



Universitat Autònoma
de Barcelona

TRABAJO FINAL DE GRADO
GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ÓXIDO DE ETILENO



Autores: Sergio Pérez Delfa

Oriol Ruiz Puig

Víctor González Monge

Nelia García Blasco

Xavier Fernández Olivera

Pol Candela Poch

Tutor: Albert Bartrolí

Cerdanyola del Vallès | Junio 2020



Universitat Autònoma
de Barcelona

TRABAJO FINAL DE GRADO
GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ÓXIDO DE ETILENO



CAPÍTULO 6. MEDIO AMBIENTE

Cerdanyola del Vallès | Junio 2020

Capítulo 6. Medio ambiente

Índice

6.1. Introducción.....	3
6.2. Normativa de responsabilidad medioambiental.....	3
6.3. Plan de gestión medioambiental.....	4
6.4. Efluentes gaseosos	5
6.4.1. Emisiones procedentes de la inertización y venteos.....	5
6.4.2. Emisiones de la caldera	5
6.4.3. Emisiones de gas procedentes del proceso.....	6
6.4.4. RTO.....	7
6.5. Efluentes líquidos	8
6.5.1. Agua pluvial y aguas sanitarias.....	8
6.5.2. Mantenimiento y limpieza de equipos	9
6.5.3. Emisiones procedentes del proceso y de purgas de éste	9
6.5.3.1. Cálculo de la DQO	10
6.5.4. EDAR (Estación depuradora de aguas residuales).....	11
6.5.4.1. Línea de aguas	11
6.5.4.2. Línea de fangos	13
6.6. Residuos sólidos	15
6.7. Contaminación acústica	16
6.8. Evaluación de impacto ambiental (matriz de Leopold)	17
6.8.1. Matriz de Leopold.....	17
6.9. Bibliografía.....	23

6.1. Introducción

En la actualidad, ya nadie pone en duda la necesidad de incorporar la gestión del medio ambiente de una industria a la gestión habitual de la misma, como ya ocurre con la gestión económico-financiera, la gestión de la producción y la gestión de calidad, ya que de hecho el medio ambiente debe ser considerado como un nuevo factor de competitividad, al que una empresa moderna no puede renunciar.

Además, la conciencia social por la preservación del entorno ha ido aumentando en los últimos años. Con las ideas de conseguir un planeta más limpio, libre de contaminación y habitable, la unión europea ha tenido que desarrollar protocolos y leyes de actuación para restringir cada vez más las emisiones residuales.

Hoy en día, cualquier empresa puede tener un gran impacto medioambiental debido a sus residuos, pero concretamente la industria química es uno de los principales focos de contaminación.

Con la aplicación de la normativa medioambiental del territorio se desarrolla un plan medioambiental que hace posible la reducción del impacto ambiental con valores de emisiones más bajos, reciclando, reutilizando que respete las leyes y evite problemas legislativos.

Con el objetivo de reducir los residuos al mínimo se ha realizado una buena gestión empresarial para optimizar el uso de los recursos.

6.2. Normativa de responsabilidad medioambiental

La producción de óxido de etileno conlleva una gran utilización de materias primas y energía, por lo tanto, se considera una industria de base. Concretamente, según la **Ley 20/2009 de 4 de diciembre, sobre la prevención y control de actividades**, esta planta se considera como instalación química para la fabricación de productos orgánicos de base. En concreto para hidrocarburos oxigenados.

Debido a la clasificación mencionada, hay que someter a la planta al régimen de evaluación de impacto y autorización ambiental, sujetos a la **Directiva 96/61 / CE del Consejo, de 24 de septiembre de 1996**, de prevención y control integrados de la contaminación.

Además, se pedirá la autorización medioambiental a la Oficina de Gestión Ambiental Unificada de la Generalidad de Cataluña (OGAU) para la planta de óxido de etileno y se realizará un control ambiental inicial previo a la puesta en marcha. A partir de que la planta empiece a operar, se realizará un control periódico cada 2 años.

6.3. Plan de gestión medioambiental

La incorporación de sistemas de gestión medioambiental permite ofrecer una mejora del ambiente tanto laboral como del entorno local. Además, es un factor positivo ante la competitividad empresarial, ayuda a disminuir el consumo de recursos y aumenta la calidad de vida de la población. Se trata de una herramienta cuya función principal es capacitar a la empresa para alcanzar el nivel medioambiental que nosotros mismos nos proponemos.

El Sistema de Gestión Ambiental consiste en un proceso cíclico dónde se plantean, implementan, se revisan y mejoran los procedimientos y acciones que se llevan a cabo para garantizar el cumplimiento de la política medioambiental.

La normativa vigente establece unas normas medioambientales que deben cumplir las industrias en función del producto fabricado y el impacto que este tendrá sobre el medio ambiente.

La implantación de un Sistema de Gestión Medioambiental (también conocido abreviadamente SGMA) se divide en 4 fases: planificación, organización, aplicación del sistema y control (es decir, hacer una evaluación de los resultados y diagnosticar los posibles problemas)

La implantación de un SGMA de acuerdo con la norma UNE-EN-ISO 14001, ofrece la posibilidad de sistematizar, de manera sencilla, los aspectos ambientales que se generan en cada una de las actividades que se desarrollan en la organización. Además, una de las herramientas necesarias para la realización de un SGMA es el Reglamento Comunitario de Ecogestión y Ecoauditoría (EMAS).

6.4. Efluentes gaseosos

6.4.1. Emisiones procedentes de la inertización y venteos

La inertización es un método que consiste en crear una atmósfera segura o inerte dentro del reactor, a fin de que no haya otras reacciones no deseadas o exista peligrosidad. Para ello se introduce como gas inerte el nitrógeno.

También se necesita el nitrógeno para los tanques de almacenamiento. Éstos dispondrán de venteos y válvulas de seguridad para evacuar cualquier exceso de presión que se pueda generar dentro de ellos. Estos efluentes gaseosos que se pueden generar en caso excepcional no podrían ser emitidos a la atmósfera sin un tratamiento previo.

Debido a esto, estas emisiones gaseosas se mandarán a un RTO para ser tratadas.

6.4.2. Emisiones de la caldera

La caldera libera emite emisiones gaseosas como resultado de la combustión.

El equipo se alimenta energéticamente con gas natural que, a pesar de ser un combustible limpio que no libera gran cantidad de contaminantes, emite dióxido de carbono y óxidos de nitrógeno. Debido a esto, se tiene que llevar un control de estas emisiones y garantizar que son inferiores a los límites que dicta la normativa.

A continuación, se muestra una **Tabla 1** el DOGC Decreto 319/1998 sobre límites de emisión para instalaciones industriales de combustión de potencia térmica e instalaciones de cogeneración.

Todos los límites de emisión se expresan en mg/Nm^3 y están referidos a un contenido de oxígeno del 3%.

Contaminante	Límite de emisión	Características específicas de la instalación
Óxidos de azufre (expresados como SO ₂)	300	Instalaciones que utilizan gases procedentes de procesos industriales
Óxidos de nitrógeno (expresados como NO ₂)	450	
Monóxido de carbono	100	
Compuestos orgánicos (expresados como carbono orgánico total)	20	Instalaciones que utilizan gases procedentes de procesos industriales

Figura 1. Imagen de los límites de emisión de las calderas.

Debido a la reacción de combustión, las emisiones de la caldera se componen principalmente de CO₂ y agua. Estas, al ser menores a los límites de emisiones mostrados anteriormente, pueden ser soltadas directamente a la atmósfera.

6.4.3. Emisiones de gas procedentes del proceso

Los dos efluentes gaseosos del proceso provienen del área 300. Uno proviene del separador que se encuentra después del absorbedor y otro de la columna de destilación. Su caracterización queda definida en la **Tabla 1**. Caracterización de los corrientes gaseosas residuales **Tabla 2** Caracterización de los corrientes líquidos residuales. que se muestra a continuación:

Tabla 1. Caracterización de los corrientes gaseosas residuales.

PARÁMETRO		CORRIENTE	
		1	2
Temperatura	°C	44,60	227,81
Presión	kPa	3000,00	3000,00
Caudal molar	kgmole/h	4,43	1499,11
Caudal másico	kg/h	125,32	30548,69
Caudal volumétrico	m ³ /día	92,22	44371,44
Densidad másica	kg/m ³	32,62	16,52
COMPOSICIÓN			
Fracción molar CO ₂		0,000	0,068
Fracción molar O ₂		0,075	0,001
Fracción molar Etileno		0,109	0,002
Fracción molar O. Etileno		0,000	0,019
Fracción molar N ₂		0,812	0,006
Fracción molar H ₂ O		0,003	0,904

En base a las características físicas de estos corrientes se ha decidido que ambos irán a un tratamiento de RTO (Regenerative Thermal Oxidizer).

Se escoge este método porque el etileno es un compuesto que se encuentra en el corriente 1 y se trata de una sustancia poco soluble y poco biodegradable. Aprovechando su poder calorífico, se utiliza para quemarlo.

Por otro lado, el corriente 2 se encuentra a una temperatura de casi 228°C, hecho que nos evita tener que precalentarlo para entrar al RTO.

6.4.4. RTO

La Oxidación Térmica Regenerativa se trata de una técnica de oxidación para reducir las emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles y está indicada para tratar una gran variedad de procesos.

El equipo consiste principalmente en una torre vertical que contiene un lecho cerámico donde se lleva a cabo la oxidación (ver **Figura 1**). El aislamiento interior de la torre y la cámara de combustión dan como resultado un bajo consumo de gas del equipo para el tratamiento.

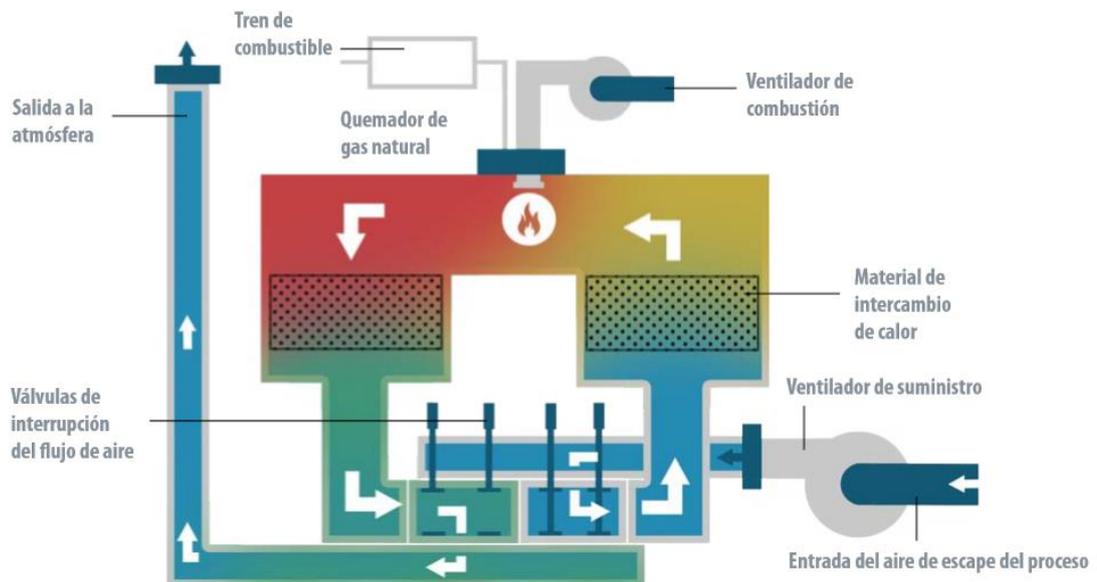


Figura 2. Esquema de funcionamiento de un RTO.

También consta de un sistema de válvulas de cierre cónico para conseguir una eficiencia de purificación muy elevada, y así se evitan fugas de aire sin tratar.

Además, este tipo de sistema permite que se pueda mantener cerrado el equipo cuando no haga falta, por ejemplo: en horas nocturnas o durante el fin de semana. Así se podrá mantener una alta temperatura en el interior del equipo y evitar un alto consumo de energía cuando se vuelva a poner en marcha.

Aproximadamente el RTO tendría un coste de 250.000 € y un consumo eléctrico de 20 kW/h. Su ficha técnica correspondiente se encuentra en el “*Capítulo 2. Equipos*”.

6.5. Efluentes líquidos

Las exigencias administrativas en España sobre la contaminación del agua que proviene de la industria tienen como objetivo «proteger el dominio público hidráulico contra su deterioro», intentando conseguir y mantener un buen nivel de calidad de las aguas, impidiendo que se acumulen compuestos tóxicos o peligrosos en las aguas subterráneas y evitando cualquier acción que pueda causar degradación.

Según la normativa vigente, a la acción y el efecto de introducir materia y formas de energía o condiciones en el agua que provoquen una alteración perjudicial en su calidad se la denomina contaminación. Por lo tanto, la planta química debe cumplir una serie de obligaciones legales para el vertido de los residuos a los colectores municipales o al dominio público hidráulico.

A parte de los efluentes líquidos que se forman durante el proceso de producción, también serán tratados los que se generen de forma esporádica y así evitar la contaminación de las aguas de la zona. Así pues, la planta de óxido de etileno contará con colectores de los residuos líquidos obtenidos tanto por fugas del proceso, como por otros vertidos ocasionales.

6.5.1. Agua pluvial y aguas sanitarias

Mediante un sistema de drenaje se recogerán las aguas pluviales para evitar que se mezclen con otras aguas de la planta. Estas juntamente con las generadas por la actividad humana serán consideradas como aguas domésticas. Por lo tanto, se pueden enviar directamente a la red de alcantarillado del municipio.

6.5.2. Mantenimiento y limpieza de equipos

Este efluente se trata del agua que se utiliza para la limpieza de los reactores y equipos de la planta. Una vez utilizada se juntará y enviará a la EDAR para tratar con los demás afluentes, ya que estos residuos líquidos contienen sustancias químicas, que no pueden ser desechadas al alcantarillado.

Por otro lado, los lubricantes y aceites que se necesiten para poner a punto equipos, válvulas, engranajes y otros, se depositarán en unos contenedores específicos, y cuando se encuentren al 75-80% de su capacidad se envían a tratar a una empresa gestora autorizada.

6.5.3. Emisiones procedentes del proceso y de purgas de éste

Los dos efluentes en estado líquido procedentes del proceso provienen uno del área 200 y el otro del área 300. Ambos forman parte de la purga de la recirculación al absorbedor A-201 y el segundo del absorbedor A-301. Su caracterización queda definida en la **Tabla 2** Caracterización de los corrientes líquidos residuales. que se muestra a continuación:

Tabla 2 Caracterización de los corrientes líquidos residuales.

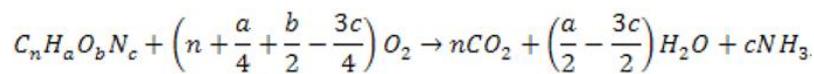
PARÁMETRO		CORRIENTE	
		3	4
Temperatura	°C	25,00	40,43
Presión	kPa	1500,00	5000,00
Caudal molar	Kmole/h	118,88	1,42
Caudal másico	kg/h	2192,13	25,98
Caudal volumétrico	m ³ /día	52,41	0,63
Densidad másica	kg/m ³	1003,77	995,39
COMPOSICIÓN			
Fracción molar O. Etileno		0,016	0,000
Fracción molar H ₂ O		0,984	0,994
Fracción molar MEAmine		0,000	0,006

Estos dos corrientes juntamente con la purga de agua son el efluente acuoso combinado de toda la planta y se envía a un tratamiento biológico (EDAR) para degradar las pequeñas cantidades de hidrocarburos solubles en agua (principalmente glicoles).

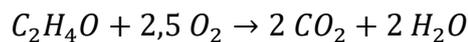
Como en este caso la concentración de glicoles es relativamente baja no se aconseja plantear un sistema de tratamiento que recupere los glicoles ya que su coste sería muy elevado.

6.5.3.1. Cálculo de la DQO

La caracterización de la materia orgánica en el corriente acuoso se hará en términos de demanda química de oxígeno (DQO). Para ello, se estudia la estequiometría de la reacción de oxidación de cada uno de los componentes, siguiendo el modelo de la siguiente ecuación:



Para el óxido de etileno la reacción sería:



Para la monoetanolamina la reacción es:



El cálculo de DQO para cada componente se encuentra mediante la ecuación:

$$DQO = \frac{C}{PM} \cdot R \cdot PM_{O_2}$$

Donde:

DQO: Demanda química de oxígeno del componente (ppm)

C: Concentración del compuesto oxidable en la muestra (ppm)

PM: Peso molecular (g/mol)

R: Relación entre el número de moles de oxígeno y el número de moles del compuesto oxidable en su reacción de oxidación

Tabla 3. DQO del óxido de etileno y la monoetanolamina presentes en el corriente a tratar.

	Qm (g/h)	DQO (ppm)	DQO (g/m ³)
OE	85364,38	14347	382
MEA	523,70	71	6,4

6.5.4. EDAR (Estación depuradora de aguas residuales)

El proceso que se explica a continuación es una propuesta que pretende ser la más adecuada y eficaz dadas las características de los corrientes que se obtienen. (Ver **Figura 2**)

La EDAR de lodos activos tiene como objetivo la eliminación de la carga contaminante contenida en el agua residual entrante para reducir la presencia de materia orgánica y sólidos en suspensión.

El tratamiento de esta estación se compone de dos líneas: la línea de aguas y la línea de fangos y tendría el siguiente esquema:

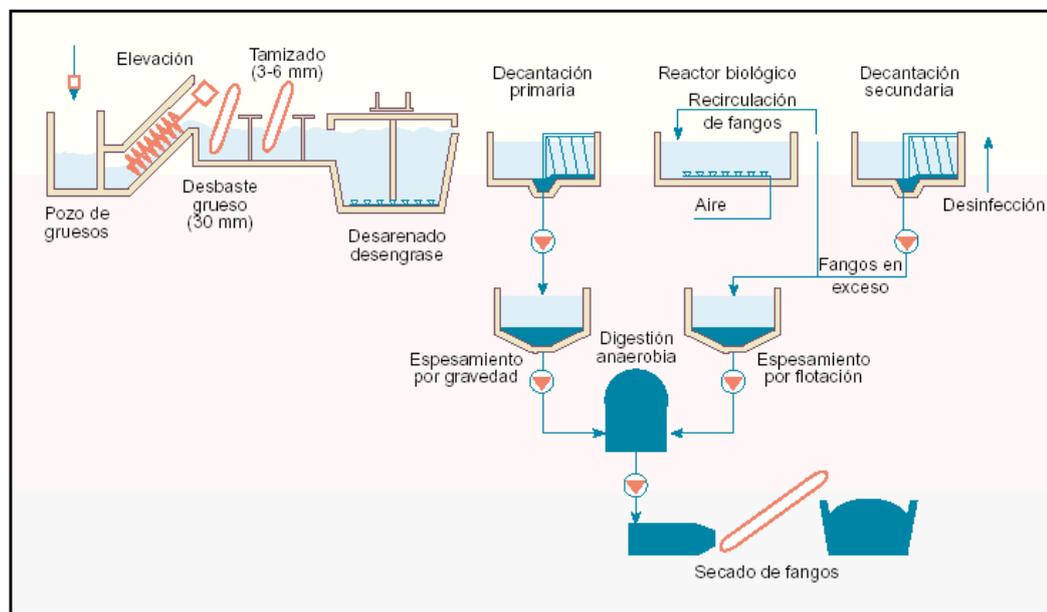


Figura 3. Esquema de la EDAR de lodos activos.

6.5.4.1. Línea de aguas

El agua procedente del proceso se acumula en una balsa o pozo desde donde se eleva hasta la cota más elevada de la EDAR que corresponde al pretratamiento. Este pozo es por donde entra el corriente a la depuradora y sirve para eliminar los sólidos más grandes i las arenas.

Luego pasa al desbaste para reducir el paso de sólidos de gran tamaño. Para ello se usan rejillas o tamices para evitar el mal funcionamiento de las bombas posteriores y el taponamiento de las tuberías. (Ver **Figura 3**)

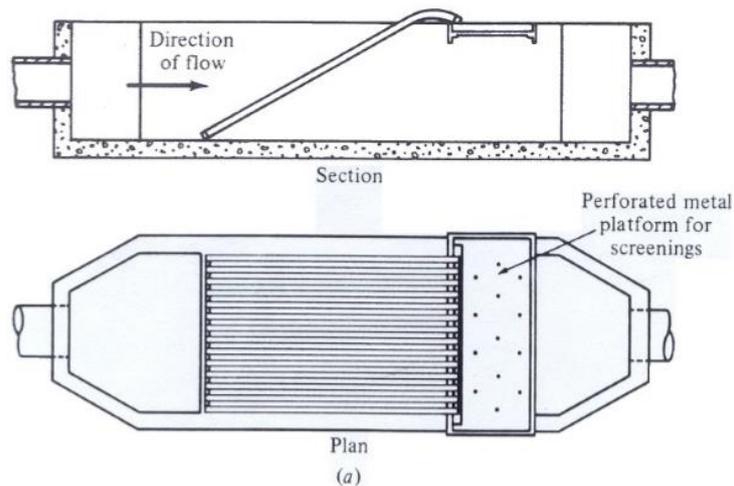


Figura 4. Esquema de un equipo de desbaste.

A continuación, pasa a un desarenador con el objetivo de reducir las arenas, gravas y la materia con unas dimensiones considerables mediante la acción de la fuerza de gravedad. Estos contaminantes se quieren eliminar porque se quiere separar las arenas con la materia orgánica, ya que estos residuos requieren tratamientos diferentes. (Ver **Figura 4**)

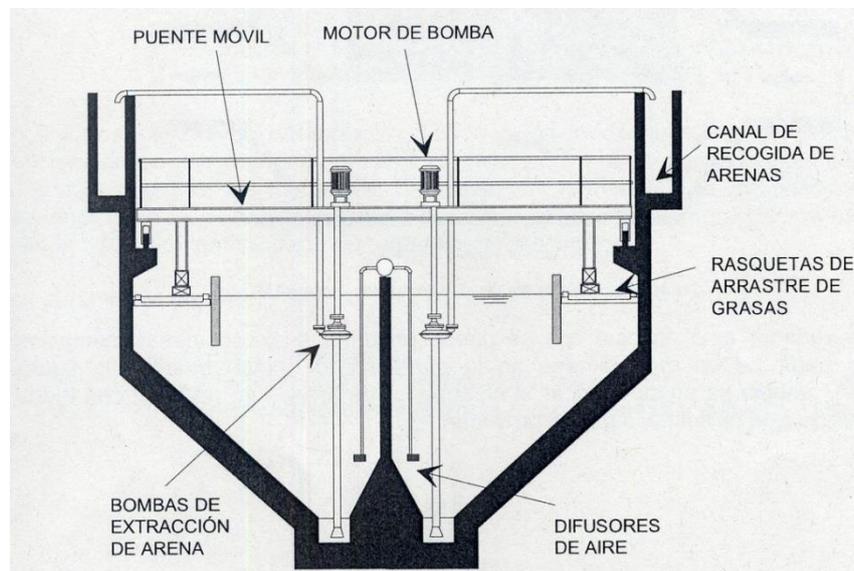


Figura 5. Sección transversal de un desarenador aireado.

A parte de eliminar las arenas, los desarenadores aireados permiten eliminar aquellos componentes que flotan en el agua como los aceites.

Tanto el decantador primario como el secundario sirven para regular el caudal que sale en función del que entra. Su principal objetivo es el de espesar el fango y acompañarlo hacia la parte central del decantador (línea de fangos). (Ver **Figura 5**)

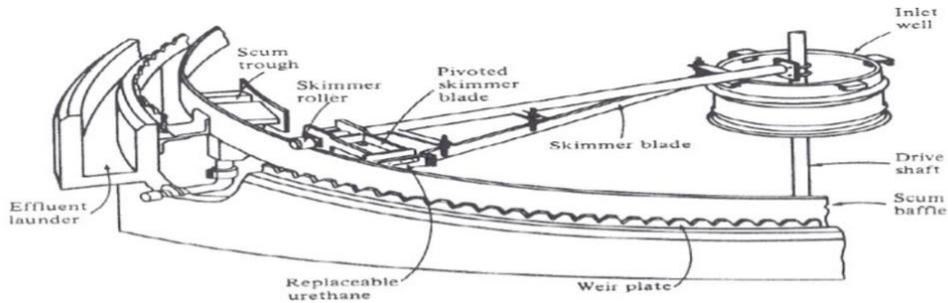


Figura 6. Mecanismo de agitación de un decantador.

Con este mecanismo se permite hacer una distribución uniforme del flujo, minimizar las perturbaciones en la capa de fangos y favorecer la floculación.

Entre el decantador primario y el secundario se realiza el tratamiento biológico que sirve para eliminar la materia orgánica y nutrientes como el Nitrógeno y el Fósforo. Para ello se desarrolla un cultivo bacteriano que tiene forma de flóculo en un depósito con agitación y aireado. Estas bacterias son capaces de metabolizar como nutrientes los contaminantes biológicos que se encuentran presentes en el agua residual de la planta.

La finalidad de la agitación es hacer que la mezcla de los flóculos y el agua este homogeneizada y, además, evitar la formación de sedimentos. Por otro lado, la aireación permite suministrar el oxígeno que necesitan las bacterias.

6.5.4.2. Línea de fangos

La línea de fangos está formada por los corrientes procedentes de los decantadores primario y secundario. Los fangos tienen una cantidad muy elevada en agua (aproximadamente un 95%)

El objetivo de esta línea es el de reducir el volumen de los fangos extrayendo el agua y reduciendo la cantidad de sólidos en suspensión, también busca eliminar patógenos, reducir la fermentabilidad y hacer más fácil su transporte.

El primer equipo de esta línea es un espesador. Para el efluente procedente del decantador primario se usará un espesador por gravedad y para el procedente del secundario uno por flotación. La principal diferencia entre ellos es que en el

de gravedad los fangos salen por la parte inferior y en cambio, por flotación se recogen por la parte superior.

Ambos corrientes pasan posteriormente a una digestión anaerobia. En este equipo se eliminará la materia orgánica y los patógenos.

Posteriormente este corriente pasa por un filtro de banda para deshidratarlo mediante gravedad y presión haciéndolo pasar por unos rodillos giratorios como los del siguiente esquema: (Ver **Figura 6**)

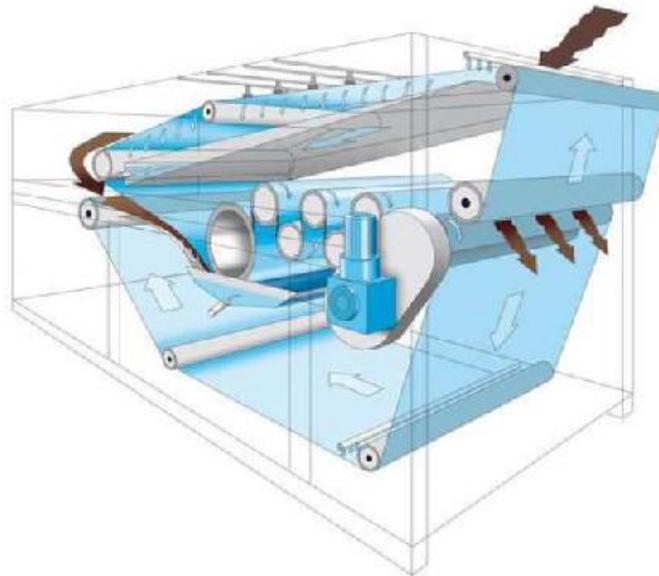


Figura 7. Esquema de funcionamiento de un filtro de banda.

Al tratarse de una EDAR de una planta industrial también requiere realizar un secado térmico antes de llevarlo al vertedero. Además, se tendrá en cuenta que según el Decreto 130-2003 de 13 de mayo, los límites de vertidos a la salida de una EDAR se muestran en la **Tabla 4**:

Tabla 4. Límites de vertidos de una EDAR.

Parámetros	Valor limite	Unidad	
T (°C)	40	°C	
pH (intervalo)	6-10	pH	
Sólidos en suspensión	750	mg/l	
DBO5	750	mg/l	O ²
DQO	1.500	mg/l	O ²
Aceites y grasas	250	mg/l	
Cloruros	2.500	mg/l	Cl ⁻
Conductividad	6.000	mS/cm	
Dióxido de azufre	15	mg/l	SO ²
Sulfatos	1.000	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⁻
Amonio	60	mg/l	NH ₄ ⁺
Nitrógeno orgánico y amoniacal (1)	90	mg/l	N

6.6. Residuos sólidos

La principal fuente de residuos sólidos es el catalizador de plata consumido (que es sustituido periódicamente a medida que decae su actividad y selectividad). El catalizador de plata consumido se envía a un recuperador externo para la recuperación de la plata, y el soporte inerte se desecha.

Este soporte, aunque sea un residuo producido en la industria se puede considerar de tipo urbano. Según la **Ley 22/2011** de residuos, se define como residuos urbanos, los generados en los domicilios particulares, comercios, oficinas y servicios, así todos aquellos que no tengan la calificación de peligrosos y que por su naturaleza o composición pueden asimilarse a los producidos en los lugares o actividades anteriores.

6.7. Contaminación acústica

El término contaminación acústica hace referencia al ruido producido por la planta. Éste se considera como un contaminante porque se trata de un sonido molesto que puede producir efectos fisiológicos y psicológicos para una persona.

Los efectos producidos por el ruido pueden ser de carácter fisiológico como la pérdida de audición, y psicológicos, como una alta irritabilidad.

El ruido se mide en decibelios (dB), los equipos de medida más utilizados son los sonómetros. Un informe de la Organización Mundial de la Salud (OMS), considera los 50 dB como el límite superior deseable.

En la planta, el ruido producido es causa de los procesos o actividades y se propaga en el ambiente en forma de onda desde el foco productor hasta el receptor.

Este punto se tiene en cuenta y se busca reducir al máximo ya que, la contaminación acústica puede perturbar diferentes actividades de la población como por ejemplo perturbando el sueño o impidiendo la concentración.

Para controlar los niveles de ruido se tiene en cuenta la legislación vigente en términos de contaminación acústica:

Real decreto 1316/89 de 27 de octubre, de protección de trabajadores frente los riesgos derivados de las exposiciones al ruido. BOE núm. 263 y 295, de 2/11 y 9/12 de 1989; núm. 126, de 26/5/90.

Real Decreto 212/2002, de 22 de febrero, por el que se regulan las emisiones sonoras en el entorno debidas a determinadas máquinas de uso al aire libre. BOE 52, de 01-03-02.

Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido. BOE 276, de 18-11-03 En cuanto a legislación catalana se tiene la Resolución de 30 de octubre de 1995, por la que se aprueba una ordenanza municipal tipo, reguladora del ruido y las vibraciones DOGC 2126, de 10-11-95

6.8. Evaluación de impacto ambiental (matriz de Leopold)

Para clasificar la planta, esta se debe someter al régimen de evaluación de impacto ambiental (EIA) y de autorización medioambiental.

La EIA es un requerimiento legal que permite determinar los posibles impactos medioambientales de un proyecto. Estos determinarán si el proyecto es viable, requiere alguna modificación o inaceptable.

Este procedimiento jurídico consiste en recolectar datos, analizarlos y predecir acciones para poder corregirlas o prevenir los efectos negativos que pueda ocasionar la planta química. Para analizar estos impactos se utiliza una matriz causa-efecto.

6.8.1. Matriz de Leopold

Al realizar el proyecto se deben tener en cuenta varias cosas para poder realizar una EIA como la ubicación de la planta, la vida útil del proyecto, los objetivos, las normas y legislación vigente, recursos y materias primas, etc. Con todo esto se puede realizar la evaluación del impacto ambiental donde se establecen los puntos siguientes:

- Delimitar la escala de tiempo y la localización
- Observar el ambiente afectado
- Determinar los agentes responsables
- Definir el tipo y fuente de información
- Identificar los puntos más relevantes y tratarlos con las acciones a evaluar y excluir las acciones que no tienen importancia.
- Asignar las responsabilidades de los profesionales que intervienen, hacer el llamado "Panel de expertos"

Con todo esto se hace una cuantificación de todos los puntos relevantes y que requieren análisis y la evaluación. Se ha realizado la matriz de Leopold cuantificada y para poder rellenarla se han hecho los cálculos con la aplicación de la ecuación:

Importancia de impacto:

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

Dónde:

A. El símbolo de calidad + representa que el impacto tiene efectos positivos sobre el medio social, ambiental y económico. Por el contrario, el símbolo de calidad - determina que el impacto tiene efectos negativos.

B. El término IN es un valor que depende de la intensidad del impacto sobre el entorno, también llamado grado de destrucción.

C. El término EX es la extensión del impacto, y se refiere al alcance del impacto que es toda el área que afecta del entorno.

D. El término MO hace referencia al momento en que se manifiesta el impacto, es decir, el tiempo que pasa desde la acción hasta ver los cambios en el medio.

E. El término PE es la persistencia en el tiempo, que es lo mismo que cuánto tiempo se tienen efectos sobre el entorno.

F. El término AC representa la acumulación que relaciona acciones y efectos. Da idea de qué "cantidad" de daño están dando los efectos con el tiempo que persiste.

G. El término RV está relacionado con el término MC ya que hace referencia a la reversibilidad que tiene el medio para recuperarse de una acción, pero sin medios externos, ósea de forma natural.

H. El término SI es la sinergia, que refleja si la acción sobre el medio puede tener un simple efecto o más efectos sucesivos por una relación que desencadena un mayor impacto.

I. El término MC es la capacidad de recuperación del medio por la acción dada. Puede ser un proceso que se recupere solo, que necesite otros medios o que no se pueda recuperar.

J. El término EF es la relación causa-efecto, dando un valor en función de si el acto ha sido directo o indirecto para tener un efecto.

K. El término PR es la periodicidad con la que se da el efecto causado por una acción.

Los valores que pueden ser asignados a cada parámetro se resume en la **Tabla 5**:

Tabla 5 Valores para los términos del impacto ambiental.

Símbolo de calidad	Positivo (+) Negativo (-)	Acumulación (AC)	Simple (1) Acumulativo (4)
Intensidad (IN)	Baja (1) Media (2) Alta (4) Muy alta (8)	Reversibilidad (RV)	Corto plazo (1) Medio plazo (2) Irreversible (4)
Extensión (EX)	Puntual (1) Parcial (2) Extensa (4) Total (8) Crítica (4)	Sinergia (SI)	Simple (1) Sinérgico (2) Muy sinérgico (4)
Momento (MO)	Inmediato (4) Medio (2) A largo plazo (1)	Recuperabilidad (MC)	Inmediata (1) Media (2) Mitigable (4) Irrecuperable (8)
Persistencia (PE)	Fugaz (1) Temporal (2) Permanente (4)	Efecto (EF)	Indirecto (1) Directo (4)
		Periodicidad (PR)	Discontinua (1) Periódica (2) Continua (4)

Entonces, en función del valor absoluto del impacto se obtendrán las siguientes conclusiones:

- <25 es irrelevante o compatible, en color verde
- ≥25 y <50 es moderado, en color azul
- ≥50 y <75 es un impacto severo, en color amarillo
- ≥75 es crítico, impacto muy negativo, en color rojo

De esta manera, se construye la matriz de Leopold con los valores del impacto ambiental de la planta. (Ver **Tabla 6**)

Tabla 6 Matriz de Leopold cuantificada.

		Materias primas			Proceso productivo de óxido de etileno					Servicios y otros						
		Transporte	Carga/Descarga	Tanques de nitrógeno	Reacción (Reactores R-201 y R-202)	Absorbedores	Columnas de destilación	Intercambiadores de calor	Bombas, compresores y tuberías	Limpieza	Oficinas	Mantenimiento	Almacenaje de OE	RTO	Caldera	
Atmósfera	Aire	Emisiones	-48	-20	-30	-50	-36	-42	-30	-28	-42	-16	-24	-25	-38	
	Ambiente	Ruido	-40	-34		-22	-32	-30		-42	-22	-18	-16	-25	-28	
	Luz	Calidad	-27	-20							-20				-18	
Medio terrestre	Suelo	Composición y calidad								-40			-36			
	Hidrología				-40	-36	-34	-35	-35	-18	-50	-20	-22	-40		
Consumo de recursos naturales	Renovables	Agua				-26	-38		-45		-36	-26	-22	-34	-42	
	No renovables	Combustibles	-45	-35								-26		-40	-54	
		Energía eléctrica		-32		-30	-35	-40	-40	-52	-18	-30	-20		-40	-32
	Productos químicos	-40	-30		-65	-40	-60	-25		-40			-20	-15	-18	
Medio socioeconómico	Población	Ocupación	30	20	12	24	20	22	16	18	35	48	20	15	10	10
		Calidad de vida										40		20		
	Infraestructuras	Camino y carreteras	-45	-20	-15							-50	-10	-20		
Paisaje	Paisaje urbano	Efecto sobre el entorno	-30		-20	-28	-25	-28	-25	-35		-30		-30	-20	-26

En primer lugar, se puede observar cómo no hay ningún aspecto analizado en la matriz que genere un punto crítico. Entonces, si no nos encontramos con algún contra tiempo, no tendría que haber ningún impacto de carácter muy negativo en la planta.

Los puntos que han dado mayores impactos son los equipos, las tuberías, bombas y compresores ya que son los aparatos que contienen los productos químicos necesarios del proceso. Esto afecta al punto de limpieza, ya que cuando se requiere limpiar dichos equipos se crean elementos contaminantes.

Las casillas sin analizar determinan que ese elemento no tiene un efecto directo o se puede considerar que es tan mínimo que no supone una amenaza para el medio (valores muy pequeños).

Como valores positivos se encuentran únicamente el empleo y la calidad de vida que tienen un efecto positivo para la población.

6.9. Bibliografía

- [1] Normativa estatal de España. BOE. Legislación española actual. 17 de Mayo de 2020. [En línea]. Available: <https://www.boe.es/>.
- [2] Generalitat de Catalunya. Normativa catalana de contaminación acústica y lumínica, y límites de emisiones. 19 Mayo 2020. [En línea]. Available: <http://mediambient.gencat.cat/>.
- [3] Agencia Catalana de l'aigua (ACA) 19 Mayo 2020. [En línea]. Available: <http://aca.gencat.cat>.
- [4] Agencia de residuos de Catalunya (ARC). 28 Mayo 2020. [En línea]. Available: <https://www.arc.cat>.
- [5] Actualidad Jurídica Ambiental (AJA). [En línea]. Available: <https://www.actualidadjuridicaambiental.com/>.
- [6] Condorchem Envitech. Empresa de ingeniería medioambiental. 28 Mayo 2020. [En línea]. Available: [https:// condorchem.com/es/](https://condorchem.com/es/).
- [7] Revista offarm, Septiembre 2003. [En línea]. Available: <https://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-articulo-depuracion-potabilizacion-del-agua-13051504>