



CAPROLACTEAM

Caprolactam Industries

2013

Planta para la producción de **Caprolactama**



UAB

Universitat Autònoma de Barcelona

Jordi Aguilar Garrido
Albert Enrique Amores
Antonio Jiménez Rodríguez
Ricard Noy Orcau
Patricia Quintero Ibáñez
Rafael Torres Silva

Tutor: Carles Solà i Ferrando

6. MEDIO AMBIENTE

ÍNDICE

6. Medio ambiente	2
6.1. Introducción	1
6.2. Normativa medioambiental	2
6.2.1. Normativa de responsabilidad medioambiental	2
6.2.2. Normativa de prevención y control ambiental de actividades	3
6.2.3. Normativa sobre la atmósfera y la calidad del aire	5
6.3.4. Normativa ambiental sobre aguas	11
6.3.5. Normativa ambiental sobre residuos.....	13
6.2.6. Normativa sobre la evaluación del impacto ambiental	14
6.2. Límites de la planta	16
6.3. Residuos	17
6.3.1. Tratamiento de residuos	17
6.3.2. Gestión de residuos	31
6.4. Evaluación del impacto ambiental	34



6.1. Introducción

En la actualidad existe una creciente preocupación con respecto a los efectos contaminantes de las industrias y el impacto que éstas puedan tener sobre el medio ambiente.

A nivel global se ha experimentado un gran crecimiento industrial en las últimas décadas. Este desarrollo ha supuesto un aporte para la sociedad, pero a su vez ha llevado asociadas diversas connotaciones negativas, entre ellas la alteración del medio ambiente. La explotación de los recursos naturales, la generación de residuos y la mala gestión de éstos son factores que han tenido consecuencias sobre la calidad ambiental y la salud de las personas.

Desgraciadamente, se ha tenido que aprender de errores para llegar a plantear una normativa que guíe y conciencie a la industria y a la sociedad sobre esta problemática. En sus inicios existía una falta de control debida en gran parte a la ignorancia y a la poca concienciación. Como consecuencia de esta industrialización descontrolada se ha observado la alteración de la capacidad asimiladora y regeneradora de la naturaleza. Esta situación en muchos casos ha dado lugar a perturbaciones irreversibles sobre el equilibrio ecológico, cuyas consecuencias a largo plazo no son fácilmente previsibles.

En la actualidad, la creciente concienciación de la sociedad por los problemas medioambientales que nos rodean ha hecho que, día a día, surjan necesidades de mayor control en todos los aspectos significativos que puedan afectar a nuestro entorno: emisiones atmosféricas, vertidos incontrolados, generación de residuos peligrosos, emisiones sonoras y contaminación de los suelos.

El enfoque ambiental del medio ambiente industrial se realiza a través de las políticas de prevención de la contaminación, a través de acuerdos voluntarios y de aplicación normativa, y del adecuado control e inspección de las instalaciones industriales. Es por ello que los gobiernos adoptan normativas y políticas para la minimización de los efectos nocivos y para garantizar el cumplimiento de estas normas sobre la calidad ambiental.

La legislación ambiental existente limita las emisiones de sustancias contaminantes al entorno. De esta manera, se debe realizar un seguimiento exhaustivo del proceso para no sobrepasar los límites legales existentes.

Por otro lado, una buena conducta ambiental permite evitar futuros problemas a solventar en el entorno, la salud de las personas y en la calidad del medio ambiente. Es por ello que se debe llevar a cabo una actuación de prevención de la contaminación, es decir, no tener en cuenta únicamente la salida del proceso sino también el proceso en sí. De esta manera se pueden evaluar y estudiar los puntos con



un mayor impacto ambiental y con estos datos llevar a cabo mejores prácticas que reduzcan los efectos contaminantes del proceso.

Inevitablemente nuestra empresa tendrá un efecto sobre el entorno pero, como objetivo de la aplicación de la normativa ambiental, este impacto se verá minimizado.

6.2. Normativa medioambiental

6.2.1. Normativa de responsabilidad medioambiental

El artículo 45 de la Constitución Española establece el derecho de todos los ciudadanos a disfrutar de un medio ambiente adecuado para el desarrollo de la persona, así como el deber de conservarlo y la obligación de los poderes públicos de velar por la utilización racional de los recursos naturales con el fin de proteger y mejorar la calidad de vida y defender y restaurar el medio ambiente.

La normativa vigente instaura un régimen administrativo de responsabilidad medioambiental de carácter objetivo e ilimitado, basado en los principios de prevención de daños: evitar o minimizar los posibles daños ambientales por contaminación, causados por cualquier actividad económica o profesional, pública o privada. En el caso de producirse estos daños, la normativa también instaura un régimen jurídico de reparación de daños ambientales, de acuerdo con el cual los operadores que ocasionen daños al medio ambiente o amenacen con ocasionarlo, deben adoptar las medidas necesarias para prevenir su causación o, cuando el daño ya se haya producido, para devolver los recursos naturales dañados al estado en el que se encontraba antes de la causación del daño.

A nivel europeo, la normativa vigente es la siguiente:

- Directiva 2004/35/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de abril de 2004, sobre responsabilidad medioambiental en relación con la prevención y reparación de daños medioambientales. Esta directiva representa el primer texto legislativo comunitario con el principio de «quien contamina, paga» como uno de sus objetivos principales.
- Directiva 2008/99/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19-11-2008, relativa a la protección del medio ambiente mediante el Derecho penal.

A nivel estatal, la normativa de referencia:

- Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental, que incorpora al ordenamiento jurídico interno la Directiva 2004/35/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de abril de 2004.



- Real decreto 2090/2008, de 22 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de desarrollo parcial de la Ley 26/2007, de 23 de octubre, de responsabilidad ambiental.
- UNE 150008. La norma sirve de referencia para la elaboración de informes, análisis y evaluaciones del riesgo ambiental en las fases de diseño, construcción, puesta en marcha, operación o explotación, así como para el desmantelamiento o demolición de la instalación.

Vista la normativa a cumplir, la planta diseñada deberá comprometerse a llevar a cabo una buena conducta ambiental y será la responsable legal de cualquier alteración del medio ambiente que pueda producir.

6.2.2. Normativa de prevención y control ambiental de actividades

La normativa de prevención y control ambiental integrado (IPPC) responde a un nuevo enfoque en la intervención sobre la contaminación de origen industrial, pasando de un modelo de corrección de daños a otro basado en la prevención de la contaminación con el objetivo de proteger el medio ambiente. A continuación se expone la normativa actual vigente a tres niveles: Cataluña, el estado español y la Comunidad Europea.

A nivel de Cataluña:

- Ley 20/2009, de 4 de diciembre, de prevención y control ambiental de las actividades (PCAA), que deroga y sustituye la Ley 3/1998, de 27 de febrero, de intervención integral de la Administración Ambiental (IIAA).

A continuación, la figura 6.2.1. muestra un esquema de la situación normativa actual en cuanto a la prevención y control ambiental de las actividades en Cataluña.

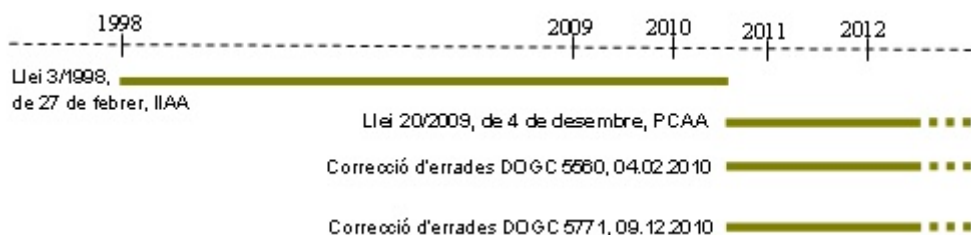


Figura 6.2.1.. Prevención y control. Situación normativa en Cataluña.



A nivel estatal:

- Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación. De acuerdo con el artículo 1 de esta ley, su objetivo es evitar o, cuando ello no sea posible, reducir y controlar la contaminación en su conjunto, mediante sistemas de prevención y control que eviten su transmisión de un medio a otro. Algunos de los elementos clave de esta ley son la introducción del concepto Mejores Técnicas Disponibles (MTD) como referencia para establecer los Valores Límite de Emisión (VLE), la simplificación de trámites administrativos y el fomento del diálogo y el intercambio de información entre las administraciones y sectores industriales.
- Real Decreto 509/2007, de 20 de abril, por el que se aprueba el Reglamento para el desarrollo y ejecución de la Ley 16/2002.

A nivel europeo:

- Directiva 2010/75/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 24 de noviembre de 2010, sobre las emisiones industriales (prevención y control integrados de la contaminación). La presente sustituye la directiva 2008/1/CE. No obstante, sus disposiciones siguen siendo de aplicación hasta el 6 de enero de 2014. La Directiva 2010/75/UE sobre Emisiones Industriales (DEI) que entró en vigor el 6 de enero de 2011, supone una respuesta a la necesidad de obtener mejoras ambientales asegurando, al mismo tiempo, la rentabilidad y fomentando la innovación técnica. La DEI refuerza la aplicación de las MTD en la Unión. Esta directiva se aplica a las actividades industriales con mayor potencial de contaminación, definidas en su anexo I, entre ellas la industria química.

Su objetivo consiste en evitar o minimizar las emisiones contaminantes a la atmósfera, el agua y el suelo, así como los residuos procedentes de las instalaciones industriales y agrícolas con el fin de alcanzar un alto nivel de protección del medio ambiente y la salud.

- Reglamento (CE) n o 166/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 18 de enero de 2006, relativo al establecimiento de un registro europeo de emisiones y transferencias de contaminantes y por el que se modifican las Directivas 91/689/CEE y 96/61/CE del Consejo.



6.2.3. Normativa sobre la atmósfera y la calidad del aire

La atmósfera es la capa gaseosa que rodea la litosfera y la hidrosfera. Se entiende por contaminación atmosférica la presencia de materias, sustancias o formas de energía que impliquen molestia grave, riesgo o daño para personas, medio ambiente y demás bienes.

La atmósfera es esencial para la vida por lo que sus alteraciones tienen una gran repercusión en los seres vivos y, en general, en todo el planeta. Es un medio extraordinariamente complejo y la situación se hace todavía más complicada y difícil de estudiar cuando se le añaden emisiones de origen humano en gran cantidad, como está sucediendo en estas últimas décadas.

Para evitar o aminorar estos efectos perjudiciales se plantea la regulación y el control de las emisiones de determinados contaminantes, bien mediante restricciones al uso de sustancias concretas, bien mediante la regulación de las actividades potencialmente contaminadoras.

La normativa atmosférica tiene diversos ámbitos de actuación. A continuación se expone la normativa actual relativa a la contaminación atmosférica en general, el cambio climático, la contaminación lumínica y la contaminación acústica.

6.2.3.1. Normativa general

En el ámbito general, a continuación se citan las leyes, directivas y decretos relativos a la protección y la calidad del aire.

En el marco legal de Catalunya:

- Ley 22/1983, de 21 de noviembre, de Protección del Ambiente Atmosférico.

La normativa española:

- Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera.
- Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire.
- Real Decreto 100/2011, de 28 de enero, por el que se actualiza actividades potencialmente contaminadoras de la atmósfera y se establecen las disposiciones básicas para su aplicación (derogando así los Reales Decretos, 1073/2002 sobre evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente en relación con el dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, óxidos de nitrógeno, partículas, plomo, benceno y monóxido de carbono; Real Decreto 1796/2003, relativo al ozono en el aire ambiente; y Real Decreto 812/2007 sobre



evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente en relación con el arsénico, el cadmio, el mercurio, el níquel y los hidrocarburos aromáticos policíclicos).

- Orden de 18 de octubre de 1976 (Ministerio de Industria), sobre prevención y corrección de la contaminación atmosférica de origen industrial.

A nivel europeo, las directivas vigentes son:

- Directiva 2004/107/CE relativa al arsénico, el cadmio, el mercurio, el níquel y los hidrocarburos aromáticos policíclicos en el aire ambiente
- Directiva 2008/50/CE (que ha sustituido a las Directivas 96/62/CE, sobre evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente, Directiva 1999/30/CE, relativa a los valores límite de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y óxidos de nitrógeno, partículas y plomo en el aire ambiente, la Directiva 2000/69/CE, sobre los valores límite para el benceno y el monóxido de carbono en el aire ambiente, y la Directiva 2002/3/CE, relativa al ozono en el aire ambiente y a la Decisión 97/101/CE, por la que se establece un intercambio recíproco de información y datos de las redes y estaciones aisladas de medición de la contaminación atmosférica en los Estados Miembro.
- Directiva 96/62/CE, de 27 de septiembre, sobre evaluación y gestión de la calidad del aire, establece que hay que definir planes y programas para restablecer los niveles de calidad del aire en aquellas zonas donde se superen los valores de referencia legislativos, con el objetivo de preservar la salud de las personas y del medio.
- Directiva 99/30/CE de 29/06/1999, relativa a valores límite de SO₂ NO₂ y NO_x, partículas y Plomo en el aire ambiente.
- Directiva 2002/3/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 12 de febrero de 2002, relativa al ozono en el aire ambiente.

El Real Decreto 100/2011 incluye un catálogo de actividades potencialmente contaminantes de la atmósfera y las clasifica en tres grupos según su peligrosidad (A, B i C). En este caso, la empresa CaprolacTeam está incluida como industria química orgánica: *Producción de nylon, caprolactama u otros productos intermedios en la fabricación textil* y pertenece al grupo B (código 04 05 27 03).

No obstante, en su anexo final concluye que las actividades pertenecientes al grupo B pasarán a considerarse como grupo A en el caso en que se utilicen sustancias peligrosas o la actividad se desarrolle a menos de 500 m de espacios naturales o núcleos de población. En este caso, la industria CaprolacTeam trabaja con sustancias peligrosas, como el benceno, por lo que pasará a considerarse del grupo A.



6.3.2.2. Normativa referida al cambio climático

El clima mundial ha evolucionado siempre de forma natural, pero pruebas convincentes obtenidas en todo el mundo revelan que en la actualidad está en marcha un nuevo tipo de cambio climático, que pone en peligro la composición, la capacidad de recuperación y la productividad de los ecosistemas naturales y el desarrollo económico y social, la salud y el bienestar de la humanidad.

Los gases atmosféricos que contribuyen al efecto invernadero son:

- el dióxido de carbono (CO_2),
- el metano (CH_4),
- el óxido nitroso (N_2O),
- el vapor de agua,
- el ozono,
- los halocarbonos: los hidrofluorocarburos (HFC), los perfluorocarburos (PFC), el hexafluoruro de azufre (SF_6) y el trifluoruro de nitrógeno (NF_3)

Los cuatro primeros se encuentran de forma natural en la composición de la atmósfera. La actividad industrial, al quemar combustibles fósiles, desprende grandes cantidades de dióxido de carbono y óxido de nitrógeno. El metano se genera principalmente como resultado de la actividad agrícola y ganadera. Los halocarbonos son de origen antropogénico y se empezaron a fabricar a partir de los años cuarenta.

El cambio del clima es uno de los fenómenos actuales más destacados y por ello la comunidad internacional trabaja para conseguir acciones globales contundentes y firmes para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero y adaptarnos a sus posibles efectos. A continuación se expone la normativa legal vigente a tener en cuenta en este ámbito.

Normativa de la Generalitat de Cataluña:

- Decreto 397/2006, de 17 de octubre, de la aplicación del régimen de comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero y la regulación del sistema de acreditación de verificadores de informes de emisión de gases con efecto invernadero.

Normativa del Estado español:

- Real Decreto-ley 17/2012, de 4 de mayo, de medidas urgentes en materia de medio ambiente.
- Ley 1/2005, de 9 de marzo, por la que se regula el régimen del comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero.
- Ley 13/2010, de 5 de julio, por la que se modifica la Ley 1/2005, de 9 de marzo, por la que se regula el régimen del comercio de derechos de emisión de gases



de efecto invernadero, para perfeccionar y ampliar el régimen general de comercio de derechos de emisión e incluir la aviación en el mismo.

- Real Decreto Ley 5/2004, de 27 de agosto, por el que se regula el régimen del comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero.

Normativa de la EU:

- Directiva 96/61/CE, del Consejo, de 24 de septiembre de 1996, relativa a la prevención y al control integrado de la contaminación (IPPC), introduce un marco general de prevención y reducción integrada de la contaminación procedente de las actividades industriales. Además, establece la necesidad de imponer los valores límite de emisión, los parámetros y las medidas técnicas equivalentes, basándose en las mejores técnicas disponibles, tomando en consideración las características técnicas de la instalación de que se trate, su implantación geográfica y las condiciones locales del medio ambiente.
- Directiva 2003/87/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 13 de octubre de 2003, por la que se establece un régimen para el comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero en la Comunidad y por la que se modifica la Directiva 96/61/CE.
- Directiva 2004/101/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de octubre de 2004, por la que se modifica la Directiva 2003/87/CE, por la que se establece un régimen para el comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero en la Comunidad con respecto a los mecanismos de proyectos del Protocolo de Kyoto.
- Directiva 2008/101/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, por la que se modifica la Directiva 2003/87/CE con el fin de incluir las actividades de aviación en el régimen comunitario de comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero.
- Directiva 2009/29/CE, del Parlamento europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, por la que se modifica la Directiva 2003/87/CE para perfeccionar y ampliar el régimen comunitario de comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero.
- Reglamento (UE) nº 1210/2011 de la Comisión, de 23 de noviembre de 2011, por el que se modifica el Reglamento (UE) nº 1031/2010, en particular con el fin de determinar el volumen de los derechos de emisión de gases de efecto invernadero por subastar antes de 2013.
- Decisión de la Comisión de 24 de diciembre de 2009, por la que se determina, de conformidad con la Directiva 2003/87/CE del Parlamento Europeo y del



Consejo, una lista de los sectores y subsectores que se consideran expuestos a un riesgo significativo de fuga de carbono.

6.2.3.3. Normativa de contaminación acústica

El término "contaminación acústica" hace referencia al ruido (entendido como sonido excesivo y molesto), provocado por las actividades humanas (tráfico, industrias, locales de ocio, etc.), que produce efectos negativos sobre la salud auditiva, física y mental de las personas. Si bien el ruido no se acumula, no se traslada de lugar ni se mantiene en el tiempo, como las otras contaminaciones, también puede causar grandes daños en la calidad de vida de las personas si no es controlado.

Legislación europea:

- Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental.

Legislación Nacional:

- Ley 37/2003, Ley del Ruido.
- Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre.
- Real Decreto 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido.
- Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.

Legislación a nivel de Cataluña:

- Ley 16/2002, de 28 de junio, de protección contra la contaminación acústica.
- Decreto 176/2009, por el que se aprueba el Reglamento de la Ley 16/2002, de 28 de junio, de protección contra la contaminación acústica, y se adaptan sus anexos.



6.2.3.4. Normativa de contaminación lumínica

La contaminación lumínica puede definirse como la emisión de flujo luminoso de fuentes artificiales nocturnas en intensidades, direcciones, rangos espectrales u horarios innecesarios para la realización de las actividades previstas en la zona en la que se instalan las luces.

La iluminación artificial inadecuada tiene consecuencias negativas en su entorno. Su principal efecto es el aumento del brillo del cielo nocturno, lo cual dificulta seriamente las investigaciones astronómicas y puede causar daños a ecosistemas, provocando alteraciones en los ciclos vitales y en los comportamientos de especies animales y vegetales con hábitos de vida nocturnos. Además, el consumo energético se ve innecesariamente incrementado, originando un aumento de los costes económicos y de la producción de contaminantes atmosféricos.

Normativa catalana:

- Ley 6/2001 de 31-05-2001 de ordenación ambiental del alumbrado para la protección del medio nocturno.
- Orden MAH/566/2009, de 11-12-2009, por la que se regula y constituye la Comisión de Prevención de la Contaminación Luminosa.

La prevención de la contaminación luminosa permite la protección del medio ambiente por la noche y también garantiza una iluminación adecuada para que las personas puedan desarrollar las actividades humanas correctamente y con seguridad.

En Cataluña, para proteger el medio ambiente por la noche, la iluminación está regulada en todo el territorio y, en función del lugar donde está ubicada la instalación de iluminación, sus características deben cumplir con los requerimientos técnicos determinados por la normativa ambiental. Se consideran cuatro tipologías de protección del medio contra la contaminación luminosa: zonas de protección máxima, E1; zonas de protección alta, E2; zonas de protección moderada, E3, y zonas de protección menor, E4. La planta productora de caprolactama se encuentra en el municipio de Tarragona. En la figura 6.2.2. se observa las diferentes zonas de protección del municipio.



Figura 6.2.2. Zonas de protección. Municipio de Tarragona.

6.3.4. Normativa ambiental sobre aguas

El agua es un bien indispensable para la vida, el medio y las personas. Es un recurso escaso y frágil, de difícil acceso, y que requiere ser distribuido, tratado y gestionado.

La contaminación hídrica consiste en la incorporación al agua de materias extrañas, como microorganismos, productos químicos, residuos industriales y de otros tipos, o aguas residuales. Estas materias deterioran la calidad del agua y la hacen inútil para los usos pretendidos.

A continuación se expone la normativa legal vigente en este ámbito.

A nivel de Cataluña:

- Decreto 130/2003, de 13 de mayo, por el que se aprueba el Reglamento de los servicios públicos de saneamiento.

Los límites que establece este decreto se incluyen en la tabla 6.2.1.

**Tabla 6.2.1. Límites legales. Decreto 130/2003.**

Parámetros	Valor límite	Unidades	
T (°C)	40	°C	
pH (intervalo)	06-oct	pH	
MES (materias en suspensión)	750	mg/l	
DQO	1500	mg/l	O
TOC (carbón orgánico total)	450	mg/l	C
Aceites y grasa	250	mg/l	
Cloruros	2500	mg/l	Cl-
Conductividad	6000	µS/cm	
Dióxido de azufre	15	mg/l	SO ₂
Sulfatos	1000	mg/l	SO ₄ ²⁻
Sulfuros totales	1	mg/l	S ²⁻
Sulfuros disueltos	0,3	mg/l	S ²⁻
Fósforo total	50	mg/l	P
Nitratos	100	mg/l	NO ₃ ⁻
Amoniaco	60	mg/l	NH ₄ ⁺
Nitrógeno orgánico y amoniacal	90	mg/l	N

- Decreto Legislativo 3/2003, de 4 de noviembre, por el que se aprueba el Texto refundido de la legislación en materia de aguas de Cataluña. Esta Ley tiene por objeto ordenar las competencias de la Generalidad y las de los entes locales en materia de aguas y obras hidráulicas.


En el estado español:

- Real Decreto 60/2011, de 21 de enero, sobre las normas de calidad ambiental en el ámbito de la política de aguas.
- Real Decreto 1290/2012, de 7 de septiembre, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, y el Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo, de desarrollo del Real Decreto-ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas.
- Orden MAH/122/2004, de 13 de abril, por la que se aprueban los modelos de declaración de vertido.

En la Unión Europea:

- Directiva 2008/32/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 11 de marzo de 2008 que modifica la directiva 2000/60/CE por la que se establece un marco



comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas, por lo que se refiere a las competencias de ejecución atribuidas a la Comisión. 

- Directiva 91/271/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas.

6.3.5. Normativa ambiental sobre residuos

Se consideran residuos industriales, de acuerdo con el artículo 3 del Decreto Legislativo 1/2009, de 21 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley Reguladora de los Residuos, aquellos materiales sólidos, gaseosos o líquidos resultantes de un proceso de fabricación, de transformación, de utilización, de consumo o de limpieza cuya persona productora o poseedora tiene voluntad de desprenderse de ellos y que no pueden considerarse residuos municipales. Sólo los productores de residuos que se consideran industrias pueden generar esta tipología de residuos.

Los residuos industriales, por su importancia cuantitativa y sus características, disponen de un programa de gestión y de un modelo de gestión específicos. El modelo de gestión vigente se fundamenta en instrumentos legales como los catálogos de residuos y el manual de gestión, y tiene como figuras principales las del productor, el transportista y el gestor. Este modelo determina, asimismo, el esquema documental aplicable, del que debe destacarse la declaración anual de residuos que los productores industriales deben elaborar y que constituyen una herramienta básica de gestión y de planificación. La legislación aplicable a los residuos industriales se cita a continuación:

- ORDEN MAM/304/2002, de 8 de febrero, por la cual se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos. Se catalogan los residuos según su origen y naturaleza de acuerdo con el Catálogo Europeo de Residuos). Este catálogo tiene su análogo en Cataluña, que será el que se tendrá en cuenta a la hora de realizar la catalogación de residuos de la industria CaprolacTeam.
- Decisión de la Comisión 2000/532/CE, de 3 de mayo de 2000, que sustituye a la Decisión 94/3/CE por la cual se establece una lista de residuos de conformidad con la letra a) del artículo 1 de la Directiva 75/442/CEE del Consejo relativa a los residuos y a la Decisión 94/904/CE del Consejo por la cual se establece una lista de residuos peligrosos en virtud del apartado 4 del artículo 1 de la Directiva 91/689/CEE del Consejo relativa a los residuos peligrosos
- Decisión de la Comisión 2001/573/CE, de 23 de julio, donde se modifica la clasificación de algunos residuos.



- Decisión de la Comisión 2001/118/CE, de 16 de enero, que establece la lista de residuos.

6.2.6. Normativa sobre la evaluación del impacto ambiental

Se denomina como evaluación del impacto ambiental (EIA) al procedimiento técnico-administrativo que sirve para identificar, prevenir e interpretar -de forma anticipada- las consecuencias ambientales de un proyecto aún no ejecutado, con la finalidad de eliminar, mitigar o compensar sus impactos ambientales negativos.

Legislación vigente en Cataluña:

- Ley 12/2006, de 27 de julio, de medidas en materia de medio ambiente.
- Ley 6/2009, de 28 de abril, de evaluación ambiental de planes y programas. Hace referencia a los contenidos de los estudios de impacto ambiental de proyectos o de actividades, a la compatibilidad de los instrumentos de evaluación ambiental y la evaluación ambiental de las actividades de producción de energía eólica y de las instalaciones de energía solar.
- Ley 20/2009, de 4 de diciembre, de prevención y control ambiental de las actividades. (que derogó la Ley 3/1998, de 27 de febrero, de la intervención integral de administración ambiental).

A nivel estatal:

- Real Decreto Legislativo 1/2008, de 11 de enero, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos para determinados proyectos e instalaciones.
- Ley 6/2010, de 24 de marzo, de modificación del texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos, aprobado por el Real Decreto Legislativo 1/2008, de 11 de enero.
- RD 1131/1988, para determinados proyectos e instalaciones.
- Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación.

A nivel europeo:

- Directiva 2011/92/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 13 de diciembre de 2011 relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente.



- Directiva 2011/92/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 13 de diciembre de 2011 relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente (que deroga la Directiva 85/337 / CEE, para determinados proyectos e instalaciones modificada por la Directiva 97/11/CE, para determinados proyectos e instalaciones).
- Directiva 96/61/CE, del Consejo, de 24 de septiembre de 1996, de prevención y control integrados de la contaminación (IPPC), modificada y sustituida por la Directiva 1/2008, de 15 de enero, de prevención y control integrados de la contaminación.
- Real Decreto Legislativo 1/2008 Grupo 6. Industria química, petroquímica, textil y papelera, tratamiento de productos intermedios y producción de productos químicos.

En el apartado 6.5. se realiza el estudio del impacto ambiental de la planta de producción de caprolactama.

6.2.7. Ordenanzas municipales

La planta se encuentra en el municipio de Tarragona. A continuación se cita la normativa aplicable referente a medio ambiente de este municipio.

- Ordenanza general de convivencia ciudadana y uso de los espacios públicos de Tarragona (11/5/2005), por la que regula las normas fundamentales de convivencia ciudadana así como el uso de espacios públicos de Tarragona. Esta normativa afecta a la planta en los ámbitos de límite de ruido, operaciones de carga y descarga de mercancías, etc.
- Ordenanza sobre el régimen de comunicación previa de obras.
- Ordenanza del régimen de comunicación previa de las actividades inocuas.
- Ordenanza general de medio ambiente, por la que se regula el ámbito de instalaciones susceptibles a influir en condiciones ambientales del término municipal, con la finalidad de preservar y mejorar el medio urbano, evitando posibles efectos nocivos de estas y el riesgo de la contaminación de los elementos naturales y los espacios de uso común general.



6.2. Límites de la planta

La regulación de la contaminación en origen se establece mediante prohibiciones o limitaciones en las descargas de vertidos con las siguientes finalidades:

1. Proteger la cuenca receptora, eliminando cualquier efecto tóxico, crónico o agudo, tanto para el hombre como para sus recursos naturales, i conseguir los objetivos de calidad consignados en cada medio receptor.
2. Salvaguardar la integridad i la seguridad de las personas e instalaciones de saneamiento.
3. Prevenir cualquier anomalía de los procesos de depuración utilizados y concretamente realizados en las estaciones de depuración de aguas residuales (EDAR).

Estas limitaciones de vertidos están establecidas por la Ordenanza general de medio ambiente del municipio de Tarragona ya que se trata de la normativa más restrictiva aplicable a la industria CaprolacTeam.

Esta normativa prohíbe el vertido de:

- a) Sustancias peligrosas o potencialmente peligrosas.
- b) Materias solidas o viscosas en grandes cantidades que produzcan obstrucciones o sedimentos que impidan el funcionamiento correcto del alcantarillado o dificulten su mantenimiento.
- c) Disolventes o líquidos orgánicos inmiscibles en agua, combustibles o inflamables. Gasolinas, naftas, petróleo, gasóleos, fuel-oil, aceites volátiles, tolueno, xileno o cualquier otro tipo de sólido, líquido o gas inflamable o explosivo.
- d) Gases o vapores combustibles inflamables, explosivos o tóxicos o procedentes de motores de explosión.
- e) Materias que a causa de su naturaleza, propiedades o cantidad, por sí mismas o por integración con otras, puedan originar: cualquier tipo de molestia pública, formar mezclas explosivas o inflamables con aire, crear atmosferas peligrosas o tóxicas que dificulten el trabajo del personal encargado de la inspección, limpieza, mantenimiento o funcionamiento de la instalaciones públicas de saneamiento.
- f) Aceite o grasas flotantes.
- g) Residuos industriales que por su concentración o características tóxicas requieran un control y tratamiento específico.



- h) Productos que produzcan concentraciones de gases nocivos en la atmosfera de la red de alcantarillado que superen las 5 ppm de SO₂, 100 ppm CO₂, etc.

Además, en la tabla 6.2.2.se incluye una lista de características y concentraciones límite de vertidos de aguas residuales en la red de alcantarillado.

Tabla 6.2.2. Parámetros limitantes.

Parámetro	Valor límite
T (°C)	40º
pH	6 - 10
Sólidos en suspensión	500 mg/L
DQO	1500 mg/L
Sulfatos	1000 mg/L
Sulfuros totales	2
Sulfuros libres	0,3
Amoníaco	400 mg/L

6.3. Residuos

En la planta se generan diversos corrientes que deben ser tratados o gestionados. A continuación se exponen las estrategias de tratamiento o gestión de cada uno de ellos.

6.3.1. Tratamiento de residuos

6.3.1.1. Tratamiento de los compuestos orgánicos

En la planta se generan diversas corrientes de agua con contaminantes, principalmente orgánicos. Estas corrientes han de ser tratadas con el objetivo de cumplir las limitaciones legales antes de ser vertidas al alcantarillado del municipio.

Se pueden distinguir principalmente dos puntos del proceso en los que se generan este tipo de residuos: la purificación de la oxima y la purificación de la caprolactama.

A continuación se detallan los efluentes obtenidos en cada una de estas partes del proceso. Seguidamente se explica el tratamiento seguido para su gestión.

Purificación de la ciclohexanona oxima

En el proceso de purificación de la oxima se obtienen dos corrientes líquidos residuales de composición muy similar.



Por un lado, en la columna de extracción C-203 se extrae la oxima del medio acuoso con un disolvente orgánico (tolueno), generando una corriente residual acuosa con la composición que se incluye en la tabla 6.3.1.

Tabla 6.3.1. Efluente acuoso extracción.

T (°C)		72	
Caudal molar (kmol/h)		212,17	
Caudal másico (kg/h)		3826,304566	
Caudal volumétrico (m³/h)		3,94	
Compuesto	Caudal molar (kmol/h)	Caudal másico (kg/h)	Concentración (mg/l)
H ₂ O	212,11	3821,17	-
CH	5,30E-05	0,04	10,41
CHO	1,01E-04	0,01	2,54
TL	5,51E-02	5,08	1289,29
Total	212,165354	3826,31	-

La concentración de cada uno de los compuestos se ha calculado como:

$$[Cont.] \left(\frac{mg}{l} \right) = \frac{\text{Caudal másico del contaminante} \left(\frac{kg}{h} \right)}{\text{Caudal volumétrico} \left(\frac{m^3}{h} \right)} \cdot \frac{10^6 \text{ mg}}{1 \text{ kg}} \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}}$$

Como se puede observar, el contaminante principal de esta solución es el tolueno y todos los compuestos presentes en el agua son orgánicos. Es por ello que el corriente deberá ser tratado ya que la normativa vigente prohíbe el vertido de disolventes orgánicos en la red de alcantarillado y establece un límite de DQO no superior a 1500 ppm.

Por otro lado, en el decantador T-202 se obtiene también una corriente de composición muy similar. Esta corriente es la fracción acuosa contenida en el destilado de las columnas C-204/C-205. Gracias a esta separación, el tolueno prácticamente puro se recircula a la columna de extracción C-202, permitiendo reducir el consumo de este compuesto. La composición de esta corriente residual se incluye en la tabla 6.3.2.



Tabla 6.3.2. Efluente acuoso decantador.

T (°C)		35	
Caudal molar (kmol/h)		30,98	
Caudal másico (kg/h)		558,49	
Caudal volumétrico (m ³ /h)		0,56	
Compuesto	Caudal molar (kmol/h)	Caudal másico (kg/h)	Concentración (mg/l)
H ₂ O	3,10E+01	557,93	-
CH	1,35E-04	0,01	23,71
CHO	5,40E-08	6,10E-06	0,01
TL	0,00596	0,55	983,63
Total	3,10E+01	558,49	-

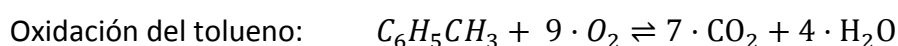
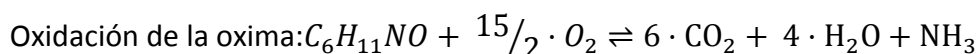
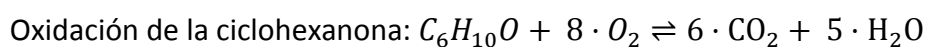
En este caso también se observa como el principal contaminante de la mezcla es el tolueno. Debido a la similitud de su composición se ha optado por el tratamiento conjunto de estos dos corrientes residuales. En la tabla 6.3.3. se observa la composición del corriente a tratar.

Tabla 6.3.3. Efluente purificación.

T (°C)		67,40	
Caudal molar (kmol/h)		243,14	
Caudal másico (kg/h)		4384,80	
Caudal volumétrico (m ³ /h)		4,50	
Compuesto	Caudal molar (kmol/h)	Caudal másico (kg/h)	Concentración (mg/l)
H ₂ O	2,43E+02	4379,10	-
CH	1,88E-04	0,05	12,05
CHO	1,01E-04	0,01	2,22
TL	6,11E-02	5,63	1250,94
Total	243,141615	4384,80	-

Para determinar el tratamiento su tratamiento se ha calculado la DQO de la mezcla. La DQO es la demanda química de oxígeno, es decir, la cantidad de oxígeno necesaria para llevar a cabo la oxidación química de los compuestos orgánicos.

Las reacciones de oxidación de cada uno de los compuestos presentes en la mezcla son:





Así pues, los moles teóricos de oxígeno necesarios para la oxidación de los diferentes compuestos son los que se obtienen del coeficiente estequiométrico del oxígeno de las reacciones anteriores. En la tabla 6.3.4. se incluye este valor para cada uno de los compuestos.

Tabla 6.3.4. Oxígeno estequiométrico.

Compuesto	Oxígeno estequiométrico
CH	8
CHO	7,5
TL	9
BZ	7,5

La DQO se calcula mediante la ecuación:

$$[DQO]\left(\frac{mg\ O_2}{l}\right) = [Contaminante]\left(\frac{mg}{l}\right) \cdot \frac{x\ moles\ O_2}{1\ moles\ cont}\frac{PM\ O_2}{PM\ cont}$$

Los resultados de DQO requerida por cada compuesto se incluyen en la tabla 6.3.5.

Tabla 6.3.5. DQO requerida.

Compuesto	DQO (mg/l)
CH	31,4
CHO	4,71
TL	3868,09
DQO total (mg/l)	3904,2

La DQO de este corriente supera los límites legales de DQO (1500 mg/l) y además contiene tolueno como principal contaminante. El tolueno es un compuesto prohibido en los vertidos debido a su toxicidad y además es peligroso para la vida acuática.

Purificación de la caprolactama

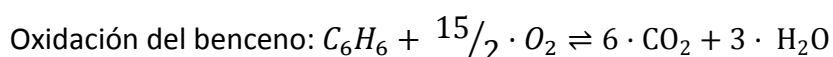
En esta parte del proceso se generan dos corrientes residuales con una elevada DQO de 5,45 m³/h y 0,012 m³/h respectivamente. El efluente de mayor caudal (tabla 6.3.6.) contiene una elevada concentración en sulfato amónico, por lo que su tratamiento se explica en el apartado 6.3.1.2.



Tabla 6.3.6. Efluente residual. Purificación de la caprolactama.

T (°C)		9,06	
Caudal molar (kmol/h)		0,63	
Caudal másico (kg/h)		11,44	
Caudal volumétrico (m³/h)		0,01	
Compuesto	Caudal molar (kmol/h)	Caudal másico (kg/h)	Concentración (mg/l)
H ₂ O	0,6343	11,42	0
BZ	0,00020	0,01487	1327,85714
Total	0,6345	11,44	-

En este caso el único compuesto que compone la carga orgánica del efluente es el benceno. El benceno es un compuesto tóxico y cancerígeno que debe ser tratado para eliminar su peligrosidad antes de ser vertido al alcantarillado. La oxidación del este compuesto sigue la reacción siguiente:



Así pues, la relación estequiométrica de O₂ se es de 7,5 kmoles por kmol de benceno oxidado. Con este parámetro se calcula que la DQO necesaria para oxidar la totalidad de este compuesto en la mezcla: DQO=4000 ppm. De este modo se determina que se trata de un efluente con una elevada DQO. Además, la suma de ésta con las corrientes residuales de la purificación de la oxima no supone una dilución significativa de la carga orgánica. De este modo, se ha decidido seguir un tratamiento conjunto.

Cabe comentar que debido al bajo caudal que supone este efluente, se plantea la instalación de un tanque de acumulación. De este modo se podrá bombear un efluente más significativo de manera discontinua.



TRATAMIENTO CONJUNTO

Tal y como se explica anteriormente, las tres corrientes especificadas anteriormente seguirán un tratamiento conjunto para la eliminación de la carga orgánica antes de verterse a la alcantarillado.

A continuación se explica el método de

Así pues, la composición de este efluente se encuentra en la tabla 6.3.7.

Tabla 6.3.7. Corrientes a tratar.

T (°C)		67,4		
Caudal molar (kmol/h)		243,14		
Caudal másico (kg/h)		4384,8		
Caudal volumétrico (m3/h)		4,51		
Compuesto	Caudal molar (kmol/h)	Caudal másico (kg/h)	Concentración (mg/l)	[DQO]
H ₂ O	243,71	4379,10	-	
CH	1,88E-04	0,05	12,0	35,3
CHO	1,01E-04	0,01	2,2	5,6
TL	0,06	5,63	1247,8	3900,4
BZ	2,00E-04	0,01	3,3	12,2
Total	243,8	4384,8	1265,4	3953,5

En cuanto al tratamiento, el primer paso a seguir será la reducción de la temperatura ya que normativa vigente determina que la temperatura de vertido no debe ser superior a 40°C. Así pues, se requerirá de intercambiador de calor para disminuir su temperatura.

Por otro lado, esta corriente presenta una elevada DQO que supera los límites permisibles por lo que deberá ser tratado antes introducirlo en la red de alcantarillado. Además, los compuestos orgánicos mayoritarios presentes en las aguas son benceno y tolueno, que son tóxicos y peligrosos para la salud y el medio ambiente.

Se descarta el tratamiento biológico del residuo ya que este tipo de tratamientos utilizan microorganismos, que serían incapaces de degradar estos compuestos orgánicos al verse expuestos a los efectos tóxicos del residuo.

Dicho esto, se han estudiado otras opciones de tratamiento como son los tratamientos fisicoquímicos. Este tipo de procesos son capaces de producir cambios profundos en la estructura química de los contaminantes y pueden lograr su oxidación completa bajo determinadas condiciones.

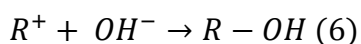
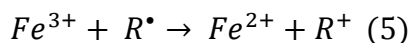
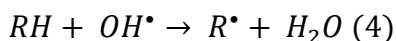
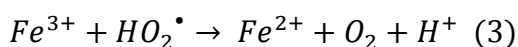
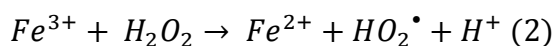
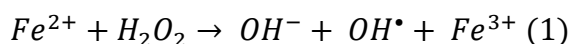
El tratamiento fisicoquímico por el que se ha optado es el método Fenton. Este proceso permite eliminar los compuestos orgánicos y tóxicos contaminantes presentes en el agua residual. En la bibliografía se ha encontrado que este tipo de procesos se



llevan a cabo con éxito en el tratamiento de efluentes residuales de la industria petroquímica que contienen, entre otros compuestos, benceno y tolueno. No obstante, cabe comentar que para asegurar la viabilidad y efectividad del proceso sería necesario realizar pruebas a escala piloto previas a la construcción las instalaciones en planta. Así pues, este estudio previo correría a cargo de una empresa de soluciones ambientales como por ejemplo *Sitra Prodesa*.

El método Fenton es proceso de oxidación avanzada (POAs) que consiste en la creación/generación de radicales OH^\bullet a partir de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) catalizado con iones Fe^{2+} . El peróxido de hidrógeno es un oxidante fuerte (su potencial estándar es de 1.80 (pH=0) y 0.87 V (pH=14)) y su aplicación en el tratamiento de varios contaminantes orgánicos e inorgánicos está bien establecida.

El mecanismo más ampliamente aceptado del proceso Fenton propone que la formación del radical hidroxilo según la ecuación (1), mientras que el catalizador se regenera gracias a la ecuación (2) o mediante la reacción del Fe^{3+} con un radical orgánico intermedio(ecuaciones (3)-(5)).



Los radicales hidroxilos (OH^\bullet) oxidan los contaminantes a altas velocidades de reacción, reduciendo la DQO.

Una de las ventajas del proceso Fenton, en comparación con otras técnicas de oxidación, es que no requiere energía para la activación del peróxido de hidrogeno, ya que la reacción tiene lugar a presión y temperatura atmosféricas. Además, este método requiere tiempos de residencia cortos y utiliza reactivos de fácil manipulación.

En cuanto a los inconvenientes, cabe comentar el coste del peróxido y el hecho de que la catálisis no es homogénea, ya que la sal de hierro no puede ser retenida en el reactor. Es por ello que es necesaria la recuperación del catalizador Fe^{2+} después del tratamiento. Esta recuperación se suele llevar a cabo gracias a la adición de un compuesto básico (hidróxido de calcio o sosa cáustica) hasta pH alcalino, de este modo las sales metálicas que contienen el hierro precipitan y pueden ser separadas y recuperadas por decantación.



En la figura 6.3.1. se observa un esquema típico de este tipo de proceso;

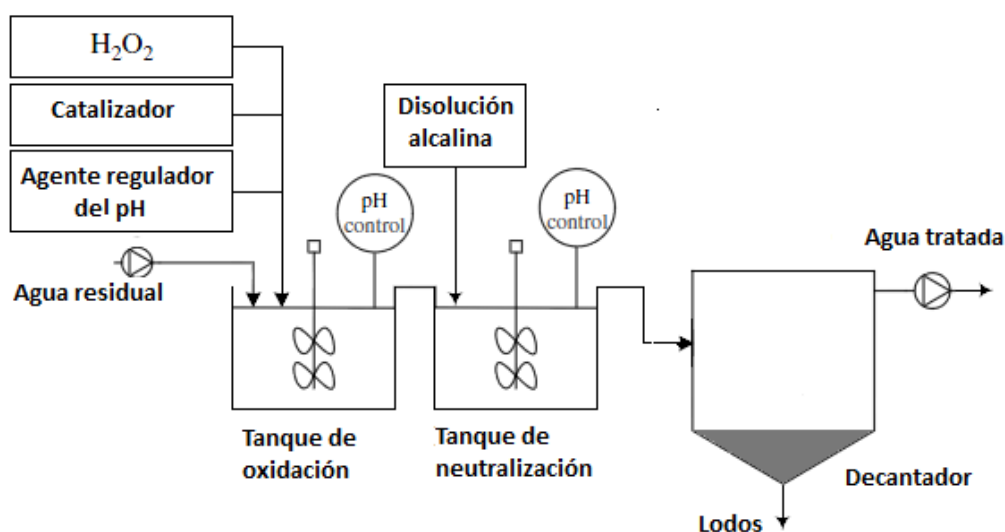


Figura 6.3.1. Esquema del proceso Fenton.

El proceso Fenton es muy eficiente a temperatura ambiente pero requiere pH ácidos de entre 2 y 4, siendo pH=3 el óptimo. Por ello se debe llevar a cabo un control del pH durante el proceso. El compuesto ácido más utilizada para la regulación de este parámetro es el ácido acético.

En cuanto al diseño del proceso, se colocan tres reactores en serie y en cada reactor se da una etapa distinta. Estos equipos deben estar contruidos con un material anticorrosivo y que asegure la resistencia al medio ácido en el que se trabaja. Por ello, el material escogido ha sido acero inoxidable 316L.

Una vez conocido el proceso por el cual se llevará a cabo el tratamiento de las aguas se ha realizado el estudio de las necesidades de agua oxigenada para producir la oxidación de todo el contenido orgánico. Sabiendo que la relación másica entre el peróxido y la DQO en este tipo de tratamientos acostumbra a ser:

$$\frac{H_2O_2}{DQO} = 1$$

El agua oxigenada se encuentra disuelta al 50% en peso con agua, lo cual equivale al 40,81% en volumen y la densidad del peróxido es de 1450 kg/m^3 . Con estos datos se calcula el caudal de disolución requerido como:

$$m^3 \text{ disol/h} = DQO \left(\frac{mgO_2}{l} \right) \cdot \frac{1 \text{ mg } H_2O_2 / l}{1 \text{ mg } O_2 / l} \cdot \frac{1000l}{1m^3} \cdot \text{caudal vol agua} \left(\frac{m^3}{h} \right) \cdot \frac{1 \text{ kg}}{10^6 mg} \cdot \frac{1}{\text{densidad } H_2O_2 \left(\frac{kg}{m^3} \right)} \cdot \frac{1}{\text{conc. disolución de } H_2O_2 \left(\frac{m^3 H_2O_2}{m^3 \text{ disol.}} \right)}$$



De esta forma se determina que el caudal requerido de la disolución de peróxido es de 0,03 m³/h. En cuanto a la cantidad de catalizador, gracias a la bibliografía se ha determinado que la relación molar óptima Fe²⁺/H₂O₂ para este tipo de contaminantes es de 3. Empleando la siguiente fórmula se ha calculado que esta cantidad es de 1,57 kmol/h.

$$\frac{\text{kmol Fe}^{2+}}{h} = 3 \cdot \frac{\text{m}^3 \text{ dis}}{h} \cdot [\text{H}_2\text{O}_2] \left(\frac{\text{m}^3 \text{ H}_2\text{O}_2}{\text{m}^3 \text{ dis}} \right) \cdot \overbrace{\text{densH}_2\text{O}_2 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)}^{\frac{\text{kmol H}_2\text{O}_2}{h}} \cdot \frac{1}{\text{PMH}_2\text{O}_2 \left(\frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \right)}$$

Cabe comentar que el catalizar se introduce en forma de sal Fe(SO₄)·7·H₂O, con una concentración de 33,45% en peso y su densidad es de 1219 kg/m³.

$$Q_{\text{Fe(SO}_4\text{)} \cdot 7 \text{ H}_2\text{O}} = \frac{1,57 \text{ kmol Fe}^{2+}}{h} \cdot \frac{55,84 \text{ kg Fe}^{2+}}{1 \text{ kmol Fe}^{2+}} \cdot \frac{100 \text{ kg Fe(SO}_4\text{)} \cdot 7 \text{ H}_2\text{O}}{33,45 \text{ kg Fe}^{2+}} \cdot \frac{1 \text{ m}^3 \text{ Fe(SO}_4\text{)} \cdot 7 \text{ H}_2\text{O}}{1219 \text{ kg Fe(SO}_4\text{)} \cdot 7 \text{ H}_2\text{O}} = 0,21 \text{ m}^3 \text{ Fe(SO}_4\text{)} \cdot 7 \text{ H}_2\text{O} / h$$

Por otro lado, para la degradación de este tipo de compuestos el tiempo de residencia (τ) es de unas 2 horas. Con estos datos se puede también determinar el volumen aproximado de cada tanque:

$$Q_{\text{total}} \left(\text{m}^3 / h \right) = Q_{\text{agua a tratar}} + Q_{\text{H}_2\text{O}_2} + Q_{\text{Fe(SO}_4\text{)} \cdot 7 \text{ H}_2\text{O}}$$

$$V(\text{m}^3) = Q_{\text{total}} \left(\text{m}^3 / h \right) \cdot \tau \text{ (h)}$$

El volumen de cada uno de estos tanques, considerando un sobredimensionamiento del 5%, es de 10 m³.

Este tipo de procesos tiene un rendimiento de aproximadamente el 75% de eliminación la DQO de entrada ya que los contaminantes orgánicos son degradados a compuestos orgánicos más simples, que pueden ser tratados mediante un proceso biológico. De esta manera la DQO de salida sería de aproximadamente 980 mg/L. Este valor ya cumple la legislación vigente (DQO<1500 mg/L), por lo que el efluente puede ser vertido al alcantarillado. Las autoridades competentes gestionarán este efluente con las aguas urbanas y se encargaran de su depuración final antes de liberar las aguas al medio natural.

6.3.1.2. Tratamiento del sulfato de amonio

Uno de los efluentes residuales a tratar se genera en la columna de extracción C-501. En esta columna se lleva a cabo el primer paso en la purificación de la caprolactama, la extracción de ésta mediante un disolvente orgánico (benceno). La composición del efluente residual se recoge en la tabla 6.3.1

Tabla 6.3.8. Corriente residual C-501.

T (°C)		73	
Caudal molar (kmol/h)		153,04	
Caudal másico (kg/h)		2844,4026	
Caudal volumétrico (m3/h)		5,57	
Compuesto	Caudal molar (kmol/h)	Caudal másico (kg/h)	Concentración (mg/l)
H ₂ O	152,21	2742,12	-
(NH ₄) ₂ SO ₄	0,70	92	16513,49
BZ	0,13	10,27	1844,75
Total	153,04	2844,40	-

Esta corriente contiene una elevada concentración de sulfato amónico y benceno. La DQO que representa el contenido en benceno es de 5670 ppm.

Por otro lado, el sulfato de amonio es un compuesto que tiene uso como fertilizante, por lo que un vertido de estas concentraciones tendría graves consecuencias sobre el medio.

Al tratarse de un efluente continuo y con un caudal significativo no se plantea el tratamiento externo. Además, el tratamiento externo conllevaría un constante movimiento de camiones cisterna para su transporte, aumentando el impacto ambiental de la planta. Así pues, deben estudiarse las diversas opciones para su tratamiento.

En la bibliografía se han encontrado varias alternativas tales como el intercambio iónico o la osmosis inversa. No obstante, estos tratamientos conllevan diversos problemas como lo son la necesidad de reactivos para la regeneración de las resinas (en el caso del intercambio iónico) y generación de grandes presiones (para la osmosis inversa), así como el tiempo de vida de las resinas y membranas. Además, en el proceso de regeneración de la resina se genera un nuevo corriente de sulfato de amonio concentrado y otro de hidróxido de amonio (amoníaco disuelto), que también deberán ser gestionados.

Así pues, se ha estimado como la alternativa más viable la oxidación de la materia orgánica del efluente mediante un sistema de oxidación avanzado. De este



modo, una vez eliminada la carga orgánica, el efluente que contiene agua y sulfato puede recircularse como alimento al cristizador.

Esta alternativa elimina un efluente residual contaminante del proceso y además se consiguen minimizar las pérdidas de sulfato amónico.

Siguiendo los cálculos empleados en el apartado 6.3.1.1. se determina que el caudal de peróxido requerido es de $0,053 \text{ m}^3/\text{h}$. Por otro lado, la cantidad necesaria de la solución $\text{Fe}(\text{SO}_4) \cdot 7 \cdot \text{H}_2\text{O}$ es de $0,37 \text{ m}^3/\text{h}$. En cuanto al volumen de los tanques, la capacidad necesaria de éstos es de 13 m^3 .

6.3.1.3. Residuos gases

En el proceso empleado para la producción de caprolactama se generan dos tipos de corrientes residuales:

- Gases procedentes del reactor R-201. Este efluente contiene principalmente N_2 y O_2 , pero que pueden llevar trazas de amoníaco no disuelto.
- Gases no condensables emitidos en la generación del vacío de las columnas de destilación.

Además, algunos de los productos almacenados tienen asociada una cierta peligrosidad, por lo que sus gases conllevan un riesgo para el medio ambiente. Estos gases pueden ser emitidos por los sistemas de venteo de los tanques (en caso de que se genere una sobrepresión) o por fugas en tuberías o equipos.

A continuación se evalúa el tratamiento de cada uno de los compuestos gases generados en la planta.

Benceno y tolueno

El benceno y el tolueno son dos compuestos orgánicos volátiles (COVs). Los COV son todos aquellos hidrocarburos que se presentan en estado gaseoso a la temperatura ambiente normal o que son muy volátiles a dicha temperatura. Este tipo de compuestos se caracterizan por su persistencia en el ambiente y su gran capacidad para viajar grandes distancias.

Además, algunos de sus efectos son:

- Toxicidad para el hombre y los animales. Algunos incluso son cancerígenos (como el benceno).
- Dañan los cultivos.



- Inducen la formación de lluvia ácida.
- Gases de efecto Invernadero.
- Participan en la formación del Smog foto-químico.

Es por ello que la planta deberá contar con un sistema de tratamiento de estos efluentes.

En la planta el origen de las emisiones de estos compuestos puede tener diversos orígenes:

- Vapores procedentes de las estaciones de carga.
- Pérdidas por evaporación en los tanques de almacenamiento (venteo).
- Fugas y derrames de la red de tuberías y depósitos.
- Emisiones procedentes de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Para reducir las emisiones de dichos contaminantes, la empresa Caprolacteam hará uso de las estrategias propuestas por la Guía de MTDs (Mejores Técnicas Disponibles), donde se plantean una serie de medidas a seguir para incidir en cada una de las fuentes emisoras.

Para evitar en lo posible fugas y derrames de la red de tuberías y depósitos, se prevé la elección de válvulas y accesorios de probada calidad y bajo nivel de fugas. Otra medida a que debe tomarse es impedir y eliminar venteos y purgas a la atmósfera, enviando el gas a un sistema de antorcha, ya que con este tipo de instalaciones los compuestos orgánicos son oxidados a compuestos orgánicos inertes.

La combustión de COVS por antorcha es un proceso en el cual los gases son canalizados a una ubicación remota y quemados en una llama abierta al aire libre, utilizando una boquilla de quemador especialmente diseñada, un combustible auxiliar y vapor o aire para promover el mezclado para una degradación casi completa de los contaminantes (> 98%) **[Agencia de protección ambiental de EEUU (epa)]**.

En cuanto a las pérdidas por evaporación en los tanques de almacenamiento, las medidas a adoptar serán:

- Utilizar el tipo de tanque apropiado para el producto.
- Instalar dobles sellos en los tanques con techo flotante.
- Minimizar el número de accesorios en los tanques.



GASES INCONDENSABLES

En el proceso de generación de vacío de las columnas de destilación se obtienen un efluente gaseoso. Esta corriente corresponde a los gases incondensables que salen del sistema a través de las bombas de anillo líquido (generadoras de vacío).

Este hecho es especialmente preocupante en el caso de las columnas para la recuperación de componentes orgánicos volátiles como es el caso de esta planta. Es por ello que estos gases contendrán trazas de benceno y tolueno.

Es por ello que estos gases deberán tener como destino un colector que los conducirá a la antorcha. De este modo los hidrocarburos se oxidarán a CO_2 y H_2O , minimizando su toxicidad y su potencial contaminante.

En la figura 6.3.2. se observa una imagen de una instalación de este tipo.

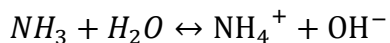


Figura 6.3.2. Tratamiento de gases. Antorcha.



Amoníaco

En el reactor de amoximación R-201 se introduce amoníaco en estado gas. Éste, al entrar en contacto con el agua contenida en el reactor se disuelve según el siguiente equilibrio:



Sin embargo, parte del amoníaco puede no disolverse y salir por la salida de gases del reactor. Con tal de minimizar las emisiones a la atmosfera de este compuesto la salida deberá tener un sistema de tratamiento. De este modo, se plantea la instalación de un lavador de gases húmedo (wet scrubber) o un Oleum Vent Package. En la figura 6.3.3. se observa una imagen de un equipo de este tipo fabricado por la empresa H.A.Tenney & Company:

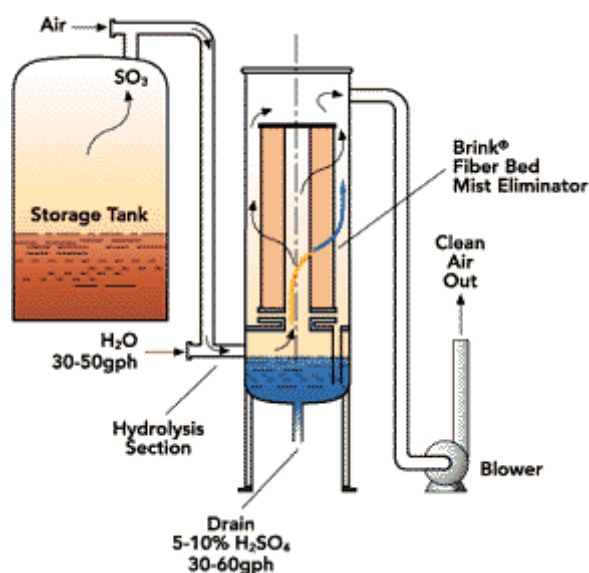
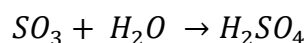


Figura 6. 3.3. Oleum vent Package.

Trióxido de azufre

El trióxido de azufre es un compuesto que puede ser liberado del tanque de almacenamiento de óleum, ya que éste es una mezcla de trióxido de azufre y ácido sulfúrico.

El trióxido de azufre en estado gas es un contaminante importante, siendo el principal agente de la lluvia ácida: en presencia del agua atmosférica o sobre superficies húmedas, el trióxido de azufre (SO₃) se convierte rápidamente en ácido sulfúrico (H₂SO₄) de acuerdo con la siguiente reacción.





Para evitar su emisión a la atmosfera, todo tanque de almacenamiento de óleum ha de contar en el venteo con un scrubber con sosa para el tratamiento del gas [Sulphur Trioxide, Oleum and Sulphuric Acid Mist, 1996].

6.3.2. Gestión de residuos

Con la finalidad de conocer el tratamiento más adecuado se ha procedido a la catalogación de los residuos mediante el catálogo de residuos de Cataluña. Este catálogo se estructura en 19 grupos, los cuales corresponden a procesos o actividades que generan los residuos o bien familias importantes de residuos. Cada grupo se divide en uno o más subgrupos, que catalogan los residuos según sus afinidades. Además, para cada residuo se indican de forma genérica el origen, la clasificación y las opciones de valorización (VAL), tratamiento y disposición del rechazo (TDR). Estas dos alternativas se aplican como:

- **Valorización (VAL)** ya sea mediante comercialización, reutilización o reciclaje.
- **Tratamiento y disposición del rechazo (TDR):** los sistemas óptimos de tratamiento y disposición del residuo para cada residuo, ordenados de más a menos según la aplicación más óptima.

Cada alternativa propuesta por el catálogo está codificada con el código V (VAL) o T (TDR) seguida de dos dígitos que corresponden al tratamiento específico del residuo. Obviamente, siempre se procurará priorizar la valorización el residuo antes que el tratamiento y disposición del residuo.

A continuación se realiza la catalogación de cada uno de los residuos que serán tratados por un gestor externo.

6.3.2.1. Catalizador

En el reactor R-201 se lleva a cabo la reacción de amoximación en la que se forma la oxima. Se trata de una reacción catalítica en la que el catalizador utilizado es silicato de titanio. Este catalizador tiene una vida útil de 1 año (patente WO2012152600A1) por lo que, pasado este tiempo, deberá reemplazarse. De este modo, una vez al año (aprovechando con la parada de la planta) se deberá gestionar como residuo.



En este caso el catalizador está catalogado con el código 060702 (dentro de la *Residuos inorgánicos de procesos químicos* (06) y *Catalizadores usados* (0607)). En la figura 6.3.4. se incluye la información proporcionada por el catálogo:


060702 >> CER	Altres catalitzadors usats		R. síntesi i regeneració, Esgotament del material	no especial	V48	T31 T33 T12
------------------	----------------------------	---	--	-------------	-----	-------------------

Figura 6.3.4. Catalogación del catalizador utilizado.

La valorización V48 corresponde a la recuperación de catalizadores pero esto no se plantea ya que se opta por la compra de catalizador nuevo para asegurar la actividad de éste, además el catálogo no propone empresas capaces de llevar a cabo esta valorización. Por ello se ha elegido el tratamiento T31, tratamiento físico químico, como el más idóneo.

Este tratamiento se llevará a cabo por la empresa INTEGRACIÓ I GESTIÓ DE RESIDUS SL, situada en el mismo municipio de Tarragona. Por otro lado, la empresa encargada del transporte será A. ZAMORA, SL también ubicada en el Tarragonès.

Los costes de esta gestión externa se han tenido en cuenta a la hora de realizar la evaluación económica de la planta.

6.3.2.2. Sulfato de amonio

El sulfato de amonio se genera mediante la neutralización del óleum en exceso empleado de la transposición de Beckmann.

El sulfato en forma de sal sólida es un subproducto de la planta, ya que es un componente ampliamente utilizado en la agricultura como fertilizante. De todos modos, debido a la elevada tasa de producción en planta, no se puede asegurar que la demanda de este subproducto cubra todo el sulfato generado. Por ello, la parte que no tenga salida en el mercado deberá ser gestionada como residuo.

Este residuo está catalogado dentro de *Residuos inorgánicos de procesos químicos* (06) y *Soluciones y sales sin metales* (0603). En la figura 6.3.5. se incluye la información obtenida mediante la catalogación de este residuo.


060303 >> CER	Sals sòlides amb sulfats, sulfits o sulfurs		R. síntesi i desplaçament. R. secundàries	inert	V42	T14 T11
------------------	--	---	---	-------	-----	------------

Figura 6.3.5. Catalogación. Sales sólidas de sulfato de amonio.

La valorización planteada (V42) corresponde a la *regeneración de otros materiales inorgánicos* y se llevará a cabo por la empresa Aluminis Giralt, SL en Vilanova i la Geltrú (El Garraf), por ser el gestor más cercano a la planta. El transportista autorizado será la empresa *Antonio Romero Fernandez* (Tarragonés).



El código T31 corresponde a un tratamiento físico químico y biológico. La empresa gestora es *Integración y gestión de residuos, SL.* situada en Tarragona.

6.3.2.3. Otros residuos

Por otro lado, en cualquier industria se generan ciertos residuos en operaciones de carácter más general. En la tabla 6.3.9. se citan y catalogan estos residuos así como su origen y tratamiento.

Tabla 6.3.9. Otros residuos gestionados.

Descripción	Código	Origen	Tratamiento
Papel y cartón	200101	Recogida selectiva. Residuos generales de fábrica	V11: Reciclaje de papel y cartón
Vidrio	200102		V14: Reciclaje de vidrio
Plástico	200103		V12: Reciclaje de plástico
Residuos orgánicos	200109	Comedor	V83: Compostaje
Aceites vegetales	200110		V33: Reciclaje de productos alimentarios
Productos de limpieza	200111	Recogida selectiva. Limpieza de oficinas	T31: Tratamiento físico-químico y biológico
Tóner	200122	Recogida selectiva	V54: Reciclaje de tóners
Residuos generales (no recogida selectiva)	200198	Residuos generales	T12: Deposición de residuos no especiales
Residuos químicos de laboratorio en recipientes	160202	Caducados o fuera de especificación	V24: Reciclaje de productos orgánicos (no disolventes)
Efluentes de limpieza	150302	Limpieza y mantenimiento	T31: Tratamiento físico-químico y biológico
Residuos de limpieza con compuestos orgánicos	070601	Limpieza y mantenimiento	T31: Tratamiento físico-químico y biológico
Ropa protectora y trapos de limpieza	150299	Uso en planta	T21: Incineración de residuos no halogenados

Dentro de esta categoría también se encuentran los residuos propios de la parada de la planta. La planta opera 300 días anuales por lo que deja de producir 65 días al año. En cada parada, una planta de producción industrial presenta una gran cantidad de residuos originados en la limpieza y mantenimiento. Estos residuos deberán ser gestionados apropiadamente con tal de minimizar su impacto en el entorno.



6.4. Evaluación del impacto ambiental

El estudio de impacto ambiental es imprescindible para evaluar el impacto de una acción. Constituye un estudio técnico básico, con carácter objetivo e interdisciplinario, el cual permite predecir los posibles impactos ambientales derivados de la realización de un proyecto para decidir sobre la viabilidad ambiental del mismo (Evaluación del Impacto Ambiental, EIA).

El éxito del estudio de impacto ambiental radica en constituir un equipo multidisciplinar integrado por especialistas en cada uno de los factores ambientales a contemplar en el proyecto (por ejemplo factores de la atmósfera, del agua, del suelo, de la vegetación, de la fauna, etc.). Cada acción propuesta es analizada en base a sus posibles impactos ambientales, y para cada una de las distintas etapas que constituyen un proyecto.

El método mediante el cual se realiza la EIA es la construcción de una matriz de relación causa-efecto. Se trata de una matriz con cuadros de doble entrada, en la cual se disponen las acciones del proyecto que causan un impacto y en la otra los elementos o factores ambientales receptores de los efectos.

El primer paso a seguir es la construcción de una matriz de impacto, que permite gráficamente determinar cualitativamente las consecuencias de una acción determinada. En la tabla 6.4.1. se recoge la matriz de impacto elaborada.



Tabla 6.4.1. Matriz de impacto ambiental.

ACCIONES PROPUESTAS CONDICIONES DELMEDIO SUSCEPTIBLES DE ALTERARSE	Acondicionamiento del terreno	Construcción de los edificios	Instalación de los equipos	Modificación del hábitat	Consumo energético	Impacto visual	Ruido	Contaminación del agua	Circulación de vehículos	Creación de empleo	Opinión pública	Almacenamiento de reactivos	Producción de caprolactama	Almacenamiento de producto	Producción de residuos sólidos	Producción de efluentes líquidos	Producción de efluentes gases	Escapes y fugas	Fallos de funcionamiento
Aguas superficiales																			
Aguas subterráneas																			
Suelo																			
Aire																			
Flora y fauna																			
Paisaje																			
Salud humana																			
Nivel sonoro																			
Impacto socioeconómico																			

El siguiente paso es la realización de una matriz de impacto, con la finalidad de cuantificar la importancia (I) de los impactos de cada una de las acciones evaluadas. Este parámetro se estima de acuerdo a la siguiente expresión y puede tomar valores entre 13 y 100.

$$I = \pm(3 \cdot IN + 2 \cdot EX + MO + PE + RV + SI + AV + EF + PR + MC)$$

Donde

- Intensidad (IN): hace referencia al grado de incidencia de la acción sobre el factor.
- Extensión (EX): se refiere al área de influencia teórica del impacto, respecto a la del factor afectado.
- Momento (MO): hace referencia al tiempo que transcurre entre la aparición de la acción y el comienzo del efecto sobre el factor considerado.
- Persistencia (PE): se refiere al tiempo, que supuestamente, permanecería el efecto desde su aparición.
- Reversibilidad (RV): se refiere a la posibilidad de reconstruir el factor afectado por medios naturales (reconstrucción por medios naturales).



- Sinergia (SI): hace referencia al grado de reforzamiento del efecto de una acción sobre un factor debido a la presencia de otra acción.
- Acumulación (AC): hace referencia al incremento progresivo de la manifestación del efecto.
- Efecto (EF): hace referencia a la relación causa – efecto, es decir, a la forma de manifestación del efecto sobre un factor, como consecuencia de una acción.
- Periodicidad (PR): se refiere a la regularidad de la manifestación del efecto.
- Recuperabilidad (MC): se refiere a la posibilidad de reconstruir el factor, por medio de intervención humana.

Estos valores pueden ser positivos o negativos (el signo indica la naturaleza del impacto). El valor de cada uno de estos parámetros se determina mediante la evaluación del impacto según los valores de la figura 6.4.1.

NATURALEZA (N) - Impacto beneficioso + - Impacto perjudicial -	INTENSIDAD (IN) (Grado de Destrucción) - Baja 1 - Media 2 - Alta 4 - Muy alta 8 - Total 12
EXTENSIÓN (EX) (Área de influencia) - Puntual 1 - Parcial 2 - Extenso 4 - Total 8 - Crítica (+4)	MOMENTO (MO) (Plazo de manifestación) - Largo plazo 1 - Medio plazo 2 - Inmediato 4 - Crítico (+4)
PERSISTENCIA (PE) (Permanencia del efecto) - Fugaz 1 - Temporal 2 - Permanente 4	REVERSIBILIDAD (RV) - Corto plazo 1 - Medio plazo 2 - Irreversible 4
SINERGIA (SI) (Potenciación de la manifestación) - Sin sinergismo (simple) 1 - Sinérgico 2 - Muy sinérgico 4	ACUMULACIÓN (AC) (Incremento progresivo) - Simple 1 - Acumulativo 4
EFEECTO (EF) (Relación causa-efecto) - Indirecto (secundario) 1 - Directo 4	PERIODICIDAD (PR) (Regularidad de la manifestación) - Irregular, esporádico o aperiódico y discontinuo 1 - Periódico 2 - Continuo 4
RECUPERABILIDAD (MC) (Reconstrucción por medios humanos) - Recuperable inmediato 1 - Recuperable medio plazo 2 - Recuperable parcialmente, Mitigable y/o compensable 4 - Irrecuperable 8	

Figura 6.4.1. Criterios para la evaluación del impacto.



De este modo, se obtiene la matriz de importancia de la tabla 6.4.2.

Tabla 6.4.2. Matriz de importancia.

FACTORES AMBIENTALES	N	IN	EX	MO	PE	RV	SI	AC	EF	PR	MC	I
Aguas superficiales	-	2	2	4	2	2	2	1	4	1	4	-30
Aguas subterráneas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Suelo	-	2	2	4	2	2	2	4	1	2	2	-29
Aire	-	2	2	2	2	2	2	1	4	4	2	-29
Flora y fauna	-	1	2	2	2	2	2	4	1	4	2	-26
Paisaje	-	4	2	2	2	2	2	4	1	4	2	-35
Salud humana	-	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	-34
Nivel sonoro	-	2	2	2	2	2	2	1	4	4	2	-29
Impacto socioeconómico	+	4	2	4	2	2	2	4	4	4	2	+40

Así pues, los impactos se pueden catalogar según su importancia como:

- Irrelevantes o compatibles: $I < 15$. Recuperación inmediata tras el cese de la actividad. No precisa de prácticas protectoras o correctoras.
- Moderado: $15 < I < 50$. Recuperación no precisa de prácticas protectoras o correctoras intensivas. Consecución de las condiciones ambientales requerirá cierto tiempo.
- Severos $50 < I < 75$. Recuperación del medio exige la adecuación de medidas protectoras o correctoras y, aún con esas medidas, la recuperación precisa un periodo de tiempo dilatado.
- Críticos $I > 75$. Magnitud superior al umbral aceptable. Se produce una pérdida permanente de la calidad de las condiciones ambientales, sin posible recuperación, incluso con la adopción de medidas protectoras o correctoras.

Mediante esta evaluación de impactos se determina que la mayor repercusión es a nivel de paisaje, aguas superficiales y salud humana. De este modo, se deben tomar medidas para minimizar estos impactos

- Paisaje: es inevitable que la instalación de una planta afecte al paisaje. Una forma de minimizar este impacto es crear zonas ajardinadas e intentar no instalar equipos muy altos que alteren el entorno.

- Suelo: minimizar la edificación de la planta a lo imprescindible. Llevar a cabo buenas prácticas para evitar vertidos.

- Aire y agua superficial: llevar a cabo el tratamiento adecuado de los efluentes. Minimizar emisiones.

- Salud humana: asegurar el cumplimiento de las normas de seguridad. Formar a la plantilla. Minimizar la exposición a contaminantes.