

# Planta de producción de Acrilonitrilo



Víctor Fernández Gusó  
Berta Sayos Terradellas  
Marc Terradas i Montañà  
Sara Vázquez Pérez  
Francisca Vallespir Torrens

2012



Universitat Autònoma de Barcelona



## **6. MEDIO AMBIENTE**

**ÍNDICE**

6. Medio ambiente .....	3
6.1.-Introducción .....	3
6.2.- Legislación actual de contaminación ambiental .....	3
6.2.1.- Efluentes gaseosos .....	3
6.2.2.- Efluentes líquidos .....	7
6.2.3.- Residuos sólidos .....	9
6.2.4.- Legionelosis .....	9
6.3.- tratamiento residuos generados en la planta.....	9
6.3.1.- Efluentes gaseosos .....	10
6.3.1.1.- Tratamiento efluente de gas generado en la columna absorción (CA-302)	
.....	12
6.3.1.2.- Tratamiento efluente de gas generado en la columna de purificación del HCN (CD-502).....	16
6.3.2.- Efluentes líquidos .....	20
6.3.2.1.- Tratamiento efluente 505 generado en la planta.....	23
6.3.2.2.- Tratamiento efluente 606 generado en la planta.....	25
6.3.2.3.- Tratamiento efluente 802 generado en la planta.....	26
6.3.3.- Sólidos .....	31
6.4.- evaluación impacto ambiental de la planta .....	32
6.4.1.- Estudio de impacto ambiental .....	33

## 6. MEDIO AMBIENTE

### 6.1.-INTRODUCCIÓN

Actualmente la preocupación por el medio ambiente trasciende del ámbito científico, convirtiéndose en una prioridad política y social. La explotación intensiva de los recursos naturales y el desarrollo de grandes concentraciones industriales y urbanas en determinadas zonas, son fenómenos que han dado lugar a la saturación de la capacidad asimiladora y regeneradora de la naturaleza a causa del poco control ambiental que ha existido. Esta situación puede llevar a perturbaciones irreversibles del equilibrio ecológico general, cuyas consecuencias a largo plazo no son fácilmente previsibles. La situación, ha llegado a tal punto que los gobiernos han adoptado medidas de carácter normativo y político para minimizar los efectos negativos y garantizar el cumplimiento de las normas sobre calidad ambiental. Para afrontar este desarrollo sostenible hace falta un cambio de estrategia en el mundo industrial y empresarial. Hay que reducir al máximo las emisiones gaseosas, la generación de residuos sólidos y de aguas residuales, y tratar correctamente estos efluentes residuales.

En este apartado del proyecto se analizan los residuos y emisiones que se generan en una planta de producción de acrilonitrilo y se estudian las medidas necesarias para tratarlos y reducirlos.

### 6.2.- LEGISLACIÓN ACTUAL DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

#### 6.2.1.- Efluentes gaseosos

Se considera el aire como un bien común indispensable para la vida. Por este motivo su utilización debe estar sujeta a normas que eviten el deterioro de su calidad por el uso o abuso indebido del mismo, de tal modo que se preserve su pureza como garantía del normal desarrollo del entorno natural.

*6. Medio ambiente*

La gestión de la contaminación atmosférica pretende la eliminación, o la reducción hasta niveles aceptables, de aquellos agentes cuya presencia en la atmósfera puede ocasionar:

- Efectos adversos en la salud de las personas.
- Efectos perjudiciales sobre la vida de las plantas y de los animales.
- Daños a materiales de valor económico para la sociedad.
- Daños al medio ambiente.

La contaminación del aire es un proceso que se inicia con las emisiones a la atmósfera por parte de los diferentes focos emisores, con cada uno de sus contaminantes y niveles de emisión. Una vez estas sustancias se encuentran en la atmósfera sufren diferentes efectos de transporte y/o transformación. Como resultado de estos procesos, en un punto determinado se da una determinada concentración de cada contaminante, éste se conoce como nivel de inmisión. Son los niveles de inmisión o de calidad del aire los que determinan el efecto de un contaminante sobre la salud o el medio ambiente.

Para luchar contra la contaminación atmosférica se han promovido diversas leyes del estado. El proyecto debe cumplir la normativa vigente en Cataluña.

Las leyes de carácter general actuales referentes a la contaminación atmosférica son:

- Ley 22/1983, de 21 de noviembre, de Protección del Ambiente Atmosférico (DOGC núm.385, 30.11.1983)
- Decreto 322/1987, de 23 de septiembre, desarrollo de la Ley 22/1983, de 21 de noviembre, de Protección del Ambiente Atmosférico (DOGC núm. 919, 25.11.1987)
- Decreto 323/1994, de 4 de noviembre, por lo que se regulan las instalaciones de incineración de residuos y los límites de sus emisiones a la atmósfera (DOGC núm.1986, 16.12.1994)

---

*6. Medio ambiente*

- Decreto 80/2002, de 19-02-2002, regulador de las condiciones para la incineración de residuos (DOGC núm.3594, 13.03.2002)
- Decreto 199/1995, de 16-05-1995, de aprobación de los mapas de vulnerabilidad y capacidad del territorio referidos a la contaminación atmosférica (DOGC núm.2077, 19.07.1995)
- Real Decreto 100/2011, de 28 de enero, por el que se actualiza el catálogo de actividades potencialmente contaminadoras de la atmósfera y se establecen las disposiciones básicas para su aplicación (B.O.E. núm. 25, 29.01.2011)
- Ley 26/2007, de 23-10-2007, de Responsabilidad Medioambiental.
- Ley 34/2007, de 15-11-2007, de calidad del aire y protección de la atmósfera.
- Decreto 152/2007, de 10-07-2007, de aprobación del Plan de actuación para la mejora de la calidad del aire en los municipios declarados zonas de protección especial del ambiente atmosférico mediante el decreto 226/2006, de 23-05-2006.
- Orden 290, de 18-10-1976 (Ministerio de Industria), sobre prevención y corrección de la contaminación atmosférica de origen industrial.

Las leyes referentes a la contaminación acústica son:

- Ley 16/2002, de 28-06-2002, de protección contra la contaminación acústica.
- Real Decreto 1367/2007, de 19-10-2007, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17-11-2003, del ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.

Las leyes sobre la contaminación lumínica son:

- Ley 6/2001, de 31-05-2001, de ordenación ambiental del alumbrado para la protección del medio nocturno.

*6. Medio ambiente*

- Decreto 82/2005, de 03-05-2005, por el que se aprueba el reglamento de desarrollo de la 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.

Por último, hay una ley de cambio climático:

- Decreto 397/2006, de 17-10-2006, de aplicación del régimen de comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero y de regulación del sistema de acreditación de verificadores de informes de emisión de gases de efecto invernadero.

Finalmente se deben adjuntan los límites de inmisión vigentes de los compuestos que la planta puede generar. Estos niveles tendrán que ser considerados cuando se realice el diseño del tratamiento de gases.

**Taula 6.2.1.- Valores límite de inmisión de hidrocarburos totales (HCT)**

Hidrocarburos totales (expresados como hexano)		
Valores límite	30 min.	280 mg/m <sup>3</sup> = 73 ppm
	24 h.	140 mg/m <sup>3</sup> = 36 ppm

**Taula 6.2.2.- Valores límite de inmisión de CO**

Monóxido de carbono (CO)			
Valores límite anuales	30 min.	45 mg/m <sup>3</sup> N (mediana semihoraria)	
	8 h.	15 mg/m <sup>3</sup> N (mediana de 8 h.)	
<b>Valores de referencia para la declaración de situaciones de emergencia [μg/m<sup>3</sup>N]</b>			
	Emergencia 1r.grado	Emergencia 2o.grado	Emergencia 3r.grado
Mediana 24 h.	34	46	60

En el caso de las sustancias peligrosas hay dos posibilidades. Primero que estas sustancias estén prohibidas, es decir, que no pueden ser vertidas bajo ningún concepto. En cambio hay otras que si pueden ser vertidas, previa autorización y respetando siempre el límite de emisión que viene expresado con valor máximo

*6. Medio ambiente*

instantáneo. El ácido cianhídrico es una sustancia peligrosa que puede ser emitida en muy bajas concentraciones. Según la normativa vigente el límite de emisión es:

**Taula 6.2. 3.- Valores límite de emisión HCN**

HCN	
Medida instantánea	5 ppm

**Taula 6.2.4.- Valores límites de emisión para componentes orgánicos volátiles**

Actividad (umbral de consumo de disolvente en Tn/año)	Valores límite de emisión en gases residuales (mg C/Nm <sup>3</sup> )	Valores de emisión difusa (% de entrada de disolventes)		Valores límite de emisión total		Disposiciones especiales
		Instalaciones nuevas	Instalaciones existentes	Instalaciones nuevas	Instalaciones existentes	
20. Fabricación de productos químicos (>50)	20 (1)	5 (2)	15 (2)	5% de la entrada	15% de la entrada	(1)Si se utilizan técnicas que permiten la reutilización del disolvente recuperado, el valor límite de emisión en gases residuales será de 150. (2)El valor límite de emisión difusa no incluye el disolvente vendido como parte de productos o preparados en un recipiente hermético.

No hay límites de inmisión de dióxido de carbono, pero sí que tiene vinculado un coste proporcionado a la cantidad emitida.

**6.2.2.- Efluentes líquidos**

Principalmente, los efluentes líquidos de la planta son vertidos de aguas residuales. Se trata del conjunto de aguas, a las que se les ha alterado alguna de sus características naturales al haber sido utilizadas. Y a las que eventualmente se les han podido añadir

*6. Medio ambiente*

aguas limpias de diversas procedencias, tales como subterráneas, superficiales y fluviales.

Según la Generalitat de Catalunya y la situación de la planta situada en Tarragona, la normativa que tienen que seguir estos efluentes líquidos es la siguiente:

- Ley 5/1981, de 04-06-1981, sobre desarrollo legislativo en materia de evacuación y tratamiento de aguas residuales.
- Ley 6/1999, de 12-07-1999, de ordenación, gestión y tributación del agua.
- Ley 13/2001, de 13-07-2001, de modificación de la Ley 3/1998, de 27-02-1998, de la intervención integral de la Administración Ambiental.
- Ley 4/2004, de 01-07-2004, reguladora del proceso de adecuación de las actividades de incidencia ambiental al que establece la Ley 3/1998, de 27-02-1998, de la intervención integral de la Administración Ambiental.
- Ley 20/2009, de 4-12-2009, de prevención y control ambiental de las actividades.
- Decreto 83/1996, de 05-03-1996, sobre medidas de regularización de vertidos de aguas residuales.
- Decreto 130/2003, de 13-05-2003, por el cual se aprueba el Reglamento de los servicios públicos de Saneamiento.
- Decreto 143/2003, de 10-06-2003, de modificación del Decreto 136/1999, de 18-05-1999, por el que se aprueba el Reglamento general de desarrollo de la Ley 3/1998, de 27-02-1998, de la intervención integral de la Administración Ambiental, y se adaptan sus anexos.
- Decreto Legislativo 3/2003, de 04-11-2003, por el cual se aprueba el Texto refundido de la legislación en materia de aguas de Catalunya.
- Resolución MAB/2964/2003, de 15-09-2003, por la cual se hace público el Acuerdo del Gobierno, de 01-08-2003, por el cual se aprueba el Programa de Saneamiento de Aguas Residuales Industriales.

### 6.2.3.- Residuos sólidos

Hay que clasificar los sólidos en función de diversos parámetros especificados en:

- Catálogo europeo de residuos, Anexo 2 de la Orden MAM/304/2002, del 8 de febrero (B.O.E. nº 43 de 19 de febrero de 2002 y corrección de errores B.O.E nº 61 de 12 de marzo de 2002).

Según este catálogo, la actividad de la planta de producción de acrilonitrilo pertenece al grupo 07 referenciado a residuos de procesos químicos orgánicos.

### 6.2.4.- Legionelosis

Se regula mediante el:

- Decreto 352/2004, de 27-07-2004, por el que se establecen las condiciones higiénico-sanitarias para la prevención y el control de la legionelosis.

## 6.3.- TRATAMIENTO RESIDUOS GENERADOS EN LA PLANTA

El problema de los efluentes industriales está íntimamente relacionado con la contaminación ambiental, ya que es una de sus causas. La denominación de efluentes industriales se aplica a un conjunto muy variado de residuos que se obtienen como consecuencia de la actividad industrial.

Las industrias pueden generar residuos líquidos, sólidos o gaseosos. Aunque estos últimos ocasionan problemas graves como es el caso de gases muy tóxicos como el anhídrido sulfuroso o el ácido cianhídrico, los efluentes líquidos y sólidos son los que tienen mayor interés para la Microbiología Industrial, dadas las posibilidades que ofrecen los métodos biológicos para el tratamiento o aprovechamiento de los mismos.

Las soluciones que pueden aplicarse para resolver el problema de la contaminación ambiental derivados de los efluentes industriales, que son los más perjudiciales, pueden ser:

---

*6. Medio ambiente*

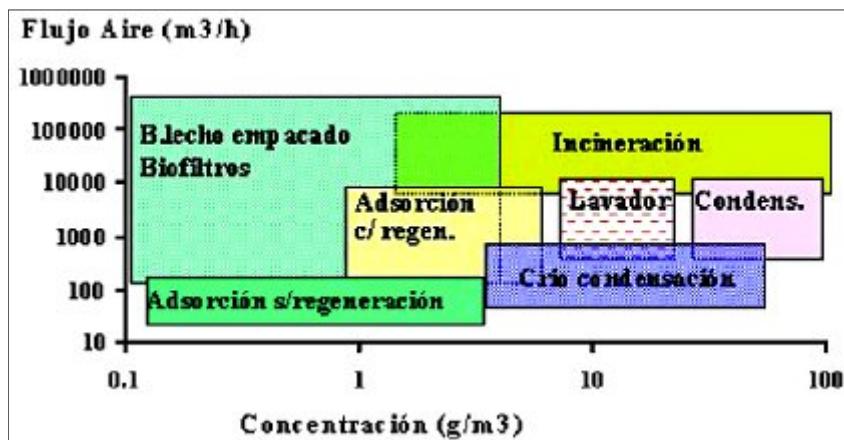
1. Modificación de operaciones y procesos en las plantas industriales, compatibles con la producción y calidad de los productos a obtener, con el objeto de disminuir o minimizar los volúmenes de los efluentes o la concentración de materia orgánica en las descargas.
2. Tratamiento de los efluentes por métodos físicos, químicos y biológicos, con el fin de reducir la DBO de los mismos hasta los límites fijados por las reglamentaciones vigentes.
3. Aprovechamiento integral o parcial de los efluentes para recuperar productos valiosos, que ofrezcan alguna rentabilidad interesante. Como la primera solución no corresponde por lo general al campo de la Microbiología Industrial, trataremos solamente los aspectos relacionados con las otras dos en relación con los métodos biológicos.

Para tal fin, es conveniente considerar primero los aspectos fundamentales del tema para desarrollar después los métodos de tratamiento, la metodología para determinar la calidad del efluente, los métodos de aprovechamiento, y finalmente la estrategia general para encarar el problema de la contaminación.

#### **6.3.1.- Efluentes gaseosos**

Una planta de acrilonitrilo deberá tener instalaciones para incinerar residuos de proceso y quemar también el cianuro de hidrógeno.

Para escoger el tratamiento de los efluentes, se ha consultado el siguiente diagrama. En él se muestra el tratamiento óptimo en función de la concentración de contaminantes (compuestos volátiles orgánicos) y del flujo de aire a tratar.



**Figura 6.3.1.- Métodos de tratamiento de gases en función del flujo de aire y la concentración**

Después de consultar bibliográficamente, se determinó que el método más adecuado para mezclas de componentes volátiles orgánicos y mezclas con ácido cianhídrico es la incineración. La incineración es una oxidación rápida de los compuestos orgánicos, que en presencia de oxígeno se transforman en  $H_2O$  y  $CO_2$ .

Los procesos de combustión pueden ser de diversos tipos, siendo los fundamentales los siguientes:

- ANTORCHAS: Se llevan los gases directamente a quemar en lo alto de una chimenea, sin un control de calidad a la salida que garantice la correcta combustión de los gases. Se generan óxidos de nitrógeno y se requieren grandes cantidades de combustible, por lo que se usa en situaciones en las que se dispone de un corriente a incinerar muy rico en hidrocarburos, como es el caso de los excedentes del proceso de refinado del petróleo. Es una técnica de tratamiento de gases de baja eficacia, inversión baja y coste de operación bajo.
- OXIDACIÓN TÉRMICA: La combustión se lleva a cabo en un horno alimentado con combustible y aire. La calidad de los gases a la salida puede ser controlada y el calor de éstos aprovechado para calentar el corriente de entrada, ahorrando así en combustible. Se utiliza cuando la concentración de COVs es demasiado baja como para llevar a cabo la combustión correctamente, y cuando se requiere un

---

*6. Medio ambiente*

buen control de los gases de salida. Es una técnica de tratamiento de gases de alta eficacia, inversión media y coste de operación alto.

- OXIDACIÓN CATALÍTICA: Es como una incineración térmica pero con catalizador, cosa que permite trabajar a menor temperatura. Esto permite gastar menos combustible durante la operación, puesto que hay que llevar los gases a una temperatura menor en la cámara de combustión. Es una técnica de tratamiento de alta eficacia, inversión alta y coste de operación bajo. La oxidación catalítica se recomienda para tratar corrientes con COVs que requieran una alta eficacia de eliminación, con una concentración baja.

Los gases residuales que se generan principalmente en la planta de producción de acrilonitrilo son:

- 1) Columna absorción (CA-302). El corriente gaseoso contiene, sustancias no condensables (nitrógeno, oxígeno, monóxido de carbono, dióxido de carbono y propileno), además de agua vaporizada y restos de contaminantes orgánicos. Para tratar este caudal se opta por quemarlo con una antorcha.
- 2) Columna (CD-502). Es la columna donde tiene lugar la purificación de ácido cianhídrico. Este contiene básicamente ácido cianhídrico y se decide tratarlo con oxidación catalítica.

Es importante destacar que los equipos escogidos serán sobredimensionados, para que pueda tratar mayor cantidad de gases y así solventar una fuga de estos, provenientes del parque de tanques o de alguna otra zona de la planta.

#### 6.3.1.1.- Tratamiento efluente de gas generado en la columna absorción (CA-302)

Las características del efluente de gas, que sale por arriba de la torre de absorción se deben de tratar para que cumpla la normativa vigente anteriormente nombrada, son:

**Tabla 6.3.1.- Características del efluente gaseoso a tratar**

Columna absorción CA-302		
Corriente en estado gas	306	
Temperatura (°C)	2,836	
Presión (bar)	1,013	
Fracción de vapor	1,000	
Caudal molar (kmol/h)	1998,742	
Caudal másico (kg/h)	57553,698	
Caudal volumétrico (m³/h)	45221,667	
Densidad (kg/m³)	1,273	
Entalpía (Gcal/h)	-8,326	
COMPONENTES	FRACCIÓN MÁSICA	Caudal másico [Kg/h]
N <sub>2</sub>	0,862	49614,908
O <sub>2</sub>	3,00E-02	1702,112
C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	2,50E-02	1415,066
C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> O=ACR	5,15E-07	5,61E-02
C <sub>3</sub> H <sub>3</sub> N=AN	2,00E-03	97,471
C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> N=ACN	2,50E-05	1,437
HCN	3,16E-07	2,70E-02
CO <sub>2</sub>	4,70E-02	2693,544
CO	3,00E-02	1737,288
H <sub>2</sub> O	5,00E-03	267,102

Ahora se calcula el caudal volumétrico molar a condiciones normales para encontrar las concentraciones de cada compuesto a tratar.

$$Q_v \left[ \frac{m^3}{h} \right] = \frac{n \cdot R \cdot T}{P} = \frac{1998,742 \cdot 0,082 \cdot 273}{1} = 44743,838 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

Donde,

Q<sub>v</sub>: caudal volumétrico del gas

n: caudal molar gas [1998,742 kmol/h]

R: constante gases [0,082 (atm·m<sup>3</sup>)/(kmol·K)]

P: Presión [1 atm]

T: Temperatura [273 K]

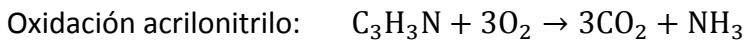
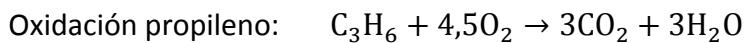
Las concentraciones a la entrada son:

**Tabla 6.3.2.- Concentraciones componentes del efluente gaseoso a tratar**

<b>Gases a tratar columna absorción CA-302</b>	
<b>Componente</b>	<b>Concentración [mg/Nm<sub>3</sub>]</b>
<b>N<sub>2</sub></b>	1108865,707
<b>O<sub>2</sub></b>	38041,260
<b>C<sub>3</sub>H<sub>6</sub></b>	31625,947
<b>C<sub>3</sub>H<sub>4</sub>O=ACR</b>	0,663
<b>C<sub>3</sub>H<sub>3</sub>N=AN</b>	2178,428
<b>C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>N=ACN</b>	32,111
<b>CO<sub>2</sub></b>	60199,217
<b>CO</b>	38827,424
<b>H<sub>2</sub>O</b>	5969,582
<b>HCN</b>	0,406

Como se ve hay concentraciones de compuestos que requieren ser tratados quemándolos en una antorcha. El ácido cianhídrico no hace falta tratarlo ya que se encuentra dentro de los límites de emisión permitidos.

Les reacciones que se llevan a cabo son las de combustión de los distintos compuestos:



Para producirse estas reacciones es necesario una cierta cantidad de oxígeno. Para conocer la cantidad necesaria de este hace falta realizar estos cálculos:

$$\frac{5,295 \cdot 10^{-4} \text{ kmol ACR}}{\text{h}} \cdot \frac{3,5 \text{ kmol O}_2}{1 \text{ kmol ACR}} \cdot \frac{32 \text{ kg O}_2}{1 \text{ kmol O}_2} \cdot \underbrace{\frac{99,9}{100}}_{\% \text{ eliminación}} = 0,0592 \text{ kg O}_2/\text{h}$$

$$\frac{33,628 \text{ kmol C}_3\text{H}_6}{\text{h}} \cdot \frac{4,5 \text{ kmol O}_2}{1 \text{ kmol C}_3\text{H}_6} \cdot \frac{32 \text{ kg O}_2}{1 \text{ kmol O}_2} \cdot \underbrace{\frac{99,9}{100}}_{\% \text{ eliminación}} = 4794,008 \text{ kg O}_2/\text{h}$$

## 6. Medio ambiente

$$\frac{1,839 \text{ kmol AN}}{\text{h}} \cdot \frac{3 \text{ kmol O}_2}{1 \text{ kmol AN}} \cdot \frac{32 \text{ kg O}_2}{1 \text{ kmol O}_2} \cdot \frac{99,9}{\underbrace{100}_{\% \text{ eliminación}}} = 174,588 \text{ kg O}_2/\text{h}$$

$$\frac{3,510 \cdot 10^{-2} \text{ kmol ACN}}{\text{h}} \cdot \frac{2 \text{ kmol O}_2}{1 \text{ kmol ACN}} \cdot \frac{32 \text{ kg O}_2}{1 \text{ kmol O}_2} \cdot \frac{99,9}{\underbrace{100}_{\% \text{ eliminación}}} = 2,218 \text{ kg O}_2/\text{h}$$

$$\frac{62,046 \text{ kmol CO}}{\text{h}} \cdot \frac{0,5 \text{ kmol O}_2}{1 \text{ kmol CO}} \cdot \frac{32 \text{ kg O}_2}{1 \text{ kmol O}_2} \cdot \frac{99,9}{\underbrace{100}_{\% \text{ eliminación}}} = 982,809 \text{ kg O}_2/\text{h}$$

La cantidad de oxígeno que el proceso de incineración requiere para la eliminación del 99,9% de los contaminantes es de 5953,68 kg/h. Como el gas a tratar solo lleva 1702,112 kg/h de este hace, falta un aporte muy grande de aire para que queme. Este corriente es muy pobre en oxígeno y muy rico en nitrógeno, esto es un inconveniente para la combustión.

También se calcula la cantidad de CO<sub>2</sub> producido mediante:

$$\frac{5,295 \cdot 10^{-4} \text{ kmol ACR}}{\text{h}} \cdot \frac{3 \text{ kmol CO}_2}{1 \text{ kmol ACR}} \cdot \frac{44 \text{ kg CO}_2}{1 \text{ kmol CO}_2} \cdot \frac{99,9}{\underbrace{100}_{\% \text{ eliminación}}} = 4435,465 \text{ kg CO}_2/\text{h}$$

$$\frac{33,628 \text{ kmol C3H6}}{\text{h}} \cdot \frac{3 \text{ kmol CO}_2}{1 \text{ kmol C3H6}} \cdot \frac{44 \text{ kg CO}_2}{1 \text{ kmol CO}_2} \cdot \frac{99,9}{\underbrace{100}_{\% \text{ eliminación}}} = 6,98 \cdot 10^{-2} \text{ kg CO}_2/\text{h}$$

$$\frac{1,839 \text{ kmol AN}}{\text{h}} \cdot \frac{3 \text{ kmol CO}_2}{1 \text{ kmol AN}} \cdot \frac{44 \text{ kg CO}_2}{1 \text{ kmol O}_2} \cdot \frac{99,9}{\underbrace{100}_{\% \text{ eliminación}}} = 242,297 \text{ kg CO}_2/\text{h}$$

$$\frac{3,510 \cdot 10^{-2} \text{ kmol ACN}}{\text{h}} \cdot \frac{2 \text{ kmol CO}_2}{1 \text{ kmol ACN}} \cdot \frac{44 \text{ kg CO}_2}{1 \text{ kmol CO}_2} \cdot \frac{99,9}{\underbrace{100}_{\% \text{ eliminación}}} = 3,078 \text{ kg CO}_2/\text{h}$$

$$\frac{62,046 \text{ kmol CO}}{\text{h}} \cdot \frac{2 \text{ kmol CO}_2}{1 \text{ kmol CO}} \cdot \frac{44 \text{ kg CO}_2}{1 \text{ kmol CO}_2} \cdot \frac{99,9}{\underbrace{100}_{\% \text{ eliminación}}} = 5455,828 \text{ kg CO}_2/\text{h}$$

La producción total de CO<sub>2</sub> es de 10136,74 kg/h. Este es el caudal de salida de CO<sub>2</sub>, así que ahora ya se sabe el coste de emisión de este.

Se ha escogido una antorcha de combustión de gases para suministrada por "Combustion Tornado S.A.".



*Figura 6.3. 2.- Imagen de la antorcha de tratamiento de gases.*

Se eligió la adquisición de esta antorcha de manera que fuera capaz de tratar unos rangos de caudales similares a los de nuestro proceso. La eficiencia de la antorcha es dependiente de las condiciones ambientales externas, pero esta mantiene 99,9% de eficiencia en todos los casos. Las ventajas de este equipo son:

- Destrucción de todo tipo de gases incluyendo los peligrosos
- Elimina los olores
- No tiene flama visible
- Ocupa poco espacio
- Mínima atención operacional
- No radiación al suelo

#### 6.3.1.2.- Tratamiento efluente de gas generado en la columna de purificación del HCN (CD-502)

Las características del efluente de gas, que sale por arriba de la columna y que se debe tratar para que cumpla la normativa vigente anteriormente nombrada, son:

**Tabla 6.3.3.- Características del efluente gaseoso a tratar**

Columna absorción CD-502		
Corriente en estado gas	502	
Temperatura (ºC)	-9,987	
Presión (bar)	5,066	
Fracción de vapor	1,000	
Caudal molar (kmol/h)	31,000	
Caudal másico (kg/h)	1081,220	
Caudal volumétrico (m <sup>3</sup> /h)	130,018	
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	8,316	
Entalpía (Gcal/h)	-0,436	
COMPONENTES	FRACCIÓN MÁSICA	Caudal másico [Kg/h]
N <sub>2</sub>	0,364	393,564
O <sub>2</sub>	3,86E-02	41,735
C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	3,51E-01	380,026
HCN	2,15E-02	23,192
CO <sub>2</sub>	2,07E-01	223,986
CO	1,70E-02	18,370

Para tratar este gas se opta por hacer una oxidación catalítica, ya que tenemos ácido cianhídrico y propileno que se deben oxidar a CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O.

Ahora se calcula el caudal volumétrico molar a condiciones normales para encontrar las concentraciones de cada compuesto a tratar.

$$Q_v \left[ \frac{m^3}{h} \right] = \frac{n \cdot R \cdot T}{P} = \frac{31 \cdot 0,082 \cdot 273}{1} = 693,966 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

Donde,

Q<sub>v</sub>: caudal volumétrico del gas

n: caudal molar gas [31 kmol/h]

R: constante gases [0,082 (atm·m<sup>3</sup>)/(kmol·K)]

P: Presión [1 atm]

T: Temperatura [273 K]

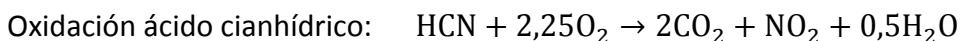
Las concentraciones a la entrada son:

**Tabla 6.3.4.- Concentraciones componentes del efluente gaseoso a tratar**

<b>Gases a tratar columna absorción CD-502</b>	
<b>Componente</b>	<b>Concentración [mg/Nm<sup>3</sup>]</b>
N <sub>2</sub>	567123,000
O <sub>2</sub>	60139,967
C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	547614,748
CO <sub>2</sub>	33419,748
CO	322761,540
HCN	26470,933

Como se observa, las concentraciones de compuestos de ácido cianhídrico, propileno y monóxido de carbono, son muy elevadas por lo tanto deben ser oxidados en un reactor catalítico.

Las reacciones que se llevan a cabo son las de combustión de los distintos compuestos:



Para producirse estas reacciones es necesario una cierta cantidad de oxígeno. Para conocer la cantidad necesaria de este hace falta realizar estos cálculos:

$$\frac{9,031 \text{ kmol C}_3\text{H}_6}{\text{h}} \cdot \frac{4,5 \text{ kmol O}_2}{1 \text{ kmol C}_3\text{H}_6} \cdot \frac{32 \text{ kg O}_2}{1 \text{ kmol O}_2} \cdot \frac{99,9}{\frac{100}{\% \text{ eliminación}}} = 1287,465 \text{ kg O}_2/\text{h}$$

$$\frac{7,999 \text{ kmol CO}}{\text{h}} \cdot \frac{0,5 \text{ kmol O}_2}{1 \text{ kmol CO}} \cdot \frac{32 \text{ kg O}_2}{1 \text{ kmol O}_2} \cdot \frac{99,9}{\frac{100}{\% \text{ eliminación}}} = 126,712 \text{ kg O}_2/\text{h}$$

$$\frac{0,680 \text{ kmol HCN}}{\text{h}} \cdot \frac{2,25 \text{ kmol O}_2}{1 \text{ kmol CO}} \cdot \frac{32 \text{ kg O}_2}{1 \text{ kmol O}_2} \cdot \frac{99,9}{\frac{100}{\% \text{ eliminación}}} = 48,451 \text{ kg O}_2/\text{h}$$

La cantidad de oxígeno que el proceso de incineración requiere para la eliminación del 99,9% de los contaminantes es de 1462,63 kg/h. Como el gas a tratar solo lleva 41,735

*6. Medio ambiente*

kg/h de este hace, falta un aporte muy grande de aire para que queme. Este corriente es muy pobre en oxígeno y muy rico en nitrógeno, esto es un inconveniente para la combustión.

También se calcula la cantidad de CO<sub>2</sub> producido mediante:

$$\frac{9,031 \text{ kmol C3H}_6}{\text{h}} \cdot \frac{3\text{kmol CO}_2}{1\text{kmol C3H}_6} \cdot \frac{44\text{kg CO}_2}{1\text{kmol CO}_2} \cdot \frac{99,9}{\underbrace{100}_{\% \text{ eliminación}}} = 1191,175 \text{ kg CO}_2/\text{h}$$

$$\frac{7,999 \text{ kmol CO}}{\text{h}} \cdot \frac{2\text{kmol CO}_2}{1\text{kmol CO}} \cdot \frac{44\text{kg CO}_2}{1\text{kmol CO}_2} \cdot \frac{99,9}{\underbrace{100}_{\% \text{ eliminación}}} = 703,410 \text{ kg CO}_2/\text{h}$$

$$\frac{0,680 \text{ kmol HCN}}{\text{h}} \cdot \frac{2\text{kmol CO}_2}{1\text{kmol CO}} \cdot \frac{44\text{kg CO}_2}{1\text{kmol CO}_2} \cdot \frac{99,9}{\underbrace{100}_{\% \text{ eliminación}}} = 49,770 \text{ kg CO}_2/\text{h}$$

La producción total de CO<sub>2</sub> es de 1954,356 kg/h. Este es el caudal de salida de CO<sub>2</sub>, así que ahora ya se sabe el coste de emisión de este.

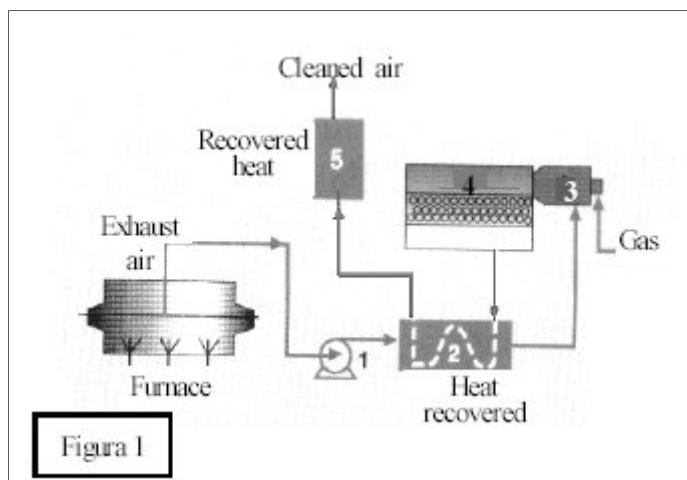
Debido a la dificultad de diseño de la cámara de oxidación se ha decidido comprar el sistema de tratamiento a *Haldor Topsoe A.S.* Es un sistema que tiene instalado más de 160 unidades de combustión catalítica para remover solventes y otros compuestos orgánicos del aire de salida eficazmente.

Las aplicaciones típicas incluyen plantas de anhídrido maleíco, ftálico, tereftálico y otros de síntesis orgánica, procesos de curtido y secado de polímeros , industrias que producen un aire de salida contaminado con sulfuros, HCN, cloruros y CO, industria farmacéutica y química. El caso de la planta de acrilonitrilo recae dentro ya que es una industria de química orgánica y con contaminantes a la salida de ácido cianhídrico. A continuación se describe el proceso.

En el proceso el aire de salida es movido por el compresor (1) y precalentado a 280 °C en un intercambiador de calor gas/gas (2), antes del reactor catalítico (4), el aire de

*6. Medio ambiente*

salida puede, si se requiere, calentarse por el calentador (3), usando gas natural o electricidad. La temperatura de entrada para la combustión es 280 °C. En el reactor catalítico, más del 99% de todos los combustibles son oxidados a CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O, la temperatura del aire de salida. El aire limpio puede enfriarse un poco más en el intercambiador de calor (5). El calor puede recuperarse en muchas formas.



**Figura 6.3.3.- Sistema de tratamiento de los gases generados a la planta.**

### 6.3.2.- Efluentes líquidos

Se debe considerar el tratamiento de efluentes líquidos residuales como una parte importante ya que se generan grandes cantidades de estos.

Para elegir el tratamiento de los diferentes efluentes líquidos originados en el proceso de obtención de acrilonitrilo, se deben realizar una serie de cálculos para comprobar si se cumplen los límites establecidos por la normativa vigente. En este caso, como ya se mencionó anteriormente, se deben cumplir los parámetros recogidos en el Anexo II del Decreto 130/2003 de 13 de mayo, por el que se aprueba el Reglamento de los servicios públicos de saneamiento, que son:

**Tabla 6.3.5.- Parámetros tratables en las EDAR y con impacto poco significativo sobre los objetivos de calidad del medio receptor.**



Parámetros	V	U	
T (°C)	40	°C	
PH (intervalo)	6-10	pH	
MES (Materias en suspensión)	750	mg/l	
DBO <sub>5</sub>	750	mg/l	O <sub>2</sub>
DQO	1.500	mg/l	O <sub>2</sub>
Aceites y grasas	250	mg/l	
Cloruros	2.500	mg/l	Cl <sup>-</sup>
Conductividad	6.000	µS/cm	
Dióxido de azufre	15	mg/l	SO <sub>2</sub>
Sulfatos	1.000	mg/l	SO <sub>4</sub>
Sulfuros totales	1	mg/l	S <sup>2-</sup>
Sulfuros disueltos	0,3	mg/l	S <sup>2-</sup>
Fósforo total	50	mg/l	P
Nitratos	100	mg/l	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Amonio	60	mg/l	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
Nitrógeno orgánico y amoniacial (1)	90	mg/l	N

## 6. Medio ambiente

**Tabla 6.3.6.- Parámetros contaminantes difícilmente tratables en las EDAR y con significativo impacto sobre los objetivos de calidad del medio receptor y los usos potenciales de las aguas depuradas.**



Parámetros	V	U	
Cianuros	1	mg/l	CN-
Índice de fenoles	2	mg/l	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH
Fluoruros	12	mg/l	F-
Aluminio	20	mg/l	Al
Arsénico	1	mg/l	As
Bario	10	mg/l	Ba
Boro	3	mg/l	B
Cadmio	0,5	mg/l	Cd
Cobre	3	mg/l	Cu
Cromo hexavalente	0,5	mg/l	Cr (VI)
Cromo total	3	mg/l	Cr
Estaño	5	mg/l	Sn
Hierro	10	mg/l	Fe
Manganoso	2	mg/l	Mn
Mercurio	0,1	mg/l	Hg
Níquel	5	mg/l	Ni
Plomo	1	mg/l	Pb
Selenio	0,5	mg/l	Se
Cinc	10	mg/l	Zn
MI (Materias inhibidoras)	25	Equitox	
Color	Inapreciable en dilución 1/30		
Nonilfenol	1	mg/l	NP
Tensioactivos aniónicos (2)	6	mg/l	LSS
Plaguicidas totales	0,10	mg/l	
Hidrocarburos aromáticos policíclicos	0,20	mg/l	
BTEX (3)	5	mg/l	
Triazinas totales		0,30	mg/l
Hidrocarburos	15	mg/l	
AOX (4)	2	mg/l	Cl
Cloroformo	1	mg/l	Cl <sub>3</sub> CH
1,2 Dicloroetano	0,4	mg/l	Cl <sub>2</sub> C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>
Tricloroetileno (TRI)	0,4	mg/l	Cl <sub>3</sub> C <sub>2</sub> H
Percloroetileno (PER)	0,4	mg/l	Cl <sub>4</sub> C <sub>2</sub>
Triclorobenceno	0,2	mg/l	Cl <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>3</sub>
Tetracloruro de carbono	1	mg/l	Cl <sub>4</sub> C
Tributilestaño	0,10	mg/l	

*6. Medio ambiente*

Los efluentes líquidos a tratar son:

- Corriente 505: Agua residual proveniente de la purificación de ácido cianhídrico
- Corriente 606: Polímero acrilonitrilo
- Corriente 802: Agua residual generada en proceso

6.3.2.1.- Tratamiento efluente 505 generado en la planta

Para empezar, hace falta conocer las composiciones y las concentraciones de los efluentes a tratar para así saber que sustancias son las que requieren tratamiento.

**Tabla 6.3.7.- Composiciones, caudales y concentraciones del efluente a tratar**

Residuo líquido resultante de la purificación de HCN			
Componente	Caudal másico [Kg/h]	Fracción másica	Concentración [mg/l]
<b>C3H4O=ACR</b>	1,869	0,039	29175,225
<b>C3H3N=AN</b>	41,573	0,874	648866,502
<b>C2H3N=ACN</b>	0,001	1,80E-05	13,392
<b>H2O</b>	1,594	0,034	24882,129
<b>HCN</b>	2,546	0,054	39737,131

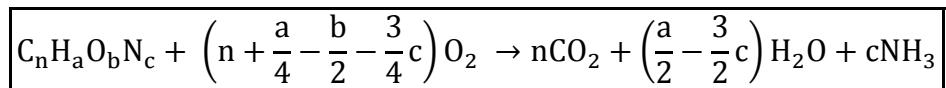
Para calcular la concentración se utiliza la siguiente expresión:

$$[C. \text{orgánico}] (\text{mg/l}) = \frac{\text{Caudal másico compuesto} \left( \frac{\text{kg}}{\text{h}} \right)}{\text{Caudal volumétrico total} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)} \cdot \frac{10^6 \text{ mg}}{1 \text{ kg}} \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}}$$

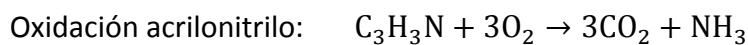
Seguidamente se calculará la demanda química de oxígeno (DQO), que requiere saber la concentración de cada compuesto y la relación estequiometria de cada uno.

*6. Medio ambiente*

La relación estequiométrica de cada compuesto en relación al oxígeno, se calcula mediante:



Así se obtienen:



Entonces la DQO se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$[DQO] \left( \frac{mg\ O_2}{l} \right) = [C. orgánico] \left( \frac{mg}{l} \right) \cdot \frac{PM\ O_2}{PM\ compuesto} \cdot \frac{moles\ O_2\ teóricos}{1mol\ compuesto}$$

Los moles teóricos de oxígeno necesarios para los diferentes compuestos de la corriente a tratar, son los que se obtienen del coeficiente estequiométrico del oxígeno de las reacciones de oxidación de cada compuesto:

COMPONENTE ORGÁNICO	OXÍGENO TEÓRICO
ACROLEÍNA	3,5
ACRILONITRILLO	3
ACETONITRILLO	2

Como resultado de estos cálculos se obtiene la tabla presentada a continuación.

**Tabla 6.3.8.- Cantidad de demanda de oxígeno (DQO) del efluente a tratar**

Componente	DQO [mg/l]
C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> O=ACR	58288,0
C <sub>3</sub> H <sub>3</sub> N=AN	1173976,3
C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> N=ACN	20,9
H <sub>2</sub> O	-
HCN	-
	1232285,21

---

6. Medio ambiente

Ahora ya se tienen los parámetros suficientes para escoger el tratamiento adecuado del efluente.

Este es un efluente que está muy concentrado, con poca agua, pero que contiene al mismo tiempo sustancias muy contaminantes. Por un lado, se observa que la concentración de DQO no supera el límite permitido de 1500 mg/l que marca la normativa vigente. Teniendo en cuenta solo este factor, el efluente se podría verter al alcantarillado para que después pase por la EDAR de Tarragona. Pero eso no puede ser así, por qué se tiene una concentración muy elevada de acrilonitrilo y este es muy tóxico por el medio ambiente y la salud. Esta sustancia según la normativa se considera como: *Residuo industrial o comercial que, por sus concentraciones o características tóxicas o peligrosas requiere un tratamiento específico y/o control periódico de sus efectos nocivos potenciales*. Como consecuencia su vertido está prohibido.

Por otro lado, el efluente a tratar también tiene una concentración muy elevada de cianuros, supera el límite permitido de 1mg/l. El cianuro es una sustancia tóxica y eso implica un límite de vertido muy restrictivo.

Sabiendo la toxicidad del efluente a tratar se ha decidido descartar la posibilidad de hacer un tratamiento en la planta ya que el tratarse de un efluente pequeño, con muy poca agua y mayor cantidad de tóxicos se decide mandar el efluente a tratamiento externo, a una empresa gestora de residuos llamada *GRECAT*. Esta empresa se encuentra cerca de la planta.

#### 6.3.2.2.- Tratamiento efluente 606 generado en la planta

Este efluente corresponde al acrilonitrilo polimerizado. Para eliminar este residuo, se decide enviarlo a tratamiento externo, ya que se trata de un corriente pequeño. La empresa gestora *GRECAT*, se encargará del tratamiento.

Los costes que suponen el tratamiento externo son contemplados en el punto de evaluación económica de la planta.

6.3.2.3.- Tratamiento efluente 802 generado en la planta

Este efluente engloba todos los corrientes residuales líquidos generados a lo largo del proceso, exceptuando los dos efluentes explicados en anterioridad (el 505 y 606)

Para empezar, hace falta conocer las composiciones y las concentraciones de los efluentes a tratar para así saber que sustancias son las que requieren tratamiento.

**Tabla 6.3.9.- Composiciones, caudales y concentraciones del efluente a tratar**

Residuo líquido resultante total del proceso			
Corriente en estado líquido		802	
Temperatura (ºC)		62,100	
Presión (bar)		1,000	
Fracción de vapor		-	
Caudal molar (kmol/h)		1062,346	
Caudal másico (kg/h)		19271,589	
Caudal volumétrico (m <sup>3</sup> /h)		20,256	
Entalpía (Gcal/h)		-71,325	
Componente	Caudal másico [Kg/h]	Fracción másica	Concentración [mg/l]
C3H4O=ACR	6,360	3,30E-04	313,962
C3H3N=AN	366,160	1,90E-02	18076,629
C2H3N=ACN	1,097	5,69E-05	54,135
H2O	19040,330	0,988	939984,693
HCN	0,013	6,51E-07	0,620

Observando la tabla adjuntada se puede estudiar cual es el tratamiento más adecuado para poder eliminar los contaminantes presentes. Por un lado, se ve que la cantidad de cianuros no supera el límite permitido según la normativa vigente de 1mg/l ya que este contiene 0,62 mg/l. En este caso la eliminación de los cianuros no es el objetivo del tratamiento. Por otro lado, sí que es el objetivo eliminar los compuestos orgánicos, acroleína, acrilonitrilo y el acetonitrilo presentes, ya que son tóxicos y son sustancias prohibidas para el vertido en una EDAR. También, hace falta remarcar que este efluente contiene gran cantidad de agua.

*6. Medio ambiente*

Seguidamente se calculará la demanda química de oxígeno (DQO), que requiere saber la concentración de cada compuesto y la relación estequiométrica de cada uno.



Entonces la DQO se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$[\text{DQO}] \left( \frac{\text{mg O}_2}{\text{l}} \right) = [\text{C. orgánico}] \left( \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right) \cdot \frac{\text{PM O}_2}{\text{PM compuesto}} \cdot \frac{\text{moles O}_2 \text{ teóricos}}{1\text{mol compuesto}}$$

Los moles teóricos de oxígeno necesarios para los diferentes compuestos de la corriente a tratar, son los que se obtienen del coeficiente estequiométrico del oxígeno de las reacciones de oxidación de cada compuesto:

COMPONENTE ORGÁNICO	OXÍGENO TEÓRICO
ACROLEÍNA	3,5
ACRILONITRILLO	3
ACETONITRILLO	2

Como resultado de estos cálculos se obtiene la Tabla 6.3.2.3.2.- de continuación:

**Tabla 6.3.10.- Cantidad de demanda de oxígeno (DQO)**

Componente	DQO [mg/l]
C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> O=ACR	627,3
C <sub>3</sub> H <sub>3</sub> N=AN	32705,5
C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> N=ACN	84,4
H <sub>2</sub> O	-
HCN	-
	33417,20

Ahora ya se ha comprobado que este efluente supera el límite de DQO permitido según la normativa, ya que contiene más de 1500 mg/l.

---

*6. Medio ambiente*

Debido a la toxicidad del corriente a tratar se ha descartado emprar un tratamiento biológico, aunque se ha encontrado una patente (Degradación microbiana de residuos. 11 Nº de publicación: ES 2 036 588) que consideraba viable la aplicación de tratamientos biológicos en los corrientes residuales provenientes de una planta de fabricación de acrilonitrilo, usando un mixto concreto de microorganismos.

Dicho esto, se ha conducido el estudio del efluente a tratamientos de origen físico-químico. Estos procesos fisicoquímicos son capaces de producir cambios profundos en la estructura química de los contaminantes y pueden lograr su oxidación completa bajo determinadas condiciones, por esto están entre las técnicas de oxidación más efectivas y tienen un papel crucial en el tratamiento de agua.

Después de estudiar distintas posibilidades, se ha escogido un tratamiento químico conocido por el nombre de PROCESO FENTON, para poder eliminar los compuestos orgánicos y tóxicos contaminantes presentes en el agua residual. A continuación, se explica en qué consiste este tratamiento escogido:

De todos los métodos posibles, se considera el **proceso de oxidación avanzada** con reactivo Fenton la mejor opción de tratamiento para las características del corriente. Conocido ya el método adecuado de tratamiento, se pasa a explicar este de forma detallada.

En este proceso se añade el peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) catalizado con iones  $Fe^{2+}$ . Este es un oxidante fuerte (su potencial estándar es de 1.80 y 0.87 V a pH 0 y 14 respectivamente) y su aplicación en el tratamiento de varios contaminantes orgánicos e inorgánicos está bien establecida.

Esta reacción se fundamenta en base a la catalización del peróxido de hidrógeno con hierro (II). La oxidación de compuestos orgánicos mediante procesos Fenton, tiene lugar en disolución o por contacto del afluente residual y los reactivos (catalizador de

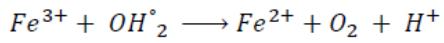
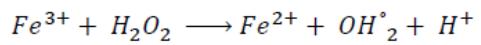
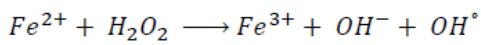
---

6. Medio ambiente

hierro y el peróxido de hidrógeno) durante el tiempo necesario para completar la reacción. Ésta ha de tener lugar en un medio ácido, ya que si el medio fuese básico, el hidróxido férrico precipitaría. De ahí la importancia de realizar un correcto control de pH a lo largo del proyecto desarrollado.

Los radicales hidroxilos oxidan los contaminantes a altas velocidades de reacción.

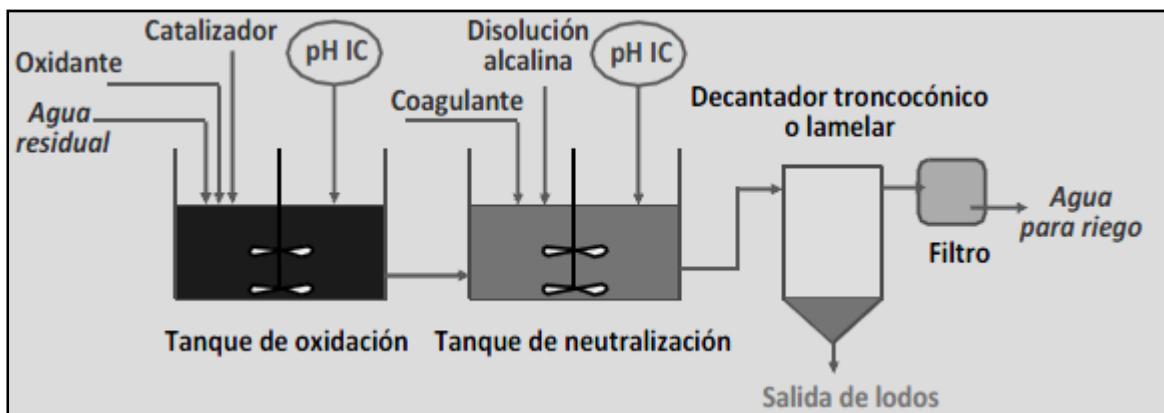
Los radicales hidroxilos son generados de acuerdo con las reacciones químicas:



La utilización de este método presenta numerosas ventajas: comparado con otros oxidantes, el  $H_2O_2$  resulta relativamente barato y no contamina el medioambiente ya que se descompone en agua y oxígeno. Por parte de las sales de hierro, tampoco suponen un gran problema para la naturaleza, aunque es necesaria su recuperación después del tratamiento. Esta recuperación se suele hacer añadiendo hidróxido de calcio o sosa cáustica hasta pH alcalino, de esta forma se precipitan las sales metálicas de hierro que posteriormente se separan por decantación o filtración.

A continuación se muestra el esquema de la instalación aplicar con el tratamiento del efluente mediante el proceso Fenton.

## 6. Medio ambiente

**Figura 6.3.4.- Esquema proceso Fenton.**

El proceso consta de tres etapas:

- 1a etapa: se añade el peróxido de hidrogeno y el  $\text{Fe}^{2+}$
- 2a etapa: etapa de neutralización
- 3a etapa: etapa de floculación
- 

Se colocan tres reactores en serie y en cada reactor se da una etapa distinta. Estos reactores deben ser de un material anticorrosivo y se ha escogido el acero inoxidable AISI 316.

Se propone hacer planta piloto de Fenton para asegurar su funcionamiento correcto.

Se encontraron relaciones de consumo de reactivos:

$$[\text{H}_2\text{O}_2] = 1 \cdot [\text{DQO}]_0$$

Con esta relación calculamos las cantidades de  $\text{H}_2\text{O}_2^+$  que se deben añadir:

$$\begin{aligned} & \frac{\text{DQO}}{33417,20 \frac{\text{mg O}_2}{1}} \cdot \frac{1 \frac{\text{mg H}_2\text{O}_2}{1}}{1 \frac{\text{mg O}_2}{1}} \cdot \frac{1000 \text{l}}{1 \text{m}^3} \cdot \frac{20,256 \text{ m}^3}{1 \text{h}} \cdot \frac{1 \text{kg}}{10^6 \text{ mg}} \cdot \frac{1 \text{ dm}^3 \text{ H}_2\text{O}_2}{1,195 \cdot \text{kg H}_2\text{O}_2} \\ & \cdot \underbrace{\frac{1 \text{ dm}^3 \text{ disol H}_2\text{O}_2}{0,50 \text{ dm}^3 \text{ H}_2\text{O}_2}}_{\text{proporción}} = 1132,885 \frac{\text{dm}^3 \text{ disol H}_2\text{O}_2}{\text{h}} \end{aligned}$$

Ahora, se puede calcular el volumen del reactor para llevar a cabo el proceso de oxidación. Sabiendo que el tiempo de residencia de un reactor donde se produce una oxidación avanzada mediante el proceso Fenton tiene una duración aproximada de 2 horas:

$$\begin{aligned} Q_{\text{total}}[\text{m}^3/\text{h}] &= Q_{\text{E.residual}} + Q_{\text{H}_2\text{O}_2} = 20,256 + \underbrace{\left( 1132,885 \frac{\text{dm}^3 \text{ H}_2\text{O}_2}{\text{h}} \cdot \frac{1\text{m}^3}{1000\text{dm}^3} \right)}_{1,132 \text{ m}^3/\text{h}} \\ &= 21,389 \text{ m}^3/\text{h} \\ V_{\text{reactor}}[\text{m}^3] &= \tau(\text{h}) \cdot Q_{\text{total}}[\text{m}^3/\text{h}] = 2\text{h} \cdot 21,389 = 42,78 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

El tratamiento requiere de una serie de 3 reactores de volúmenes aproximados de 45 m<sup>3</sup>.

El coste de proceso está íntimamente relacionado con el coste del reactivo H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y se estima en la evaluación económica general del proyecto.

### 6.3.3.- Sólidos

Entre los otros residuos generados en la planta de producción de acrilonitrilo, se encuentran los residuos sólidos que mayoritariamente se pueden diferenciar entre residuos de oficina y de desechos de equipos de proceso.

Para reducir el impacto ambiental de estos residuos se aplica en la planta la recogida selectiva.

Finalmente, también es importante destacar que el catalizador es también un residuo sólido que se genera en pocas cantidades, ya que la planta adopta un sistema de recuperación de este mediante ciclones. Como los ciclones no son eficientes al 100 % y parte de catalizador se pierde en el reactor sale a través del sistema de enfriamiento. La tasa típica de pérdida de catalizador se encuentra entre 0.3 y 0.7 kg/Tm acrilonitrilo, pero puede ser mayor debido a varios motivos como la pérdida de eficiencia de los ciclones. El catalizador gastado tiene la misma composición que el catalizador inicial

---

*6. Medio ambiente*

introducido en el reactor. La mejor técnica para separar los fines de catalizador arrastrado hasta el quench es la sedimentación o filtración.

#### **6.4.- EVALUACIÓN IMPACTO AMBIENTAL DE LA PLANTA**

La Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) es presentada y asumida como:

- i. Instrumento de política pública,
- ii. Procedimiento administrativo
- iii. Metodología para la ejecución de los estudios de impacto, los que son componente central de las EIA

Estas metodologías están encaminadas a identificar, predecir y evaluar los impactos ambientales de los proyectos, y sus resultados deben ser complementadas, en la presentación de los Estudios de Impacto Ambiental (EIA), con:

- iv. la descripción del proyecto en curso de evaluación,
- v. el plan de manejo
- vi. el sistema de monitoreo a ser aplicado.

La evaluación de impacto ambiental de proyecto constituye el instrumento más adecuado para la preservación de los recursos naturales y la defensa del medio ambiente.

La legislación a aplicar a Cataluña respecto al impacte ambiental es:

- Decreto 114/1988, de 7 de abril, de Evaluación de Impacto Ambiental.
- Decreto 136/1999, de 18 de mayo, por el que se aprueba el Reglamento general de despliegue de la Ley 3/1998, de 27 de febrero, de la intervención integral de la Administración ambiental.
- Orden de 21 de mayo de 1998, de creación de la Comisión Mixta que prevé la Ley 3/1998. Publicada en el DOGC 2659 de fecha 15.06.1998.

*6. Medio ambiente*

Para saber cuáles son las plantas que requieren un estudio de impacte ambiental se ha consultado la legislación estatal, concretamente a la Ley 6/2010, de 24 de marzo, por la cual se modifica el texto refundido de la ley de Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos, aprobado por Real Decreto 1/2008 de 11 de enero.

Ahora ya se puede corroborar que la planta de acrilonitrilo, requiere un estudio de impacto ambiental ya que se encuentra dentro del grupo de instalaciones químicas integradas.

Según el anexo I del Real Decreto 1/2008, la planta de fabricación de acrilonitrilo se encuentra clasificada dentro del grupo 5 clase A, que fa referencia a la industria química, petroquímica, textil y papelera.

#### **6.4.1.- Estudio de impacto ambiental**

Los estudios de impacto ambiental son un instrumento preventivo de gestión ambiental que permite definir en qué condiciones la implantación o ampliación de proyectos o actividades serán compatibles con el medio ambiente. Así pues, el objetivo básico de los estudios de impacto ambiental (EIA) es integrar la variable ambiental en los proyectos que puedan afectar el medio ambiente con la finalidad de prevenir el impacto ambiental y internalizar los costes ambientales de las primeras etapas conceptuales de los proyectos.

Los EIA identifican los posibles impactos, estiman sus efectos potencialmente significativos antes que el medio pueda sufrir las consecuencias y definen toda una serie de medidas y actuaciones que hay que adoptar en la ejecución del proyecto y durante su explotación.

## 6. Medio ambiente

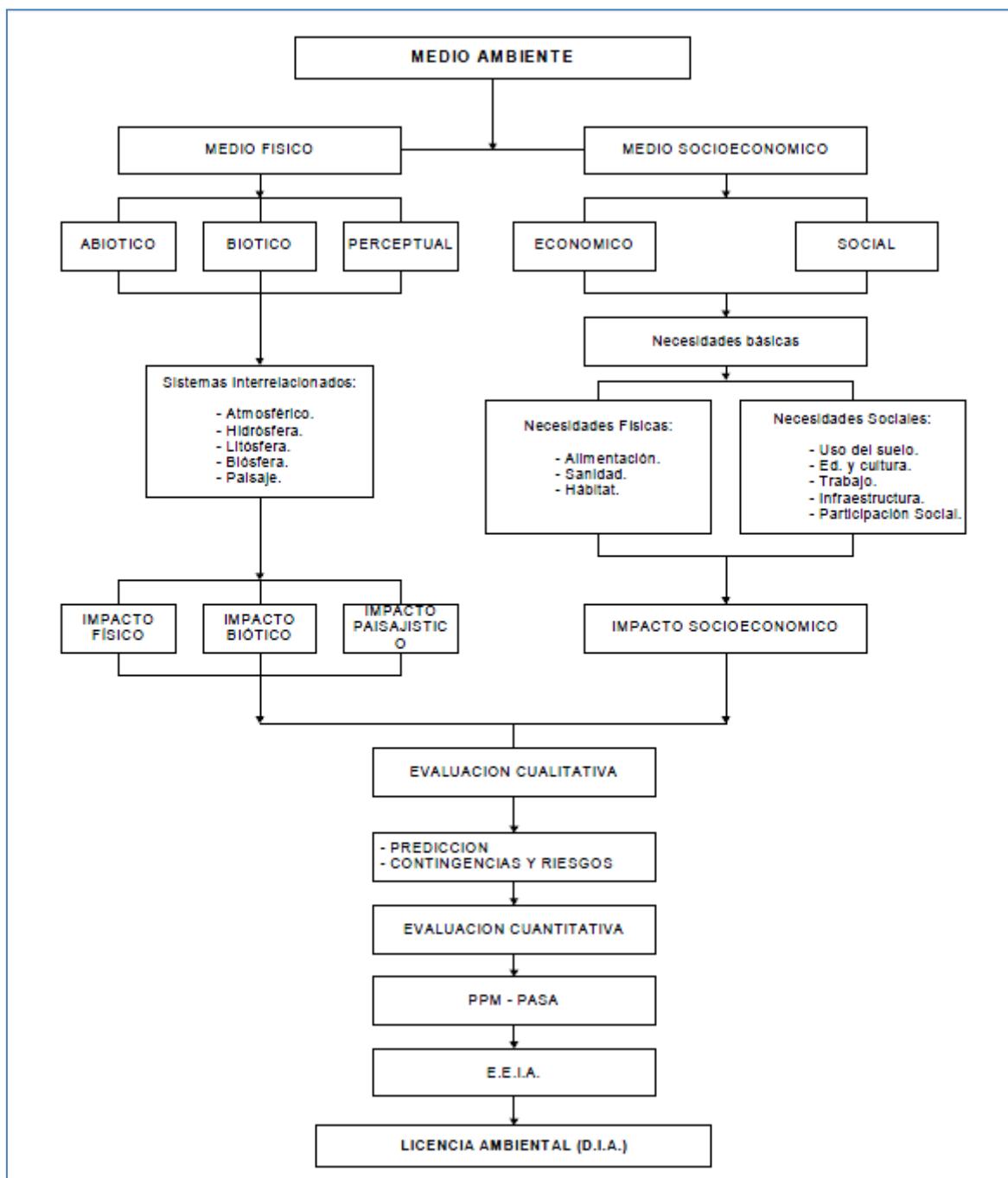


Figura 6.4.1.- Diagrama de la elaboración del EIA.

Para realizar el EIA se construye una matriz de relación causa-efecto. Son cuadros de doble entrada; en una de las cuales se disponen las acciones del proyecto que causan un impacto y en la otra los elementos o factores ambientales relevantes receptores de los efectos.

*6. Medio ambiente*

Primero se construye una matriz de impacto, que nos permite gráficamente determinar cualitativamente las consecuencias en cascada, producto de una acción inicial determinada, sobre un factor ambiental (una vez la planta está en funcionamiento). Para la matriz de impacto hay que tener en cuenta las siguientes acciones que causan impacto sobre diferentes factores medioambientales:

- 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 acrilonitrilo.
- M: Producción de residuos sólidos.
- N: Producción de efluentes gaseosos.
- O: Producción de efluentes líquidos.
- P: Pérdida de lugares de trabajo.

**Tabla 6.4.2.- Matriz de identificación de impactos**

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

Después de construir la matriz de impacto (resultados cualitativos) se realiza una matriz de importancia, que se construye a partir de la matriz de identificación de impactos y determina la importancia del impacto de cada elemento en base a los atributos que caracterizan el mismo.

---

*6. Medio ambiente*

La importancia del impacto, es decir, la importancia del efecto de una acción sobre un factor ambiental, no debe confundirse con la importancia del factor ambiental afectado. La importancia se estima de acuerdo a la siguiente expresión y puede tomar valores entre 13 y 100. Estos valores pueden ser positivos o negativos (el signo indica la naturaleza del impacto).

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

Dónde,

- 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.

Según su importancia, los impactos serán:

- Irrelevantes o compatibles:  $I < 25$
- Moderados:  $25 < I < 50$

*6. Medio ambiente*

- Severos:  $50 < I < 75$
- Críticos:  $I > 75$
- 

Seguidamente, se muestran los criterios de valoración de los impactos mencionados y las características de los impactos.

**Taula 6.4.3.- Criterios de valoración de impactos ambientales**

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

*6. Medio ambiente*

De esto se obtiene la matriz de importancia ambiental.

**Taula 6.4.4.- Matriz de importancia**

Factores medioambientales	Acciones												TOTAL
	N	IN	EX	MO	PE	RV	SI	AC	EF	PR	MC		
Aguas superficiales	-	2	2	2	2	4	4	1	4	4	2	-33	
Aguas subterráneas	-											0	
Suelo	-	2	2	4	4	2	4	1	4	4	2	-35	
Aire	-	4	4	2	2	4	4	4	4	4	4	-48	
Flora y fauna	-	4	4	2	4	2	4	1	4	4	2	-46	
Paisaje	-	8	2	4	4	2	4	1	4	4	2	-53	
Salud humana	-	2	2	2	2	2	2	4	1	4	4	-31	
Nivel sonoro	-	2	1	4	2	1	2	1	4	2	2	-26	
Sistema socioeconómico	+	4	4	4	4	1	2	4	4	4	2	+45	

Se puede observar que el paisaje, la flora y la fauna y el aire son los factores ambientales más afectados negativamente. De todas formas hace falta remarcar que según el rango de importancia mencionado, todos los factores se encuentran dentro del impacto moderado.

Para minimizar estos impactos se plantean algunas medidas correctoras:

- Paisaje: es inevitable que la instalación de una planta no afecte al paisaje. Una forma de minimizar este impacto es crear zonas ajardinadas y intentar no instalar equipos muy altos. También haciendo una edificación aislada. De esta forma el impacto visual mejora
- Suelo: minimizar el impacto sobre este factor es muy complicado, ya que se ha de construir una instalación de la planta. Se puede intentar construir la planta en zonas donde no hayan aguas subterráneas. De esta forma no se minimizaría el impacto sobre el suelo, pero si sobre las aguas subterráneas.
- Aire y agua superficial: sobre estos factores ya se toman medidas, ya que se tratan los efluentes líquidos y de gases minimizando el impacto ambiental. Es importante reducir los vertidos de aguas residuales recirculando más efluentes líquidos y reducir aún más las emisiones a la atmósfera controlando tanto las emisiones (liberaciones de partículas a la atmósfera) como la inmisión (concentración de sustancias en el aire).
- Nivel sonoro: se puede minimizar insonorizando la planta.

*6. Medio ambiente*

- Salud humana: se toman medidas de minimización con el tratamiento de gases y líquidos limitando los límites de exposición.