende todas las zonas de aparcamiento de la planta.

- Área 1100. Piscina contra incendios:

Esta zona está compuesta por la piscina contra incendios diseñada según la normativa APQ.

1.- Especificaciones del proyecto

- Área 1200. Estación transformadora:

Esta área comprende la estación trabajadora de media-baja tensión que abastece de electricidad la planta.

**1.5.4.- Plantilla de trabajadores**

Los trabajadores de nuestra planta, pueden ser clasificados de acuerdo a diferentes grupos entendiendo la actividad desarrollada en la misma, estos, son los siguientes:

- Directivos: se encargan de gestionar la empresa y de dirigir y garantizar el funcionamiento de las actividades mediante los jefes de sección.
- Jefes de Sección: se encargan de dirigir y organizar grupos de operarios y técnicos de un área, para el desarrollo de una actividad específica.
- Técnicos especialistas: son trabajadores con cualificación formativa de tipo ciclo medio, superior, graduación universitaria o licenciatura.
- Operarios: personal encargado de hacer tareas de operación de planta y mantenimiento con la supervisión de los técnicos especialistas y los jefes de sección.
- Administrativo: personal responsable de la contabilidad marketing y demás actividades fuera del proceso de producción de la planta y de gestión de la misma.

## PLANTA DE PRODUCCIÓN DE CAPROLACTAMA

---

### 1.- Especificaciones del proyecto

- Personal de laboratorio: personal requerido para realizar controles de calidad a los productos y trabajos de investigación y desarrollo del proceso.

Los números de personal por cada estamento se muestran a continuación:

*Tabla 1.5.4.1.- Distribución numérica del personal de la planta por estamentos.*

<b>Directivos</b>	2
<b>Jefes de sección</b>	25
<b>Técnicos</b>	20
<b>Operarios</b>	50
<b>Administrativo</b>	13
<b>Personal laboratorio</b>	3

La fábrica se operara en cuatro turnos de 12 horas para todos estamentos de personal de la planta. Los turnos eran de 6 de la mañana a 6 de la tarde y de seis de la tarde a 6 de la noche, alternados según el siguiente calendario.

*Tabla 1.5.4.2.- Distribución horarios de la planta.*

Semana	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
1	M1/T2	M1/T2	M3/T4	M3/T4	M1/T2	M1/T2	M1/T2
2	M3/T4	M3/T4	M1/T2	M1/T2	M3/T4	M2/T1	M3/T4
3	T3/M4	M2/T1	T3/M4	T3/M4	M2/T1	M2/T1	M2/T1
4	M1/T2	T3/M4	M2/T1	M2/T1	T3/M4	T3/M4	T3/M4
5	T3/M4	M1/T2	M3/T4	M3/T4	M1/T2	M1/T2	M1/T2
6	M1/T2	M3/T4	M1/T2	M1/T2	M3/T4	M3/T4	M3/T4
7	T3/M4	M2/T1	T3/M4	M2/T1	M2/T1	M2/T1	M2/T1
8	T3/M4	T3/M4	M2/T1	M2/T1	T3/M4	T3/M4	T3/M4

1.- Especificaciones del proyecto

**1.6.- BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA**

A continuación se muestra los datos correspondientes al balance de materia y energía del proceso:

**PLANTA DE PRODUCCIÓN DE CAPROLACTAMA**

**1.- Especificaciones del proyecto**

*Tabla 1.6.1.- Datos balance de materia corrientes.*

	<b>101</b>	<b>121</b>	<b>102</b>	<b>201</b>	<b>202</b>	<b>203</b>
<b>CAUDAL MÁSICO (kg/h)</b>						
<b>CH</b>	0	0	0	0	0	0
<b>CHO</b>	0	0	0	0	0	0
<b>CPL</b>	0	0	0	0	0	0
<b>CPLS</b>	0	0	0	0	0	0
<b>AS</b>	0	0	0	0	0	0
<b>TOA</b>	0	0	0	0	0	0
<b>AP</b>	0	0	0	0	0	0
<b>NA</b>	0	0	0	0	0	0
<b>HP</b>	0	0	0	0	0	7862
<b>PA</b>	0	0	0	0	0	6901
<b>H</b>	421	445	0	421	605	12
<b>N</b>	0	0	8266	8266	19600	392
<b>W</b>	0	0	0	0	0	3963
<b>T</b>	0	0	0	0	0	0
<b>SA</b>	0	0	0	0	0	0
<b>A</b>	0	0	0	0	0	0
<b>DON</b>	0	0	0	0	0	0
<b>ON</b>	0	0	0	0	0	0
<b>AN</b>	0	0	0	0	0	0
<b>HA</b>	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL</b>	420,94	444,87	8265,6	8686,54	20204,8	19130,1

<b>TEMPERATURA (°C)</b>	20	20	20	20	30	60
<b>PRESIÓN (atm)</b>	1	1	1	1	1	1
<b>DENSIDAD (kg/m³)</b>	0,08	0,08	1,17	0,72	0,81	6,38
<b>VISCOSIDAD (Cp)</b>	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	-
<b>CAPACIDAD CALORÍFICA (kJ/kg·°C)</b>	14,09	28,41	29,11	1,67	1,43	3,91
<b>FLUJO CALORÍFICO (kJ/h)</b>	- 2,97E+04	- 3,14E+04	- 4,30E+04	- 7,27E+04	- 1,45E+05	- 6,19E+07
<b>ESTADO FÍSICO</b>	Gas	Gas	Gas	Gas	Gas	G-L

**PLANTA DE PRODUCCIÓN DE CAPROLACTAMA**

**1.- Especificaciones del proyecto**

**Tabla 1.6.2.- Datos balance de materia corrientes.**

<b>CAUDAL MÁSICO (kg/h)</b>	<b>204</b>	<b>204a</b>	<b>205</b>	<b>206</b>	<b>207</b>	<b>208</b>
CH	0	0	0	0	0	0
CHO	0	0	0	0	0	0
CPL	0	0	0	0	0	0
CPLS	0	0	0	0	0	0
AS	0	0	0	0	0	0
TOA	0	0	0	0	0	0
AP	0	0	0	0	0	0
NA	0	0	0	0	0	0
HP	7862	7862	0	0	0	0
PA	6901	6901	0	0	0	0
H	0	0	230	12	46	58
N	0	0	19208	392	7874	8266
W	3963	3963	0	0	0	0
T	0	0	0	0	0	0
SA	0	0	0	0	0	0
A	0	0	0	0	0	0
DON	0	0	0	0	0	0
ON	0	0	0	0	0	0
AN	0	0	0	0	0	0
HA	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>18726</b>	<b>18726</b>	<b>19437,82</b>	<b>404,1</b>	<b>7919,56</b>	<b>8323,66</b>

<b>TEMPERATURA (ºC)</b>	60	85	60	60	60	60
<b>PRESIÓN (atm)</b>	1	1	1	1	1	1
<b>DENSIDAD (kg/m³)</b>	1379,9	1379,9	0,89	0,74	0,95	0,94
<b>VISCOSIDAD (Cp)</b>	0,46	0,33	0,02	0,02	0,02	0,02
<b>CAPACIDAD CALORÍFICA (kJ/kg·ºC)</b>	4,21	4,19	1,2	1,44	1,12	1,14
<b>FLUJO CALORÍFICO (kJ/h)</b>	-	-	8,15E+05	2,03E+04	3,10E+05	3,31E+05
<b>ESTADO FÍSICO</b>	Líquido	Líquido	Gas	Gas	Gas	Gas

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE CAPROLACTAMA

1.- Especificaciones del proyecto

*Tabla 1.6.3.- Datos balance de materia corrientes.*

	209	120	103	104	210	210a
CAUDAL MÁSICO (kg/h)						
CH	0	0	0	5888	5904	5904
CHO	0	0	0	0	137	137
CPL	0	0	0	0	0	0
CPLS	0	0	0	0	0	0
AS	0	0	0	0	0	0
TOA	0	0	0	0	0	0
AP	0	0	0	0	0	0
NA	0	0	0	0	0	0
HP	0	0	0	0	0	0
PA	0	0	0	0	0	0
H	184	0	0	0	0	0
N	11334	0	0	0	0	0
W	0	0	0	0	113	113
T	0	102	10	0	12892	12892
SA	0	0	0	0	0	0
A	0	0	0	0	0	0
DON	0	0	0	0	0	0
ON	0	0	0	0	0	0
AN	0	0	0	0	0	0
HA	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>11518,26</b>	<b>101,81</b>	<b>9,67</b>	<b>5888,4</b>	<b>19045,53</b>	<b>19045,75</b>

TEMPERATURA (°C)	60	20	20	20	48	85
PRESIÓN (atm)	1	1	1	1	1	1
DENSIDAD (kg/m³)	0,85	870	870	950	895,8	895,8
VISCOSIDAD (Cp)	0,02	0,58	0,58	2,15	0,59	0,39
CAPACIDAD CALORÍFICA (kJ/kg·°C)	1,26	1,63	1,63	1,76	1,8	1,94
FLUJO CALORÍFICO (kJ/h)	5,05E+05	1,33E+04	1,32E+03	1,67E+07	1,63E+07	1,50E+07
ESTADO FÍSICO	Gas	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido

**PLANTA DE PRODUCCIÓN DE CAPROLACTAMA**

**1.- Especificaciones del proyecto**

*Tabla 1.6.4.- Datos balance de materia corrientes.*

<b>CAUDAL MÁSICO (kg/h)</b>	<b>211</b>	<b>212</b>	<b>213</b>	<b>118</b>	<b>105</b>	<b>214</b>
<b>CH</b>	101	17	18	0	0	0
<b>CHO</b>	6674	137	137	0	0	6772
<b>CPL</b>	0	0	0	0	0	0
<b>CPLS</b>	0	0	0	0	0	0
<b>AS</b>	0	0	0	0	0	0
<b>TOA</b>	0	0	0	0	0	0
<b>AP</b>	0	5778	0	0	0	100
<b>NA</b>	0	0	0	0	0	0
<b>HP</b>	134	0	0	0	0	0
<b>PA</b>	117	6782	0	0	0	117
<b>H</b>	0	0	0	0	0	0
<b>N</b>	0	0	0	0	0	0
<b>W</b>	910	4229	125	0	0	928
<b>T</b>	12889	3	12882	0	0	12882
<b>SA</b>	0	0	0	0	0	0
<b>A</b>	0	0	0	1209	20	0
<b>DON</b>	0	0	0	0	0	0
<b>ON</b>	0	0	0	0	0	0
<b>AN</b>	0	0	0	0	0	0
<b>HA</b>	0	0	0	0	0	42
<b>TOTAL</b>	<b>20823,94</b>	<b>16946,07</b>	<b>13161,85</b>	<b>1208,58</b>	<b>20,35</b>	<b>20841,03</b>

<b>TEMPERATURA (°C)</b>	85	85	72,7	20	20	85
<b>PRESIÓN (atm)</b>	1	1	1	1	1	1
<b>DENSIDAD (kg/m<sup>3</sup>)</b>	895,8	1631,12	871,68	0,71	0,71	898,2
<b>VISCOSIDAD (Cp)</b>	0,35	0,37	0,34	0,01	0,01	0,35
<b>CAPACIDAD CALORÍFICA (kJ/kg·°C)</b>	2,05	3,4	1,86	2,09	2,09	2,05
<b>FLUJO CALORÍFICO (kJ/h)</b>	- 2,60E+07	- 7,46E+07	5,45E+05	- 3,26E+06	- 5,48E+04	- 2,61E+07
<b>ESTADO FÍSICO</b>	Líquido	Líquido	Líquido	Gas	Gas	Líquido

**PLANTA DE PRODUCCIÓN DE CAPROLACTAMA**

**1.- Especificaciones del proyecto**

*Tabla 1.6.5.- Datos balance de materia corrientes.*

	<b>215</b>	<b>216</b>	<b>217</b>	<b>218</b>	<b>219</b>	<b>219a</b>
<b>CAUDAL MÁSICO (kg/h)</b>						
<b>CH</b>	0	0	0	0	0	0
<b>CHO</b>	2	6771	360	361	362	362
<b>CPL</b>	0	0	0	0	0	0
<b>CPLS</b>	0	0	0	0	0	0
<b>AS</b>	0	0	0	0	0	0
<b>TOA</b>	0	0	0	0	0	0
<b>AP</b>	100	0	0	100	5878	5878
<b>NA</b>	0	0	0	0	0	0
<b>HP</b>	0	0	0	0	0	0
<b>PA</b>	117	0	0	117	6899	6899
<b>H</b>	0	0	0	0	0	0
<b>N</b>	0	0	0	0	0	0
<b>W</b>	928	0	0	928	5031	5031
<b>T</b>	7370	5512	5512	12882	10	10
<b>SA</b>	0	0	0	0	0	0
<b>A</b>	0	0	0	0	0	0
<b>DON</b>	0	0	0	0	0	0
<b>ON</b>	0	0	0	0	0	0
<b>AN</b>	0	0	0	0	0	0
<b>HA</b>	42	0	0	42	42	42
<b>TOTAL</b>	8558,45	12282,58	5871,59	14430,04	18221,03	18221,03

<b>TEMPERATURA (ºC)</b>	83,25	116,7	100,7	83,8	70	87
<b>PRESIÓN (atm)</b>	1	1	1	1	1	1
<b>DENSIDAD (kg/m³)</b>	913,03	887,85	871,98	896,33	1596,59	1596,59
<b>VISCOSIDAD (Cp)</b>	0,44	0,32	0,26	0,38	0,42	0,36
<b>CAPACIDAD CALORÍFICA (kJ/kg·ºC)</b>	2,15	2,11	1,95	2,04	4,09	4,09
<b>FLUJO CALORÍFICO (kJ/h)</b>	-1,36E+07	-1,23E+07	7,53E+05	-1,30E+07	-1,14E+08	-1,13E+08
<b>ESTADO FÍSICO</b>	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido

**PLANTA DE PRODUCCIÓN DE CAPROLACTAMA**

**1.- Especificaciones del proyecto**

*Tabla 1.6.6.- Datos balance de materia corrientes.*

<b>CAUDAL MÁSICO (kg/h)</b>	<b>106</b>	<b>220</b>	<b>221</b>	<b>107</b>	<b>222</b>	<b>108</b>
CH	0	0	0	0	0	0
CHO	0	0	0	0	0	0
CPL	0	0	0	0	0	0
CPLS	0	0	0	0	0	0
AS	0	0	0	0	0	0
TOA	0	0	0	0	0	0
AP	0	0	5878	0	5878	0
NA	0	0	0	0	0	0
HP	0	0	0	0	0	0
PA	0	0	6899	0	6899	0
H	0	0	0	0	0	0
N	0	0	0	0	0	0
W	1802	2992	3840	69	3909	0
T	0	10	0	0	0	0
SA	0	0	0	0	0	0
A	0	0	0	0	0	0
DON	0	0	0	0	0	1380
ON	0	0	0	0	0	900
AN	0	0	0	1260	1260	0
HA	0	0	42	0	42	0
<b>TOTAL</b>	<b>1801,5</b>	<b>3002,13</b>	<b>16659,25</b>	<b>1328,91</b>	<b>17988,16</b>	<b>2280</b>

<b>TEMPERATURA (ºC)</b>	210	100,4	87,9	25	75,9	25
<b>PRESIÓN (atm)</b>	15,3	1	1	1	1	1
<b>DENSIDAD (kg/m³)</b>	6,42	0,59	1649,89	1474,16	1636,91	1,55
<b>VISCOSIDAD (Cp)</b>	0,02	0,01	0,32	0,84	0,4	0,01
<b>CAPACIDAD CALORÍFICA (kJ/kg·ºC)</b>	2,43	2,12	4,19	2,51	3,91	0,88
<b>FLUJO CALORÍFICO (kJ/h)</b>	-	-	-	-	-	3,73E+06
<b>ESTADO FÍSICO</b>	Gas	Gas	Líquido	Líquido	Líquido	Gas

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE CAPROLACTAMA

1.- Especificaciones del proyecto

*Tabla 1.6.7.- Datos balance de materia corrientes.*

CAUDAL MÁSICO (kg/h)	223	224	109	110	225	226
CH	0	0	0	0	0	0
CHO	0	0	0	0	0	0
CPL	0	0	0	0	0	0
CPLS	0	0	0	0	0	0
AS	0	0	0	0	0	0
TOA	0	0	0	0	0	0
AP	0	5878	6988	0	4985	11760
NA	0	1601	0	4560	1357	4803
HP	0	0	0	0	0	0
PA	0	0	0	0	0	0
H	0	0	0	0	0	0
N	1120	0	0	0	0	0
W	171	3738	1233	0	3170	1802
T	0	0	0	0	0	0
SA	0	0	0	0	0	0
A	0	0	0	0	0	0
DON	460	0	0	0	0	0
ON	300	0	0	0	0	0
AN	0	0	0	0	0	0
HA	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>2050,92</b>	<b>11216,87</b>	<b>8221,66</b>	<b>4559,85</b>	<b>9511,93</b>	<b>18364,62</b>

TEMPERATURA (°C)	57,7	58	30	30	30	58
PRESIÓN (atm)	1	1	1	1	1	1
DENSIDAD (kg/m³)	0,85	1574,43	1765	1720	1574,43	1764,64
VISCOSIDAD (Cp)	0,01	0,48	0,8	0,79	0,8	0,79
CAPACIDAD CALORÍFICA (kJ/kg·°C)	1,06	4,21	4,22	4,22	4,22	4,22
FLUJO CALORÍFICO (kJ/h)	-	-	-	-	-	-
ESTADO FÍSICO	Gas	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido

**PLANTA DE PRODUCCIÓN DE CAPROLACTAMA**

**1.- Especificaciones del proyecto**

*Tabla 1.6.8.- Datos balance de materia corrientes.*

<b>CAUDAL MÁSICO (kg/h)</b>	<b>227</b>	<b>301</b>	<b>302</b>	<b>303</b>	<b>111</b>	<b>304</b>
<b>CH</b>	0	0	0	0	0	0
<b>CHO</b>	6411	1904	4507	0	0	0
<b>CPL</b>	0	0	0	0	0	0
<b>CPLS</b>	0	0	0	123603	0	123603
<b>AS</b>	0	0	0	81677	6221	87897
<b>TOA</b>	0	0	0	48621	2541	51162
<b>AP</b>	0	0	0	0	0	0
<b>NA</b>	0	0	0	0	0	0
<b>HP</b>	0	0	0	0	0	0
<b>PA</b>	0	0	0	0	0	0
<b>H</b>	0	0	0	0	0	0
<b>N</b>	0	0	0	0	0	0
<b>W</b>	0	0	0	0	0	0
<b>T</b>	0	0	0	0	0	0
<b>SA</b>	0	0	0	0	0	0
<b>A</b>	0	0	0	0	0	0
<b>DON</b>	0	0	0	0	0	0
<b>ON</b>	0	0	0	0	0	0
<b>AN</b>	0	0	0	0	0	0
<b>HA</b>	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL</b>	6410,99	1904,25	4506,74	253900,65	8761,37	262662

<b>TEMPERATURA (ºC)</b>	208,3	50	50	102	30	102
<b>PRESIÓN (atm)</b>	1	1	1	1	1	1
<b>DENSIDAD (kg/m³)</b>	902,4	902,4	902,4	1443,32	1834,8	1456,32
<b>VISCOSIDAD (Cp)</b>	0,37	0,61	0,61	6,17	13,97	7,29
<b>CAPACIDAD CALORÍFICA (kJ/kg·ºC)</b>	2,55	1,92	1,92	1,68	1,48	1,66
<b>FLUJO CALORÍFICO (kJ/h)</b>	- 1,19E+07	- 4,20E+06	- 1,09E+07	- 1,16E+09	- 6,45E+07	- 1,22E+09
<b>ESTADO FÍSICO</b>	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido

**PLANTA DE PRODUCCIÓN DE CAPROLACTAMA**

**1.- Especificaciones del proyecto**

*Tabla 1.6.9.- Datos balance de materia corrientes.*

<b>CAUDAL MÁSICO (kg/h)</b>	<b>304a</b>	<b>305</b>	<b>306</b>	<b>307</b>	<b>307a</b>	<b>308</b>
<b>CH</b>	0	0	0	0	0	0
<b>CHO</b>	0	0	0	0	0	1206
<b>CPL</b>	0	0	0	0	0	0
<b>CPLS</b>	123603	6459	53859	60318	60318	0
<b>AS</b>	87897	4268	24640	28908	28908	0
<b>TOA</b>	51162	2541	16714	19254	19254	0
<b>AP</b>	0	0	0	0	0	0
<b>NA</b>	0	0	0	0	0	0
<b>HP</b>	0	0	0	0	0	0
<b>PA</b>	0	0	0	0	0	0
<b>H</b>	0	0	0	0	0	0
<b>N</b>	0	0	0	0	0	0
<b>W</b>	0	0	0	0	0	0
<b>T</b>	0	0	0	0	0	0
<b>SA</b>	0	0	0	0	0	0
<b>A</b>	0	0	0	0	0	0
<b>DON</b>	0	0	0	0	0	0
<b>ON</b>	0	0	0	0	0	0
<b>AN</b>	0	0	0	0	0	0
<b>HA</b>	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL</b>	262662	13268,11	95212,74	108480,84	108480,84	1206,03

<b>TEMPERATURA (°C)</b>	77	102	86	86	72	50
<b>PRESIÓN (atm)</b>	1	1	1	1	1	1
<b>DENSIDAD (kg/m³)</b>	1456,32	1443,26	1379,84	1387,6	1387,6	902,4
<b>VISCOSIDAD (Cp)</b>	6,09	6,17	6,59	6,53	7,4	0,61
<b>CAPACIDAD CALORÍFICA (kJ/kg·°C)</b>	1,68	1,65	1,71	1,71	1,69	1,92
<b>FLUJO CALORÍFICO (kJ/h)</b>	-	-	-	-4,52E+08	-4,52E+08	2,92E+06
<b>ESTADO FÍSICO</b>	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido

**PLANTA DE PRODUCCIÓN DE CAPROLACTAMA**

**1.- Especificaciones del proyecto**

*Tabla 1.6.10.- Datos balance de materia corrientes.*

	<b>309</b>	<b>310</b>	<b>311</b>	<b>311a</b>	<b>312</b>	<b>313</b>
<b>CAUDAL MÁSICO (kg/h)</b>						
<b>CH</b>	0	0	0	0	0	0
<b>CHO</b>	0	0	0	0	698	0
<b>CPL</b>	0	0	0	0	0	0
<b>CPLS</b>	8188	38440	46628	46628	0	9188
<b>AS</b>	3746	14405	18151	18151	0	3443
<b>TOA</b>	2541	10630	13170	13170	0	2541
<b>AP</b>	0	0	0	0	0	0
<b>NA</b>	0	0	0	0	0	0
<b>HP</b>	0	0	0	0	0	0
<b>PA</b>	0	0	0	0	0	0
<b>H</b>	0	0	0	0	0	0
<b>N</b>	0	0	0	0	0	0
<b>W</b>	0	0	0	0	0	0
<b>T</b>	0	0	0	0	0	0
<b>SA</b>	0	0	0	0	0	0
<b>A</b>	0	0	0	0	0	0
<b>DON</b>	0	0	0	0	0	0
<b>ON</b>	0	0	0	0	0	0
<b>AN</b>	0	0	0	0	0	0
<b>HA</b>	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL</b>	14474,12	63475,17	77949,3	77949,3	698,23	15172,36

<b>TEMPERATURA (ºC)</b>	78	86	86	76	50	86
<b>PRESIÓN (atm)</b>	1	1	1	1	1	1
<b>DENSIDAD (kg/m³)</b>	1379,84	1347,73	1353,69	1353,69	902,4	1347,73
<b>VISCOSIDAD (Cp)</b>	6,59	6,83	6,78	7,8	0,61	6,83
<b>CAPACIDAD CALORÍFICA (kJ/kg·ºC)</b>	1,71	1,73	1,72	1,71	1,92	1,73
<b>FLUJO CALORÍFICO (kJ/h)</b>	-	-	-	-	-	-
	5,95E+07	2,47E+08	3,06E+08	3,07E+08	1,50E+06	5,89E+07
<b>ESTADO FÍSICO</b>	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE CAPROLACTAMA

---

1.- Especificaciones del proyecto

*Tabla 1.6.11.- Datos balance de materia corrientes.*

CAUDAL MÁSICO (kg/h)	112	119	113	314	315	316
CH	0	0	0	0	0	0
CHO	0	0	0	0	0	0
CPL	0	0	0	0	0	0
CPLS	0	0	0	0	0	0
AS	0	0	0	0	0	0
TOA	0	0	0	0	0	0
AP	0	0	0	0	0	0
NA	0	0	0	0	0	0
HP	0	0	0	0	0	0
PA	0	0	0	0	0	0
H	0	0	0	0	0	0
N	0	0	0	0	0	0
W	0	11262	10956	11710	754	22666
T	0	0	0	0	0	0
SA	0	0	0	0	0	0
A	1188	0	0	27248	26060	0
DON	0	0	0	0	0	0
ON	0	0	0	0	0	0
AN	0	0	0	0	0	0
HA	0	0	0	0	0	2445
<b>TOTAL</b>	<b>1188,24</b>	<b>11262,01</b>	<b>10955,75</b>	<b>38957,75</b>	<b>26813,76</b>	<b>25110,83</b>

TEMPERATURA (°C)	10	30	30	20	23,3	30
PRESIÓN (atm)	1	1	1	1	1	1
DENSIDAD (kg/m <sup>3</sup> )	0,73	1000	1000	1,02	0,7	990,07
VISCOSIDAD (Cp)	0,01	0,8	0,8	-	0,01	0,8
CAPACIDAD CALORÍFICA (kJ/kg·°C)	2,08	4,22	4,22	2,74	2,09	4,22
FLUJO CALORÍFICO (kJ/h)	-	-	-	-	-	-
	3,23E+06	1,74E+08	1,74E+08	2,58E+08	8,01E+07	3,78E+08
ESTADO FÍSICO	Gas	Líquido	Líquido	G-L	Gas	Líquido

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE CAPROLACTAMA

1.- Especificaciones del proyecto

*Tabla 1.6.12.- Datos balance de materia corrientes.*

CAUDAL MÁSICO (kg/h)	112	119	113	314	315	316
CH	0	0	0	0	0	0
CHO	0	0	0	0	0	0
CPL	0	0	0	0	0	0
CPLS	0	0	0	0	0	0
AS	0	0	0	0	0	0
TOA	0	0	0	0	0	0
AP	0	0	0	0	0	0
NA	0	0	0	0	0	0
HP	0	0	0	0	0	0
PA	0	0	0	0	0	0
H	0	0	0	0	0	0
N	0	0	0	0	0	0
W	0	11262	10956	11710	754	22666
T	0	0	0	0	0	0
SA	0	0	0	0	0	0
A	1188	0	0	27248	26060	0
DON	0	0	0	0	0	0
ON	0	0	0	0	0	0
AN	0	0	0	0	0	0
HA	0	0	0	0	0	2445
<b>TOTAL</b>	<b>1188,24</b>	<b>11262,01</b>	<b>10955,75</b>	<b>38957,75</b>	<b>26813,76</b>	<b>25110,83</b>

TEMPERATURA (°C)	10	30	30	20	23,3	30
PRESIÓN (atm)	1	1	1	1	1	1
DENSIDAD (kg/m³)	0,73	1000	1000	1,02	0,7	990,07
VISCOSIDAD (Cp)	0,01	0,8	0,8	-	0,01	0,8
CAPACIDAD CALORÍFICA (kJ/kg·°C)	2,08	4,22	4,22	2,74	2,09	4,22
FLUJO CALORÍFICO (kJ/h)	-	-	-	-	-	-
	3,23E+06	1,74E+08	1,74E+08	2,58E+08	8,01E+07	3,78E+08
ESTADO FÍSICO	Gas	Líquido	Líquido	G-L	Gas	Líquido

**PLANTA DE PRODUCCIÓN DE CAPROLACTAMA**

**1.- Especificaciones del proyecto**

*Tabla 1.6.13.- Datos balance de materia corrientes.*

	<b>317</b>	<b>318</b>	<b>319</b>	<b>320</b>	<b>321</b>	<b>322</b>
<b>CAUDAL MÁSICO (kg/h)</b>						
<b>CH</b>	0	0	0	0	0	0
<b>CHO</b>	0	0	0	0	0	0
<b>CPL</b>	6411	0	0	0	21797	15386
<b>CPLS</b>	0	0	0	0	0	0
<b>AS</b>	0	0	0	0	0	0
<b>TOA</b>	0	0	0	0	0	0
<b>AP</b>	0	0	0	0	0	0
<b>NA</b>	0	0	0	0	0	0
<b>HP</b>	0	0	0	0	0	0
<b>PA</b>	0	0	0	0	0	0
<b>H</b>	0	0	0	0	0	0
<b>N</b>	0	0	0	0	0	0
<b>W</b>	22666	679	22741	75	77063	54397
<b>T</b>	0	0	0	0	0	0
<b>SA</b>	8832	0	0	0	30030	21197
<b>A</b>	0	23454	2606	2606	0	0
<b>DON</b>	0	0	0	0	0	0
<b>ON</b>	0	0	0	0	0	0
<b>AN</b>	0	0	0	0	0	0
<b>HA</b>	103	0	2445	0	349	246
<b>TOTAL</b>	38011,6	24132,39	27792,2	2681,38	129238,85	91227,43

<b>TEMPERATURA (°C)</b>	90	85	85	85	90	90
<b>PRESIÓN (atm)</b>	1	1	1	1	1	1
<b>DENSIDAD (kg/m³)</b>	1182,01	0,58	2,65	0,58	1181,96	1181,96
<b>VISCOSIDAD (Cp)</b>	0,54	0,01	-	0,01	0,53	0,53
<b>CAPACIDAD CALORÍFICA (kJ/kg·°C)</b>	3,7	1,23	3,73	2,18	3,7	3,7
<b>FLUJO CALORÍFICO (kJ/h)</b>	- 3,88E+08	- 6,89E+07	- 3,72E+08	- 7,66E+06	-1,32E+09 9,34E+08	-
<b>ESTADO FÍSICO</b>	Líquido	Gas	G-L	Gas	Líquido	Líquido

**PLANTA DE PRODUCCIÓN DE CAPROLACTAMA**

**1.- Especificaciones del proyecto**

*Tabla 1.6.14.- Datos balance de materia corrientes.*

<b>CAUDAL MÁSICO (kg/h)</b>	<b>322a</b>	<b>401</b>	<b>115</b>	<b>402</b>	<b>403</b>	<b>404</b>
<b>CH</b>	0	0	0	0	0	0
<b>CHO</b>	0	0	0	0	0	0
<b>CPL</b>	15386	6410	0	63	6462	10
<b>CPLS</b>	0	0	0	0	0	0
<b>AS</b>	0	0	0	0	0	0
<b>TOA</b>	0	0	0	0	0	0
<b>AP</b>	0	0	0	0	0	0
<b>NA</b>	0	0	0	0	0	0
<b>HP</b>	0	0	0	0	0	0
<b>PA</b>	0	0	0	0	0	0
<b>H</b>	0	0	0	0	0	0
<b>N</b>	0	0	0	0	0	0
<b>W</b>	54397	2655	0	3	318	2341
<b>T</b>	0	0	92	9425	9333	92
<b>SA</b>	21197	92	0	0	90	0
<b>A</b>	0	0	0	0	0	0
<b>DON</b>	0	0	0	0	0	0
<b>ON</b>	0	0	0	0	0	0
<b>AN</b>	0	0	0	0	0	0
<b>HA</b>	246	103	0	0	103	0
<b>TOTAL</b>	91227,43	9259,52	92,14	9491,29	16305,61	2443,38

<b>TEMPERATURA (ºC)</b>	70	90	25	90	90	90
<b>PRESIÓN (atm)</b>	1	1	1	1	1	1
<b>DENSIDAD (kg/m³)</b>	1181,96	1020,18	870	869,9	929,4	1005
<b>VISCOSIDAD (Cp)</b>	0,7	2,11	0,46	0,29	1,03	0,36
<b>CAPACIDAD CALORÍFICA (kJ/kg·ºC)</b>	3,69	2,55	1,65	1,9	1,94	4,1
<b>FLUJO CALORÍFICO (kJ/h)</b>	-	-	1,27E+04	2,16E+06	2,09E+07	3,64E+07
<b>ESTADO FÍSICO</b>	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE CAPROLACTAMA

1.- Especificaciones del proyecto

*Tabla 1.6.15.- Datos balance de materia corrientes.*

	405	406	117	407	408	408a
CAUDAL MÁSICO (kg/h)						
CH	0	0	0	0	0	0
CHO	0	0	0	0	0	0
CPL	63	6400	0	6400	6400	6400
CPLS	0	0	0	0	0	0
AS	0	0	0	0	0	0
TOA	0	0	0	0	0	0
AP	0	0	0	0	0	0
NA	0	0	0	0	0	0
HP	0	0	0	0	0	0
PA	0	0	0	0	0	0
H	0	0	24	0	0	0
N	0	0	0	0	0	0
W	3	18012	0	18012	18012	18012
T	9333	0	0	0	0	0
SA	0	90	0	0	0	0
A	0	0	0	0	0	0
DON	0	0	0	0	0	0
ON	0	0	0	0	0	0
AN	0	0	0	0	0	0
HA	0	103	0	103	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>9399,15</b>	<b>24603,65</b>	<b>23,93</b>	<b>24513,8</b>	<b>24411,11</b>	<b>24411,11</b>

TEMPERATURA (°C)	90	90	20	90	90	100,9
PRESIÓN (atm)	1	1	1	1	1	1
DENSIDAD (kg/m³)	870	1026	0,08	1026	1005,24	1005,24
VISCOSIDAD (Cp)	0,29	0,61	0,01	0,61	0,61	0,61
CAPACIDAD CALORÍFICA (kJ/kg·°C)	1,9	3,58	14,09	3,53	3,53	3,58
FLUJO CALORÍFICO (kJ/h)	2,14E+06	2,98E+08	1,69E+03	2,98E+08	2,98E+08	2,96E+08
ESTADO FÍSICO	Líquido	Líquido	Gas	Líquido	Líquido	Líquido

**PLANTA DE PRODUCCIÓN DE CAPROLACTAMA**

**1.- Especificaciones del proyecto**

*Tabla 1.6.16.- Datos balance de materia corrientes.*

<b>CAUDAL MÁSICO (kg/h)</b>	<b>114</b>	<b>410</b>	<b>411</b>	<b>412</b>	<b>412a</b>	<b>413</b>
CH	0	0	0	0	0	0
CHO	0	0	0	0	0	0
CPL	0	0	0	6400	6400	6400
CPLS	0	0	0	0	0	0
AS	0	0	0	0	0	0
TOA	0	0	0	0	0	0
AP	0	0	0	0	0	0
NA	0	0	0	0	0	0
HP	0	0	0	0	0	0
PA	0	0	0	0	0	0
H	0	0	0	0	0	0
N	0	0	0	0	0	0
W	306	295	18015	1	1	1
T	0	0	0	0	0	0
SA	0	0	0	0	0	0
A	0	0	0	0	0	0
DON	0	0	0	0	0	0
ON	0	0	0	0	0	0
AN	0	0	0	0	0	0
HA	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>306,26</b>	<b>294,73</b>	<b>18015</b>	<b>6400,53</b>	<b>6400,59</b>	<b>6400,59</b>

<b>TEMPERATURA (°C)</b>	30	20	20	120	80	70
<b>PRESIÓN (atm)</b>	1	1	1	1	1	1
<b>DENSIDAD (kg/m³)</b>	1012	1012	1000	1020	985,7	1019,97
<b>VISCOSIDAD (Cp)</b>	0,8	1	1	5,03	11,16	13,61
<b>CAPACIDAD CALORÍFICA (kJ/kg·°C)</b>	4,22	4,2	4,2	1,97	205	200,9
<b>FLUJO CALORÍFICO (kJ/h)</b>	-	-	-	-	-	-
	4,85E+06	4,67E+06	2,85E+08	1,69E+07	1,76E+07	1,76E+07
<b>ESTADO FÍSICO</b>	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido

**PLANTA DE PRODUCCIÓN DE CAPROLACTAMA**

**1.- Especificaciones del proyecto**

*Tabla 1.6.17.- Datos balance de materia corrientes.*

<b>CAUDAL MÁSICO (kg/h)</b>	<b>414</b>	<b>415</b>	<b>415 a</b>	<b>416</b>	<b>416a</b>	<b>416b</b>
CH	0	0	0	0	0	0
CHO	0	0	0	0	0	0
CPL	23038	166639	166639	0	0	0
CPLS	0	0	0	0	0	0
AS	0	0	0	0	0	0
TOA	0	0	0	0	0	0
AP	0	0	0	0	0	0
NA	0	0	0	0	0	0
HP	0	0	0	0	0	0
PA	0	0	0	0	0	0
H	0	0	0	0	0	0
N	0	0	0	0	0	0
W	4	3	3	18010	18010	18010
T	0	0	0	0	0	0
SA	0	0	0	0	0	0
A	0	0	0	0	0	0
DON	0	0	0	0	0	0
ON	0	0	0	0	0	0
AN	0	0	0	0	0	0
HA	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>23041,89</b>	<b>16641,37</b>	<b>16641,37</b>	<b>18010,5</b>	<b>18010,5</b>	<b>18010,5</b>

<b>TEMPERATURA (°C)</b>	120	120	130	120	94,52	20
<b>PRESIÓN (atm)</b>	1	1	1	0,9	1	1
<b>DENSIDAD (kg/m³)</b>	1020	1020	1020	0,5	1000	1000
<b>VISCOSIDAD (Cp)</b>	5,03	5,03	4,09	5,03	8,68	57,11
<b>CAPACIDAD CALORÍFICA (kJ/kg·°C)</b>	222,6	222,6	226,8	1,97	1,87	1,6
<b>FLUJO CALORÍFICO (kJ/h)</b>	-	-	-	-	-	-
	6,10E+07	4,41E+07	4,37E+07	2,99E+08	3,05E+08	3,20E+08
<b>ESTADO FÍSICO</b>	Líquido	Líquido	Líquido	Gas	Líquido	Líquido

**PLANTA DE PRODUCCIÓN DE CAPROLACTAMA**

---

**1.- Especificaciones del proyecto**

*Tabla 1.6.17.- Datos balance de materia corrientes.*

<b>CAUDAL MÁSICO (kg/h)</b>	<b>501</b>	<b>502</b>
<b>CH</b>	0	0
<b>CHO</b>	0	0
<b>CPL</b>	1	0
<b>CPLS</b>	0	0
<b>AS</b>	0	0
<b>TOA</b>	0	0
<b>AP</b>	0	0
<b>NA</b>	0	0
<b>HP</b>	0	0
<b>PA</b>	0	0
<b>H</b>	0	0
<b>N</b>	0	0
<b>W</b>	20010	3001
<b>T</b>	0	0
<b>SA</b>	8741	0
<b>A</b>	0	0
<b>DON</b>	0	0
<b>ON</b>	0	0
<b>AN</b>	0	0
<b>HA</b>	0	0
<b>TOTAL</b>	28752,17	3001,48

<b>TEMPERATURA (ºC)</b>	90	100
<b>PRESIÓN (atm)</b>	1	1
<b>DENSIDAD (kg/m3)</b>	1234,05	1000
<b>VISCOSIDAD (Cp)</b>	0,31	0,28
<b>CAPACIDAD CALORÍFICA (kJ/kg·ºC)</b>	4,19	4,2
<b>FLUJO CALORÍFICO (kJ/h)</b>	-3,30E+08	-4,65E+07
<b>ESTADO FÍSICO</b>	Líquido	Líquido

## 1.- Especificaciones del proyecto

**1.7.- SERVICIOS DE PLANTA**

Para el funcionamiento de nuestra planta química, necesitaremos garantizar el suministro de una serie de servicios, sin los cuales, se paralizaría la misma, esta serie de servicios se detallan a continuación.

**1.7.1.- Energía eléctrica**

Ya sea para el funcionamiento de los equipos, iluminación, o servicios adjuntos de los trabajadores de la planta, será necesaria una conexión a la red eléctrica. En la planta se tienen unas necesidades de energía elevadas (cristalización, evaporación de aguas, etc.) de manera que la empresa distribuidora proporcionara, electricidad a una tensión de 20 Kv, haciendo necesaria una estación transformadora dentro de la planta para realizar la conversión, de media a baja tensión (380 V), la cual, es la corriente habitual de operación en una planta.

A continuación, se mostrarán las necesidades de tensión eléctrica de todas las áreas. Las líneas de tensión de nuestra planta serán trifásicas, con 5 hilos, las tres fases toma de tierra y el cable neutro. Serán de aluminio recubierto con aislante, y, en las zonas con mayor riesgo, llevarán la protección mencionada en el apartado de seguridad.

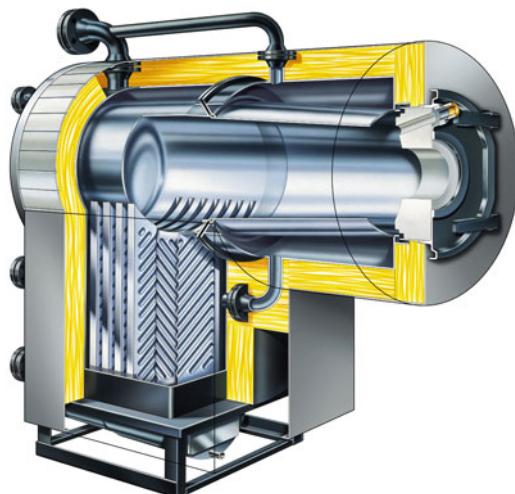
**1.7.2.- Vapor de agua**

El vapor de agua es necesario en varios puntos del proceso, para aprovechamiento de calor, son varios ejemplos de las necesidades del mismo. El vapor de proceso será producido en una caldera. La alimentación de vapor a los diferentes equipos, se realiza mediante un colector, el cual se ramifica en una red de tuberías, que tiene como punto de partida la caldera. Para alimentar dicha caldera, se dispone de un depósito de recogida agua condensada a cierta altura, que a su vez también es alimentada por una corriente de agua descalcificada. Las necesidades de vapor de agua de la planta son de 37116 Kg/h.

## 1.- Especificaciones del proyecto

**1.7.3.- Gas natural**

El gas natural, llega al recinto de nuestra planta mediante una tubería a media presión ( $1,5 \text{ Kg/cm}^3$ ). El gas natural de nuestro proceso de nuestro proceso, se debe al consumo requerido por las calderas de generación de vapor a baja presión. En estas, se consume de  $1684 \text{ Kg/h}$  de gas natural para poder proporcionar una potencia nominal de  $934 \text{ KW}$ , caudal necesario para cubrir los requerimientos de vapor comentados anteriormente. Utilizando como guía la potencia nominal requerida, se escoge la caldera de la casa Viesmann VITOCROSSAL 300. Los procedimientos hasta obtener este dato, están reflejados en el manual de cálculo.



*Figura 1.7.3.1.-Caldera de Gas natural de tres pasos de Humo VITOCROSALL 300.*

**1.7.4.- Agua de red**

Nuestra planta necesitara, una red de abastecimiento de agua con una presión máxima de servicio de  $4 \text{ Kg/cm}^3$ , la conducción de salida de la red, tendrá

## 1.- Especificaciones del proyecto

un diámetro de 200 mm. Entre las necesidades de agua de la planta, cabe contar, con que una parte de la misma debe de ser descalcificada para su utilización en el proceso, otra parte, irá destinada a la limpieza de la planta, dispositivos de lucha contra incendios y al uso del personal de la planta; este tipo de agua no será sometida a descalcificación.

### 1.7.5.- Agua descalcificada

Toda el agua de proceso, debe ser descalcificada para evitar problemas de mal funcionamiento de equipos, debido a incrustaciones o ensuciamiento de los mismos. La mayoría de equipos de nuestro proceso, ya sean intercambiadores, condensadores calderas, torres de refrigeración, etc...., presentan problemas por la formación de incrustaciones durante su operación, este tipo de problema afecta a la transferencia de calor del equipo. También, de no descalcificar el agua de servicio, los equipos pueden tener problemas asociados a la corrosión. Por tal de evitarlo se instala un descalificador que garantice que la alimentación a estos equipos de la planta, es suministrado sin ninguna proporción de cal.



Figura 1.7.5.1.- Descalcificador.

### 1.7.6.- Agua de refrigeración

Durante el funcionamiento de nuestra planta, se necesitará enfriar un determinado caudal de agua proveniente de diferentes áreas de la misma y que irá

## 1.- Especificaciones del proyecto

destinada a varios usos tales como intercambios de calor, etc. Las necesidades totales de agua de refrigeración de la planta son de 1.452.132 m<sup>3</sup>/h, esta agua será enfriada 15 Cº para su posterior utilización en el proceso. Utilizando una parte de la corriente de salida para enfriar el conjunto de corrientes que se derivan a refrigeración, rebajamos la capacidad de disipación de calor que han de tener las torres de refrigeración. Seguidamente se explica el funcionamiento y elección las torres de refrigeración del proceso.

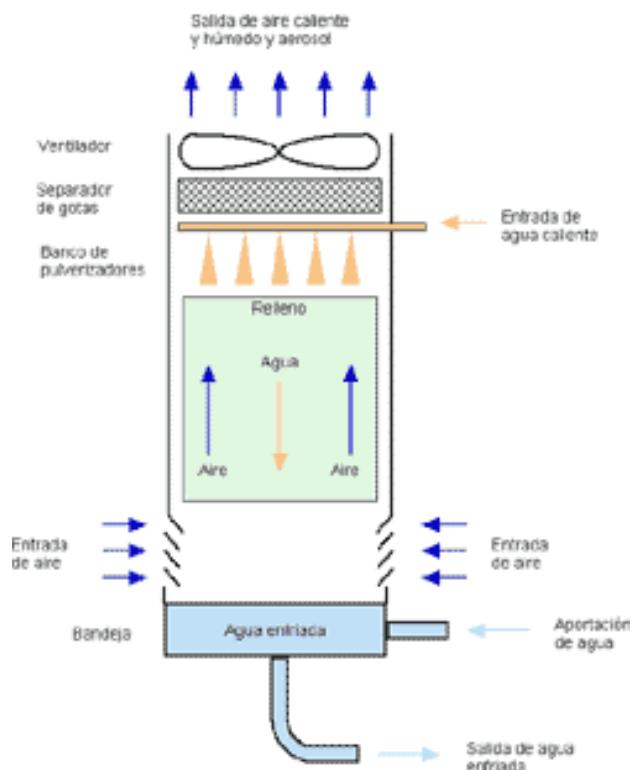
### **1.7.7.- Torres de refrigeración**

Este tipo de equipo, produce el enfriamiento de una corriente de agua que circula a través de la torre, que, por contacto con el aire del entorno, transfiere calor al mismo. Es importante obtener en el diseño, la máxima superficie de contacto entre el aire y el agua, de modo, que la transferencia de calor sea lo más elevada posible, dicha superficie se consigue mediante la colocación de relleno en la torre, con esto, se proporciona una mayor de superficie de contacto entre la corriente de agua y el aire.

El agua, entrando por la parte superior de la torre, se pulveriza uniformemente sobre el relleno al pasar por distribuidores. La transferencia de calor, se produce principalmente por el calor latente de cambio de estado absorbido, de una parte del agua al pasar por la corriente de aire en forma de vapor y, en menor medida, mediante convección entre los dos fluidos a diferentes temperaturas.

Para diseñar dichas torres, conviene una buena distribución de agua sobre el relleno, e intentar maximizar la circulación de aire a través de la torre. A continuación, se muestra el esquema de funcionamiento de dicha torre.

## 1.- Especificaciones del proyecto



*Figura 1.7.7.1.- Funcionamiento de la torre de refrigeración.*

Utilizando los datos de necesidades de agua de refrigeración detalladas en el apartado anterior así como el salto térmico requerido, se calcula la potencia frigorífica requerida para la elección de la torre de refrigeración, dicha potencia se estima en 6050,55 KW. Los cálculos de la potencia frigorífica quedan reflejados en el manual de cálculo.

La casa comercial EWK, dispone de varios modelos de torres de refrigeración. El modelo que mejor se adapta a las características requeridas, por nuestras necesidades de refrigeración es el modelo EWK1800, teniendo una capacidad de disipación de 3150 KW. El número de torres necesarias para disipar las necesidades de calor será de 2 torres.

## 1.- Especificaciones del proyecto



*Figura 1.7.7.2.- Torre de refrigeración.*

A continuación, se presentan las especificaciones de la torre de refrigeración seleccionada, así como sus dimensiones.

*Tabla 1.7.7.1.- Especificaciones de las torres de refrigeración.*

Modelo	EWKE 1800/5
Dissip. (kW)	2720
Empty weight (kg)	8810
Service weight (kg)	20750
Recirculation pump (kg)	2*4.0
Fan power (kW)	22.0
Long (mm)	4100
Drawing	4100
Width (mm)	4290

## 1.- Especificaciones del proyecto

Las torres de refrigeración que se utilizan en el proceso son torres de circuito abierto, en las que existe una salida de aire saturado de humedad, esta, produce que sea necesaria la reposición de agua descalcificada, a través de colectores en la torre, para el buen funcionamiento de la misma. El caudal de agua a aportar queda reflejado en el manual de cálculo.

### 1.7.8.- Aire comprimido

El aire comprimido utilizado en la planta, se emplea para accionar mecanismos neumáticos, ya sean, válvulas u otros mecanismos de control. La presión a la que funcionaran dichos dispositivos, y a la que se suministrará el aire, será de 7 bares de presión, que se obtendrán mediante un circuito de aire comprimido basado en dos rotores helicoidales que giran entre si, generando la presión suficiente para el suministro de aire a la presión adecuada, durante el giro de los dos rotores, por la forma de los mismos, se genera presión de aire entre las cavidades de los mismos.



*Figura 1.7.8.1.-Imagen rotores helicoidales para producción de aire a presión*

Este equipo será suministrado por la empresa UNIAIR S.A.