



PRODUCCIÓN DE CAPROLACTAMA



UAB
Universitat Autònoma
de Barcelona

e escola
d'enginyeria

Laura Molina Gallego
Pilar Ribatallada Ruiz
Lara Ruiz Massanet
Miren Saez Fernández de Gaceo
Edu Valle Pérez
2013

INDICE

6. MEDIO AMBIENTE	1
6.1. Introducción	1
6.2. Legislación actual sobre medio ambiente	2
6.2.1. Aire y protección de la atmósfera.....	2
6.2.2. Aguas.....	4
6.2.3. Residuos	4
6.3. Efluentes gaseosos.....	5
6.3.1. Nitrógeno de inertización	5
6.3.2. Venteos y válvulas de seguridad	5
6.4. Efluentes líquidos.....	9
6.4.1. Corriente 236b.....	9
6.4.2. Corrientes 240 y 302	11
6.4.3. Lubricantes de maquinaria	17
6.4.4. Residuos de laboratorio	18
6.4.5. Balsa de acumulación de residuos.....	18
6.5. Efluentes sólidos	19
6.5.1. Residuos sólidos de tipo urbano	19
6.5.2. Residuos sólidos de tipo industrial	20
6.6. Estudio de impacto ambiental	20

6. MEDIO AMBIENTE

6.1. Introducción

El medio ambiente podría definirse como el conjunto de sistemas físicos y biológicos que aparecen como resultado de la interacción del ser humano moderno con el hábitat que lo rodea. Esta definición será interpretada de manera completamente diferente según la formación de las personas que analicen un mismo fenómeno. Así, si analizamos las diferentes interpretaciones de la afectación al medio ambiente que ocasionará la implantación de la planta de producción de caprolactama tenemos que:

- El biólogo analizará el impacto que la construcción y funcionamiento que la industria ejercerá sobre la flora y fauna local.
- El urbanista se decantará por los problemas derivados de la ocupación del suelo, o los efectos que el incremento del tráfico provocará sobre las poblaciones vecinas.
- El ingeniero atenderá a los problemas de infraestructura sanitaria, que incluirá la evacuación de los efluentes y la contaminación atmosférica.
- El geólogo prestará más atención a la alteración de las aguas subterráneas y a la posible contaminación del subsuelo.
- El sociólogo analizará el impacto que el funcionamiento de la actividad industrial ejerce sobre las personas y su modo de vida.
- El médico dedicará sus esfuerzos a prevenir los efectos que el desarrollo de la citada actividad puede ejercer sobre la salud de los vecinos.

Así se puede convenir que el medio ambiente admite un análisis multidisciplinar, donde cada profesional puede aportar su conocimiento específico que permita hacer más compatible las actividades de la sociedad contemporánea con su entorno.

La contaminación ambiental se puede definir como la presencia de agentes químicos, físicos o biológicos en lugares, formas y concentraciones que sean o puedan ser perjudiciales para la salud, la seguridad o el bienestar de la población o perjudiciales para la vida vegetal o animal.

El objetivo de la empresa frente a la contaminación ambiental consiste principalmente en prevenir la formación de contaminantes. En segundo lugar, minimizar la producción de

contaminantes y en tercer lugar si no es posible prevenir o minimizar, ser capaz de tratar el contaminante para que su emisión no tenga ningún impacto en el medio ambiente.

Primeramente se analizan las vías por las que se produce la afectación del medio ambiente. Los diversos impactos ambientales, es decir, los posibles efectos negativos provocados sobre el medio ocasionados por el flujo de materias primas, energía o emisiones, se ha convenido estructurarlos en varios factores, denominados vectores contaminantes, que sintéticamente son:

- Aire: La calidad del aire, así como el ruido son dos parámetros básicos con los que se evalúa el estándar de vida.
- Agua: El agua proveniente de los vertidos industriales debe ser depurada antes de ser devueltas al río o al mar, debido a su alta carga contaminante. De hecho el agua, actúa como disolvente y soporte físico que transporta los contaminantes que se han vertido en ella.
- Residuos: Actúan como vectores de todo tipo, siendo el último eslabón de cualquier actividad. Por ejemplo, el agua residual, una vez depurada deja un residuo denominado fango. La finalidad básica de toda depuración consiste en transferir el contaminante de un medio muy difundible, como es el agua, a otro más controlable como es el fango. Lo mismo acontece con los gases. El gas es el medio más fácilmente difundible y, por tanto, contaminante. La instalación de un filtro, o un equipo de tratamiento de la corriente gaseosa, retira los elementos de la corriente gaseosa y los transfiere a un medio sólido o líquido.

6.2. Legislación actual sobre medio ambiente

6.2.1. Aire y protección de la atmósfera

La atmósfera es un bien común indispensable para la vida respecto del que todas las personas tienen el derecho de su uso y disfrute y la obligación de su conservación.

Por su condición de recurso vital y por los daños que de su contaminación pueden derivarse para la salud humana, el medio ambiente y demás bienes de cualquier naturaleza, la calidad del aire y la protección de la atmósfera ha sido una prioridad de la política ambiental.

Así, a medida que los procesos de industrialización y de urbanización de grandes áreas territoriales fueron provocando impactos negativos en la calidad del aire, se hizo preciso la

articulación de un amplio repertorio de instrumentos legales tendentes a hacer compatibles el desarrollo económico y social y la preservación de este recurso natural.

Se refiere a contaminación del aire a la incorporación a la atmósfera de sustancias ajenas a su composición normal, ya sea de forma natural o por acción del hombre. También se considera que la atmósfera está contaminada cuando la concentración de alguna sustancia que normalmente está presente aumenta por encima de su valor normal.

La contaminación del aire es un proceso que se inicia a partir de las emisiones al aire desde los diferentes focos emisores de contaminantes a la atmósfera. La atmósfera es un medio fluido con una dinámica que hace que la dispersión y el transporte de los contaminantes sea difícil de estudiar y de prever. La relación entre la cantidad de contaminante emitido al aire y la presencia de este al aire en un momento y lugar determinado no es una relación directa ni proporcional ni sencilla de conocer ya que la atmósfera es un sistema complejo.

Para minimizar la contaminación atmosférica es necesario, por una parte el control de las emisiones atmosféricas (niveles de emisión), y por otra parte, el control y la vigilancia de la presencia de los contaminantes en el aire en diferentes puntos receptores (niveles de inmisión). Se conoce como emisión la liberación de sustancias a la atmósfera a partir de un punto concreto. Inmisión son los niveles de contaminantes o de una determinada sustancia contaminante registrada en un punto concreto del espacio, independiente de la fuente.

Son los niveles de inmisión los que determinan el efecto de un contaminante sobre la salud o el medio ambiente. Están establecidos unos valores de referencia para los niveles de inmisión de cada contaminante. Mientras no se superen estos valores, se puede considerar que la calidad del aire es buena.

Los contaminantes atmosféricos más importantes, según la composición química son:

- Partículas: sedimentables ($>30\mu\text{m}$), en suspensión ($<30\mu\text{m}$), respirables ($<10\mu\text{m}$), o humos ($<1\mu\text{m}$).
- Compuestos de azufre: SO_2 , H_2S , H_2SO_4 mercaptanos, sulfuros...
- Compuestos de nitrógeno: NO , NO_2 , NO_x , NH_3 ...
- Compuestos de carbono: CO , CO_2 , CH_4 , HCT...
- Halógenos y compuestos halogenados: Cl_2 , HCl , HF , CFC...
- Oxidantes fotoquímicos: O_3 , peróxidos, aldehídos...

Ya que en la actividad industrial se dispone de emisiones al aire de contaminantes, está sujeta a respetar la calidad del aire en la zona de influencia y respetar los límites de emisión y utilizar la mejor tecnología existente.

Tabla 6.2.1. Límites de emisión de contaminantes al aire

Contaminantes	Unidad de medida	Niveles de emisión
Partículas sólidas	mg/Nm ³	150
SO ₂	mg/Nm ³	4300
CO	p.p.m.	500
NO _x (medio como NO ₂)	p.p.m.	300

Inspecciones Reglamentarias según DECRETO 833/75 cada 2, 3 ó 5 años (GRUPO A, B ó C respectivamente).

Tramitación en la Órgano Territorial Competente para la apertura de libros de Registro de mediciones.

Autocontroles periódicos para seguimiento del cumplimiento del DECRETO 833/75.

Inspecciones reglamentarias para el cumplimiento del R.D.1217/1977 sobre incineración de residuos peligrosos y R.D.653/03 sobre incineración de residuos, cada 4 meses

6.2.2. Aguas

Autorizaciones de vertidos a cauces públicos según R.D.L.1/2001 y R.D.849/1986, y alcantarillado según normativas municipales. (Ley 10/93 CM).

Autocontroles de seguimiento del cumplimiento de dicha autorización para aplicación del canon de vertido cada 12 meses como máximo.

6.2.3. Residuos

Caracterización de residuos para su determinación como peligrosos según R.D. 952/1997 y R.D. 833/88.

Caracterización de lodos para su uso agrícola según R.D.1310/1990

6.3. Efluentes gaseosos

Se considera contaminación atmosférica a la introducción en la atmósfera, por acción humana, directa o indirecta, de sustancias o de energía que tengan una acción nociva de tal naturaleza que ponga en peligro la salud del hombre, que cause daños a los recursos biológicos y a los ecosistemas, que deteriore los bienes materiales y que dañe o perjudique las actividades recreativas y otras utilidades legítimas del medio ambiente.

Las emisiones a la atmósfera tienen lugar en forma de gases, vapores y sólidos en suspensión.

Efluentes gaseosos residuales continuos fruto de la producción de caprolactama, no se encuentra ninguno en la planta SIMIO, pero sí que habrá dos tipos de residuos gaseosos en la planta SIMIO, los provenientes de los venteos de los tanques y los que provengan de la inertización de los equipos.

6.3.1. Nitrógeno de inertización

Este nitrógeno es el que se utiliza antes de poner en funcionamiento la planta. Su función es inertizar todos los componentes de la planta.

No hay límite de emisión de nitrógeno. Además las condiciones en las que se expulsa a la atmósfera están dentro de las reglamentarias (temperatura, etc).

Así pues se expulsa a la atmósfera sin tratamiento previo porque cumple las condiciones adecuadas.

6.3.2. Venteos y válvulas de seguridad

Todos los equipos y tanques de almacenamiento dispondrán de venteos y válvulas de seguridad para evacuar cualquier exceso de presión que se pueda generar dentro de ellos.

- Tanque de Amoníaco: Según la APQ-4, los almacenamientos refrigerados o semi-refrigerados cuya instalación frigorífica no disponga de suministro eléctrico de dos procedencias distintas o de grupo electrógeno de reserva o de procedimiento de absorción del gas que se produzca en caso de fallo de energía eléctrica, dispondrán de un antorcha capaz de quemar de manera controlada y segura el amoníaco anhidro gasificado. En nuestro caso se dispone de grupo electrógeno de reserva, por lo tanto no será necesario instalar una antorcha.

- Tanque de Hidrogeno y Óleum: Este tipo de venteo irá directamente a la atmosfera, puesto que no hay normativa que impida su emisión a la atmósfera. Los venteos estarán diseñados de tal manera que los vapores sean descargados en un lugar seguro fuera de los edificios y a una altura superior a 3,6 m sobre el nivel adyacente y, como mínimo, a 1,5 m de cualquier abertura de un edificio.
- Tanque de Tolueno y Ciclohexanona: Estos dos compuestos pertenecen a la familia de los COV, compuestos orgánicos volátiles, estos compuestos tienen una elevada volatilidad, persistencia en el ambiente, gran capacidad para viajar a grandes distancias y facilidad para transformarse en otros compuestos más tóxicos, por estos motivos se deberán tratar en caso de un vertido de gases en grandes cantidades causada por una situación de emergencia.

Los tratamientos realizables para evitar estas emisiones son: Combustión térmica, combustión catalítica, adsorción y tratamiento biológico, debido a que la realización de este tratamiento es de carácter puntual se escoge el método más práctico, en este caso será la combustión térmica.

El tratamiento por combustión térmica elimina los COV convirtiéndolos en CO₂ y agua. Tiene una eficacia de destrucción de COV superior al 99.9%.

Las antorchas pueden utilizarse para controlar casi cualquier corriente de COV y pueden manejar fluctuaciones en la concentración de COV, razón de flujo, poder calorífico y contenido de inertes. La combustión por antorcha es apropiada para aplicaciones de corrientes de gas venteadas intermitentes, continuas y variables. La mayoría de las plantas de sustancias químicas y refinerías tienen sistemas actuales de antorcha diseñados para liberar perturbaciones en el proceso en casos de emergencia que requieren la emisión de grandes volúmenes de gas. Estas antorchas de gran diámetro diseñadas para manejar emisiones de emergencias, también pueden ser utilizadas para controlar corrientes venteadas de operaciones de varios procesos.

Se escoge una antorcha elevada auto sostenida debido a que es la más económica del mercado y cumple con las exigencias que se necesitan.

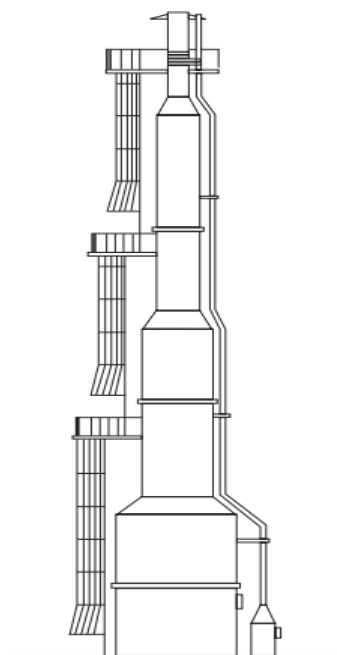


Figura 6.3.1. Antorcha auto sostenida.

- Tanque de ácido nítrico: La fuente de exposición al Ácido Nítrico en el aire obedece a que éste desprende humos tóxicos aun a temperatura ambiente; estos humos corresponden principalmente a óxido nítrico y Dióxido de Nitrógeno. La contaminación del aire con los humos del ácido se da de manera rápida y puede alcanzar niveles peligrosos. Mientras el ácido nítrico está almacenado se considera que se desprenden estos óxidos de nitrógeno, los cuales son desplazados cada vez que se llena el tanque. El hecho de que el monóxido de nitrógeno sea gas y de que el dióxido de nitrógeno tenga el punto de ebullición de 21°C hace que este sea desprendido mediante los venteos.

Se realiza un cálculo aproximado de la cantidad de NO que se desprende cada vez que se llena el tanque.

Cada camión tiene una capacidad de 25 m³, llegan 3 camiones al día, cada tanque tiene 190 m³ y el caudal de descarga del camión es de unos 60 m³/h.

$$\frac{190m^3}{1 \text{ tanque}} \cdot \frac{1h}{60m^3} = 3.16 \frac{h}{\text{tanque}} \quad (Ec. 6.3.1)$$

Si se tienen en cuenta los dos tanques, estos se llenaran en 6.32 h. Teniendo en cuenta que cada 5 días habrá un volumen de monóxido de nitrógeno igual que el volumen de los dos tanques se puede calcular la masa de NO emitida cada 5 días a partir de ley de los gases ideales.

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad (\text{Ec. 6.3.2})$$

Donde:

P es la presión (1 atmosfera)

V es el volumen, se consideran los dos tanques (380 m³)

n es el número de moles de NO_x

R es la constante de los gases ideales (0.082 m³·atm/K·mol)

T es la temperatura (298K)

El resultado de aplicar los valores a la ecuación 6.3.2 da un número de moles de 15.55 moles de NO_x, que equivalen a 466.5 Kg de masa, si el camión carga durante 6.32 h se tiene un caudal de 73.81Kg/h cada cinco días. Antes de decidir el tratamiento a utilizar se calcula la concentración que se tiene. La concentración resultante es de 1227.63 ppm. Debido a que la legislación marca una concentración máxima de emisión de 0.04 ppm este corriente deberá de ser tratado.

Para poder tratar este caudal nos hemos inspirado en la tecnología aplicada en la automoción, los vehículos actuales vienen equipados con un reactor catalítico que transforma los gases de la combustión, entre ellos óxidos de nitrógeno para convertirlos en compuestos no tóxicos, por lo tanto en la tubería de venteo de estos dos tanques irán provistas de un reactor catalítico como el que se puede observar en la figura 6.3.1.

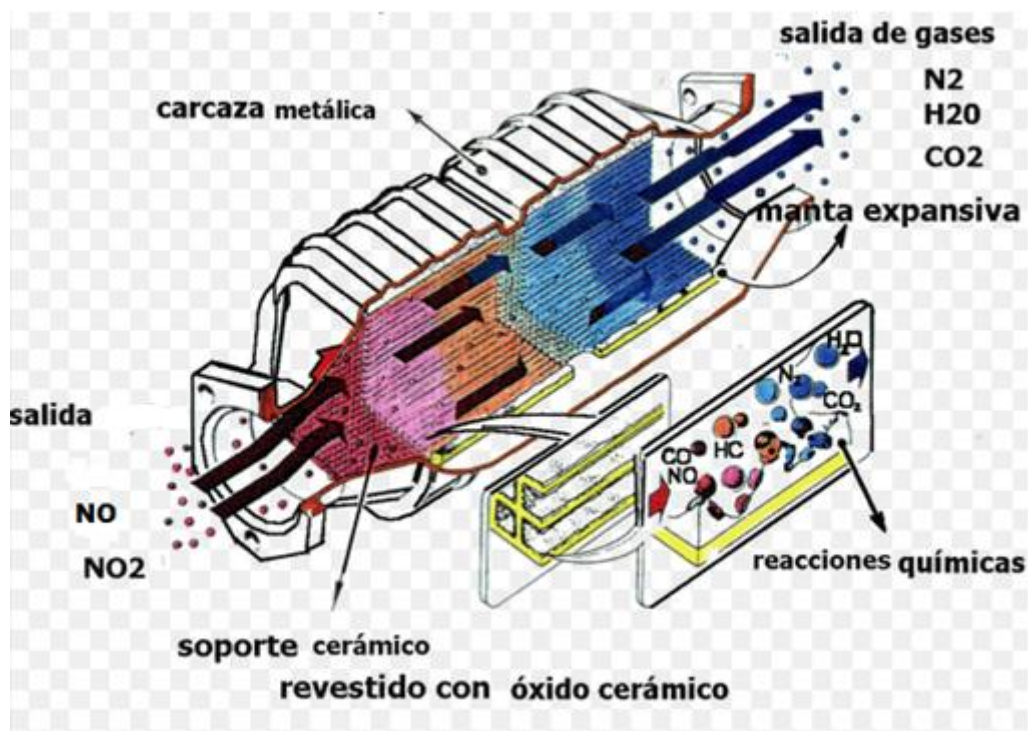


Figura 6.3.2. Catalizador eliminación de óxidos de nitrógeno.

6.4. Efluentes líquidos

6.4.1. Corriente 236b

Esta corriente es la fase acuosa resultante de la última etapa de la oximación que ocurre a pH 4.5, la que sale del separador SE-206 por el rebosadero.

Tabla 6.4.1. Resumen de la corriente 236b a tratar.

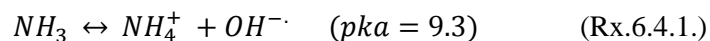
	Caudal (kg/h)	Composición másica, %	Conc. (mg/l)	Caudal (m ³ /h)
Fosfato de hidroxilamina	79.89	9.82	120613.66	0.66
Amonio hidróxido	14.56	1.79	21981.91	
Nitrato amónico	36.02	4.43	54381.07	
Ac. fosfórico	151.92	18.67	229360.71	
Fosfato de amonio	207.05	25.45	312593.05	
Agua	318.96	39.21	481548.79	
Tolueno	3.94	0.48	5948.4	
Ciclohexanona oxima	1.2	0.15	1811.69	
Total	813.54	100		

Como en el reactor R-207 se ha agregado amoníaco para aumentar el pH a la salida la IPL contendrá una porción de amonio hidróxido. Esta corriente se llevará a tratamiento para que el amonio hidróxido no se acumule en el sistema.

El nitrógeno puede aparecer en las aguas residuales de las siguientes formas: NH_3 , NH_4 , NO_2 o NO_3 . Es muy conveniente eliminarlo para controlar el crecimiento de algas en el receptor, y si está en forma amoniaca para evitar problemas de toxicidad. El proceso puede ser un proceso biológico o un proceso químico. En este caso se realizará el proceso químico mediante la extracción del amoníaco, denominada stripping de amoníaco. Para ello se aumentará el pH de la disolución para convertir el amonio en amoníaco y este puede ser extraído inyectando grandes cantidades de aire.

Para ello, será necesario conducirla a un tanque en el que se aumentará el pH para desplazar el equilibrio hacia la formación de amoníaco y se volatilice.

Como el catión amonio tiene una constante de disociación $\text{pK}_a = 9.3$, será necesario aumentar el pH de la solución hasta alcanzar un pH de 10, como se puede ver en la expresión siguiente:



Se ha elegido utilizar como compuesto basificante el hidróxido de sodio ya que es una base fuerte y se disociará completamente, y por tanto no sería necesario añadir tanta cantidad como en casos de bases más débiles. Por otro lado, es una compuesto ampliamente utilizado en la industria y fácil de conseguir, y además es inerte dentro de la solución que se quiere tratar.

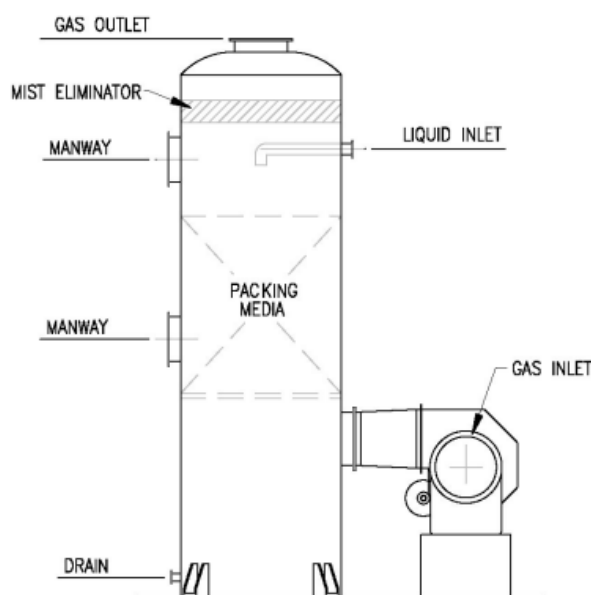


Figura 6.4.1. Esquema simplificado de una torre de stripping.

Una vez que se ha extraído el amoníaco la mezcla acuosa se colectará en un tanque, y se irá bombeando de nuevo al proceso.

Debido a la complejidad de la solución acuosa y a que la efectividad del stripping no será del 100% será necesario estudiar el proceso en una planta piloto para observar si se cumple la remoción necesaria del amoníaco y diseñar posibles estrategias de optimización para el tratamiento de esta corriente, por lo tanto, contará como un punto a considerar en posibles ampliaciones.

6.4.2. Corrientes 240 y 302

La corriente 240 es el resultado de la destilación que ocurre en la columna CD-202, en la que sale el agua con fosfato de hidroxilamina. La composición de la corriente se muestra en la *Tabla 6.4.2.*:

Tabla 6.4.2. Resumen de la corriente 240 a tratar.

	Caudal (kg/h)	Composición másica, %
Fosfato de hidroxilamina	98.27	1.64
Agua	5909.93	98.36
Total	6008.2	100

Por otro lado, la corriente 302 llega de la columna de extracción E-301 de la separación de la caprolactama y el sulfato de amonio. Así, la corriente resultante a tratar tendrá una pequeña porción de caprolactama y tolueno y agua y sulfato de amonio.

Tabla 6.4.3. Resumen de la corriente 302 a tratar.

	Caudal (kg/h)	Composición másica, %
Caprolactama	5.44	0.2
Tolueno	2.86	0.1
Agua	2661.68	95.5
Sulfato de amonio	117.76	4.2
Total	2787.74	100.0

Se ha decidido que ambas corrientes se unan para formar una sola corriente, la Corriente 501b, y así se trate a la vez. Además, de esta forma, se diluyen los diferentes compuestos que arrastra.

La composición de la nueva corriente se muestra en la *Tabla 6.4.3.*:

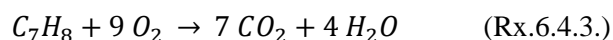
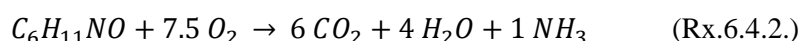
Tabla 6.4.4. Resumen de la corriente 501b a tratar.

	Caudal (kg/h)	Composición másica, %	Conc. (mg/l)	Caudal (m ³ /h)
Caprolactama	5.44	0.06	642.28	8.47
Tolueno	2.86	0.03	337.67	
Agua	8571.61	97.45	1012014.29	
Sulfato de amonio	117.76	1.34	13903.43	
Fosfato de hidroxilamina	98.27	1.12	11602.33	
Total	8795.94	100.00		

Una vez se tiene la composición de la corriente es necesario observar si los diferentes componentes cumplen con los límites de vertido según la legislación.

Por un lado, la corriente arrastra tolueno y caprolactama, que son materias que se pueden oxidar químicamente. Para ello se calculará el DQO de la corriente, que es un parámetro que mide la cantidad de sustancias que se pueden oxidar de forma química. Éste es un parámetro que cuantifica el grado de contaminación de la corriente, expresado en mgO₂/l.

La oxidación de la caprolactama se muestra en la ecuación Rx.6.4.2. y la del tolueno en la Rx.6.4.3.:



Una vez ajustadas las ecuaciones se toma el coeficiente estequiométrico del oxígeno diatómico y mediante la siguiente expresión se calculará el DQO de cada componente, y por tanto, de la corriente:

$$[DQO] \left(\frac{mgO_2}{l} \right) = [Conc. compuesto] (mg/l) \cdot \frac{PM_{O_2}}{PM_{compuesto}} \cdot \frac{moles O_2}{mol compuesto} \quad (\text{Ec.6.4.1.})$$

En la *Tabla 6.4.5.* se muestra la DQO de la corriente a tratar:

Tabla 6.4.5. DQO de la corriente 501b.

	Caudal (kg/h)	Conc. (mg/l)	Coef. Esteq.	DQO (mgO ₂ /l)
Caprolactama	5.44	642.28	7.5	1361.72
Tolueno	2.86	337.67	9	1055.44
Agua	8571.61	1012014.29		
Sulfato de amonio	117.76	13903.43		
Fosfato de hidroxilamina	98.27	11602.33		
TOTAL	8795.94			2417.16

Como se puede observar el valor de DQO de la corriente no es muy alto, pero sí que está fuera de límite máximo permitido según la legislación puesto que según la Ordenanza General de Medio Ambiente del ayuntamiento de Tarragona el valor de DQO no puede superar los 1500 (mgO₂/l). Por tanto, será necesario tratar la corriente mediante un proceso de oxidación avanzada. Además, la temperatura máxima de vertido es de 40°C, mientras que la corriente 240 está casi a 100°C y la corriente 302 está a 45°C.

▪ Proceso Fenton

El método Fenton es uno de los más efectivos y más económicos procesos de oxidación avanzada. Consiste en la adición de sales de Fe²⁺ en medio ácido (pH<3) para promover la descomposición catalítica del H₂O₂ en radicales HO[•], que son capaces de oxidar la materia orgánica y compuestos inorgánicos, como sulfuros, presentes en el agua residual.

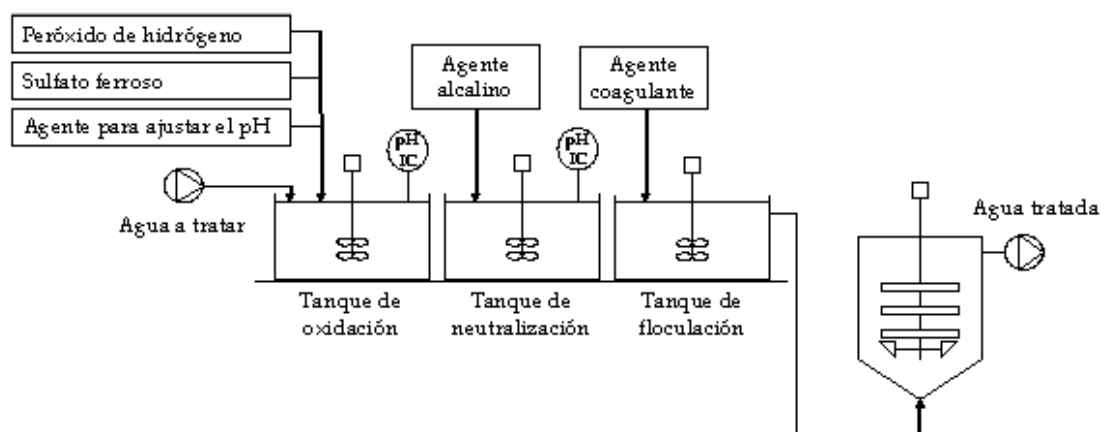
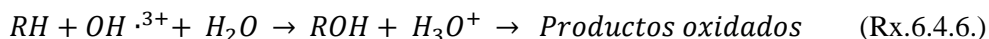
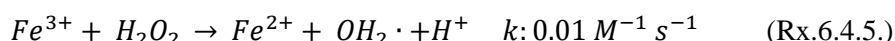


Figura 6.4.2. Esquema simplificado del proceso Fenton.

Como se puede ver el proceso tiene tres etapas. Primeramente el agua a tratar entra en el tanque en el que se realizará la oxidación de los compuestos. Para ello es necesario un pH bajo y el catalizador y el peróxido de hidrógeno. Una vez que la materia se ha oxidado se procede a la coagulación-floculación de la materia inorgánica coloidal en el segundo tanque agitado por medio de la adición de disolución de hidróxido de sodio y coagulante-floculante, recuperando de este modo también el catalizador, que entra en forma FeSO_4 .

En una tercera etapa, los lodos de hierro y la materia coloidal terminan sedimentando en un decantador lamelar. Los lodos del fondo del decantador, ricos en catalizador $\text{Fe}(\text{OH})_3$, se recirculan al primer tanque para reutilizarlos en la etapa de oxidación. El agua ya depurada sobrenadante pasa por rebose a un sistema final de filtración

La reacción que se da es la siguiente:



La aplicación del proceso Fenton para el tratamiento de aguas residuales presenta ventajas debido, por un lado, a la disponibilidad y bajo coste del Fe, elemento no tóxico, y por otro, a la facilidad de manejo del H_2O_2 y su descomposición en productos inocuos para el medio ambiente. Otra de las ventajas que presenta este proceso es que no se forman compuestos clorados como en otras técnicas de oxidación, y no existen limitaciones de transferencia de materia, por tratarse de un proceso homogéneo. El diseño del sistema para su aplicación tecnológica es sencillo. Asimismo, no es necesario suministrar energía extra para activar el H_2O_2 , pudiendo trabajar a presión atmosférica y temperatura ambiente. Los puntos débiles más importantes del proceso Fenton son el elevado coste del H_2O_2 y el hecho de que, al tratarse de un proceso homogéneo, el hierro incorporado se pierde con el efluente, lo que, además, hace obligada la separación del mismo, que normalmente se lleva a cabo por precipitación como $\text{Fe}(\text{OH})_3$, en la etapa final de neutralización.

El rendimiento del proceso depende, entre otros factores de la temperatura, el pH, la concentración de catalizador y de H_2O_2 , y de la reducción de Fe^{3+} a Fe^{2+} , por lo que la regeneración del Fe^{2+} presenta una gran importancia.

El sistema $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}/\text{H}_2\text{O}_2$ presenta su máxima actividad catalítica a pH 2,8-3,0. Se suelen emplear cantidades referidas a la relación estequiométrica, entendida como la cantidad teórica de H_2O_2 necesaria para oxidar el contaminante a CO_2 y H_2O .

Los principales efectos que se consiguen son:

- Destrucción de los contaminantes orgánicos
- Reducción de la toxicidad
- Mejora de biodegradabilidad
- Reducción de la DBO y DQO
- Reducción del olor y color

Como se ha dicho, se suelen usar cantidades estequiométricas del peróxido para realizar la oxidación, por tanto, se considerará lo siguiente:

$$[DQO] = [H_2O_2] \quad (\text{Ec.6.4.2.})$$

Por tanto, la cantidad necesaria de peróxido de hidrógeno se calculará mediante la siguiente expresión:

$$[H_2O_2] \left(\frac{\text{mg } H_2O_2}{\text{l}} \right) = [DQO] \left(\frac{\text{mg } O_2}{\text{l}} \right) \cdot \frac{1 \text{ mol } O_2}{PM_{O_2}} \cdot \frac{1 \text{ mol } H_2O_2}{1 \text{ mol } O_2} \cdot \frac{PM_{H_2O_2}}{1 \text{ mol } H_2O_2} \quad (\text{Ec.6.4.3.})$$

De ésta forma se ha determinado que la cantidad necesaria de peróxido de hidrógeno sea de 2568.25 $\text{mgH}_2\text{O}_2/\text{l}$.

Tomando el caudal volumétrico de la Tabla 6.4.4. y multiplicándolo por la concentración de hidrógeno peróxido se deduce que se necesitan 21.75 kg/h .

Teniendo en cuenta la densidad del peróxido de hidrógeno y que llegará en disolución al 50%:

$$\dot{V}_{\text{disol. } H_2O_2} \left(\frac{\text{l disol. } H_2O_2}{\text{h}} \right) = 21.75 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot \frac{1 \text{ l } H_2O_2}{1.4 \text{ kg}} \cdot \frac{1 \text{ l disol. } H_2O_2}{0.5 \text{ l } H_2O_2} \quad (\text{Ec.6.4.4.})$$

En total, se necesitará una entrada de 31.07 l/h de disolución al 50% de peróxido de hidrógeno.

En la bibliografía consultada se han encontrado datos experimentales que dan valores para el tiempo de residencia de entre 1h y 4h, aumentando la conversión a la vez que el tiempo. Se ha escogido un tiempo de residencia para cada etapa de 2h. El volumen de los equipos se calculará mediante la siguiente expresión:

$$V_{equipo}(m^3) = Q \left(\frac{m^3}{h} \right) t_{resid.} (h) \quad (Ec.6.4.5.)$$

Y por tanto, el volumen de los equipos será de 17 m^3 , y se ha decidido sobredimensionarlo a 20 m^3 . Teniendo en cuenta la proporción H/D de los tanques y las expresiones para el volumen se obtendrá el valor aproximado de la altura y diámetro del tanque:

$$H/D = 1.2 \quad (Ec.6.4.6.)$$

$$V_{tanque}(m^3) = \pi \frac{D^2}{4} \cdot 1.2D \quad (Ec.6.4.7.)$$

La altura del tanque será de 3.30 m y el diámetro será de 2.80 m.

Por otro lado, es necesario estudiar la concentración de sulfatos de la corriente ya que el límite de vertido es de 1000 mg /l. Para ello se calcula la concentración de los sulfatos que proceden del sulfato de amonio. Conociendo la relación 1:1 entre el ion sulfato y el ion amonio y las masas moleculares de cada uno y el caudal volumétrico de la corriente acuosa se ha calculado que la concentración es:

$$[SO_4^-] = 10100.88 \left(\frac{mg}{l} \right)$$

Como se puede observar esta cantidad es más de diez veces mayor que la permitida por la legislación, así que es necesario aplicar algún tratamiento para rebajar la concentración.

Se ha optado por seguir el tratamiento de la casa *Paques* ya que elimina la concentración de sulfatos hasta 300mg/l mediante el proceso SULFATEQ™.

Este proceso convierte los sulfatos en azufre elemental hidrofílico (que no provoca obstrucciones).

Según la empresa, el tratamiento con cal para la eliminación del sulfato ya no cumple los requisitos de las autoridades en cuanto a las concentraciones de sulfato o los totales de sólidos disueltos. Tampoco la osmosis inversa y el intercambio iónico resuelven completamente el problema. Simplemente concentran los contaminantes, mientras que SULFATEQ™ convierte los contaminantes en un valioso producto.

El rango típico para la aplicación de SULFATEQ™ es una concentración de sulfato del influente de 1.000-25.000 mg/l y un nivel de pH de 2-8. SULFATEQ™ se utiliza como una instalación autónoma o como el tratamiento final en una planta de cal-yeso. Por tanto, agua residual de la planta SIMIO cumple con los requisitos.

En la Figura 6.4.3. se puede observar el esquema del proceso:

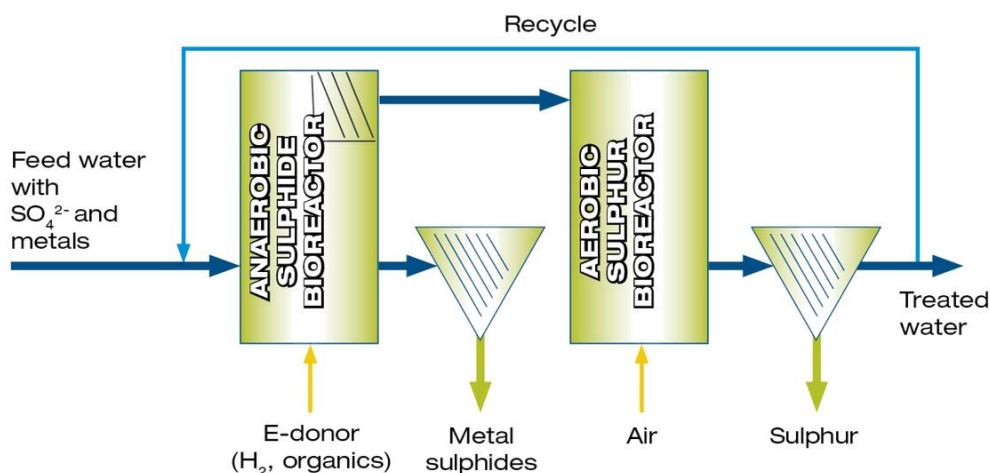


Figura 6.4.3. Esquema del proceso SULFATEQ™.

El núcleo de SULFATEQ™ es un proceso de dos etapas. La primera etapa reduce el sulfato biológico convirtiéndolo en sulfuro disuelto en biorreactores de alto rendimiento. Este bioproceso utiliza una fuente de energía como el alcohol o el gas hidrógeno. La segunda etapa oxida el sulfuro convirtiéndolo en azufre elemental con aire libre y lo separa del líquido. Se puede añadir una etapa adicional a los procesos clave para la recuperación de valiosos metales.

6.4.3. Lubricantes de maquinaria

Toda máquina que requiera un cierto movimiento de sus piezas internas deberá estar lubricada. Este aceite lubricante deberá cambiarse cada ciertas horas de trabajo, este tipo de residuo se recogerá en un contenedor especialmente indicado para ello y la empresa Catalana de Tractament d'Olis Residuals, S.A. (CATOR). Esta empresa es la única concesionaria de la gestión integral de aceites minerales usados en Catalunya de acuerdo con la Ley Reguladora de Residuos 6/93, de 15 de julio.

6.4.4. Residuos de laboratorio

En el laboratorio se analizarán muestras extraídas de diferentes puntos del proceso que servirán como control de calidad para verificar que todo funciona de manera correcta. También hay una sección de I+D que generará residuos líquidos. El laboratorio estará provisto de bidones en los cuales se depositarán los residuos en función de su naturaleza. La empresa Femarec será la encargada de la recogida y gestión de este residuo.

6.4.5. Balsa de acumulación de residuos

Se ha considerado necesario instalar una balsa a la que se conducirán los vertidos líquidos que no están previstos para llevar a tratamiento del apartado 6.4. *Efluentes líquidos*. Estos serán los líquidos que se creen en la puesta en marcha puesto que durará unos días y a los productos creados en estos días no se les dará salida al mercado. Por tanto, se recircularán a la balsa y se contratarán los servicios de una empresa externa para que se haga cargo de ellos. Esta empresa será necesaria cuando la capacidad de llenado llegue a límites máximos o cuando por la naturaleza de los compuestos no sea prudente mantenerlos en la misma balsa.

En esta balsa también se podrán acumular posibles derrames que haya durante el proceso, ...

Para estimar la capacidad de la balsa se ha optado por tomar como base el volumen que se genera diariamente en la planta cuando está en operación, que es de 500m³ al día. Por tanto, la balsa será capaz de almacenar cualquier derrame que se produzca en cualquier zona del proceso o en los almacenamientos puesto que ninguno alberga tanto líquido en su interior.

Por tanto, la balsa tendrá una profundidad de 4m, y una longitud y anchura de 12m cada una.

Esta balsa se construirá impermeabilizará para que los diferentes compuestos no pasen al medioambiente y por tanto no se contaminen los suelos y las aguas subterráneas.

6.5. Efluentes sólidos

De residuos sólidos se pueden distinguir de dos tipos, los que vienen generados durante la operación productiva en planta y los que se producen fruto de la actividad humana en oficinas, comedores, áreas sociales y mantenimiento de la planta.

6.5.1. Residuos sólidos de tipo urbano

- Residuos asimilables a urbanos: En la cocina y en la zona de comedor se generan residuos correspondientes a materia orgánica, para recoger este tipo de residuos se colocarán contenedores habilitados para tal efecto. También se generaran residuos plásticos y de vidrio, estos serán recogidos en contenedores especiales para hacer una recogida selectiva.

En las oficinas y zonas de trabajo así como en el almacén se generaran residuos de papel, cartón y vidrio. Los residuos de papel se generarán en las oficinas y allí se habilitará un contenedor para su recogida. El cartón proviene especialmente de cajas. Se dispondrá de contenedores adecuados que se distribuirán por toda la planta y en especial en el almacén. El vidrio proviene en su mayoría de envases de bebidas, se habilitará un contenedor específico para su deposición.

- Residuos peligrosos: Otro tipo de residuo generado en las oficinas son las tintas de impresión. Este tipo de residuo es de carácter peligroso, y se depositara en un contenedor especialmente habilitado para tal efecto.

Los fluorescentes tienen la misma consideración que las tintas de impresión, por eso también habrá contenedores especiales en los cuales irán a parar todos los fluorescentes viejos cambiados por el servicio de mantenimiento.

El transporte y gestión de estos residuos, tanto sólidos urbanos como peligrosos, la llevará a cabo la empresa FEMAREC. Esta empresa está homologada por la Agencia Catalana de Residuos, como Transportistas y Gestores de Residuos y está situada en las cercanías de Tarragona. Es la mejor opción económica ya que debido a la proximidad con nuestra planta, no tendremos un gasto de transporte elevado.

6.5.2. Residuos sólidos de tipo industrial

- Catalizador: Este es el único residuo sólido presente durante el proceso de producción de caprolactama en la planta SIMIO, se recogerá durante la parada de la planta, una vez al año, su tratamiento lo llevará a cabo la empresa suministradora del mismo catalizador puesto que obtendrá un beneficio de este recuperando el paladio, no solo se obtendrá un beneficio medio ambiental, sino que la empresa nos retornará el dinero equivalente a la cantidad del paladio recuperado.

6.6. Estudio de impacto ambiental

Una auditoría ambiental es un examen sistemático de cómo una operación de negocios afecta al medio ambiente. En él se incluirán todas las emisiones a la atmósfera, la tierra y el agua, y cubrir las limitaciones jurídicas, el efecto sobre la comunidad, el paisaje y la ecología. Se consideran tanto los productos como los procesos. Cuando se aplica en la etapa de diseño de un nuevo desarrollo que se denomina más correctamente una evaluación de impacto ambiental.

El objetivo de la auditoría o evaluación es:

- Identificar los problemas ambientales asociados con el proceso de fabricación y el uso de los productos, antes de que sean pasivos.
- Elaborar normas para las buenas prácticas de trabajo.
- Para proporcionar una base para la política de la empresa.
- Para garantizar el cumplimiento de la legislación ambiental.
- Para satisfacer los requisitos de las aseguradoras.
- Habrá que ver que se ocupa de las cuestiones ambientales.
- Para reducir el mínimo la producción de residuos: un factor económico.

El estudio de impacto ambiental, por lo tanto, resulta muy interesante para saber cómo trata la planta SIMIO el medio ambiente.

La legislación que regula que tipo de instalaciones han de someterse a un estudio de impacto ambiental y cuáles no es de nivel estatal y viene dictada por el Real decreto 9/2000 de Evaluación de impacto ambiental.

A nivel autonómico, la comunidad Catalana también dispone de legislación que regula que empresas deben hacer un estudio de impacto ambiental tales como el Decret 114/1988, de 7 de abril, Decret 136/199, de 18 de mayo y Orden de 21 de mayo de 1998.

La legislación autonómica dicta que nuestra planta requiere una Evaluación del Impacto Ambiental, puesto que se encuentra dentro del grupo de instalaciones químicas integradas.

Nos basaremos en el RD 9/2000 para realizar el siguiente estudio. Este decreto enclava la planta de producción de caprolactama dentro del grupo 5 (Industria química, petroquímica, textil y papelera).

Dicho estudio contendrá, al menos los siguientes datos:

- Descripción general del proyecto y exigencias previsibles en el tiempo, en relación con la utilización del suelo y de otros recursos naturales. Estimación de los tipos y cantidades de residuos vertidos y emisiones de materia o energía resultantes.
- Una exposición de las principales alternativas estudiadas y una justificación de las principales razones de la solución adoptada, teniendo en cuenta los efectos ambientales.
- Evaluación de los efectos previsibles directos o indirectos del proyecto sobre la población, la flora, la fauna, el suelo, el aire, el agua, los factores climáticos, el paisaje y los bienes materiales, incluido el patrimonio histórico artístico y el arqueológico. Asimismo, se atenderá a la interacción entre todos estos factores.
- Medidas previstas para reducir, eliminar o compensar los efectos ambientales significativos.
- Programa de vigilancia ambiental.
- Resumen del estudio y conclusiones en términos fácilmente comprensibles. En su caso, informe sobre las dificultades informativas o técnicas encontradas en la elaboración del mismo.

Para la determinación de la amplitud y el nivel de detalle del estudio de impacto ambiental, el órgano ambiental consultará a las Administraciones públicas afectadas sobre el documento inicial del proyecto.

El primer punto está especificado en el capítulo 1 de la memoria del proyecto, el segundo punto ha sido tratado con anterioridad en este mismo apartado sobre cómo tratar los diferentes efluentes contaminantes que genera el proceso químico en la planta. Por lo tanto lo que se realizara a continuación es la evaluación de los efectos previsibles sobre los siguientes factores:

- Aguas superficiales
- Aguas subterráneas
- Suelo
- Aire
- Flora y fauna

- Paisaje
- Salud humana
- Nivel sonoro
- Sistema socio-económico

Para realizar la evaluación es necesario construir una matriz de impacto, que relaciona los factores anteriormente expuestos con las acciones que causan el impacto que se detallan a continuación.

- a) Acondicionamiento del terreno
- b) Construcción de los edificios y pavimentación
- c) Instalación de los equipos
- d) Impacto visual
- e) Ruido
- f) Contaminación del agua
- g) Circulación de vehículos
- h) Creación de empleo
- i) Opinión pública
- j) Consumo energético
- k) Modificación del hábitat
- l) Producción de caprolactama
- m) Producción de residuos sólidos
- n) Producción de efluentes gaseosos
- o) Producción de efluentes líquidos
- p) Pérdida de lugares de trabajo

Tabla 6.6.1 Matriz de evaluación de impactos.

		Acciones															
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
Factores medioambientales	Aguas superficiales					X										X	
	Aguas subterráneas																
	Suelo				X			X						X			
	Aire														X		
	Flora y fauna				X							X					
	Paisaje				X							X		X			
	Salud humana					X	X								X		
	Nivel sonoro					X		X									
	Sistema socio-económico								X	X	X		X				

En esta matriz se muestran resultados cualitativos, a continuación se construye una matriz de importancia, la cual, determina la importancia del impacto de cada elemento en función de las características intrínsecas de nuestra planta.

La importancia del impacto se expresa con un número, puede tomar valores entre 13 y 100. Estos valores pueden ser positivos o negativos (el signo indica la naturaleza del impacto).

La ecuación 6.4.1. muestra el cálculo de este valor.

$$IMP = \pm(3I + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC) \quad (Ec. 6.4.1)$$

Donde:

IMP es el valor de la importancia, este valor puede ser negativo en caso de que el impacto tenga un efecto negativo, si su signo es positivo el impacto será beneficioso.

Según su importancia, los impactos serán:

- $IMP < 25$, el impacto es irrelevante o compatible.
- $25 < IMP < 50$, el impacto es moderado.
- $50 < IMP < 75$, el impacto es severo.
- $IMP > 75$, el impacto es crítico.

I es la intensidad del impacto o grado de destrucción. Su valor puede ser:

- Baja 1
- Mediana 2
- Alta 4
- Muy alta 8

EX es la extensión del impacto o área de influencia del impacto. Su valor sigue el siguiente rango:

- Puntual 1
- Parcial 2
- Extenso 4
- Total 8

MO es el momento en que se manifiesta el impacto. Puede ser:

- Largo plazo 1
- Medio plazo 2
- Inmediato 4

PE es la persistencia o permanencia del efecto

- Fugaz 1
- Temporal 2
- Permanente 4
- Corto plazo 1
- Irreversible 4

RV es la reversibilidad

- Corto plazo 1
- Medio plazo 2
- Irreversible 4

SI es la sinergia, hace referencia al grado de reforzamiento del efecto de una acción sobre un factor debido a la presencia de otra acción

- No sinérgico (simple) 1
- Sinérgico 2
- Muy sinérgico 4

AC es la acumulación

- Simple 1
- Directo 2

EF es el efecto, relación causa-efecto

- Indirecto 1
- Directo 2

PR es la periodicidad, es decir, la regularidad de la manifestación

- Irregular 1
- Periódico 2
- Continuo 4

MC es la recuperabilidad, hace referencia a la recuperación del factor por medios humanos

- Recuperación inmediata 1
- Recuperación medio plazo 2
- Recuperable parcialmente 4
- Irrecuperable 8

Una vez conocidos los valores de los diferentes términos de la ecuación 6.4.1 y teniendo un conocimiento amplio del diseño y operación de la planta SIMIO nos disponemos a realizar la matriz de importancia.

Tabla 6.6.2 Matriz de evaluación de impactos.

		Acciones											
		N	IN	EX	MO	PE	RV	SI	AC	EF	PR	MC	TOTAL
Factores medioambientales	Aguas superficiales	-	2	2	4	4	4	2	1	4	4	2	-35
	Aguas subterráneas	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Suelo	-	2	2	4	4	2	4	1	4	4	2	-35
	Aire	-	4	4	2	4	1	1	1	4	2	1	-36
	Flora y fauna	-	1	1	4	4	4	1	1	4	4	2	-29
	Paisaje	-	2	1	4	4	4	1	1	4	4	2	-32
	Salud humana	-	1	1	4	1	2	4	1	4	1	2	-24
	Nivel sonoro	-	4	1	4	4	1	2	1	4	4	2	-36
	Sistema socio-económico	+	4	4	4	4	4	1	2	1	4	4	2

Una vez evaluado el efecto de la implantación de la actividad industrial sobre los factores medioambientales se describen las medidas previstas para reducir, eliminar o compensar los efectos ambientales significativos.

- Flora, fauna y paisaje: Primero decir que los factores como son la flora y fauna y el paisaje no se deberá de hacer ninguna medida preventiva puesto que el lugar de construcción de la planta se encuentra dentro de un polígono industrial, por lo tanto, en este lugar no se encuentra ningún tipo de planta, ave o animal de especial interés biológico que nuestra actividad pueda poner en peligro, en este mismo sentido esta el factor paisaje, la planta como se ha dicho anteriormente se encuentra enclavada dentro de un polígono industrial y por lo tanto estará rodeada de más fabricas de las mismas característica, todo y esto se tendrá una zona ajardinada para hacer más placentera la visión del recinto.
- Suelo: Este aspecto es imposible no alterarlo, puesto que nuestra planta es un elemento físico que debe estar en algún lugar, de todos modos la localización es la más adecuada para no afectar en exceso al entorno.
- Aguas subterráneas: A pesar de que el agua subterránea suele encontrarse protegida de la contaminación superficial por una zona no saturada que actúa como filtro físico,

químico y biológico, una vez que un contaminante alcanza la zona saturada del acuífero es muy difícil conocer su comportamiento y es casi imposible eliminarlo.

Los métodos aplicados para prevenir y evitar la contaminación son mucho más eficaces y rentables que los que tratan de corregir la afección una vez producida.

Por lo tanto se aplicaran métodos preventivos que intentan reducir la peligrosidad y cantidad de los contaminantes y tienen como objetivo evitar que lleguen al acuífero. Un ejemplo de este tipo de método sería la impermeabilización artificial de los terrenos del fondo y paredes de los depósitos donde se almacenan residuos o productos potencialmente contaminantes sobre zonas vulnerables

- Aire y aguas superficiales: Este punto es el factor en el cual hay que tomar medidas preventivas más detalladas para evitar crear problemas medio ambientales y de salud a las personas. Las medidas tomadas son las vistas en los apartados 6.3 y 6.4 en los cuales se detalla que se hace en cada corriente, de todos modos, se pretende llegar a la idealidad que sería la contaminación 0, por ello, la directiva de SIMIO se compromete a estudiar y estar en constante evolución para minimizar las emisiones contaminantes y para la utilización de energías renovables que hagan sostenible el mundo donde vivimos.

- Nivel sonoro: La contaminación acústica provocada por la planta será la debida al funcionamiento de compresores, bombas y otros equipos. Los ruidos producidos por estos aparatos debe cumplir la legislación sobre contaminación acústica, ya que en su fabricación se ha tenido en cuenta.

La contaminación acústica es un problema que adquiere cada vez más importancia ya que de él depende el bienestar de los trabajadores y el de los vecinos. Las medidas preventivas para mejorar la contaminación acústica serán: Instalar válvulas con bajo nivel de ruido, silenciadores en equipos y sistemas de absorción acústica en el caso de que hubiera alguna tubería que hiciera un ruido exagerado, aislamiento acústico de aquellas salas en las que tengamos compresores u otros equipos y maquinaria que hagan mucho ruido, empleo de amortiguadores (tacos de goma) que minimizan la propagación de vibraciones a través del medio que lo sustenta.

El nivel de ruido percibido en el exterior de las instalaciones suele reducirse con la colocación de bancos de tierra o zonas arboladas.

- Salud humana: Con las medidas tomadas para el tratamiento de gases y líquidos se minimizan los efectos de estos sobre las personas, de todas formas, en el apartado 5 de la memoria se detalla un plan de emergencia para la zona en caso de que se produzca

algún vertido accidental. La planta está prevista de una manga indicadora de viento para, en el caso de que haya un vertido gaseoso, poder intuir hacia donde se dirige la contaminación.

- Sistema socio-económico: Este es el punto positivo de este proyecto, si todos los puntos anteriores se realizan de manera correcta no tiene por qué haber ningún problema ambiental ni de salud, en cambio se genera una fuente importante de empleo y por lo tanto un motor económico para la zona, este hecho provoca que la planta sea aceptada por gran parte de la sociedad.