



**UNIVERSIDAD DE OVIEDO**

**Escuela de  
Ingeniería de Minas, Energía y Materiales de Oviedo**

**Máster en Ingeniería de Minas**



**Trabajo Fin de Máster**

**Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la  
depuración de efluentes procedentes de minería**

**Autor: David Rodríguez Alonso**

**Tutor: Laura Faba Peón**

**Oviedo, Junio de 2017**

## Índice

Índice de Ilustraciones .....	4
Índice de tablas .....	5
Introducción .....	6
Objetivo .....	7
La Mina de LLumeres .....	8
Toma de Muestras .....	11
Muestras tomadas .....	11
Análisis de las muestras .....	15
Análisis de metales en aguas residuales por espectrofotometría de absorción atómica.....	15
Datos obtenidos .....	15
Eliminación de las partículas sólidas suspendidas .....	16
Dimensionamiento del clarificador .....	16
Eliminación del hierro y del aluminio mediante resinas de intercambio iónico .....	19
Fundamento teórico.....	19
Curvas de ruptura.....	20
Eficiencia y capacidad.....	21
Regeneración.....	21
Equipo .....	22
Calibración de la bomba.....	23
Eliminación del hierro presente .....	24
Preparación de la muestra .....	24
Recta de calibración .....	24
Curva de ruptura .....	25
Curva de regeneración .....	26
Dimensionamiento de los equipos.....	27
Eliminación del aluminio presente.....	29
Preparación de la muestra .....	29
Recta de calibración .....	29
Curva de ruptura .....	30
Curva de regeneración .....	31
Dimensionamiento de los equipos.....	32
Eliminación del cromo mediante la adsorción por carbón activo.....	33
Fundamento teórico.....	33
Equipo .....	34

Eliminación del cromo.....	35
Preparación de la muestra .....	35
Realización del ensayo .....	35
Resultados del ensayo.....	37
Dimensionamiento del equipo.....	37
Eliminación del manganeso y los sulfuros mediante la precipitación química.....	42
Fundamento teórico.....	42
Equipo .....	43
Preparación de la muestra .....	44
Realización del ensayo .....	45
Resultados del ensayo.....	46
Dimensionamiento de los equipos.....	47
Calculo de la cantidad de NaOH necesaria por día .....	47
Dimensionamiento del tanque de precipitación.....	48
Dimensionamiento del tanque de dosificación.....	49
Diagrama de Flujo de la instalación .....	50
Análisis económico de la instalación.....	51
Consideraciones generales.....	51
Capital invertido .....	51
Capital inmovilizado .....	51
Capital auxiliar .....	54
Capital circulante.....	54
Costes de producción.....	55
Termino de inmovilizado.....	55
Termino de producción .....	55
Termino de mano de obra.....	56
Beneficios .....	57
Rentabilidad .....	59
Valor Actualizado Neto.....	61
Conclusiones .....	62
Bibliografía .....	63
Anexo 1.....	64
Anexo 2.....	65

## Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Localización de la mina de LLumeres (Senda costera Bañugues-Puerto de LLumeres) .....	8
Ilustración 2. La mina de LLumeres en activo (Archivo Duro-Felguera) .....	9
Ilustración 3. La mina de LLumeres en la actualidad .....	10
Ilustración 4. Localización de las muestras tomadas para la realización del TFM .....	12
Ilustración 5. Muestra A .....	12
Ilustración 6. Muestra B .....	13
Ilustración 7. Muestra C .....	13
Ilustración 8. Muestra D .....	13
Ilustración 9. Muestra E .....	14
Ilustración 10. Muestra F .....	14
Ilustración 11. Bomba peristáltica.....	22
Ilustración 12. Resina catiónica utilizada en los ensayos.....	22
Ilustración 13. Dispositivos de medición, espectrómetro génesis 20 y tiras medidoras de pH..	23
Ilustración 14. Muestra de hierro para la realización de los ensayos.....	24
Ilustración 15. Recta de calibración del hierro.....	25
Ilustración 16. Curva de ruptura del hierro.....	25
Ilustración 17. Resina agotada .....	26
Ilustración 18. Curva de regeneración del hierro.....	27
Ilustración 19. Muestra de aluminio para la realización de los ensayos.....	29
Ilustración 20. Recta de calibración del aluminio .....	30
Ilustración 21. Curva de ruptura del aluminio .....	31
Ilustración 22. Curva de regeneración del aluminio .....	32
Ilustración 23. Carbón activo utilizado.....	34
Ilustración 24. Baño termostatzado con agitación.....	34
Ilustración 25. Muestra del cromo para la realización de los ensayos .....	35
Ilustración 26. Recta de calibración del cromo .....	36
Ilustración 27. Isotermas de Freundlich.....	38
Ilustración 28. Obtención de $K_f$ y $1/n$ .....	39
Ilustración 29. Hidróxido de sodio .....	43
Ilustración 30. pH meter basic 20.....	43
Ilustración 31. Nitrato de manganeso y sulfuro ferroso utilizados en el ensayo.....	44
Ilustración 32. Precipitación de los sulfuros .....	45
Ilustración 33. Evolución del pH frente a la adición de NaOH .....	46
Ilustración 34. Muestra precipitada .....	47
Ilustración 35. Evolución del pH frente a la adición de NaOH con su recta de aproximación ....	48
Ilustración 36. Diagrama de flujo de los equipos.....	50

## Índice de tablas

Tabla 1. Composición de la muestra D.....	15
Tabla 2. Datos para los cálculos del clarificador .....	17
Tabla 3. Dimensiones finales del clarificador .....	18
Tabla 4. Datos de la resina catiónica.....	22
Tabla 5. Tiempos para la obtención del caudal de la bomba.....	23
Tabla 6. Recta de calibración del hierro.....	24
Tabla 7. Curva de ruptura del hierro .....	25
Tabla 8. Curva de regeneración del hierro.....	26
Tabla 9. Recta de calibración del aluminio.....	30
Tabla 10. Curva de ruptura del aluminio.....	30
Tabla 11. Curva de regeneración del aluminio.....	31
Tabla 12. Dimensiones del equipo para la eliminación del aluminio.....	32
Tabla 13. Recta de calibración del cromo .....	35
Tabla 14. Datos del ensayo de adsorción.....	37
Tabla 15. Concentraciones en cromo en las distintas muestras a lo largo del tiempo.....	37
Tabla 16. Concentraciones de cromo en el equilibrio para las distintas concentraciones de carbón activo en las muestras.....	38
Tabla 17. Cálculos para la obtención de $K_f$ y $1/n$ .....	39
Tabla 18. Concentraciones iniciales y finales del cromo.....	41
Tabla 19. Variación del pH frente a los gramos de NaOH añadidos .....	46
Tabla 20. Datos para el dimensionamiento del tanque de dosificación .....	49
Tabla 21. Índices M y S [11].....	52
Tabla 22. Listado de equipos y sus respectivos costes.....	53
Tabla 23. Coeficientes $f_D$ .....	53
Tabla 24. Coeficientes $f_i$ .....	53
Tabla 25. Materias primas y sus respectivos costes anuales .....	56
Tabla 26. Cálculo del coste de la mano de obra.....	56
Tabla 27. Clases de aguas a las que realizar el vertido .....	58
Tabla 28. Coeficientes de mayoración/minorización.....	59

## Introducción

Las aguas residuales industriales han preocupado a la sociedad a lo largo de la historia, especialmente en estos momentos debido al visible deterioro de nuestro planeta. Es por esto que se ha producido un auge en la aparición de nuevas leyes para la prevención de la contaminación que obligan a la industria a reducir sus emisiones, de esta forma conceptos como el desarrollo sostenible o la producción limpia han ido tomando un papel cada vez de mayor importancia en los gobiernos, organizaciones gubernamentales, empresas y en general en la conciencia social a lo largo del pasado siglo XX y los comienzos de XXI.

Las industrias mineras generan un gran volumen de aguas contaminadas ya sea en las etapas de producción o en las de enriquecimiento. Estos efluentes suelen tener elevados niveles de metales pesados, los cuales tienen un gran impacto ambiental. Es por esto que en la actualidad todas las explotaciones mineras deben tener un sistema de tratamiento de aguas residuales que permita alcanzar unos valores de contaminación lo más bajos posibles. Esto se consigue en la mayoría de los casos con las llamadas tecnologías “end of pipe”, las cuales se implementan como un último paso antes del vertido de manera que, sin modificar el proceso de la industria, se traten las corrientes de agua.

## Objetivo

El objetivo del presente Proyecto de Fin de Master es el diseño de un sistema de tratamiento de efluentes de mina, realizando una comparación de diferentes técnicas de eliminación de los contaminantes, efectuando los debidos ensayos de laboratorio para un posterior análisis económico con el que poder valorar la posible viabilidad de la planta de tratamiento.

La finalidad de la planta es reducir las concentraciones de contaminantes presentes en el efluente hasta alcanzar los valores de vertido máximo exigidos por la Ley 5/2002 del Principado de Asturias (Anexo 1); los valores de interés para este proyecto se presentan a continuación:

- pH (intervalo permisible): 6-9.
- Color: Inapreciable en dilución 1/40.
- Sólidos en suspensión: 1000 mg/l.
- Aluminio: 15 mg/l.
- Cromo total: 5 mg/l.
- Hierro: 10 mg/l.
- Manganeso: 2 mg/l.
- Sulfuros: 2 mg/l.

Ante la imposibilidad de conseguir una muestra del efluente de una mina en activo, se seleccionó la mina de LLumeres como objeto del estudio, debido entre otros muchos factores a los problemas de contaminación que presenta el agua de la ensenada, por la explotación de la mina, el alto valor histórico de la misma, así como su uso como lugar de ocio.

Ya que la mina de LLumeres no está en activo y no existen datos del caudal de aguas que está siendo vertido, se ha supuesto un caudal de 100 m<sup>3</sup>/día a la hora de realizar el dimensionamiento de los equipos.

## La Mina de LLumeres

La mina de LLumeres está situada en la parroquia de Bañugues, concejo de Gozón (Luanco), junto al área recreativa existente en la carretera GO-1 de Luanco a Cabo Peñas, en las proximidades del pueblo de Bañugues. [1]



*Ilustración 1. Localización de la mina de LLumeres (Senda costera Bañugues-Puerto de LLumeres)*

Incluida en el Inventario de Patrimonio Cultural de Asturias, fue la principal mina de hierro durante los siglos XIX y XX. Obteniendo la cifra record de 86.000 toneladas en 1950 y abasteciendo las plantas siderúrgicas de Langreo pertenecientes a Duro Felguera. Esta producción suponía el 40% del hierro asturiano, por encima de las explotaciones de Quirós y el Naranco. [2]

Duro Felguera no fue el primer explotador de este yacimiento, ya que se cree que fue explotada por los romanos situados en Campa Torres (Gijón). En el siglo XIX nació la “Sociedad Compañía Minera de Gozón” que se dedicó a su explotación hasta 1861 momento en el que



paso a manos de Duro Felguera, empresa que la explotó hasta 1967 hasta su desmantelamiento debido al agotamiento del mineral y las dificultades técnicas. [1]



*Ilustración 2. La mina de LLumeres en activo (Archivo Duro-Felguera)*

Fue en manos de Duro Felguera que la mina sufrió sus mayores modernizaciones ya que se construyó un pozo vertical y numerosas dependencias. Además, se mejoraron las infraestructuras para el transporte de mineral, estas consistían en un muelle construido en 1907 para barcos de pequeño y mediano tonelaje que transportaban el mineral hasta los puertos del Musel o San Juan de la Arena, mineral que era destinado a la exportación a Inglaterra o Alemania principalmente y de un cable aéreo de 7,5 km Para transportar el mineral hasta la estación del Regueral en Carreño para abastecer los altos hornos de La Felguera, construido en 1921. [1]

Hoy en día el puerto y la mina de LLumeres se encuentran en un estado de ruina, utilizando las instalaciones que aún quedan en pie como cuadras y almacenes. [1]



*Ilustración 3. La mina de LLumeres en la actualidad*

En la mina de LLumeres el hierro se obtenía a partir de las areniscas ferruginosas pertenecientes a la formación “Furada” tal y como se puede apreciar en la Hoja 14 (Gijón) del MAGNA 50. (Anexo 2)

## Toma de Muestras

El objetivo de la campaña de toma de muestras fue la caracterización del efluente de tal manera que se conozcan los distintos contaminantes presentes en él. Un axioma de Jackson (1964) dice que: «un análisis no puede ser mejor que la muestra»; es por ello que, con la intención de evitar datos irreales que diesen lugar a errores en posteriores etapas del proyecto, se realizó esta etapa poniendo especial cuidado en todos sus aspectos. [3]

La recogida de las muestras se realizó en un día seco, tras varios días sin precipitaciones, para así evitar en la mayor medida posible las aguas de escorrentía que pudieran estar presentes. Se trata en todos los casos de muestras simples, ya que se consideró que la concentración de los distintos contaminantes se mantiene constante en el tiempo y por tanto se consideró que este tipo de muestras son representativas. Las muestras se tomaron de forma manual. [3]

Los recipientes en los que se tomaron las muestras son de plástico polietileno de 1L de capacidad, debido a que 1L de muestra era cantidad suficiente para realizar todos los análisis necesarios para su caracterización, el hecho de que los recipientes fuesen de plástico polietileno y no de cristal se debe a que este libera silicio y sodio a la vez que absorbe las trazas de metales contenidas en la muestra. Además, no se esperan compuestos orgánicos en la muestra que puedan verse contaminados por el plástico del recipiente. [4]

### Muestras tomadas

Para realizar esta campaña se tomaron un total de seis muestras (A-F). A excepción de la muestra A, la cual se tomó en el agua que estancada en la bocamina, el resto de muestras se tomaron a lo largo del acantilado de la ensenada de LLumeres, detrás del cual se encuentra la mina, en lugares donde se observó fluir el agua. Tal y como se muestra en la imagen:



*Ilustración 4. Localización de las muestras tomadas para la realización del TFM*

A continuación, se muestran en detalle cada uno de los puntos donde fueron tomadas las muestras:



*Ilustración 5. Muestra A*





*Ilustración 6. Muestra B*



*Ilustración 7. Muestra C*



*Ilustración 8. Muestra D*



*Ilustración 9. Muestra E*



*Ilustración 10. Muestra F*

Una vez tomadas las muestras se procedió a su identificación mediante etiquetas adhesivas y tinta indeleble tanto en el recipiente como en su correspondiente tapón.

## Análisis de las muestras

Tras la recogida de muestras, estas fueron enviadas el mismo día al laboratorio, realizándose los análisis pertinentes en un plazo menor a 72 horas.

### Análisis de metales en aguas residuales por espectrofotometría de absorción atómica

Para identificar y cuantificar los distintos contaminantes presentes en las aguas se enviaron las muestras al servicio científico técnico de la Universidad de Oviedo. Mediante un ensayo de espectrometría de absorción atómica se identificaron diversas concentraciones de hierro, cromo, aluminio y manganeso. Para realizar este ensayo las muestras fueron filtradas en vacío y se acidularon mediante la adición de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$  al 69%) hasta ajustar el pH por debajo de 2. Una vez alcanzadas las condiciones óptimas de trabajo se utilizó un Cromatógrafo de Gases 7890A GC acoplado a un Espectrómetro de Masas 5975C Inert XL MSD de Agilent Technologies.

Además de los contaminantes mencionados se encontraron diversas cantidades de partículas sólidas suspendidas en las muestras

### Datos obtenidos

Tras realizar los ensayos se utilizarán los datos de las concentraciones de la muestra más contaminada, es decir la "D" para el dimensionamiento de los equipos. Los datos de las distintas concentraciones de contaminantes en dicha muestra se recogen a continuación:

Tabla 1. Composición de la muestra D

Granulometría media ( $\mu\text{m}$ )	SST (mg/L)	Fe(II)	Al(III)	Mn(II)	Cr (III)	Sulfuros
20	6190	1845 ppm	410 ppm	174 ppm	105 ppm	325 ppm

## Eliminación de las partículas sólidas suspendidas

Se entiende como total de sólidos en suspensión (TSS) a los residuos filtrados del agua, desecados a la temperatura normalizada, después de haberlos lavado con un disolvente orgánico con el fin de eliminar aceites, se mide en mg/L. Se trata de un parámetro muy utilizado en la clasificación de la calidad del agua y en el tratamiento de aguas residuales, suele estar asociado a la turbidez. [5]

Estos sólidos suspendidos deben ser eliminados antes de proceder a tratamientos más complejos que tengan como objetivo la eliminación de los contaminantes presentes en el agua, esto se debe a la posibilidad que tienen estas partículas de interferir en dichos tratamientos reduciendo su efectividad. [5]

La sedimentación es una de las técnicas más sencillas y antiguas en el marco del tratamiento de aguas ya que, con solo dejar reposar el agua, las partículas que estén presentes se irán depositando en el fondo del recipiente mejorando así la calidad del agua. Es por esto que para la eliminación de las partículas sólidas suspendidas se utilizara un clarificador. [5]

### Dimensionamiento del clarificador

Antes de comenzar el dimensionamiento del clarificador y, debido a que la explotación que es objeto de estudio está en abandono y no existen datos, fue necesario suponer un caudal, que en nuestro caso será de 100 m<sup>3</sup>/día.

Aunque las partículas suspendidas no son esféricas, por simplificación su tamaño se compara a la de una esfera de diámetro tal que sus velocidades de sedimentación sean iguales.

Para conocer si las partículas son sedimentables o no, se debe comparar la velocidad de sedimentación de las partículas que deberá ser igual a la velocidad de sedimentación crítica, esta última es la velocidad de sedimentación para la cual todas las partículas con ese mismo diámetro sedimentan. [5]



A la hora de calcular la velocidad de sedimentación de una partícula se utilizará la Ley de Stokes:

$$V_s = \frac{g(\rho_p - \rho)d_p^2}{18 \cdot \mu} \quad (1)$$

La velocidad de sedimentación se calculó utilizando los datos que se recogen en la tabla adjunta:

*Tabla 2. Datos para los cálculos del clarificador*

Q(m <sup>3</sup> /día)	$\rho$ partícula (Kg/m <sup>3</sup> )	$\rho$ fluido(Kg/m <sup>3</sup> )	$\mu$ (Pa s)	g(m/s <sup>2</sup> )
100	3125	1000	0,001	9,807

Por tanto, aplicando la Ley de Stokes y los datos anteriores se obtiene una velocidad de sedimentación para las partículas de 20 micras de:

$$V_{sed} = 0,00046 \text{ m/s}$$

A continuación, se debe calcular la velocidad de sedimentación crítica, pero para ello antes debemos conocer el área del clarificador, la cual se obtendrá a partir de la siguiente expresión:

$$A_{sed} = \frac{18 \cdot Q \cdot \mu}{g(\rho_p - \rho)d_p^2} = 2,5 \text{ m}^2 \quad (2)$$

Una vez calculada el área del clarificador, la velocidad crítica de sedimentación se obtendrá simplemente dividiendo el caudal entre el área, por lo que la velocidad crítica será:

$$V_0 = 0,00046 \text{ m/s}$$

Como se puede apreciar las partículas son sedimentables y el proceso es viable ya que para que las partículas de 20 micras sedimenten es necesario un clarificador de un área de 2,5 m<sup>2</sup>, es decir uno que tenga 1,80 m de diámetro.

El último paso para dimensionar el clarificador es calcular la profundidad del mismo. Para obtener su volumen supondremos un tiempo de residencia de 2 horas de manera que la profundidad del mismo se obtenga multiplicando la velocidad de sedimentación por el tiempo de residencia supuesto, lo que nos dará un clarificador de 3,33 m de profundidad.

El dimensionamiento del clarificador se ha realizado para las partículas de 20 micras, el tamaño medio de la muestra D (la más restrictiva), pero esto no significa que las partículas de menor tamaño sedimenten, ya que estas lo hacen a una velocidad menor y por tanto se necesitará un clarificador de mayor tamaño. Es por esto que se ha sobredimensionado el clarificador un 20% por lo que el área y la profundidad final del clarificador serán:

*Tabla 3. Dimensiones finales del clarificador*

<b>Área del sedimentador (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Profundidad del sedimentador (m)</b>	<b>Volumen del sedimentador (m<sup>3</sup>)</b>
<b>3</b>	<b>4</b>	<b>12</b>

Ya que las partículas son sedimentables y las dimensiones del sedimentador no son excesivas se ha considerado innecesario el uso de floculantes y coagulantes.

## Eliminación del hierro y del aluminio mediante resinas de intercambio iónico

### Fundamento teórico

El intercambio iónico es esencialmente una operación de transferencia de masa (adsorción), junto con la reacción química entre un electrolito en disolución y un electrolito insoluble (intercambiador iónico sólido). Durante la reacción, algunos iones de la disolución son retenidos por el sólido, mientras que otros son liberados del sólido para sustituir el ion eliminado de la solución. [6]

Una aplicación típica es el ablandamiento del agua. En esta operación, el objetivo es reemplazar los cationes que causan la dureza ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) por iones blandos ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{H}^+$ ). Los cationes duros reaccionan con los componentes aniónicos en jabón para formar precipitados mientras que los componentes blandos no forman tales precipitados. El sólido es un intercambiador catiónico, representado como  $\text{R-COOH}$  (donde R representa el material residual del sólido con excepción de los iones  $\text{Na}^+$ ,  $\text{H}^+$ ). [6]

La aplicación más extrema es la desionización (o desmineralización). En este caso, el objetivo es obtener agua pura mediante la eliminación de todos los aniones y cationes disueltos de la solución, que se sustituye por  $\text{OH}^-$  y  $\text{H}^+$ , respectivamente. El intercambio iónico también se puede utilizar para eliminar los metales de una corriente, utilizando para ello resinas catiónicas. [6]

Los primeros sólidos utilizados en el intercambio iónico fueron los minerales naturales (zeolitas). En la actualidad, se utilizan comercialmente polímeros sintéticos genéricamente conocidos como resinas. Se clasifican en intercambiadores catiónicos y aniónicos. [6]

- Resinas catiónicas (ácidas)

Constan de un gran anión (naturaleza polimérica) y un catión extraíble. Si este catión es  $\text{H}^+$ , la resina se comporta como un ácido (RH), que a su vez puede ser fuerte o débil. Una resina de ácido fuerte puede intercambiar cationes con cualquier sal (por ejemplo,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), generando

ácidos fuertes inorgánicos ( $H_2SO_4$  en este caso), mientras que una resina débil sólo intercambia cationes sólo con sales (por ejemplo,  $Na_2CO_3$ ) que forman ácidos débiles ( $H_2CO_3$ ), pero no con sulfatos, cloruros o nitratos. [6]

- Resinas aniónicas (básicas)

Consisten en una fase catiónica estacionaria y un anión extraíble, por lo general  $OH^-$ . Funcionan como bases, y pueden ser bases fuertes o débiles. [6]

### Curvas de ruptura

El intercambio iónico mediante resinas se suele realizar en lechos fijos sin presencia de condiciones estacionarias. Las resinas retienen cantidades crecientes de iones hasta que finalmente se saturan, debiendo detenerse el proceso. [6]

La saturación final de la resina se puede resumir en cuatro fases:

1. **En la fase inicial**, la resina retiene la mayor parte de los iones en la zona inferior y sólo unos pocos iones llegan a la superior, por lo que el efluente está casi libre de iones.
2. **A medida que la disolución sigue fluyendo por la resina las capas inferiores se saturan y la frontera de saturación va subiendo**. Aun así la concentración de iones en la salida continua siendo muy baja. A medida que la frontera llega a la parte superior de la columna de resina las concentraciones de iones en el efluente aumentan.
3. **Cuando la concentración llega a un valor determinado el proceso alcanza el punto de ruptura**
4. **La cantidad de iones en el efluente se eleva notablemente a medida que disminuye la zona de intercambio de iones en la parte superior de la resina**. Cuando la resina se encuentra totalmente saturada la concentración de iones del efluente es igual a la concentración iones de entrada,  $C_0$ , es decir, la resina no podrá retener los iones.

La forma y el tiempo de aparición de esta curva de ruptura influyen en gran medida en la forma de operación. Las curvas tienen generalmente forma de S, pudiendo ser más o menos anchas. Si el proceso de intercambio es infinitamente rápido, la zona de intercambio sería sólo un plano y no una franja, siendo la curva de ruptura una línea recta vertical. [6]

### Eficiencia y capacidad

Un modo simple de expresar la eficiencia de un sistema de intercambio, se basa en las concentraciones de entrada y salida a la columna de intercambio:

$$\eta = \frac{C_{in} - c_{out}}{C_{in}} \cdot 100 \quad (3)$$

Una característica importante de las resinas es la capacidad de intercambio, definida como la cantidad de iones (medidos como equivalentes) que pueden quedar retenidos por unidad de volumen del lecho. [6]

### Regeneración

Ya que las resinas de intercambio iónico se saturan pasado un tiempo, es necesaria una operación de regeneración con la cual se logre alcanzar el estado inicial de la resina y de este modo vuelva a estar operativa. [6]

Para regenerar una resina catiónica, se emplean ácidos minerales fuertes tales como HCl o H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, mientras que para resinas aniónicas, se emplean bases fuertes como NaOH. [6]

Una vez regenerada la resina se debe equilibrar el pH de la misma para ello se hace fluir agua destilada a través de la misma hasta alcanzar el pH neutro. [6]

## Equipo

Para la realización de estos ensayos se utilizaron los siguientes dispositivos:

- Vasos de precipitados: uno con la disolución de estudio y otro al final de la resina para captar el efluente
- Bomba peristáltica: utilizada para hacer circular el efluente a lo largo del equipo



Ilustración 11. Bomba peristáltica

- Resina: Se utilizó la misma resina para todos los experimentos

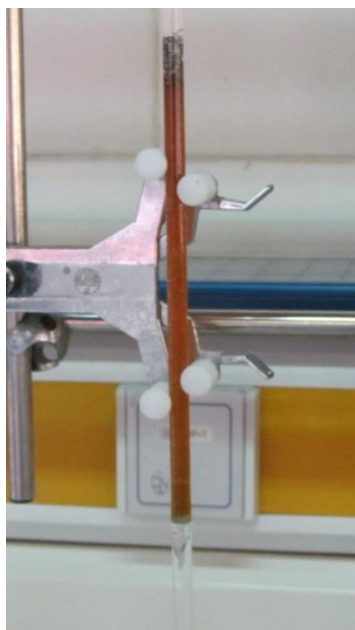


Ilustración 12. Resina catiónica utilizada en los ensayos

Tabla 4. Datos de la resina catiónica

Tipo de resina	Catiónica
Referencia de la Resina	Amberlita IR-120
Matriz	Divinilbencenoestireno
Tamaño de la partícula, mm	0,06 – 0,47
Capacidad, mol/L	1,8
Velocidad especial de operación, vol/vol·h	4 - 24
Disolución regeneradora	HCl 5%
Velocidad espacial para la regeneración, vol/vol·h	1
Densidad kg/m <sup>3</sup>	580

- Dispositivos de medición: El sistema utilizado para realizar las medidas varia de un elemento a otro, en el caso del hierro ya que la solución tiene un fuerte color naranja se pudo utilizar el espectrómetro Genesis 20 con el cual se miden Absorbancias, mientras que en el caso del aluminio como apenas se apreciaba coloración se utilizaron tiras medidoras de pH.



Ilustración 13. Dispositivos de medición, espectrómetro génesis 20 y tiras medidoras de pH

### Calibración de la bomba

Antes de comenzar a realizar los experimentos se calibro la bomba con el fin de conocer el caudal que circulara durante los distintos experimentos. Para ello se midió tres veces el tiempo necesario para llenar una probeta de 25ml, con un cronometro de precisión.

Tabla 5. Tiempos para la obtención del caudal de la bomba

T1	T2	T3
24,82 s	24,24 s	21,36

Hallando la media de los tiempos y con el volumen de la probeta se obtendrá el caudal de la bomba simplemente con aplicar la siguiente formula:

$$Q = v/\bar{t} = 1,06 \cdot 10^{-6} m^3/s$$

## Eliminación del hierro presente

### Preparación de la muestra

Para realizar este experimento se sintetizó una muestra en laboratorio con una concentración en hierro igual a la de la muestra más prohibitiva de las tomadas en campo, es decir 1845 ppm, el hierro de la muestra proviene de un cloruro de hierro.

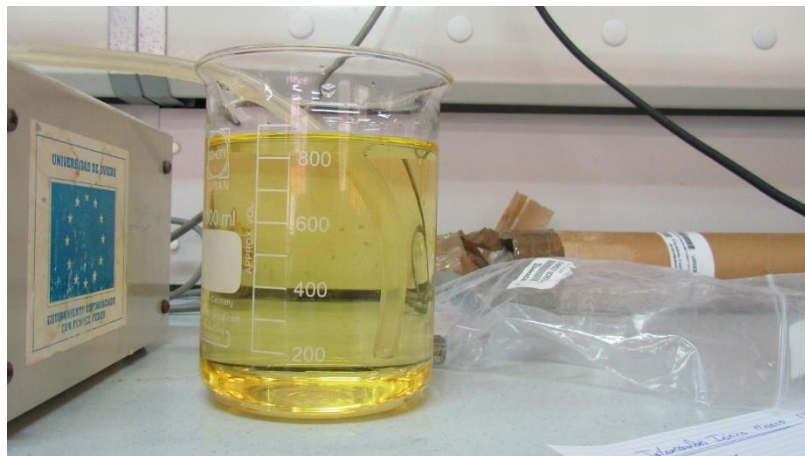


Ilustración 14. Muestra de hierro para la realización de los ensayos

### Recta de calibración

El primer paso a la hora de realizar este ensayo consiste en realizar la curva de calibración con la cual podremos obtener la relación entre las distintas concentraciones de hierro y las absorbancias medidas por el espectrómetro.

Tabla 6. Recta de calibración del hierro

<b>Concentración (ppm)</b>	<b>1,845</b>	<b>0,5</b>	<b>0,25</b>	<b>0</b>
<b>Absorbancia</b>	0,045	0,019	0,014	0



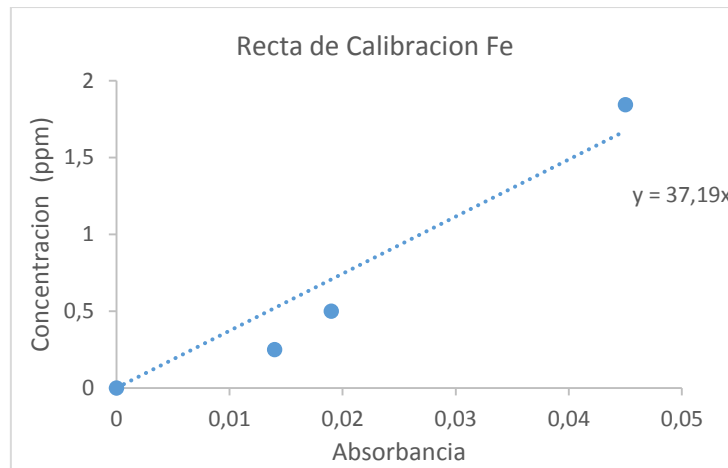


Ilustración 15. Recta de calibración del hierro

### Curva de ruptura

Para realizar la curva de ruptura se hizo fluir la disolución a través de la resina hasta agotarla, es decir que la absorbancia a la salida de la muestra fuera igual a la de la solución de partida, tomándose muestras cada dos minutos.

Tabla 7. Curva de ruptura del hierro

t (min)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
Abs	0	0	0	0	0	0	0	0	0,015	0,017	0,019	0,02	0,025	0,032	0,04

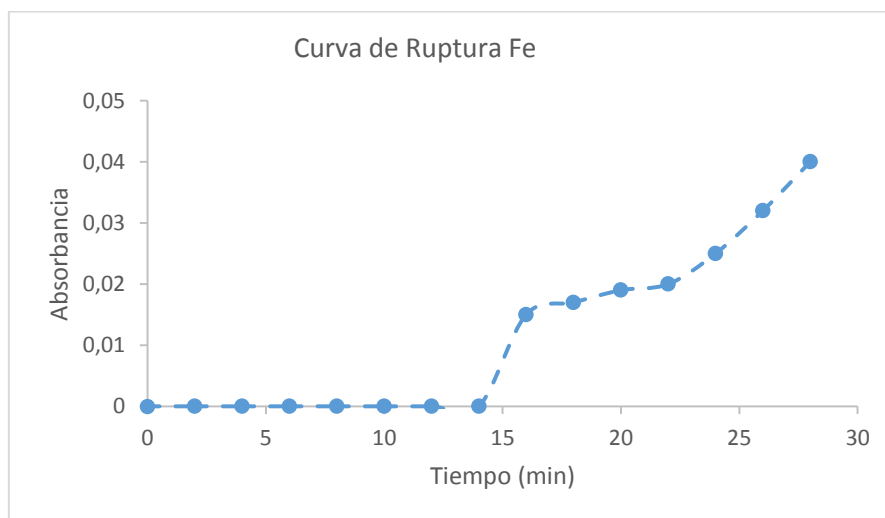
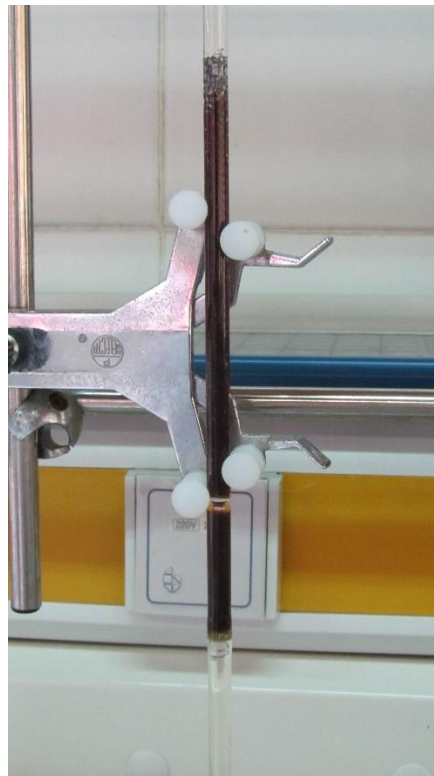


Ilustración 16. Curva de ruptura del hierro

Hasta los 14 minutos la gráfica se mantiene en 0 debido a que se tuvo que cambiar la disolución ya que las pruebas iniciales con sulfato de hierro no daban la suficiente coloración para que el espectrómetro detectase cambios, y no se regenero la resina entre una disolución y otra.



*Ilustración 17. Resina agotada*

### Curva de regeneración

*Tabla 8. Curva de regeneración del hierro*

Tiempo (min)	2	4	6	8	10
Adsorbancia	0,045	0,027	0,005	0,002	0

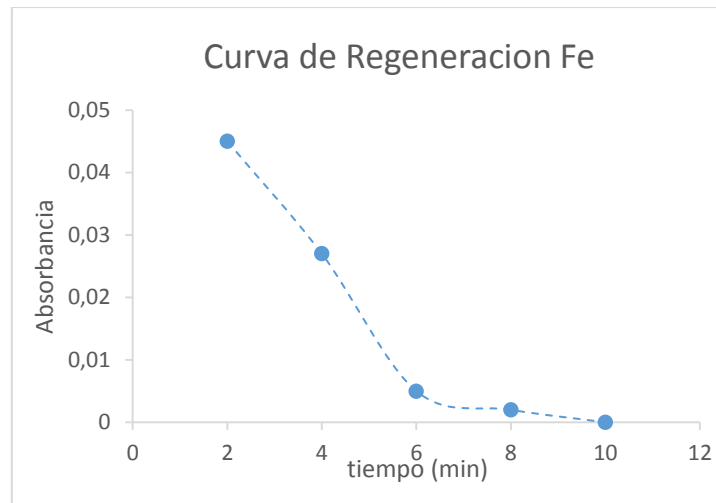


Ilustración 18. Curva de regeneración del hierro

La Curva de regeneración se obtuvo al hacer fluir la disolución de ácido clorhídrico (5%) a través de la resina hasta alcanzar una absorbancia de 0, en ella se puede apreciar el tiempo que fue necesario para regenerar la resina utilizada en el laboratorio. La segunda parte de la regeneración, alcanzar el pH neutro, se llevó a cabo haciendo pasar agua destilada por la resina durante 9 minutos 45 segundos.

### Dimensionamiento de los equipos

Para dimensionar un equipo de resinas de intercambio iónico se deben dimensionar la resina, el depósito de ácido y el depósito de agua, ambos necesarios para la etapa de regeneración, todos ellos se han dimensionado para un tiempo de trabajo de 7 días. [7]

Para el correcto dimensionamiento de la resina se debe calcular la masa de la resina requerida y las dimensiones de la columna de intercambio, para ello utilizaremos la siguiente fórmula:

$$\ln\left(\frac{C_0}{c} - 1\right) = \frac{K_1 M}{Q} - \frac{K_1 C_0 V}{Q} \quad (4)$$

Donde  $K_1$  es la pendiente de la recta de calibración y  $V$  se obtuvo multiplicando el caudal por el tiempo de trabajo (7 días). [7]

De esta fórmula se obtiene que nuestra resina tendrá una masa seca:

$$M_{\text{seca}} = 1535,6 \text{ Kg} \quad V = 5,8 \text{ m}^3$$

Suponiendo una humedad del 55% la masa húmeda y su volumen será:será:

$$M_{\text{Húmeda}} = 2380,2 \text{ kg} \quad V = 9 \text{ m}^3$$

Aplicando una relación de dimensiones típica de estos equipos de que la altura sea 4 veces mayor al diámetro y un coeficiente de seguridad del 20 % obtendremos las siguientes dimensiones:

$$H = 6,7 \text{ m} \quad D = 1,7 \text{ m}$$

Una vez conocido el volumen del equipo, se puede calcular el de los tanques de ácido y agua. Ambos se obtuvieron relacionando los volúmenes de ácido o agua utilizados en la regeneración de la resina del laboratorio con el volumen calculado del equipo real, y aplicando después un coeficiente de seguridad del 20 %. Por tanto, se obtendrán unos depósitos de:

$$V_{\text{acido}} = 287 \text{ m}^3 \quad V_{\text{agua}} = 280 \text{ m}^3$$

## Eliminación del aluminio presente

Para la eliminación del aluminio presente en las aguas utilizando resinas de intercambio iónico se realizó el experimento de forma análoga al de la eliminación del hierro, utilizando la una resina ácida tipo AMBERLITE IL-27. Debido a que la muestra de aluminio no presentaba una coloración significativa el método de análisis fue el de las tiras medidoras de pH.

### Preparación de la muestra

Para la realización de este ensayo se preparó una cantidad suficiente de disolución con una concentración de Aluminio de 410 ppm, la concentración más elevada encontrada en las muestras llevadas a analizar, para ello se utilizó cloruro de aluminio.



*Ilustración 19. Muestra de aluminio para la realización de los ensayos*

### Recta de calibración

Para llevar a cabo la recta de calibración se tomaron cuatro puntos con distintas concentraciones de aluminio y se midieron sus respectivos pH.

Tabla 9. Recta de calibración del aluminio

<b>Concentración (ppm)</b>	<b>410</b>	<b>600</b>	<b>200</b>	<b>0</b>
<b>pH</b>	<b>4,5</b>	<b>4</b>	<b>5,5</b>	<b>7</b>

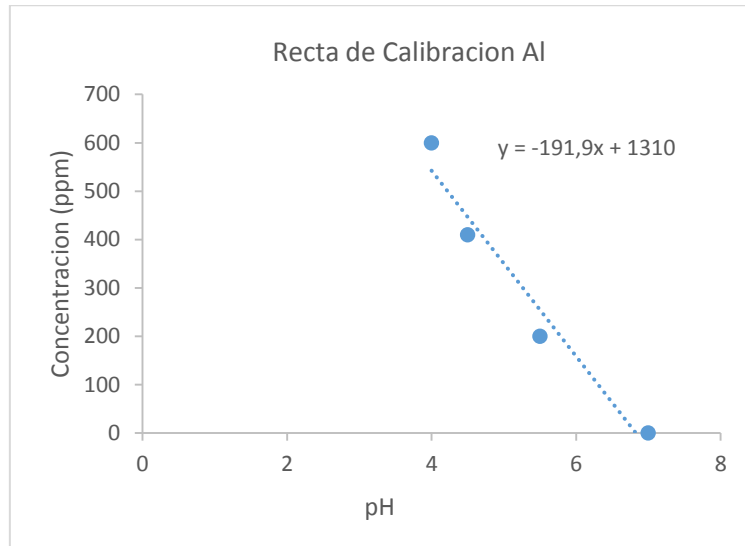


Ilustración 20. Recta de calibración del aluminio

### Curva de ruptura

Las medidas de pH se realizaron cada 2 min, hasta que se agotó la resina y el pH a la salida de la misma fue igual que a la entrada.

Tabla 10. Curva de ruptura del aluminio

<b>T (min)</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>12</b>	<b>14</b>	<b>16</b>	<b>18</b>	<b>20</b>	<b>22</b>	<b>24</b>
<b>pH</b>	3	3	4	4	3,5	3,5	4	4	4	4	4,5	4,5

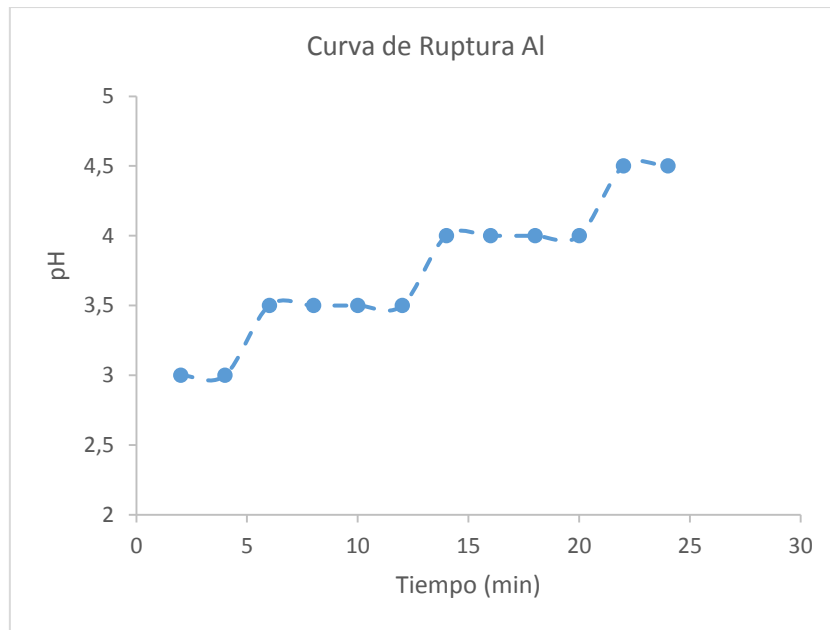


Ilustración 21. Curva de ruptura del aluminio

Los saltos entre los diferentes puntos de la tabla se deben a la sensibilidad de las tiras de pH, ya que es difícil obtener valores más precisos con métodos colorimétricos.

### Curva de regeneración

La etapa de regeneración se realizó primero haciendo fluir la disolución de ácido clorhídrico (5%) por la resina hasta alcanzar el pH de la primera muestra curva de ruptura, etapa que duro cinco minutos.

Tabla 11. Curva de regeneración del aluminio

Tiempo (min)	1	2	3	4	5
pH	4,5	4	4	3,5	3

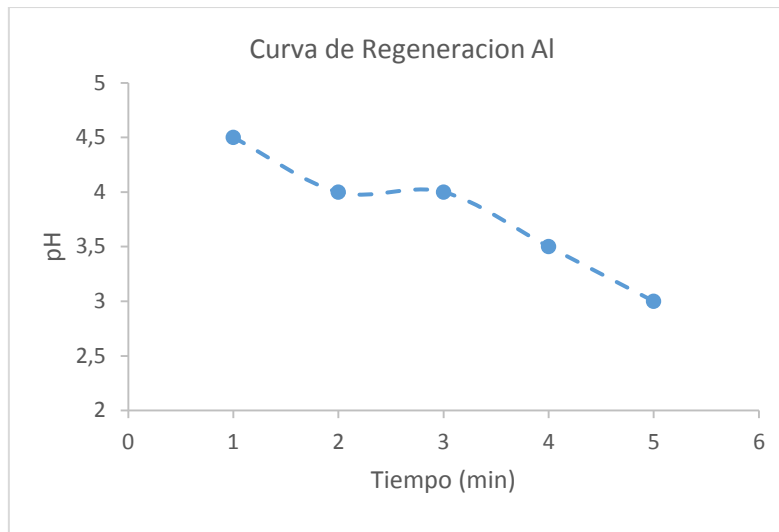


Ilustración 22. Curva de regeneración del aluminio

A continuación, se hizo fluir agua destilada a través de la resina hasta que se alcanzó un pH neutro, lo que ocurrió a los 6 min 30 s.

#### Dimensionamiento de los equipos

El dimensionamiento de este equipo se realizó siguiendo el mismo procedimiento que en el caso de la eliminación del hierro por medio de resinas de intercambio iónico. Los datos obtenidos tras aplicar los coeficientes de seguridad (20%) se recogen a continuación: [7]

Tabla 12. Dimensiones del equipo para la eliminación del aluminio

Masa de la resina seca (kg)	Masa de la resina húmeda (kg)	Volumen de la resina (m <sup>3</sup> )	D (m)	H (m)	Volumen del depósito de ácido (m <sup>3</sup> )	Volumen del depósito de agua (m <sup>3</sup> )
335,3	519,7	2,5	1	4	26,14	34,15



## Eliminación del cromo mediante la adsorción por carbón activo

### Fundamento teórico

La adsorción es un fenómeno por el cual las moléculas de un fluido (líquido o gas) que inciden una superficie solida se ven retenidas por ella ya sea por métodos físicos o químicos. Entre las principales ventajas de la adsorción como método de tratamiento de aguas residuales se debe destacar su capacidad de trabajo frente a concentraciones bajas de contaminante, su flexibilidad con las variaciones de caudal o concentración y la capacidad de recuperar las substancias retenidas entre otras muchas. [8]

El adsorbente más utilizado en el tratamiento de aguas residuales es el carbón activo granular (GAC), gracias a su estructura porosa de tipo pseudo-grafítica conformada por capas poli aromáticas colocadas de forma irregular el carbón activo granular es uno de los mejores adsorbentes en el mercado. [8]

La adsorción mediante GAC se utiliza principalmente para la eliminación de contaminantes orgánicos como hidrocarburos, compuestos aromáticos, plaguicidas etc. pero también es ampliamente utilizado para la eliminación de metales pesados como el arsénico, el mercurio el cromo, etc. razón por la que es utilizado en este trabajo de fin de master. [8]

Cuando se trabaja con carbón activo en la eliminación de metales pesados se debe tener especial cuidado para evitar que estos reaccionen con los grupos oxigenados del carbón desplazando los iones de hidrogeno por intercambio iónico o que se produzcan precipitados de sales metálicas debidos a procesos de nucleación o coagulación. Con el fin de evitar estos dos procesos que afectaría de forma significativa a la eficacia del proceso además de reducir el tiempo y coste de regeneración del GAC se recomienda realizar algún tipo de pretratamiento. [8]

## Equipo

Para la realización del ensayo de eliminación del cromo por el método de adsorción por carbón activo se necesitaron los siguientes instrumentos:

- 4 botes con tapa de 50 ml
- Carbón activo: Será el adsorbente utilizado



*Ilustración 23. Carbón activo utilizado*

- Baño termostático con agitación: Con el objetivo de mantener las muestras a una temperatura constante y con agitación de forma que aumente la eficiencia del proceso de adsorción.



*Ilustración 24. Baño termostático con agitación*

- Dispositivo de medición: Debido a que la solución del cromo tiene un fuerte color amarillo se utilizara para realizar las mediciones el mismo equipo que en el caso del hierro, el espectrómetro Génesis 20

## Eliminación del cromo

### Preparación de la muestra

Para la preparación de la muestra se realizó una disolución de 200 ml con una concentración de 105 ppm, la concentración del cromo más restrictiva en las muestras tomadas en campo, para conseguirlo se utilizó cromato potásico.



*Ilustración 25. Muestra del cromo para la realización de los ensayos*

Una vez realizada la disolución esta se colocó en los 4 botes de 50 ml y se añadió a cada uno 0,1 0,2 0,3 y 0,4 g de carbón activo.

### Realización del ensayo

La primera parte del ensayo consistió en la obtención de la curva de calibración para poder así relacionar las absorbancias medidas por el espectrómetro Génesis 20 con las concentraciones reales de las muestras, los resultados se presentan a continuación:

*Tabla 13. Recta de calibración del cromo*

Concentración (ppm)	0	105	400	800
Absorbancia	0	0,011	0,032	0,054

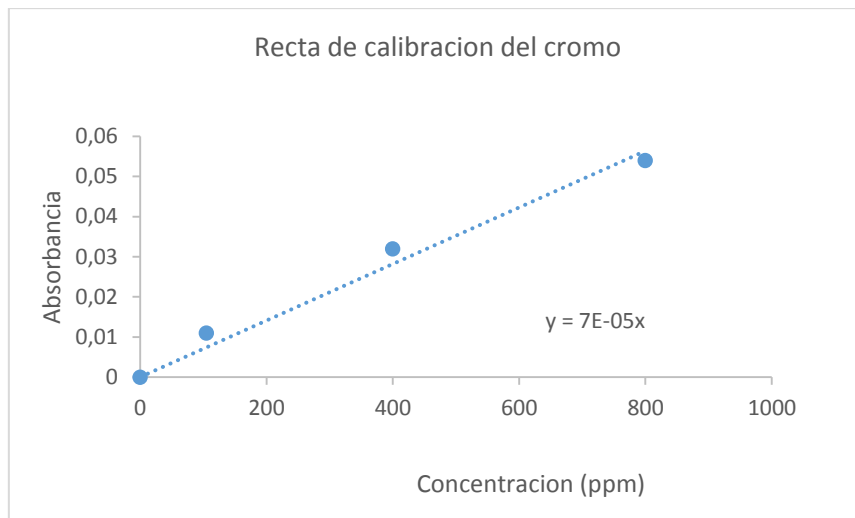


Ilustración 26. Recta de calibración del cromo

Una vez tenemos la recta de calibración se puede empezar con el ensayo propiamente dicho, para ello se introducirán los 4 botes con las muestras de cromo y carbón activo en el baño a temperatura ambiente y con una ligera agitación y se tomarán muestras cada diez minutos midiendo la absorbancia de cada una de ellas teniendo especial cuidado de no introducir granos de carbón activo en las celdas de medición de las absorbancias.

## Resultados del ensayo

Las medidas obtenidas al medir las absorbancias de las distintas muestras a lo largo del tiempo se recogen en la siguiente tabla:

Tabla 14. Datos del ensayo de adsorción

t (min)	muestra	muestra	muestra	muestra
	1	2	3	4
10	0,0048	0,0036	0,0033	0,003
20	0,0037	0,0026	0,0022	0,0019
30	0,0031	0,0017	0,0012	0,0009
40	0,0016	0,0011	0,0008	0,0006
50	0,0006	0,0005	0,0004	0,0002

Si se utiliza la ecuación de la recta de calibración con los datos anteriores se pueden obtener las concentraciones de cromo presentes en cada muestra:

Tabla 15. Concentraciones en cromo en las distintas muestras a lo largo del tiempo

Concentración de carbón (g)	Concentración de cromo (ppm)				
	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min
0,1	67	52	43	22	8
0,2	50	36	23	15	7
0,3	46	30	16	11	5
0,4	42	26	12	8	2

## Dimensionamiento del equipo

El primer paso a la hora de dimensionar un lecho de carbón activo es la obtención de las isotermas de Freundlich, estas isotermas se obtienen a partir de los datos recogidos en la tabla anterior, a partir de ellas será posible obtener las concentraciones de equilibrio, para ello se representan las concentraciones de cromo frente al tiempo. [9]

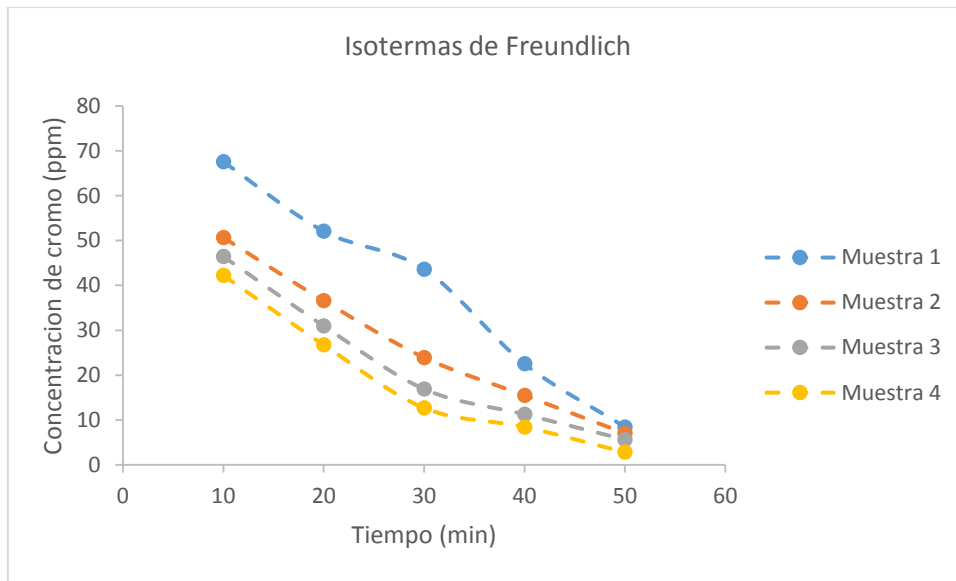


Ilustración 27. Isotermas de Freundlich

Por lo tanto las concentraciones de equilibrio serán las que se para distintas concentraciones de carbón activo tengan las concentraciones de cromo más similares, es decir las concentraciones con t= 50 min.

Tabla 16. Concentraciones de cromo en el equilibrio para las distintas concentraciones de carbón activo en las muestras

Concentración de carbón activo (g)	Concentración de cromo (ppm)
0,1	8
0,2	7
0,3	5,
0,4	2

La isoterma de Freundlich se define como:

$$\frac{X}{m} = K_f \cdot C_e^{1/n} \quad (5)$$

Donde:

- X/M es la concentración de adsorbente tras el equilibrio (mg adsorbato/ g adsorbente)
- $K_f$  es el factor de capacidad de Freundlich
- $C_e$  es la concentración final de la solución en el equilibrio (mg/L)
- $1/n$  es el parámetro de intensidad de Freundlich

Si tomamos logaritmos las isothermas de Freundlich se representaran en forma de recta y a partir de la ecuación de la misma se podrá obtener los valores de  $K_f$  y de  $1/n$ . [9]

$$\log \frac{X}{m} = \log K_f \cdot \frac{1}{n} \log C_e \quad (6)$$

Tabla 17. Cálculos para la obtención de  $K_f$  y  $1/n$

x/m	log(x/m)	Ce	log(Ce)
1050	3,021	8	0,926
525	2,720	7	0,847
350	2,544	5	0,750
262,5	2,419	2	0,449

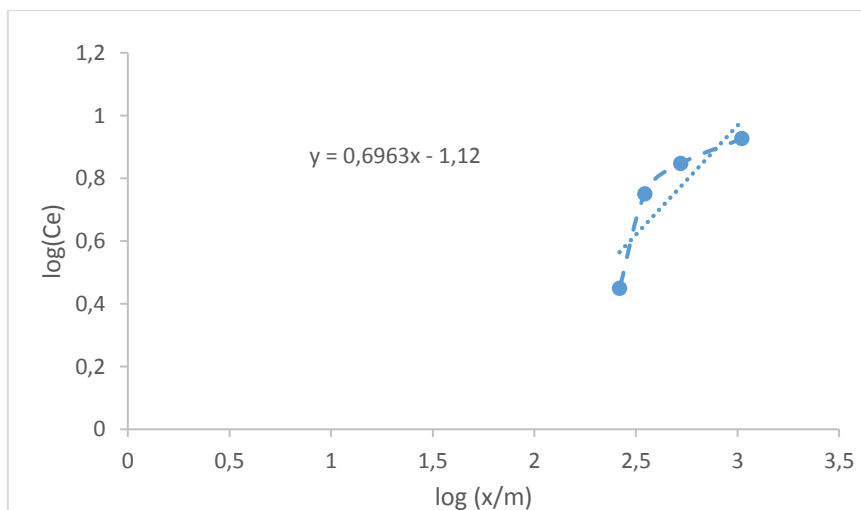


Ilustración 28. Obtención de  $K_f$  y  $1/n$

Aunque como se puede apreciar la aproximación lineal no resulta muy conveniente es necesaria ya que de la ecuación de la recta se obtienen los valores  $K_f$  y  $1/n$ . [9]

Por lo tanto:

$$\log K_f = -1,12 \rightarrow K_f = 0,326$$

$$1/n = 0,6963$$

Finalmente la isoterma de Freundlich será:

$$\frac{X}{m} = 0,326 \cdot C_e^{0,6963}$$

El equipo se ha dimensionado para un proceso de adsorción de Batch, en el que ni el adsorbato ni el adsorbente fluyen, se utilizara un equipo que trabaja en discontinuo ya que por norma general los equipos de estas características que trabajan en modo continuo se utilizan para caudales superiores a los 50 m<sup>3</sup>/día y la planta de tratamiento de aguas está siendo dimensionada para el tratamiento de 100 m<sup>3</sup>/día. [9]

El ratio de adsorción del adsorbato se controla mediante el siguiente balance de masa

$$q_e \times M = V \cdot C_0 - V \cdot C_e \quad (7)$$

Dónde:

- $q_e$  es la concentración de adsorbente después del equilibrio (mg adsorbato/ g adsorbente)
- $M$  la masa de adsorbente (g)
- $V$  el volumen del líquido en el reactor (L)
- $C_0$  la concentración inicial de adsorbato (mg/L)
- $C_e$  la concentración final de la solución (mg/L)



Otra forma de expresarlo sería:

$$q_e = \frac{V}{M} (C_0 - C_e) \quad (8)$$

Tomando como concentración inicial la concentración de cromo en la muestra "D" y como concentración final que deberá tener el efluente en el momento de su vertido:

Tabla 18. Concentraciones iniciales y finales del cromo

$C_0$ (ppm)	$C_e$ (ppm)
105	5

Se podrá calcular  $V/M$  al combinar la formula anterior con la ecuación de la isoterma de Freundlich (*formula 5*) por lo que obtenemos que:

$$\frac{V}{M} = \frac{K_f \cdot C_e^{1/n}}{(C_0 - C_e)} = 0,009998 \rightarrow \frac{M}{V} = 100,02$$

Y por tanto será posible calcular el carbón activo necesario para tratar los  $100 \text{ m}^3/\text{día}$ :

$$m = \frac{M}{V} \cdot Q = 10002,06 \text{ kg}$$

Y también el volumen de la instalación:

$$V = m \cdot \frac{V}{M} = 100 \text{ m}^3$$

Aplicando el coeficiente de sobredimensionamiento del 20% se obtiene un volumen final de  $120 \text{ m}^3$  por lo tanto las dimensiones del equipo suponiendo que la altura del equipo es el doble que su diámetro serán:

$$D = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot V}{\pi}} = 4,24 \text{ m}$$

$$H = 2 \cdot D = 8,48 \text{ m}$$

# Eliminación del manganeso y los sulfuros mediante la precipitación química

## Fundamento teórico

La precipitación química es uno de los principales procesos para el tratamiento de aguas siendo utilizada principalmente para el ablandamiento de la misma, es decir la eliminación de iones de calcio o magnesio, y la eliminación de hidróxidos metálicos. [10]

La precipitación química consiste en la formación de especies insolubles mediante la acción de determinados reactivos para, de esta manera, poder eliminar compuestos indeseables que se encuentran disueltos en las aguas. Estas reacciones siguen las leyes de Berthollet o las de oxidación reducción. [10]

Para la eliminación de hidróxidos metálicos, objetivo para el cual se utilizará la precipitación química en este proyecto de fin de máster, los reactivos más utilizados son el hidróxido de sodio (reactivo utilizado en los ensayos realizados), la cal viva, los sulfatos y los sulfuros. Al añadir estos compuestos a las aguas residuales industriales se forman hidróxidos o sulfuros de metal respectivamente, ambos compuestos de poca solubilidad y que pueden ser eliminados una vez se han conseguido precipitar mediante procesos de filtración. [10]

Cabe destacar que la presencia de compuestos orgánicos en las aguas residuales puede llevar a la formación de complejos de metal reduciendo la eficacia del proceso. Este problema generalmente se soluciona mediante la implantación de mejores sistemas de separación de residuos. [10]

El objetivo de este ensayo es alcanzar los pH para los cuales las distintas especies disueltas, nitrato de manganeso y sulfuro ferroso, se vuelven insolubles, estos se alcanzan para pH de 9 y 8 respectivamente, es por eso que al alcanzar las condiciones de precipitación de la especie que contiene el manganeso también se conseguirá la precipitación de los sulfuros al haber sobrepasado ya el pH de necesario para su precipitación y solo será necesario realizar los cálculos para la precipitación del manganeso.

## Equipo

Para la realización del ensayo de precipitación química se necesitaron los siguientes equipos:

- Vaso de precipitados
- Reactivos: En nuestro caso se utilizó hidróxido de sodio (NaOH) para alcanzar el pH necesario para la precipitación de los contaminantes

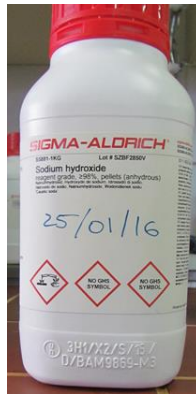


Ilustración 29. Hidróxido de sodio

- Equipo de medida del pH: Ya que en este ensayo se necesitaba una mayor precisión que la ofrecida por las tiras medidoras de pH se utilizó el sistema de medida de pH digital “pH meter basic 20”



Ilustración 30. pH meter basic 20

## Preparación de la muestra

Para la realización de este ensayo se preparó una muestra de medio litro en un vaso de precipitados con las concentraciones de sulfuro y manganeso correspondientes a la muestra más restrictiva de las tomadas en la playa de LLumeres, es decir 174 ppm de manganeso y 325 ppm de sulfuros. El aporte de manganeso proviene del nitrato de manganeso, sustancia incolora y que por tanto no será posible apreciar su precipitación, mientras que los sulfuros provienen del sulfuro ferroso, sustancia de un fuerte color gris.



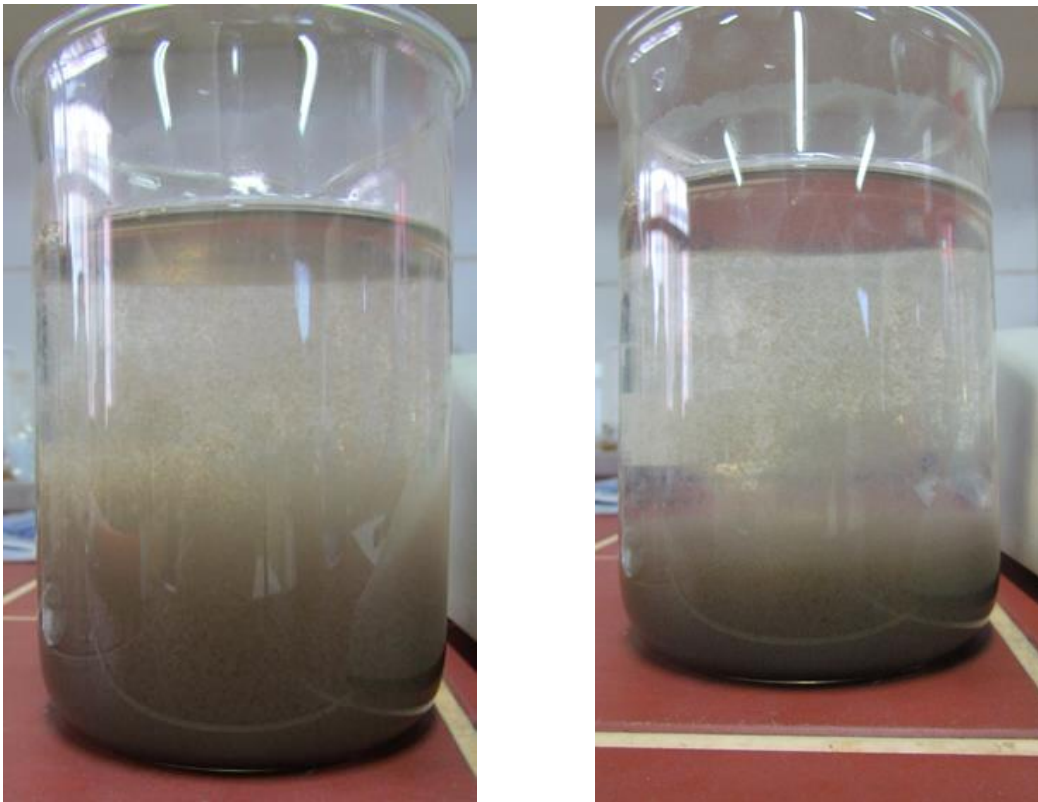
*Ilustración 31. Nitrato de manganeso y sulfuro ferroso utilizados en el ensayo*

Debido a la dificultad para la disolución del sulfuro ferroso, el cual se presenta en forma cilíndrica de gran dureza, se utilizó un mortero con el fin de aumentar la superficie específica del mismo y una placa calefactora con un agitador para acelerar el proceso de disolución.

## Realización del ensayo

Una vez se tiene la muestra se procedió a medir el pH inicial, dando un resultado de 6,74, como cabría de esperar se trata de un pH ácido.

El ensayo consistió en ir añadiendo de forma paulatina dos lentejas de hidróxido de sodio cada una de ellas de 0,1 gramos e ir midiendo el pH tras su disolución, registrando posteriormente los datos medidos hasta observar como precipitan las distintas especies disueltas.



*Ilustración 32. Precipitación de los sulfuros*

## Resultados del ensayo

Los resultados obtenidos se encuentran en la tabla siguiente:

Tabla 19. Variación del pH frente a los gramos de NaOH añadidos

pH	6,74	7	7,26	7,62	8,05	8,61	9	11,23	12,22
g de NaOH/ 500 ml	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6

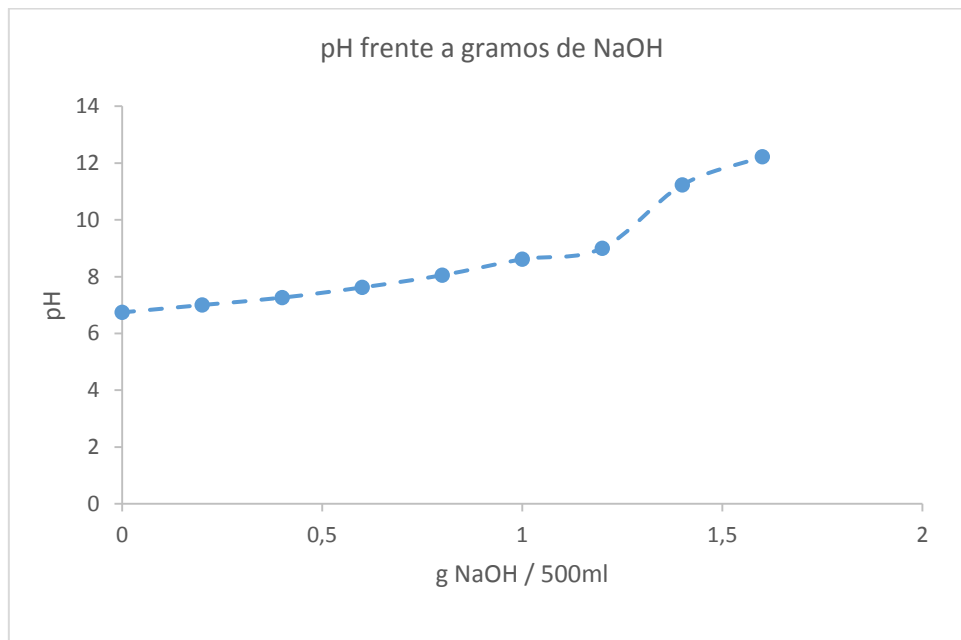


Ilustración 33. Evolución del pH frente a la adición de NaOH

Como se puede apreciar el pH de la disolución va aumentando hasta alcanzar el pH 9, momento en el cual el manganeso precipita.



*Ilustración 34. Muestra precipitada*

## Dimensionamiento de los equipos

Un equipo de precipitación química consta de tres elementos, el tanque de precipitación, el tanque de dosificación y el tanque de neutralización. En nuestro caso no será necesario el tanque de neutralización ya que de acuerdo a la Ley 5/2002 del Principado de Asturias (Anexo 2) la cual se está tomando como referencia para las concentraciones límite del efluente, este se puede verter con un pH de 9.

### Calculo de la cantidad de NaOH necesaria por día

El primer paso para el dimensionamiento del equipo será calcular cuánto NaOH fue necesario añadir para alcanzar un pH de 9, para ello se utilizó la ecuación de la línea de tendencia del grafico que presenta el pH frente a los gramos de NaOH.

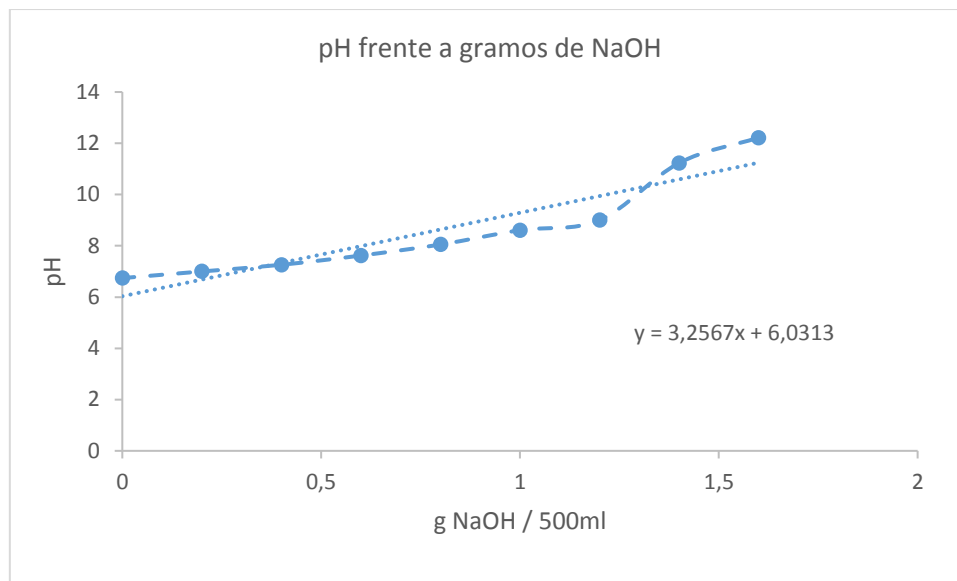


Ilustración 35. Evolución del pH frente a la adición de NaOH con su recta de aproximación

De esta manera se sabe que para alcanzar el pH de 9 en la muestra de medio litro fueron necesarios 1,06 gramos de NaOH.

Conocidos los gramos de NaOH necesarios para la precipitación de medio litro solo es necesario extrapolar los datos para los 100 m<sup>3</sup>/día que se han supuesto como flujo del influente, de esta forma se obtiene que serán necesarios **213 kg** de NaOH al día para la precipitación de los sulfuros y el manganeso.

### Dimensionamiento del tanque de precipitación

El tanque de precipitación debe de tener suficiente volumen como para almacenar los 100m<sup>3</sup> que circulan cada día por la planta de tratamiento, si se realiza una descarga cada hora el volumen necesario del tanque será:

$$V = 100 \frac{m^3}{día} \cdot \frac{1 día}{24 h} = 4,16 m^3$$

Aplicando el sobredimensionamiento del 20% que se ha ido utilizando a lo largo de todo este TFM el volumen del tanque deberá ser de:

$$V_f = 5 m^3$$



Suponiendo una relación tal que la altura del tanque sea 3 veces el diámetro del mismo obtendremos:

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V}{3\pi}} = 1,3 \text{ m}$$

$$H = 3 \cdot D = 4 \text{ m}$$

### Dimensionamiento del tanque de dosificación

El tanque de dosificación es el encargado de almacenar el NaOH necesario para la reacción durante un determinado periodo de tiempo.

A partir de los datos recogidos en la siguiente tabla y aplicando un sobredimensionamiento del 20% es posible calcular el volumen final del tanque de dosificación.

Tabla 20. Datos para el dimensionamiento del tanque de dosificación

<b>Kg de NaOH diarios</b>	<b><math>\rho_{\text{NaOH}}</math> (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>T (días)</b>
<b>213</b>	<b>1510</b>	<b>7</b>

$$V = \frac{\text{Kg de NaOH diarios} \cdot T}{\rho_{\text{NaOH}}} = 0,9875 \text{ m}^3$$

$$V_f = V \cdot 1,2 = 1,2 \text{ m}^3$$

Tomando la misma relación altura diámetro que en el caso anterior, se obtienen unas dimensiones de:

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V}{3\pi}} = 80 \text{ cm}$$

$$H = 3 \cdot D = 2,4 \text{ m}$$

## Diagrama de Flujo de la instalación

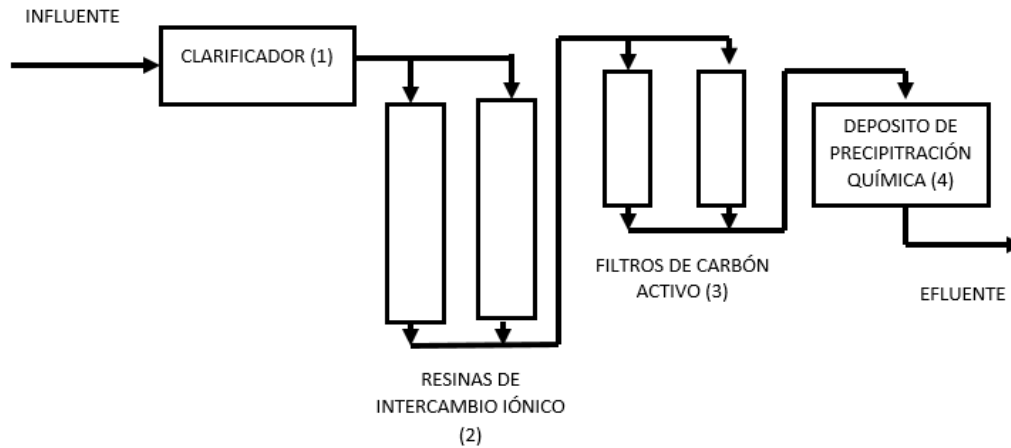


Ilustración 36. Diagrama de flujo de los equipos

El agua entrara en el clarificador (1) donde serán eliminadas las partículas sólidas suspendidas, pasando a continuación a uno de los equipos de resinas de intercambio iónico (2), que trabajaran en discontinuo, eliminándose el hierro y el aluminio presente. Después entraran en funcionamiento los filtros de carbón activo (3) donde se eliminará el cromo. Finalmente, las aguas pasaran por el tanque de precipitación química (4) donde se removerán los sulfuros y el manganeso para después ser vertidas.

## Análisis económico de la instalación

### Consideraciones generales

Para realizar el análisis económico y evaluar la rentabilidad de la planta de tratamiento de aguas de mina se tendrá en consideración que el beneficio será la diferencia entre el canon de control de vertidos con y sin tratamiento; el capital invertido y los costes de producción.

### Capital invertido

Como capital invertido se considera a toda cantidad de dinero necesaria para la instalación y puesta en marcha de la planta de tratamiento, para calcularlo se debe conocer el capital fijo, el capital auxiliar y el capital circulante tal y como se muestra en la formula a continuación: [11]

$$I = I_F + I_A + I_C \quad (8)$$

### Capital inmovilizado

Este término se divide a su vez en dos, los costes directos donde se incluye entre otros el coste de los equipos, el coste de instalación, tuberías, electricidad, etc. y los costes indirectos que hacen referencia a la ingeniería, construcción y contingencias. [11]

Se utilizará el método factorial de Lang ya que es el más utilizado en la práctica, teniendo en cuenta los principales equipos y añadiendo los costes directos e indirectos. [11]

$$I_F = f_L \cdot I_E \quad (9)$$

Donde  $I_E$  hace referencia al coste del proceso instalado y  $f_L$  es el factor de Lang

$$f_L = (1 + f_D) \cdot (1 + f_I) \quad (10)$$

Para el cálculo del precio de los equipos se puede utilizar el coste dado por el fabricante en sus catálogos o utilizar graficas o correlaciones para calcular su coste a partir de un precio antiguo conocido. [11]

$$C_{actual} = C_{original} \frac{I_{coste actual}}{I_{coste original}} \quad (11)$$

Donde  $I_{coste actual}$  e  $I_{coste original}$  Son los índices de costes para el año actual y del año de referencia. En este TFM se utilizaran los índices de costes de Marshall y Swift que aparecen a continuación, los índices para los años desde el 2012 hasta el 2017 se obtuvieron mediante extrapolación. [11]

Tabla 21. Índices M y S [11]

Año	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
IC	1179,5	1244,5	1302,3	1373,3	1149,3	1468,6	1490,2	1536,5	1565,6	1594,7	1651	1698,4	1745,8	1793,3

A continuación se recogen todos los equipos necesarios para la planta de tratamiento de aguas con sus respectivos precios. Estos se han redondeado ya que los precios varían de un proveedor a otro. [12]

Tabla 22. Listado de equipos y sus respectivos costes

Equipo	Precio Unitario (€)	Cantidad	Precio (€)
Clarificador	20000	1	20000
Resina de intercambio iónico	50000	2	100000
Tanque de ácido	115500	1	115500
Tanque de agua	115500	1	115500
Lecho de carbón activo	81000	2	162000
Tanque de precipitación	6200	1	6200
Tanque de dosificación	3500	1	3500

Una vez conocido el coste de los equipos se calculan los coeficientes  $f_D$  y  $f_i$  tal y como se muestran a continuación: [11]

 Tabla 23. Coeficientes  $f_D$ 

Concepto	Coefficiente $f_D$
Montaje	0,2
Instrumentación	0,15
Equipos eléctricos	0,1
<b>Total</b>	<b>0,45</b>

 Tabla 24. Coeficientes  $f_i$ 

Concepto	Coefficiente $f_i$
Diseño e ingeniería	0,2
Beneficio del contratista	0,05
Contingencias	0,1
<b>Total</b>	<b>0,35</b>

Por tanto el capital fijo será:

$$I_F = I_E \cdot (1 + f_D) \cdot (1 + f_I) = 522700 \cdot (1 + 0,45) \cdot (1 + 0,35) = 1023185\text{€}$$

### Capital auxiliar

Se considera como capital auxiliar al coste de todos los elementos externos necesarios para el proceso, como accesos y edificios. Se estima en un 5% del capital inmovilizado. [11]

$$I_A = 0,05 \cdot I_F = 51159,26\text{€}$$

### Capital circulante

El capital circulante es el capital necesario para mantener la planta en correcto funcionamiento, incluye entre otros el coste de las materias prima almacenadas, repuestos, impuestos, etc. Como se trata de una pequeña planta de tratamiento que formaría parte de una industria de mayor envergadura se considera que el coste circulante será del 10% del coste fijo. [11]

$$I_C = 0,1 \cdot I_F = 102318,5\text{€}$$

**Por lo tanto, el capital invertido es de:**

$$I = I_F + I_A + I_C = 1176663\text{€}$$

## Costes de producción

Los costes de producción son los relacionados con la actividad industrial que se lleva a cabo en la planta vienen dados por el término de inmovilizado, el término de producción y el término de la mano de obra: [11]

$$C = C_I + C_P + C_O \quad (12)$$

### Termino de inmovilizado

En este término se incluyen gastos como mantenimiento, seguridad, seguros y servicios generales o administrativos. Para su cálculo se considera como el 10% del capital fijo. [11]

$$C_I = 0,1 \cdot I_F = 102318,5\text{€}$$

### Termino de producción

Para calcular el término de producción se deben tener en cuenta el coste de las materias primas y de servicios auxiliares como electricidad y agua. [11]

Ya que para el diseño de la planta no se han dimensionado bombas, agitadores u otros equipos eléctricos y que el agua empleada proviene de la propia mina y no se debe pagar, en el término de producción solo se tendrán en cuenta el coste de las materias primas, el cual se muestra en la siguiente tabla

Tabla 25. Materias primas y sus respectivos costes anuales

Materia prima	flujo	unidades	coste	unidades	coste anual (€)
Ácido clorhídrico	45	m <sup>3</sup> /día	0,46	€/t	7,918164
Hidróxido de sodio	213	kg/día	300	€/t	23323,5
<b>Total</b>					<b>23331,42</b>

### Termino de mano de obra

En este término no solo se incluyen los costes de la mano de obra directa, también los de inspección y gerencia. Considerando que la planta trabaja las 24h al día, los turnos son de 8h y que trabajara un operario por turno cuyo cometido será el de comprobar el buen funcionamiento de la planta realizando las reparaciones necesarias dentro de sus conocimientos y en caso de no poder avisar a un supervisor, el cual será un ingeniero que se encuentre ya trabajando en la industria que realizara una pequeña inspección diaria a la planta y que por este motivo no se contara en los cálculos de mano de obra de la planta. [11]

Para realizar los cálculos del salario de los operarios se utilizó el BOPA número 272 del 23- XI- 2015

Tabla 26. Cálculo del coste de la mano de obra

Categoría	Salario anual (€)	Número de trabajadores	Coste anual (€)
Oficial 1ª	13033,6	5	65168
<b>total</b>			<b>65168</b>

Este cálculo se realizó utilizando el salario de día natural para los días laborables y el salario con el plus de días no naturales para el resto de días del año ya que el trabajo en la planta de tratamiento no puede cesar.

**Por tanto, el coste de producción será:**

$$C = C_I + C_P + C_O = 190817,92€$$



## Beneficios

Si bien no se puede considerar que existe un beneficio neto del tratamiento de aguas residuales, sí se puede calcular la diferencia entre el canon de control de vertido (CCV) a abonar con y sin tratamiento del agua residual. Para realizar el balance económico, se considerará como “beneficio” el importe que la empresa deja de pagar.

$$CCV = V \cdot P_b \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4$$

Donde,

V = volumen vertido anualmente (m<sup>3</sup>)

C<sub>2</sub> = coeficiente de mayoración en función del intervalo de caudal industrial

C<sub>3</sub> = coeficiente de mayoración/minoración en función de si las aguas son tratadas o no

C<sub>4</sub> = coeficiente de mayoración en función del tipo de efluente al que se va a realizar el vertido

Según la legislación vigente, los coeficientes a aplicar son los recogidos en las siguientes tablas 27 y 28 (Ley 5/2002 del Principado de Asturias). Se considerará que el efluente, de tipo 2 según la clasificación de dicha ley, al que se realizará el vertido es de tipo I (el tipo más restrictivo para tener un presupuesto conservador).

Tabla 27. Clases de aguas a las que realizar el vertido

Clase	Grupo	Sector
clase 1	0	Servicios
	1	Energía y agua
	2	Metal
	3	Alimentación
	4	Conserva
	5	Confección
	6	Madera
	7	Manufacturas diversas
	8	Minería
clase2	9	Química
	10	Materiales de construcción
	11	Bebidas y tabaco
	12	Aceites, carnes y lácteos
	13	Textil
	14	Papel
	15	Curtidos
clase 3	16	Tratamiento de superficies
	17	Zootecnia

Tabla 28. Coeficientes de mayoración/minorización

A.R: Industriales (P <sub>b</sub> = 0,03005)	Con tratamiento adecuado			Sin tratamiento adecuado			
	c3 = 0,5			c3 = 2,5			
	Zona categoría III	Zona categoría II	Zona categoría I	Zona categoría III	Zona categoría II	Zona categoría I	
	C <sub>4</sub>			C <sub>4</sub>			
	1,00	1,12	1,25	1,00	1,12	1,25	
<b>Industrial de clase 1</b>	1,00	0,5000	0,5600	0,6250	2,5000	2,8000	3,1250
<b>Industrial de clase 2</b>	1,09	0,5450	0,6104	0,6813	2,7250	3,0520	3,4063
<b>Industrial de clase 3</b>	C <sub>2</sub> 1,18	0,5900	0,6608	0,7375	2,9500	3,3040	3,6875
<b>Clase 1, 2, 3 con sustancias peligrosas</b>	1,28	0,6400	0,7168	0,8000	3,2200	3,5840	4,0000

$$CCV_{Trat} = 100 \text{ m}^3/\text{dia} \cdot 365 \text{ día/año} \cdot 0,03005 \cdot 0,5 \cdot 1,09 \cdot 1,25 = 747,21 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

$$CCV_{sinTrat} = 100 \text{ m}^3/\text{dia} \cdot 365 \text{ día/año} \cdot 0,03005 \cdot 2,5 \cdot 1,09 \cdot 1,25 = 3736,06 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

$$Ahorro = CCV_{sinTrat} - CCV_{Trat} = 2988,85 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

## Rentabilidad

Como ya hemos dicho no se han tenido en cuenta ingresos ya que el objetivo de esta planta es únicamente medioambiental, no tiene como objetivo el aprovechamiento de los metales presentes en el agua, tan solo su eliminación para que sea posible realizar su vertido de acuerdo a la Ley 5/2002 del Principado de Asturias.

Sin embargo, se va a calcular la rentabilidad del proyecto a partir del Valor Actual Neto (VAN) para que sea posible la comparación de esta planta con otras de objetivos similares y que utilicen otras técnicas de eliminación de contaminantes. [11]

Para calcular el VAN se debe considerar:

- El horizonte temporal de la inversión: es el periodo durante el cual la inversión genera rendimientos o, dicho de otra forma, la vida útil del proyecto, que en nuestro caso será de 10 años
- Amortización: Es la depreciación sufrida por los equipos a lo largo del tiempo, representa el capital que debe ser ahorrado cada año para la renovación de los mismos tras finalizar su vida útil, se considera una amortización de tipo lineal

$$A_m = \frac{I_F - V_s}{n} \quad (13)$$

Como se considera que los equipos se amortizan en 10 años (n) y que su valor residual ( $V_s$ ) será del 10% de su valor inicial obtendremos que:

$$A_m = 92086,65\text{€}$$

- Tasa impositiva: El tipo de gravamen fijado por la Ley del Impuesto de Sociedades es para el 2017 del 30% ( $t_i$ )
- Flujo neto de caja: es la diferencia real entre todas las entradas y salidas de capital de la tesorería de la empresa

$$FNC = \text{Beneficios brutos} - \text{Beneficios netos } t_i \quad (14)$$

$$FNC = (I - C) - (I - C - A_m) \cdot t_i$$

$$FNC = -103854\text{€}$$

## Valor Actualizado Neto

El VAN se define como el valor actualizado de todos los flujos de caja netos que generará una determinada inversión incluyendo el desembolso inicial. [11]

Consiste en actualizar el valor presente de los flujos de caja de los años venideros que serán generados mientras que se descuenta un tipo de interés y de esta manera compararlos con la inversión inicial: [11]

$$VAN = -I + \sum_{j=1}^j \frac{FNC_j}{(1+i)^j} \quad (15)$$

Donde:

- I es el capital invertido
- FNC el flujo neto de caja
- i la tasa de descuento, la cual se fija en el 3% en todos los periodos
- j es el horizonte temporal de la inversión, 10 años

En la siguiente gráfica se puede apreciar la tendencia del VAN a lo largo del tiempo.

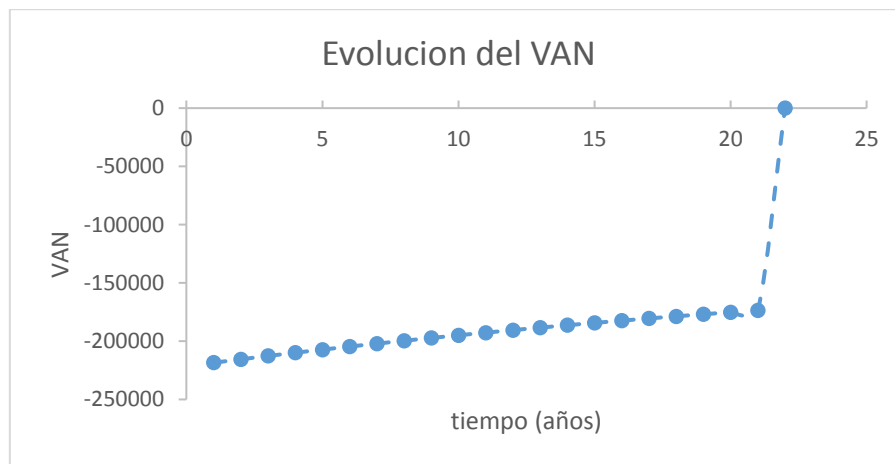


Ilustración 37. Evolución del VAN a lo largo del tiempo

Como se aprecia tenemos un VAN negativo es decir que la inversión nunca se rentabilizará, ya que su periodo de amortización es de 22 años cuando la vida útil de la planta se ha estimado en 10 años. A los 23 años lo único que quedarías es el valor residual de la instalación.

## Conclusiones

A la vista de los resultados obtenidos por los distintos ensayos realizados se observa que la planta cumple su cometido al reducir la concentración de contaminantes a los requeridos por la legislación vigente.

Desde el punto de vista económico la planta no es rentable ya que el periodo de amortización dobla la vida útil de la planta. Pero se debe tener en cuenta que el objetivo de esta planta no es económico, si no medioambiental y que con su implementación se lograra cumplir la legislación vigente y se mejorara la imagen pública de la empresa en la sociedad factor nada desdeñable en el marco económico actual. Además, se debe tener en cuenta que con la implantación de nuevas etapas de reconcentración se podría obtener un beneficio a partir de los distintos metales eliminados de la corriente de agua, que podrá posibilitar la rentabilidad o al menos reducir el coste económico que supone para la empresa.

## Bibliografía

1. Guerra, V. (2008). Pozo LLumeres, Bañugues, Gozón (Luanco), Asturias. 2017, de Mineralogía y topografía ibérica Sitio web: <http://www.mtiblog.com/2008/05/pozo-llumeres-baugues-gozn-luanco.html> . Recuperado 25/04/17
2. (2010). La mina de LLumeres. 2017, de Lugares con historia Sitio web: <http://lugares-con-historia.blogspot.com.es/2010/04/la-mina-de-llumeres.html> Recuperado 25/04/17
3. F. Ramírez. (2007). El muestreo del agua. Toma y conservación de muestras.
4. González, J., Jiménez, M., Aznar, M. (2002). El problema de la toma de muestras de agua.
5. Gilbert, M., Wendell, P. (2008). Introducción a la ingeniería medioambiental. Pearson educación.
6. Iglesias, L., Rodríguez, D., Ruiz, M., Serrano. A. (2017). Memoria de prácticas de la asignatura de Gestión y tratamiento de efluentes y residuos. Universidad de Oviedo.
7. Laura Faba Peon. (2016). Colección de ejercicios de la asignatura Tecnologías avanzadas del control de la contaminación. master de ingeniería química: Universidad de Oviedo.
8. Mireya, A. (2010). tratamiento de efluentes líquidos de la industria de curtido, mediante precipitación química, adsorción con carbón activo y rizo filtración. Facultad de química y agroindustria de Quito: Ecuador.
9. Nicieza, V., Olascoaga, J., Otero, C., Pello, F. (2016). Memoria de prácticas de la asignatura de Gestión y tratamiento de efluentes y residuos, Acondicionamiento de aguas residuales para su reutilización en explotaciones mineras. Universidad de Oviedo.
10. Espigares, M., Pérez, J. Precipitación química y ablandamiento del agua.
11. Álvarez, Y., Garcés, D., et al. (2013). Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales del decapado de acero y recuperación de metales. Departamento de ingeniería química y tecnología del medio ambiente: Universidad de Oviedo.
12. Peters, M. y Timmerhaus, K. (2003). Plant Design and Economics for Chemical Engineers. University of Colorado: MacGraw-Hill International Editions

## Anexo 1



### LEGISLACIÓN CONSOLIDADA

---

#### Ley 5/2002, de 3 de junio, sobre vertidos de aguas residuales industriales a los sistemas públicos de saneamiento.

Comunidad Autónoma del Principado de Asturias  
«BOPA» núm. 137, de 14 de junio de 2002  
«BOE» núm. 170, de 17 de julio de 2002  
Referencia: BOE-A-2002-14187

#### TEXTO CONSOLIDADO Última modificación: sin modificaciones

##### EL PRESIDENTE DEL PRINCIPADO DE ASTURIAS

Sea notorio que la Junta General del Principado de Asturias ha aprobado, y yo en nombre de Su Majestad el Rey, y de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 31.2 del Estatuto de Autonomía del Principado de Asturias, vengo a promulgar la siguiente Ley sobre vertidos de aguas residuales industriales.

##### PREÁMBULO

El artículo 45 de la Constitución contiene un mandato dirigido a los poderes públicos imponiéndoles el deber genérico de velar por la utilización racional de todos los recursos naturales con el fin de proteger y mejorar la calidad de la vida y defender y restaurar el medio ambiente, apoyándose en la indispensable solidaridad colectiva, configurando como derecho de todos el disfrute de un medio ambiente adecuado para el desarrollo personal y, a la par, como carga u obligación, el deber de conservarlo.

A su vez, el Estatuto de Autonomía atribuye al Principado de Asturias, en su artículo 11.5, el desarrollo legislativo y la ejecución de la legislación básica del Estado en materia de protección del medio ambiente, objetivo último de este texto legal.

La Ley del Principado de Asturias 1/1994, de 21 de febrero, sobre abastecimiento y saneamiento de aguas, regula los aspectos esenciales de las funciones que en materia de abastecimiento y saneamiento corresponden al Principado de Asturias y a los concejos en el ámbito territorial de la Comunidad Autónoma para una actuación planificada y coordinada. Asimismo, dicha Ley crea y regula un canon de saneamiento, como tributo de la Hacienda del Principado de Asturias, afectado fundamentalmente a la financiación de gastos de gestión, explotación y mantenimiento de las instalaciones de depuración de las aguas residuales.

En el marco 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, incorporando al ordenamiento interno la Directiva 91/271/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de aguas residuales urbanas, modificada por la Directiva 98/15/CE de la Comisión, de 27 de febrero de 1998, se ha hecho y se continúa haciendo un importante esfuerzo inversor por las diferentes administraciones públicas implicadas, con el fin de dotar al territorio de la Comunidad Autónoma de las instalaciones de depuración precisas para el



## BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO LEGISLACIÓN CONSOLIDADA

---

cumplimiento de las determinaciones establecidas en las citadas normas. Y, en este sentido, a fin de evitar que tal esfuerzo resulte baldío o con resultados insuficientes, se hace preciso, como complemento de la Ley del Principado de Asturias 1/1994, de 21 de febrero, antes citada, regular los vertidos de aguas residuales industriales a los sistemas públicos de saneamiento para optimizar el funcionamiento de las instalaciones que los integran y, en particular, el de las estaciones depuradoras de aguas residuales, puesto que los vertidos hechos fuera de parámetros aceptables afectan no sólo a las redes de alcantarillado y de colectores, sino también y principalmente a las propias depuradoras, sean éstas o no biológicas.

Con ello se pretende, además, el logro de otros objetivos no menos importantes, como los de protección del personal de explotación ante compuestos tóxicos o peligrosos y los de favorecer la posible utilización de los lodos de depuración, eliminando de los mismos metales pesados y compuestos afines.

Por otra parte, correspondiendo a los concejos, conforme a lo establecido en el artículo 25 de la Ley 7/1985, de 2 de abril, reguladora de las bases del régimen local, el ejercicio de competencias en las materias, entre otras, de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales, la regulación que se establece en la presente Ley con relación a los sistemas de depuración tendrá la consideración de condicionado mínimo a tener en cuenta por los respectivos Ayuntamientos a la hora de autorizar, en el ámbito de su competencia, los enganches y vertidos a sus propias redes de alcantarillado y de colectores, sin perjuicio de que tal condicionado sea ampliado cuando regulen la prestación de los respectivos servicios mediante el correspondiente reglamento u ordenanza municipal.

### TÍTULO I

#### Disposiciones generales

##### **Artículo 1.** *Objeto y finalidad.*

Es objeto de la presente Ley regular los vertidos de aguas residuales industriales a los sistemas públicos de saneamiento en el ámbito territorial del Principado de Asturias, con el fin de proteger las instalaciones que integran dichos sistemas, optimizar el funcionamiento de las mismas y conseguir la preservación del medio ambiente, y en particular para:

- a) Proteger la salud del personal que trabaje en los sistemas colectores y en las instalaciones de tratamiento.
- b) Garantizar que los sistemas colectores, las instalaciones de tratamiento y los equipos instalados en ellas no se deterioren.
- c) Asegurar que no se obstaculice el funcionamiento de las plantas de tratamiento.
- d) Conseguir que los efluentes de las plantas de tratamiento no tengan efectos negativos sobre el medio ambiente y la salud y contribuyan a que las aguas receptoras cumplan los objetivos de calidad determinados en la normativa vigente.
- e) Garantizar que los fangos puedan evacuarse con completa seguridad de forma aceptable desde la perspectiva medioambiental.

##### **Artículo 2.** *Definiciones.*

A efectos de la presente Ley, se entiende por:

**Administración competente:** Entidad u organismo público, autonómico o local, que por disposición legal tenga atribuida la competencia para la prestación de servicios de saneamiento o para la autorización de vertidos, sin perjuicio de lo que para la Administración del Estado establezca la legislación aplicable.

**Aguas residuales industriales:** Las procedentes de los procesos propios de la actividad en instalaciones comerciales o industriales con presencia de sustancias disueltas o en suspensión.

**Pretratamiento de vertidos:** operaciones de depuración para reducir o neutralizar de forma parcial, en cantidad o calidad, la carga contaminante de las aguas residuales industriales antes de su vertido a los sistemas públicos de saneamiento.

## BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO LEGISLACIÓN CONSOLIDADA

---

**Servicio de alcantarillado:** servicio de competencia municipal que, dentro del servicio genérico de saneamiento, comprende las funciones de recogida de aguas residuales a través de la red de alcantarillado y su evacuación a los colectores generales o a un punto autorizado de vertido.

**Colector:** Conducto que recoge y transporta las aguas residuales desde las redes de alcantarillado hasta las estaciones depuradoras de aguas residuales.

**Estación depuradora de aguas residuales:** Unidad compuesta por instalaciones, estructuras o mecanismos que, utilizando métodos físicos, físico-químicos, biológicos u otros similares, realicen el tratamiento de las aguas residuales con el objetivo de reducir o eliminar las materias o productos contaminantes, disueltos o en suspensión en las mismas.

**Servicio de depuración:** Servicio de competencia autonómica o municipal que, dentro del servicio genérico de saneamiento, comprende las funciones de transporte de aguas residuales a través de colectores generales, la depuración de éstas mediante las instalaciones idóneas y su vertido final al medio natural.

**Sistema público de saneamiento:** Conjunto de infraestructuras de titularidad pública que comprende alguna de las instalaciones siguientes: red de alcantarillado, colectores, estaciones depuradoras de aguas residuales y emisarios, cuya función sea recoger, transportar y depurar aguas residuales para devolverlas al medio natural en condiciones que permitan preservar el adecuado mantenimiento del mismo.

### TÍTULO II

#### Régimen de los vertidos de aguas residuales industriales

#### CAPÍTULO I

##### Vertidos y su autorización

##### **Artículo 3.** *Solicitud de autorización de vertido.*

Sin perjuicio de lo establecido en la disposición transitoria primera de esta Ley, los titulares de actividades industriales o comerciales cuyas instalaciones estén comprendidas en alguno de los supuestos que reglamentariamente se establezcan y que pretendan utilizar los sistemas públicos de saneamiento para el vertido de aguas residuales están obligados a solicitar la correspondiente autorización.

##### **Artículo 4.** *Requisitos de la solicitud.*

1. La solicitud de autorización deberá contener, como mínimo, los siguientes datos:

a) Nombre y apellidos, o razón social, del titular del vertido y, en su caso, de la persona que lo represente.

b) Proyecto técnico que incluya la identificación y descripción de las instalaciones que vayan a realizar el vertido y de los procesos de fabricación realizados en las mismas, la localización del punto de vertido y del medio receptor y la descripción de las características cualitativas y cuantitativas de los vertidos.

c) Las actuaciones y medidas previstas para su puesta en práctica en los casos de emergencia o peligro.

2. A la solicitud se habrá de acompañar la documentación acreditativa de los datos consignados en la misma. La Administración competente podrá, motivadamente, requerir del solicitante la información complementaria que considere necesaria para el otorgamiento de la autorización.

##### **Artículo 5.** *Autorización de vertido.*

1. La autorización de vertido, salvo lo dispuesto en el apartado 3 del presente artículo, se tramitará y se resolverá junto con la licencia municipal regulada en el Reglamento de actividades molestas, insalubres, nocivas y peligrosas y en ella se hará constar expresamente el contenido señalado en el artículo 8 de esta Ley.

## BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO LEGISLACIÓN CONSOLIDADA

---

2. Cuando el vertido se realice a redes de alcantarillado y sea transportado a colectores o instalaciones de depuración de competencia de la Comunidad Autónoma, será necesario, para el otorgamiento de la licencia municipal, informe preceptivo y vinculante de la Administración del Principado de Asturias, a la que obligatoriamente se habrá de comunicar el otorgamiento, en su caso, de la licencia. Dicho informe será emitido en el trámite de calificación de la actividad a que se refiere el Reglamento antes citado.

3. Si el vertido se realiza directamente a colectores o instalaciones de depuración competencia de la Comunidad Autónoma, una vez recibido el expediente municipal, la Administración del Principado de Asturias entenderá la tramitación de la autorización de vertido directamente con el interesado. A estos efectos, el Ayuntamiento deberá remitir el expediente en el plazo de cuatro meses, disponiendo la Administración del Principado de Asturias de otros seis para resolver, a contar desde la entrada del expediente en dicha Administración.

4. La autorización se otorgará atendiendo a los siguientes criterios: las características del efluente líquido que se solicita verter, la capacidad y el grado de utilización de las instalaciones de saneamiento y depuración, y la calidad requerida para el vertido final a las aguas receptoras.

### **Artículo 6.** *Vertidos autorizables.*

Sin perjuicio de lo establecido en la disposición transitoria segunda de esta Ley, serán autorizables los vertidos en que los valores instantáneos de los parámetros de contaminación no excedan de los que reglamentariamente se dispongan, siempre y cuando las instalaciones de saneamiento y depuración tengan capacidad para admitir el caudal y la carga contaminante de los mismos.

### **Artículo 7.** *Prohibición de otros vertidos.*

1. En ningún caso podrán ser utilizadas las instalaciones que integran los sistemas públicos de saneamiento para verter directa o indirectamente a las mismas:

- a) Residuos, entendiéndose como tales los definidos en el artículo 3.a) de la Ley 10/1998, de 21 de abril, de residuos.
- b) Residuos radiactivos regulados por la Ley 25/1964, de 29 de abril, de energía nuclear.
- c) Los gases o vapores que por razón de su naturaleza o cantidad sean o puedan ser suficientes, por sí mismos o en presencia de otras sustancias, para provocar ignición o explosiones.
- d) Sustancias que sean o produzcan gases nocivos en la atmósfera del sistema público de saneamiento.

2. Se prohíbe igualmente:

- a) El uso de agua de dilución en los vertidos para conseguir niveles de concentración que permitan su evacuación a los sistemas de saneamiento, salvo en las situaciones de emergencia o peligro, cuando su utilización resulte necesaria para mitigar los efectos nocivos del accidente producido.
- b) El vertido de aguas limpias o de aguas industriales no contaminadas de refrigeración, de escorrentía, pluviales o análogas, cuando pueda adoptarse una solución técnica alternativa por existir en el entorno de la actividad una red de saneamiento separativa o un cauce público.

### **Artículo 8.** *Contenido y vigencia de la autorización.*

1. La autorización de vertido deberá contener los siguientes extremos:

- a) Valores máximos y medios permitidos en las concentraciones de contaminantes físico-químicos de las aguas residuales vertidas.
- b) Límites sobre el caudal y el horario de las descargas.
- c) Exigencias de instalaciones de adecuación de los vertidos e inspección, muestreo y medición, en caso de que sea necesario, de acuerdo con lo que al respecto se establezca en el desarrollo reglamentario de esta Ley.



## BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO LEGISLACIÓN CONSOLIDADA

---

d) Exigencias respecto al mantenimiento, informes técnicos y registros de la planta en relación con el vertido, a cuyo efecto cada instalación industrial deberá llevar un libro de registro en el que se anoten las características e incidencias de aquellos.

e) Plazos de ejecución de las instalaciones de depuración.

f) Actuaciones y medidas que, en casos de emergencia o peligro, deban ser puestas en práctica por el titular de la autorización.

g) Las demás condiciones complementarias que garanticen el cumplimiento de la presente Ley.

h) El canon que resulte de la aplicación de la Ley del Principado de Asturias 1/1994, de 21 de febrero, de abastecimiento y saneamiento de aguas.

2. El plazo de vigencia de la autorización de vertido será de cinco años, como máximo, transcurridos los cuales se procederá a la revisión de la misma, con arreglo al procedimiento que reglamentariamente se establezca.

### **Artículo 9.** *Modificación o suspensión de la autorización.*

1. Cuando el titular de la instalación industrial pretenda efectuar algún cambio en la composición del vertido que rebase los límites contenidos en la autorización que tenga otorgada, deberá formular la correspondiente solicitud ante la Administración competente haciendo constar los datos descriptivos del nuevo vertido a realizar. En caso de afectar a instalaciones de depuración de titularidad de la Administración del Principado de Asturias, la solicitud habrá de ser sometida a informe preceptivo y vinculante de la misma.

2. A su vez, cuando se alteren las circunstancias que hayan motivado el otorgamiento de una autorización o sobrevengan otras que, de haber existido anteriormente, habrían justificado su denegación o el otorgamiento de la misma en condiciones distintas, la Administración competente podrá modificar las condiciones de la autorización de vertido o, en su caso, suspenderla temporalmente hasta que se normalicen dichas circunstancias. El titular de la instalación industrial habrá de ser informado con suficiente antelación de las posibles modificaciones a efectuar con el fin de que disponga de tiempo adecuado para adaptarse a su cumplimiento.

### **Artículo 10.** *Censo de autorizaciones.*

Las administraciones competentes tendrán la obligación de formar y mantener un censo actualizado de las autorizaciones de vertido otorgadas, debiendo remitir a la Junta de Saneamiento del Principado de Asturias copia del mismo, así como de las modificaciones que anualmente se produzcan.

## CAPÍTULO II

### Tratamiento previo de los vertidos

### **Artículo 11.** *Necesidad del tratamiento previo.*

1. Cuando las aguas residuales industriales no reúnan las condiciones exigidas para su vertido a los sistemas de saneamiento, deberán ser objeto de tratamiento previo.

2. En el supuesto de que varios usuarios se asocien para efectuar conjuntamente el tratamiento previo de sus vertidos, deberán obtener la autorización de vertido para el efluente final conjunto, sin perjuicio de hacer constar en la solicitud respecto de todos los usuarios que integren la asociación los datos correspondientes, y de acompañar la documentación a que se refiere el artículo 4 de la presente Ley. En estos supuestos, la responsabilidad del cumplimiento de las condiciones de vertido será tanto de la asociación de usuarios como de cada uno de ellos solidariamente.

### **Artículo 12.** *Instalaciones de tratamiento previo.*

1. Los usuarios de los sistemas públicos de saneamiento que produzcan vertidos de aguas residuales industriales que deban ser objeto de tratamiento previo están obligados a presentar en la Administración competente el correspondiente proyecto de instalación de

BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO  
LEGISLACIÓN CONSOLIDADA

---

tratamiento previo o depuración específica, que incluirá información complementaria para su estudio y aprobación.

2. Las instalaciones para la realización del tratamiento previo habrán de ser construidas, mantenidas y explotadas por los usuarios respectivos. La Administración competente podrá exigir la instalación de medidores de caudal vertido y otros instrumentos y medidas de control de la contaminación.

CAPÍTULO III

**Actuaciones en caso de emergencia o peligro**

**Artículo 13. Emergencia o peligro.**

Se entenderá que existe una situación de emergencia o peligro cuando desde las instalaciones del usuario se produzca, o haya riesgo inminente de producirse, un vertido inusual a los sistemas públicos de saneamiento que potencialmente pueda ser peligroso para la seguridad física de las personas, para las instalaciones que integran dichos sistemas o para el medio ambiente.

**Artículo 14. Obligaciones de los usuarios.**

1. Cuando se produzca un caso de emergencia o peligro, el usuario, además de emplear inmediatamente todos los medios de que disponga para mitigar su peligrosidad y de poner en práctica las actuaciones y medidas previstas para estas situaciones en la autorización de vertido, tendrá la obligación de dar cuenta de la misma, con la mayor urgencia posible, a la Administración competente, con el fin de que pueda adoptar las medidas adecuadas al caso para reducir al máximo los daños que puedan provocarse.

2. Asimismo, dentro del plazo máximo de las cuarenta y ocho horas siguientes al inicio de la situación, el usuario deberá remitir a la Administración competente un informe detallado de la misma, haciendo constar en él, como mínimo, la identificación de las instalaciones y del titular de las mismas, su ubicación, caudal o materias vertidas, motivo de la emergencia, hora en que se produjo, correcciones efectuadas por el propio usuario, hora y forma en que se comunicó la emergencia a la Administración competente y, en general, todos aquellos datos que permitan el conocimiento de la situación producida y la adecuada valoración de sus consecuencias.

3. Las instalaciones con riesgo de producir vertidos inusuales en los sistemas públicos de saneamiento tendrán que disponer de recintos de seguridad capaces de contener dichos vertidos.

**Artículo 15. Daños.**

1. El titular de las instalaciones donde se haya producido el vertido es responsable de los daños que se originen a consecuencia de la situación de emergencia o peligro creada.

2. Para la cuantificación de los daños, se tendrán en cuenta los costes de las operaciones a que den lugar los accidentes que ocasionen situaciones de emergencia o de peligro, así como los de limpieza, remoción, reparación o modificación de los sistemas públicos de saneamiento afectados.

BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO  
LEGISLACIÓN CONSOLIDADA

---

TÍTULO III

**Autocontrol, muestreo y análisis de vertidos**

CAPÍTULO I

**Autocontrol e información a la administración**

**Artículo 16.** *Autocontrol de vertidos.*

Las instalaciones industriales que viertan aguas residuales a los sistemas públicos de saneamiento estarán obligadas a la toma periódica de muestras y realización de los análisis que se especifiquen en la correspondiente autorización para comprobar que los vertidos no sobrepasan los valores máximos en ella establecidos. La toma de muestras y los análisis se realizarán por entidades u organismos debidamente acreditados y los resultados de los análisis deberán ser conservados, al menos, durante cinco años.

**Artículo 17.** *Información a la Administración.*

Los resultados de los análisis de autocontrol de los efluentes estarán en todo momento a disposición del personal encargado de la inspección y control de los vertidos, sin perjuicio de que la Administración competente pueda requerir a los usuarios la remisión periódica de los mismos.

**Artículo 18.** *Mantenimiento de equipos.*

Los titulares de instalaciones industriales obligadas a realizar autocontroles de vertidos deberán mantener en perfecto estado de conservación y funcionamiento los equipos para la realización de controles, mediciones y muestreos para verificar las características de los efluentes.

CAPÍTULO II

**Inspección de vertidos**

**Artículo 19.** *Competencia.*

La función de inspección y vigilancia en la materia de aguas residuales vertidas a los sistemas públicos de saneamiento corresponde a las administraciones competentes prestadoras de los respectivos servicios de alcantarillado y depuración.

**Artículo 20.** *Personal inspector.*

1. El personal funcionario que las administraciones competentes designen para la realización de las funciones de inspección tendrá la consideración de agente de la autoridad, pudiendo para el ejercicio de las mismas recabar la colaboración y auxilio de funcionarios y autoridades.

2. Para el desempeño de las funciones de inspección y vigilancia los inspectores tendrán derecho de acceso a las instalaciones donde se generen las aguas residuales.

**Artículo 21.** *Funciones de los inspectores.*

La inspección y vigilancia consistirán en las siguientes funciones:

- a) Comprobación del estado de las instalaciones y del funcionamiento de los instrumentos que para el control de los efluentes se hubieran establecido en la respectiva autorización de vertido.
- b) Muestreo de los vertidos en cualquier punto de las instalaciones en las que se generen.
- c) Medida de los caudales vertidos a los sistemas públicos de saneamiento y comprobación de parámetros de calidad.
- d) Comprobación de los caudales de abastecimiento y autoabastecimiento.

## BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO LEGISLACIÓN CONSOLIDADA

---

- e) Comprobación del cumplimiento por el usuario de los extremos contenidos en la autorización de vertido.
- f) Comprobación de las demás obligaciones, en materia de vertido, establecidas en la presente Ley.
- g) Cualquier otra que sea necesaria para el correcto desarrollo de la función inspectora.

### **Artículo 22.** *Procedimiento de inspección.*

1. Para el ejercicio de sus funciones, el personal inspector habrá de poner en conocimiento del titular de las instalaciones el objeto de las actuaciones a practicar, identificándose antes de su inicio mediante la exhibición del documento acreditativo correspondiente. No será necesaria la notificación previa de la inspección cuando se efectúe en horas de funcionamiento de la actividad.

2. Las actuaciones inspectoras se realizarán siempre que sea posible en presencia del titular de las instalaciones o la persona que lo represente, que estarán obligados a facilitar al personal inspector el acceso a las mismas y a no obstaculizar los trabajos de los inspectores.

3. Las actuaciones practicadas se harán constar en las correspondientes actas, que se extenderán por duplicado. Serán firmadas conjuntamente por el inspector actuante y el titular de las instalaciones o persona a su servicio que se encuentre presente, al que se entregará uno de los ejemplares. La firma únicamente justifica la entrega del acta pero no necesariamente la conformidad con su contenido. En el caso de negativa a la firma del acta o a su recepción, el inspector dejará constancia de ello en la misma.

## CAPÍTULO III

### **Muestreo, conservación de las muestras y su análisis**

#### **Artículo 23.** *Muestreo.*

El muestreo de aguas residuales tendrá por finalidad comprobar las características cualitativas y cuantitativas de los vertidos líquidos industriales a los sistemas públicos de saneamiento, y se realizará por el personal inspector en presencia del usuario o de su representante, salvo renuncia expresa, que se hará constar en el acta que se levante al efecto.

#### **Artículo 24.** *Toma de muestras.*

1. La toma de muestras de aguas residuales se hará en las arquetas de las que necesariamente han de disponer todas las instalaciones industriales.

2. Las muestras habrán de ser recogidas en los momentos más representativos del vertido.

#### **Artículo 25.** *Métodos analíticos y análisis de las muestras.*

1. Los métodos analíticos para la determinación de los diferentes parámetros de los vertidos se establecerán reglamentariamente.

2. El análisis de las muestras podrá realizarse en los laboratorios de que dispongan las administraciones competentes o en los de entidades debidamente acreditadas.



BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO  
LEGISLACIÓN CONSOLIDADA

---

TÍTULO IV

Régimen sancionador

CAPÍTULO I

Infracciones y sanciones

**Artículo 26. Clasificación.**

Las infracciones en la materia de vertidos regulada por la presente Ley podrán ser leves, graves o muy graves.

**Artículo 27. Infracciones leves.**

Serán consideradas infracciones leves:

- a) Las acciones u omisiones que, contraviniendo lo establecido en la presente Ley, causen daño a los bienes de dominio o uso público, así como a los de servicio público integrados por las redes de alcantarillado, colectores y sistemas de depuración, cuya valoración no exceda de 5.000 euros.
- b) La falta de remisión de la información periódica que la Administración competente pueda requerir sobre los resultados de los análisis de autocontrol de los efluentes o sobre cambios que se hayan introducido en el proceso industrial que puedan afectar al mismo.
- c) Las demás acciones u omisiones que contravengan lo establecido en la presente Ley, cuando no tengan la consideración de infracciones graves o muy graves.

**Artículo 28. Infracciones graves.**

Serán consideradas infracciones graves:

- a) Las acciones u omisiones que, contraviniendo lo establecido en la presente Ley, causen daño a los bienes de dominio o uso público, así como a los de servicio público integrados por las redes de alcantarillado, colectores y sistemas de depuración, cuya valoración esté comprendida entre 5.000 y 500.000 euros.
- b) La realización de vertidos de aguas residuales industriales sin la correspondiente autorización.
- c) El incumplimiento de las condiciones impuestas en la autorización de vertido.
- d) El incumplimiento de la obligación de disponer de instalaciones y equipos necesarios para la realización de los controles requeridos o el mantenerlos en condiciones no operativas.
- e) El incumplimiento de la obligación de tratamiento previo, cuando proceda.
- f) El incumplimiento de las actuaciones determinadas en la presente Ley para las situaciones de emergencia o peligro.
- g) La obstrucción a la función inspectora de la Administración competente en el acceso a las instalaciones o la negativa a facilitar la información que sea requerida.
- h) La reincidencia en infracciones leves.

**Artículo 29. Infracciones muy graves.**

Serán consideradas infracciones muy graves:

- a) Las acciones u omisiones que, contraviniendo lo establecido en la presente Ley, causen daño a los bienes de dominio o uso público, así como a los de servicio público integrados por las redes de alcantarillado, colectores y sistemas de depuración, cuya valoración exceda de 500.000 euros.
- b) Las infracciones calificadas como graves en el artículo anterior, cuando de la calidad o cantidad del vertido se derive la existencia de un riesgo muy grave para las personas, los recursos naturales o el medio ambiente.
- c) El incumplimiento de las órdenes de suspensión de vertidos.
- d) La reincidencia en infracciones graves.



BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO  
LEGISLACIÓN CONSOLIDADA

---

**Artículo 30. Sanciones.**

1. Las infracciones enumeradas en los artículos precedentes serán sancionadas con arreglo a la siguiente escala:

- a) Infracciones leves: multa de hasta 10.000 euros.
- b) Infracciones graves: multa entre 10.001 y 90.000 euros.
- c) Infracciones muy graves: multa entre 90.001 y 450.000 euros.

2. La determinación de la cuantía de las multas se hará teniendo en cuenta la naturaleza de la infracción, la gravedad del daño producido, la reincidencia o reiteración, la intencionalidad, el beneficio obtenido y demás circunstancias concurrentes.

**Artículo 31. Reparación de daños.**

1. Con independencia de la sanción que en cada caso sea impuesta, el infractor estará obligado a reparar los daños causados, al objeto de que los bienes que hayan resultado alterados a consecuencia de la infracción sean repuestos a su estado anterior.

2. Cuando el daño producido afecte a las redes del alcantarillado y colectores o a las instalaciones de depuración, la reparación será realizada por la Administración competente a costa del infractor.

3. Para el cumplimiento por el infractor de las obligaciones de reparación de daños a que se refieren los números precedentes, la Administración competente podrá utilizar los medios de ejecución forzosa a que se refieren los epígrafes a), b) y c) del apartado 1 del artículo 96 de la Ley de Régimen Jurídico de las Administraciones Públicas y del Procedimiento Administrativo Común.

CAPÍTULO II

Procedimiento sancionador

**Artículo 32. Procedimiento.**

1. El ejercicio de la potestad sancionadora en la materia de vertidos regulada en la presente Ley se realizará mediante la tramitación del correspondiente procedimiento.

2. La incoación, instrucción y resolución de los procedimientos sancionadores corresponderán a los órganos que tengan asignada tal función dentro de las administraciones competentes sobre los respectivos sistemas de saneamiento.

3. Cuando la infracción afecte a redes de colectores o instalaciones de depuración de carácter supramunicipal o declarados de interés regional, la potestad sancionadora será ejercida en todo caso por la Administración competente sobre los mismos.

4. En el caso de la Administración del Principado de Asturias, la incoación del procedimiento corresponderá decidirla a la Dirección General competente en materia de abastecimiento y saneamiento de aguas.

**Artículo 33. Potestad sancionadora.**

En el ámbito de la Administración del Principado de Asturias, la competencia para resolver los procedimientos sancionadores corresponde:

- a) En el caso de infracciones leves, al Director general competente en materia de abastecimiento y saneamiento de aguas.
- b) En el caso de infracciones graves y en las muy graves hasta 150.000 euros, al Consejero competente en la materia.
- c) En el caso de infracciones muy graves desde 150.001 euros, al Consejo de Gobierno.

**Artículo 34. Suspensión de vertidos.**

1. Sin perjuicio de la incoación del correspondiente procedimiento sancionador, las administraciones competentes podrán disponer la suspensión inmediata del vertido de una instalación industrial a los sistemas de saneamiento cuando su titular no disponga de la

## BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO LEGISLACIÓN CONSOLIDADA

correspondiente autorización o no se adecue el vertido a las limitaciones y condiciones establecidas en la misma.

2. En los supuestos a que se refiere el apartado anterior, la Administración competente podrá, además, adoptar las medidas que considere necesarias para asegurar la efectividad de la suspensión.

### **Artículo 35. Subsanación de defectos.**

1. En el supuesto de no disponer de autorización, la suspensión tendrá carácter indefinido hasta que el interesado la solicite y obtenga.

2. Cuando el vertido no se adecue a las limitaciones y condiciones establecidas en la autorización, el interesado dispondrá de un plazo de dos meses, contados desde la suspensión, para cumplir lo establecido en aquella, transcurrido el cual la Administración competente podrá disponer, previa audiencia del interesado, la suspensión definitiva del vertido al sistema de saneamiento con revocación de la autorización concedida.

### **Artículo 36. Plazos de prescripción.**

1. Las infracciones leves prescribirán al año, las graves a los dos años y las muy graves a los tres años.

El plazo de prescripción de las infracciones comenzará a contarse desde el día en que la infracción se hubiese cometido o desde que se hubiesen puesto de manifiesto sus efectos.

La prescripción quedará interrumpida por la iniciación, con conocimiento del interesado, del procedimiento sancionador, reanudándose el plazo de prescripción si dicho procedimiento estuviera paralizado durante más de un mes por causa no imputable al presunto responsable.

2. Las sanciones impuestas por infracciones leves prescribirán al año, las impuestas por infracciones graves a los dos años y las impuestas por infracciones muy graves a los tres años.

El plazo de prescripción de las sanciones comenzará a contarse desde el día siguiente a aquel en que adquiera firmeza la resolución por la que se imponga la sanción.

La prescripción quedará interrumpida por la iniciación, con conocimiento del interesado, del procedimiento de ejecución de la sanción, reanudándose el plazo de prescripción si dicho procedimiento se paraliza durante más de un mes por causa no imputable al infractor.

### **Disposición adicional.**

En relación con las instalaciones de titularidad municipal, los Ayuntamientos podrán imponer exigencias superiores a las establecidas en esta Ley y en las normas que la desarrollen.

### **Disposición transitoria primera.**

En tanto se desarrolle lo previsto en el artículo 3, deberán solicitar autorización de vertido los titulares de instalaciones de actividades industriales o comerciales siguientes:

1. Todas las instalaciones que superen un caudal de abastecimiento y autoabastecimiento de 22.000 m<sup>3</sup>/año.

2. Las instalaciones cuyo caudal de abastecimiento y autoabastecimiento sea superior al 10 por ciento del caudal de abastecimiento de la población fija servida por el sistema público de saneamiento al que se realice el vertido.

3. Las instalaciones que figuran en la siguiente relación.

CNAE (93)	Actividad industrial
01.2.	Producción ganadera.
01.3.	Producción agraria combinada con la producción ganadera.
10.	Extracción y aglomeración de antracita, hulla, lignito y turba.
11.	Extracción de crudos de petróleo y gas natural; actividades de los servicios relacionados con las explotaciones petrolíferas y de gas, excepto actividades de prospección.

BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO  
LEGISLACIÓN CONSOLIDADA

CNAE (93)	Actividad industrial
13.	Extracción de minerales metálicos.
14.	Extracción de minerales no metálicos ni energéticos.
15.1.	Industria cármica.
15.2.	Elaboración y conservación de pescados y productos a base de pescado.
15.3.	Preparación y conservación de frutas y hortalizas.
15.4.	Fabricación de grasas y aceites (vegetales y animales).
15.5.	Industrias lácteas.
15.6.	Fabricación de productos de molinería, almidones y productos amiláceos.
15.7.	Fabricación de productos para la alimentación animal.
15.82.	Fabricación de galletas y de productos de panadería y pastelería de larga duración.
15.83.	Industria del azúcar.
15.84.	Industria del cacao, chocolate y confitería.
15.85.	Fabricación de pastas alimenticias.
15.86.	Elaboración de café, té e infusiones.
15.87.	Elaboración de especias, salsas y condimentos.
15.88.	Elaboración de preparados para la alimentación infantil y preparados dietéticos.
15.89.	Elaboración de otros productos alimenticios.
15.9.	Elaboración de bebidas.
16.	Industria del tabaco.
17.	Industria textil.
18.301.	Preparación, curtido y teñido de pieles de peletería.
19.1.	Preparación, curtido y acabado del cuero.
20.1.	Aseado y cepillado de la madera; preparación industrial de la madera.
20.2.	Fabricación de chapas, tableros contrachapados, alistonados, de partículas aglomeradas, de fibras y otros tableros y paneles.
20.3.	Fabricación de estructuras de madera y piezas de carpintería y ebanistería para la construcción.
20.521.	Tratamiento del corcho bruto y fabricación de productos de corcho.
21.	Industria del papel.
22.11.	Edición de libros.
22.12.	Edición de periódicos.
22.13.	Edición de revistas.
22.21.	Impresión de periódicos.
22.22.	Otras actividades de impresión.
23.1.	Coquerías.
23.2.	Refino de petróleo.
24.	Industria química.
26.	Fabricación de otros productos minerales no metálicos.
25.	Fabricación de productos de caucho y materias plásticas.
27.	Metalurgia.
28.	Fabricación de productos metálicos, excepto maquinaria y equipo.
29.	Industria de la construcción de maquinaria y equipo mecánico.
30.	Fabricación de máquinas de oficina y equipos informáticos.
31.	Fabricación de maquinaria y material eléctrico.
32.	Fabricación de material electrónico, fabricación de equipo y aparatos de radio, televisión y comunicaciones.
33.	Fabricación de equipo e instrumentos médico-quirúrgicos, de precisión, óptica y relojería.
34.	Fabricación de vehículos de motor, remolques y semirremolques.
35.	Fabricación de otro material de transporte.
36.1.	Fabricación de muebles.
36.3.	Fabricación de instrumentos musicales.

BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO  
LEGISLACIÓN CONSOLIDADA

CNAE (93)	Actividad industrial
36.4.	Fabricación de artículos de deporte.
36.5.	Fabricación de juegos y juguetes.
36.61.	Fabricación de bisutería.
37.	Reciclaje.
40.	Producción y distribución de energía eléctrica, gas, vapor y agua caliente.
50.5.	Venta al por menor de carburantes para la automoción.
51.51.	Comercio al por mayor de combustibles sólidos, líquidos y gaseosos y productos similares.
51.553.	Comercio al por mayor de productos químicos industriales.
51.57.	Comercio al por mayor de chatarra y productos de desecho.
52.111.	Hipermercados (más de 2.500 m.).
55.22.	Camping.
73.1.	Investigación y desarrollo sobre ciencias naturales y técnicas.
74.7.	Actividades de limpieza.
90.002.	Actividades de limpieza de vías públicas y tratamiento de desechos.
93.01.	Lavado, limpieza y teñido de prendas textiles y de piel.

**Disposición transitoria segunda.**

Hasta que se establezcan los valores o parámetros a que se refiere el artículo 6, se aplicarán los siguientes:

Temperatura < 40° C.  
 pH (intervalo permisible): 6-9.  
 Color: Inapreciable en dilución 1/40.  
 Conductividad: 5.000 µS/cm.  
 Aceites y grasas: 100 mg/l.  
 Hidrocarburos: 15 mg/l.  
 Sólidos en suspensión: 1.000 mg/l.  
 Materia sedimentable: 10 ml/l.  
 DBO<sub>5</sub>: 1.000 mg/l.  
 DQO: 1.600 mg/l.  
 Nitrógeno amoniacal: 60 mg/l.  
 Aluminio: 15 mg/l.  
 Arsénico: 1 mg/l.  
 Bario: 10 mg/l.  
 Boro: 3 mg/l.  
 Cadmio: 0,5 mg/l.  
 Cianuros totales: 2 mg/l.  
 Cobre: 5 mg/l.  
 Cromo total: 5 mg/l.  
 Cromo hexavalente: 1 mg/l.  
 Estaño: 5 mg/l.  
 Fenoles totales: 2 mg/l.  
 Fluoruros: 12 mg/l.  
 Hierro: 10 mg/l.  
 Manganeso: 2 mg/l.  
 Mercurio: 0,1 mg/l.  
 Níquel: 5 mg/l.  
 Plata: 1 mg/l.  
 Plomo: 1 mg/l.  
 Selenio: 0,5 mg/l.  
 Sulfuros: 2 mg/l.  
 Zinc: 10 mg/l.



## BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO LEGISLACIÓN CONSOLIDADA

---

Para el cadmio y el mercurio, además de los valores máximos instantáneos, deberán cumplirse los valores límite de emisión para la media mensual y para la media diaria establecidos en la Directiva 82/176/CEE del Consejo, de 22 de marzo de 1982, relativa a los valores límite y a los objetivos de calidad para los vertidos de mercurio del sector de la electrólisis de los cloruros alcalinos, en la Directiva 83/513/CEE del Consejo, de 26 de septiembre de 1983, relativa a los valores límite y a los objetivos de calidad para los vertidos de cadmio y en la Directiva 84/156/CEE del Consejo, de 8 de marzo de 1984, relativa a los valores límite y a los objetivos de calidad para los vertidos de mercurio de los sectores distintos de la electrólisis de los cloruros alcalinos. Asimismo, deberán cumplirse, para los parámetros en ellas regulados, los valores límite de emisión para la media mensual y para la media diaria establecidos en la Directiva 84/491/CEE del Consejo, de 9 de octubre de 1984, relativa a los valores límite y a los objetivos de calidad para los vertidos de hexaclorociclohexano, en la Directiva 86/280/CEE del Consejo, de 12 de junio de 1986, relativa a los valores límite y los objetivos de calidad para los residuos de determinadas sustancias peligrosas comprendidas en la lista I del anexo de la Directiva 76/464/CEE del Consejo, de 4 de mayo de 1976, en la Directiva 88/347/CEE del Consejo, de 16 de junio de 1988, por la que se modifica el anexo II de la Directiva 86/280/CEE del Consejo, de 12 de junio de 1986, y en la Directiva 90/415/CEE del Consejo, de 27 de julio de 1990, por la que se modifica el anexo II de la Directiva 86/280/CEE del Consejo, de 12 de junio de 1986.

Excepcionalmente, en caso de riesgo para la salud pública o el medio ambiente, o por necesidades del propio sistema de depuración, se podrán autorizar vertidos de aguas residuales industriales con algún valor superior al permitido, siempre que las instalaciones tengan capacidad para su tratamiento, se mantenga la calidad requerida para su vertido final y no se alteren las características de los lodos producidos de manera que deba modificarse su destino posterior.

### **Disposición transitoria tercera.**

1. En el plazo de seis meses, a partir de la publicación de la presente Ley, los titulares de actividades industriales que estén realizando vertidos a los sistemas de saneamiento deberán formalizar la solicitud de autorización de vertido suspendiendo inmediatamente la evacuación del mismo si aquella es denegada.

2. No obstante lo dispuesto en el apartado anterior, las solicitudes de vertidos de aguas residuales que deban ser denegadas por exceder su composición de los valores permitidos para su autorización podrán ser objeto de autorización provisional siempre que el solicitante presente un plan de adecuación del vertido para ajustar dichos valores y el sistema de depuración al que se transporte pueda soportar el vertido durante la fase de adecuación. El plazo de esta autorización provisional no excederá de un año, valorándose el cumplimiento de dicho plan y su adecuación a los valores permitidos.

### **Disposición final primera.**

Se faculta al Consejo de Gobierno del Principado de Asturias para aprobar por decreto las disposiciones reglamentarias que se consideren necesarias para el desarrollo y aplicación de la presente Ley.

### **Disposición final segunda.**

Se faculta al Consejo de Gobierno para actualizar la cuantía de las sanciones de acuerdo con las variaciones del índice de precios al consumo.

### **Disposición final tercera.**

En el plazo máximo de un año desde la entrada en vigor de esta Ley, el Consejo de Gobierno aprobará un texto refundido de las disposiciones legales vigentes en materia de abastecimiento de aguas, saneamiento y vertido de aguas residuales, pudiendo regularizar, aclarar y armonizar los textos legales que hayan de ser refundidos.

BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO  
LEGISLACIÓN CONSOLIDADA

---

Por tanto, ordeno a todos los ciudadanos a quienes sea de aplicación esta Ley coadyuven a su cumplimiento, así como a todos los Tribunales y Autoridades que la guarden y la hagan guardar.

Oviedo, 3 de junio de 2002.

VICENTE ÁLVAREZ ARECES,  
Presidente.

Este texto consolidado no tiene valor jurídico.  
Más información en [info@boe.es](mailto:info@boe.es)

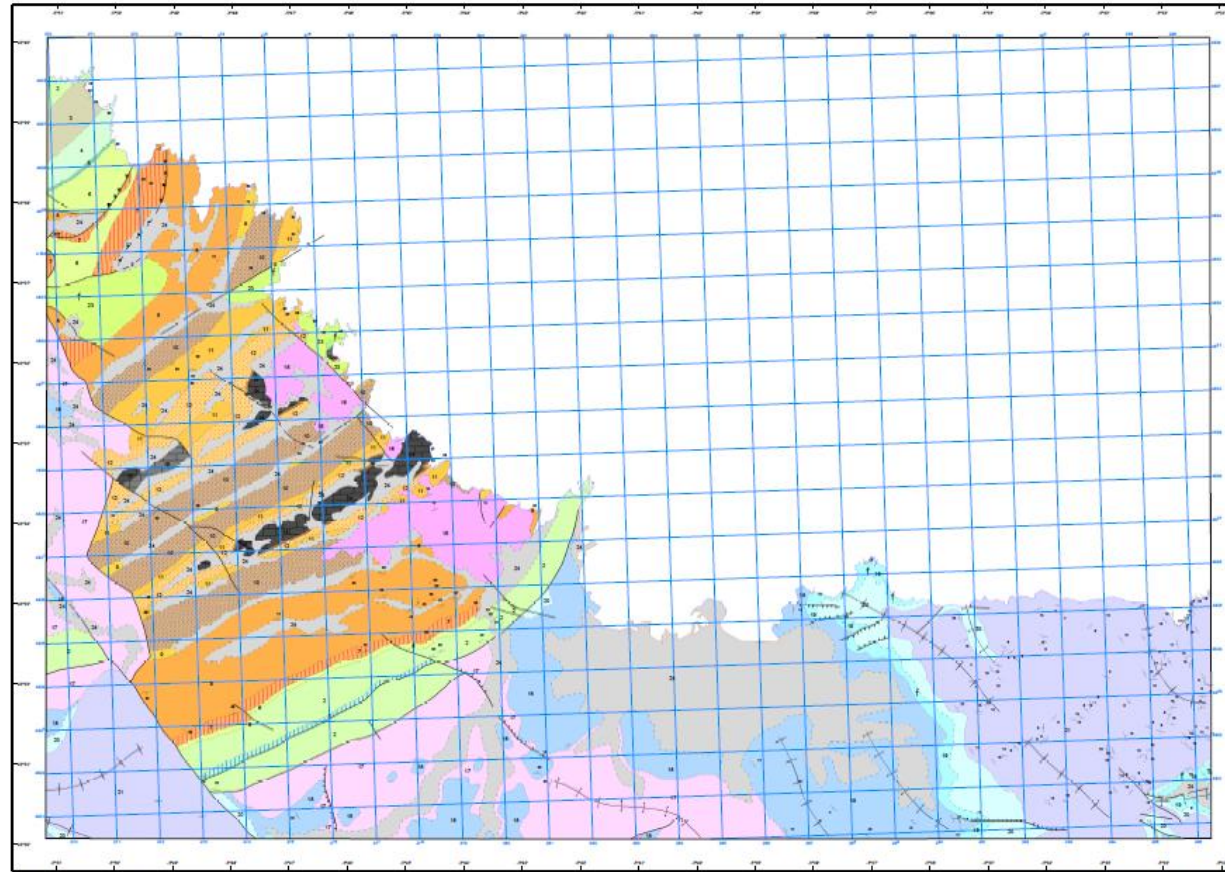
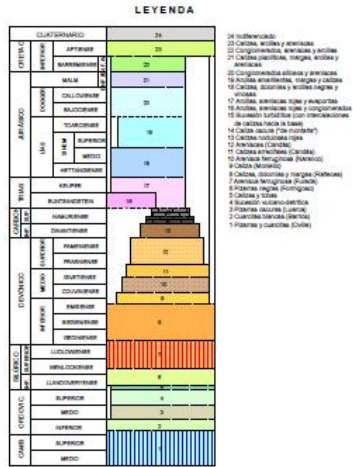
## Anexo 2

### MAPA GEOLÓGICO DE ESPAÑA Escala 1:50.000

Instituto Geológico  
y Minero de España

GIJÓN

14  
13-03



Area de Gijón de información geológica  
Escala 1:50.000  
Propiedad y Copyright I.G.M.E. España (Ministerio de Fomento)  
NORMAS, DIRECCIÓN Y SUPERVISIÓN DEL I.G.M.E. ARD DE REALIZACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA GEOGRÁFICA 1975