

**Universidad Politécnica de Madrid  
E.T.S. I. de Caminos, Canales y Puertos**



**INVESTIGACIÓN SOBRE LA ELIMINACIÓN DE OLORES  
EN DEPURADORAS**

**TESIS DOCTORAL**

**DJALMA MARIZ MEDEIROS  
INGENIERO CIVIL**

**2011**



**Departamento de Ingeniería Civil: Ordenación del  
Territorio, Urbanismo y Medio Ambiente  
E.T.S. I. de Caminos, Canales y Puertos**



**INVESTIGACIÓN SOBRE LA ELIMINACIÓN DE OLORES  
EN DEPURADORAS**

**DJALMA MARIZ MEDEIROS  
INGENIERO CIVIL**

**DIRECTOR: Dr. Ing. Caminos AURELIO HERNÁNDEZ MUÑOZ  
CODIRECTOR: Dr. Ing. Caminos AURELIO HERNÁNDEZ  
LEHMANN  
TUTOR: Dr. Ing. Caminos MANOEL LUCAS FILHO**

**2011**



**A mis padres Sergio  
y Magda**



## **AGRADECIMIENTOS**

Primero y antes que nada, dar gracias a Dios, por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante el período de investigación.

A San Judas Tadeo

A mis Directores de Tesis: D. Aurelio Hernández Muñoz y D. Aurelio Hernández Lehmann. Quiero expresar mi más profundo agradecimiento al Profesor Aurelio Muñoz, toda una referencia de la Sanitaria española, por haber aceptado y llevado a cabo la dirección de esta Tesis, por el asesoramiento científico y estímulo para seguir creciendo intelectualmente. Su disposición permanente e incondicional y además, sus substanciales sugerencias, han sido de gran valía para la realización de esta investigación. A Aurelio Lehmann, por mi guía, maestro, tutor y orientador en cada paso de esta investigación.

Al Profesor Manoel Lucas, por la oportunidad de realizar estudios de doctorado en España y quien además de brindarme con sus conocimientos y experiencias profesionales desde el primer momento, me ha permitido considerarlo como amigo.

Al profesor Luis Pereira que siempre estuvo dispuesto a colaborar con sus sabios consejos

A todos miembros del Departamento de Ingeniería Civil: Ordenación del Territorio, Urbanismo y Medio Ambiente

Un agradecimiento muy especial a Julia, por su cariño y estímulo

A Abilia y Iñaki, por haber me ayudado en la fase experimental

Al profesor D. Manuel Rogel por el apoyo brindado

A Innovación Civil Española (INNCIVE), por haber me permitido iniciarme en el mundo de la Ingeniería Sanitaria, en especial a D. Pablo Hernández Lehmann, por la confianza depositada y el apoyo brindado.

A mis compañeros de trabajo y café, presentes y pasados

A la empresa GEOCISA en especial a todo el personal del Laboratorio de Química y a Dra. Isabel Rodenas, por su valiosa colaboración en los análisis químicos de la presente Tesis.

A mis amigos que he hecho en España, por ser mi familia de acogida en España. Gracias a ustedes, he podido hacer fáciles aquellos momentos difíciles lejos de casa. Gracias por aguantarme y por escucharme.

Y, por supuesto, el agradecimiento más profundo y sentido va para mi familia. Sin su apoyo, amor ofrecido, colaboración e inspiración habría sido imposible llevar a cabo esta dura tarea. Gracias por haberme enseñado que aquel que persevera triunfa y que los sueños no son inalcanzables. Por ellos y para ellos.

A Tassia que paciente espero mis encerronas y por su amor

A mis amigos y hermanos que a la distancia siempre me acompañan.

En general quisiera agradecer a todas y cada una de las personas que han vivido conmigo La realización de esta Tesis Doctoral, con sus altos y bajos y que no necesito nombrar porque tanto ellas como yo sabemos que desde los más profundos de mi corazón les agradezco el haberme brindado todo el apoyo, colaboración, ánimo y sobre todo cariño y amistad.

*“Never give in, never give in, never; never;  
never; never - in nothing, great or small,  
large or petty - never give in except to  
convictions of honor and good sense.”  
Winston Churchill*

## ÍNDICE

1. ANTECEDENTES .....	28
1.1. Datos personales .....	28
1.2. Formación doctorado .....	28
2. GENERALIDADES .....	30
2.1. Características de las aguas residuales .....	30
2.1.1. Materia orgánica .....	34
2.1.1.1. Consideraciones sobre los compuestos orgánicos presentes en las aguas residuales .....	35
2.1.1.2. Descomposición de la materia orgánica .....	36
2.1.1.2.1. Ciclos en el proceso de depuración .....	36
2.1.2. Compuestos inorgánicos .....	42
2.2. Sustancias asociadas a los malos olores generados en las depuradoras .....	45
2.3. Procesos de depuración de aguas residuales.....	47
2.3.1. Escalones de proceso de una depuradora y la generación de olores.....	48
2.3.1.1. Línea de aguas .....	49
2.3.1.1.2. Tratamiento químico .....	51
2.3.1.1.3. Procesos biológicos .....	51
2.3.1.1.4. Desinfección (cloración).....	52
2.3.1.1.5. Influencia de las estaciones en la generación de olores .....	53
2.3.1.2. Línea de fangos .....	54
2.3.1.2.1. Escalones de proceso de una depuradora y la generación de olores en los procesos de manejo y tratamiento de fango.....	56
2.3.1.3. Elemento común (Bombeos de lodos recirculados y en exceso) .....	59
2.3.1.4. Línea de gases.....	60
2.3.1.5. Principales fuentes de emisión de olores .....	61
2.5. Técnicas de control, minimización y tratamiento de olores .....	74
2.5.1. Medidas de minimización de olores en la red de alcantarillado .....	74
2.5.2. Contención de olores .....	75
2.5.3. Tipos de tratamiento de olores.....	76
2.6. Métodos de determinación de olores.....	78
2.6.1. Métodos de muestreo de olores.....	83
2.7. Electrocoagulación .....	85
3. OBJETIVOS INICIALES .....	97
4. INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	98

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

4.1. Análisis de datos .....	99
4.2. Resultados de la investigación bibliográfica .....	99
4.2.1. En referencia al objetivo inicial 1: Clasificación de los productos olorosos .....	99
4.2.2. En referencia al objetivo inicial 2: Sistemas utilizados en la eliminación de olores .....	104
4.2.3. En referencia al objetivo inicial 3: Consideración de la normativa pertinente .....	168
4.2.4. En referencia al objetivo inicial 4: Eliminación de compuestos olorosos por solubilización de los ánodos .....	180
4.2.5. En referencia al objetivo inicial 5: Oxidación directa de los compuestos olorosos utilizando electrodos de hierro, aluminio, titanio y Dióxido de plomo (PbO <sub>2</sub> ).....	182
4.2.6. En referencia al objetivo inicial 6: Eliminación de compuestos olorosos por electroflotación .....	188
4.3. Frontera del Conocimiento .....	191
4.3.1. Clasificación de los productos olorosos .....	191
4.3.2. Sistemas utilizados en la eliminación de olores .....	191
4.3.3. Consideración de la normativa pertinente .....	194
4.3.4. Eliminación de compuestos olorosos por solubilización de los ánodos .....	195
4.3.5. Oxidación directa de los compuestos olorosos utilizando electrodos de hierro, aluminio, titanio y Dióxido de plomo (PbO <sub>2</sub> ) .....	195
4.3.6. Eliminación de compuestos olorosos por electroflotación.....	198
5. OBJETIVOS DEFINITIVOS .....	199
5.1. Objetivos definitivos posibles .....	199
5.2. Objetivos seleccionados en la presente Tesis .....	203
6. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	204
6.1. Metodología aplicada.....	204
6.2. Selección de los parámetros a analizar .....	204
6.2.1. Respecto al objetivo definitivo 1: Investigar sobre la oxidación directa de los compuestos de azufre olorosos. ....	204
6.2.2. Respecto al objetivo definitivo 2: Investigar sobre la oxidación directa de los compuestos nitrogenados olorosos .....	205
6.2.3. Respecto al objetivo definitivo 3: Investigar sobre la oxidación directa de ácidos olorosos .....	205
6.2.4. Respecto al objetivo definitivo 4: Investigar sobre la oxidación directa de bencenos olorosos .....	205
6.2.5. Respecto al objetivo definitivo 5: Investigar sobre la oxidación directa de compuestos clorados olorosos .....	205

6.3. Técnicas Analíticas.....	206
6.3.1. Descripción de los Equipos Utilizados .....	207
6.4. Ensayos de choque .....	211
6.4.1. Resultados de los ensayos de choque.....	214
6.4.2. Correcciones introducidas .....	216
6.5. Planta piloto.....	217
6.5.1. Depuradora Viveros de la Villa .....	217
6.5.2. Descripción de la planta piloto .....	220
6.5.2.1. Descripción de los componentes .....	223
6.6. Planificación en el tiempo .....	227
6.6.1. Actividades desarrolladas durante la investigación .....	229
7. DESARROLLO DE LOS ENSAYOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	230
7.1. Descripción de los ensayos en planta piloto.....	230
7.1.1. Definición de los ensayos .....	231
8. PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS .....	234
9. ANÁLISIS Y JUSTIFICACIÓN DE LOS RESULTADOS .....	237
9.1. Resultados en referencia al objetivo definitivo 1: Investigar sobre la oxidación directa de los compuestos de azufre olorosos en aguas residuales .....	237
9.2. Resultados en referencia al objetivo definitivo 2: Investigar sobre la oxidación directa de los compuestos nitrogenados olorosos en aguas residuales.....	240
9.3. Resultados en referencia al objetivo definitivo 3: Investigar sobre la oxidación directa de ácidos olorosos en aguas residuales .....	262
9.4. Resultados en referencia al objetivo definitivo 4: Investigar sobre la oxidación directa de bencenos olorosos en aguas residuales .....	265
9.5. Resultados en referencia al objetivo definitivo 5: Investigar sobre la oxidación directa de compuestos clorados olorosos en aguas residuales .....	268
9.6. Resultados en referencia al consumo de energía.....	271
10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	272
10.1. En referencia al objetivo definitivo 1: Investigar sobre la oxidación directa de los compuestos de azufre olorosos en aguas residuales .....	273
10.2. En referencia al objetivo definitivo 2: Investigar sobre la oxidación directa de los compuestos nitrogenados olorosos en aguas residuales .....	273
10.3. En referencia al objetivo definitivo 3: Investigar sobre la oxidación directa de ácidos olorosos en aguas residuales .....	276
10.4. En referencia al objetivo definitivo 4: Investigar sobre la oxidación directa de bencenos olorosos en aguas residuales .....	276

## **Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales**

10.5. En referencia al objetivo definitivo 5: Investigar sobre la oxidación directa de compuestos clorados olorosos en aguas residuales .....	276
10.6. En referencia al consumo de energía.....	276
11. INVESTIGACIONES FUTURAS .....	278
ANEXOS.....	281

## LISTA DE TABLAS

TABLA 1: CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES URBANAS .....	31
TABLA 2: CONSUMO DE AGUA Y CONTAMINACIÓN DE ALGUNOS TIPOS DE INDUSTRIA (ADAPTADO DE HERNÁNDEZ, 2007).....	32
TABLA 3: COMPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES DE INDUSTRIA LECHERA (F. MEINCK, H.STROOFF, H. KOHLSCHUTTER, 1997) .....	32
TABLA 4: COMPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES DE CERVECERAS (F. MEINCK, H.STROOFF, H. KOHLSCHUTTER, 1997).....	33
TABLA 5: COMPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES DE MATADEROS (F. MEINCK, H.STROOFF, H. KOHLSCHUTTER, 1997).....	33
TABLA 6: COMPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES DE INDUSTRIA DE PRODUCTOS FARMACÉUTICOS (F. MEINCK, H.STROOFF, H. KOHLSCHUTTER, 1997).....	33
TABLA 7: COMPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES DE INDUSTRIA TEXTIL (F. MEINCK, H.STROOFF, H. KOHLSCHUTTER, 1997) .....	34
TABLA 8: PRINCIPALES FUENTES DE EMISIÓN DEL H <sub>2</sub> S, NH <sub>3</sub> Y OTROS CONTAMINANTES ASÍ COMO SUS CONCENTRACIONES TÍPICAS EN UNA DEPURADORA (VICENTE ET AL.1998).....	47
TABLA 9: CLASIFICACIÓN CONVENCIONAL DE LOS TIPOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	48
TABLA 10: MEDICIÓN DE LOS COMPUESTOS SELECCIONADOS EN EL VERANO (JEON ET AL, 2009).....	53
TABLA 11: MEDICIÓN DE LOS COMPUESTOS SELECCIONADOS EN EL INVIERNO (JEON ET AL, 2009) .....	54
TABLA 12: COMPOSICIÓN TÍPICA DEL FANGO CRUDO Y DIGERIDO (METCALF & EDDY, 1995). .....	55
TABLA 13: PRINCIPALES FUENTES DE EMISIÓN DE H <sub>2</sub> S, NH <sub>3</sub> Y OTROS CONTAMINANTES EN DEPURADORAS.....	65
TABLA 14: TÉCNICAS CORRECTIVAS ARTIFICIALES DE OLORES POSIBLES DE UTILIZACIÓN EN CADA UNA DE LAS ETAPAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	77
TABLA 15: MÉTODOS DE MUESTREO Y DE ANÁLISIS GENERALMENTE UTILIZADOS PARA EMISIONES EN DEPURADORAS.....	85
TABLA 16: RELACIÓN DE EJEMPLOS PRÁCTICOS DONDE SE REFLEJA LA DENSIDAD DE CARGA APLICADA EN FUNCIÓN DE LA NATURALEZA DEL EFLUENTE A TRATAR. (HUERGA, 2005).....	94
TABLA 17: COMPUESTOS SULFURADOS OLOROSOS EN DEPURADORAS .....	100
TABLA 18: COMPUESTOS NITROGENADOS OLOROSOS EN DEPURADORAS. .	100
TABLA 19: COMPUESTOS ÁCIDOS OLOROSOS EN DEPURADORAS .....	101

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

TABLA 20: COMPUESTOS OLOROSOS DERIVADOS DE ALDEHÍDOS Y CETONAS EN DEPURADORAS.....	101
TABLA 21: COMPUESTOS OLOROSOS DERIVADOS DEL BENCENO EN DEPURADORAS.....	101
TABLA 22: COMPUESTOS CLORADOS OLOROSOS EN DEPURADORAS.....	102
TABLA 23: COMPUESTOS ORGÁNICOS OLOROSOS EN DEPURADORAS.....	103
TABLA 24: COMPUESTOS INORGÁNICOS OLOROSOS EN DEPURADORAS.....	104
TABLA 25: RESULTADOS DE LA DEGRADACIÓN DEL DMDS SIN $Fe^{2+}$ (KRÜGER ET AL, 2009).....	108
TABLA 26: RESULTADOS DE LA DEGRADACIÓN DEL DMDS CON $Fe^{2+}$ (KRÜGER ET AL, 2009).....	108
TABLA 27: RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PARTE EXPERIMENTAL (SZPYRKOWICZ ET AL, 1995).....	117
TABLA 28: RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PARTE EXPERIMENTAL (SZPYRKOWICZ ET AL, 1994).....	118
TABLA 29: EFECTO DEL MATERIAL DEL ÁNODO EN LA ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES (MURUGANANTHAN ET AL, 2004) DENSIDAD: 47 MA/CM <sup>2</sup> Y TIEMPO DE ELECTROFLOTACIÓN: 1200 S. ....	120
TABLA 30: INFLUENCIA DEL PH EN LA REMOCIÓN DE SULFATO CONCENTRACIÓN INICIAL: 100 MG/L, DENSIDAD: 62 MA/CM <sup>2</sup> Y TIEMPO DE ELECTRO FLOTACIÓN: 600 S. (MURUGANANTHAN ET AL, 2004).....	122
TABLA 31: DESCRIPCIÓN REALIZADAS POR EL PANEL DE EXPERTOS (TON HEDÓNICO).....	123
TABLA 32: DETECCIÓN (DT) Y RECONOCIMIENTO (RT) UMBRAL POR EL ST. CROIX SENSORY, INC (KRACH ET AL, 2008).....	124
TABLA 33: DESCRIPCIÓN REALIZADAS POR EL PANEL DE EXPERTOS ESCALA REAL (HEDONIC TOM).....	125
TABLA 34: DETECCIÓN (DT) Y RECONOCIMIENTO (RT) UMBRAL POR EL ST. CROIX SENSORY, INC (KRACH ET AL, 2008).....	125
TABLA 35: EFECTOS DE LOS OXIDANTES EN LA ELIMINACIÓN DE SULFURO DE HIDROGENO (CADENA Y PETERS, 1998) .....	133
TABLA 36: CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE COS PARA CADA CARBÓN EN FUNCIÓN DE LA HUMEDAD (SATTLER Y ROSENBERK, 2006). ....	140
TABLA 37: CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE COS Y H <sub>2</sub> S CON HUMEDAD DE 17%(SATTLER Y ROSENBERK, 2006).....	140
TABLA 38: CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE EN LA PRESENCIA DE (SATTLER Y ROSENBERK, 2006). ....	140
TABLA 39: RESULTADOS DE REMOCIÓN DE H <sub>2</sub> S (BAGREEV Y BANDOSZ, 2002).....	141
TABLA 40: RESULTADOS DE REMOCIÓN DE H <sub>2</sub> S A 100 PPM (ASMARI ET AL, 2005).....	142

TABLA 41: EFICIENCIA DEL PROYECTO PILOTO EN EL DÍA 253.....	150
TABLA 42: CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES DE LOS FILTROS BIOLÓGICOS (CHEN ET AL, 2004). .....	153
TABLA 43: CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL BASE (MOUSSAVI ET AL, 2007). .....	156
TABLA 44: PLANTAS DEPURADORAS QUE UTILIZAN LA DIFUSIÓN EN FANGOS ACTIVOS COMO TÉCNICA DE CONTROL DE OLORES (BOWKER, 2000). .....	158
TABLA 45: MICROORGANISMOS RESPONSABLES POR LA BIODEGRADACIÓN DE COMPUESTOS SULFURADOS (RAPPERT Y MÜLLER, 2005). .....	160
TABLA 46: MICROORGANISMOS RESPONSABLES POR LA BIODEGRADACIÓN DE COMPUESTOS QUE CONTIENEN AMINAS (RAPPERT Y MÜLLER, 2005). .....	160
TABLA 47: CONDICIONES DE LA PARTE EXPERIMENTAL (JANG ET AL, 2006)	165
TABLA 48: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS PARA EL FILTRO BIOLÓGICO Y WETLAND (MELIÁN ET AL, 2008) .....	168
TABLA 49: CRITERIOS INDICATIVOS DE LA EXPOSICIÓN DEL OLOR PARA CONCENTRACIONES EN INMISIÓN .....	174
TABLA 50: LIMITES DE DETECCIÓN Y TIEMPOS MEDIOS SEGÚN SU LOCALIZACIÓN .....	178
TABLA 51: EJEMPLOS DE AGENCIAS NORMATIVA CON LIMITES DE COMPUESTOS CAUSANTES DE OLORES .....	179
TABLA 52: EFECTO DEL MATERIAL DEL ÁNODO EN LA ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES (MURUGANANTHAN ET AL, 2004) .....	180
TABLA 53: INFLUENCIA DEL PH EN LA REMOCIÓN DE SULFATO .....	182
TABLA 54: RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PARTE EXPERIMENTAL (SZPYRKOWICZ ET AL, 1995) .....	185
TABLA 55: RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PARTE EXPERIMENTAL (SZPYRKOWICZ ET AL, 1994) .....	186
TABLA 56: EFECTO DEL MATERIAL DEL ÁNODO EN LA ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES (MURUGANANTHAN ET AL, 2004) .....	188
TABLA 57: INFLUENCIA DEL PH EN LA REMOCIÓN DE SULFATO CONCENTRACIÓN INICIAL: 100 MG/L, DENSIDAD: 62 MA/CM <sup>2</sup> Y TIEMPO DE ELECTRO FLOTACIÓN: 600 S. (MURUGANANTHAN ET AL, 2004).....	190
TABLA 58: RESUMEN DE LAS TÉCNICAS DE TRATAMIENTO DE OLORES ENCONTRADAS EN LA INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	193
TABLA 59: PARÁMETROS A ANALIZAR CON SUS RESPECTIVAS TÉCNICAS ANALÍTICAS .....	207
TABLA 60: RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS OBJETOS DE LA TESIS EN EL AGUA A ANALIZAR .....	211

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

TABLA 61: CONCENTRACIONES INICIALES DE REACTIVOS A ADICIONAR ARTIFICIALMENTE .....	212
TABLA 62: CONFIGURACIÓN DE LOS ENSAYOS DÍA 19/07/2010.....	214
TABLA 63: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DÍA 19/07/2010.....	214
TABLA 64: CONFIGURACIÓN DE LOS ENSAYOS DÍA 20/07/2010.....	214
TABLA 65: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DÍA 20/07/2010.....	215
TABLA 66: CONFIGURACIÓN DE LOS ENSAYOS DÍA 23/07/2010.....	215
TABLA 67: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DÍA 23/07/2010.....	215
TABLA 68: CONFIGURACIÓN DE LOS ENSAYOS DÍA 29/07/2010.....	215
TABLA 69: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DÍA 29/07/2010.....	216
TABLA 70: CONCENTRACIONES CORREGIDAS DE REACTIVOS A AÑADIR... 216	
TABLA 71: DATOS TÉCNICOS DE LA DEPURADORA VIVEROS DE LA VILLA (DRACE).....	219
TABLA 72: ENSAYOS A REALIZAR EN REFERENCIA A LA CONFIGURACIÓN DE LAS PLACAS .....	232
TABLA 73: ENSAYOS A REALIZAR EN REFERENCIA AL ÁNODO DE GRAFITO Y CÁTODO DE ALUMINIO.....	233
TABLA 74: RESULTADOS DE LAS MUESTRAS DE SULFURO DE CARBONO MEDIANTE LA CONFIGURACIÓN DE 1 FUENTE A DIFERENTES INTENSIDADES DE CORRIENTE ELÉCTRICA.....	237
TABLA 75: RESULTADOS DE LAS MUESTRAS DE SULFURO DE CARBONO MEDIANTE LA CONFIGURACIÓN DE 2 FUENTES SEGUIDAS A DIFERENTES INTENSIDADES DE CORRIENTE ELÉCTRICA.....	238
TABLA 76: RESULTADOS DE LAS MUESTRAS DE SULFURO DE CARBONO MEDIANTE LA CONFIGURACIÓN DE 2 FUENTES SEPARADAS A DIFERENTES INTENSIDADES DE CORRIENTE ELÉCTRICA .....	238
TABLA 77: RESULTADOS DE LAS MUESTRAS DEL SULFURO DE CARBONO SIN TRATAMIENTO MEDIANTE CORRIENTE ELÉCTRICA PARA VERIFICAR LA VOLATILIZACIÓN E INFLUENCIA EXTERNAS AL PROCESO .....	238
TABLA 78: RESULTADOS DE LAS MUESTRAS DE SULFURO DE CARBONO MEDIANTE LA CONFIGURACIÓN DE 1 FUENTE MEDIANTE LAS INTENSIDADES (0,5, 4 Y 6).....	239
TABLA 79: RESULTADOS DE LAS MUESTRAS DE SULFURO DE CARBONO MEDIANTE LA CONFIGURACIÓN DE 2 FUENTES SEGUIDAS MEDIANTE LAS INTENSIDADES (0,5, 4 Y 6).....	239
TABLA 80: RESULTADOS DE LAS MUESTRAS DE SULFURO DE CARBONO MEDIANTE LA CONFIGURACIÓN DE 2 FUENTES SEPARADAS MEDIANTE LAS INTENSIDADES (0,5, 4 Y 6). .....	239
TABLA 81: RESULTADOS DE LAS MUESTRAS DE NITRÓGENO AMONICAL MEDIANTE LA CONFIGURACIÓN DE 1 FUENTE A DIFERENTES INTENSIDADES DE CORRIENTE ELÉCTRICA.....	240

TABLA 82: RESULTADOS DE LAS MUESTRAS DE NITRÓGENO AMONIACAL MEDIANTE LA CONFIGURACIÓN DE 2 FUENTES SEGUIDAS A DIFERENTES INTENSIDADES DE CORRIENTE ELÉCTRICA.....	240
NITRÓGENO AMONIACAL (MG/L N-NH <sub>3</sub> ); RENDIMIENTO (%) .....	240
TABLA 83: RESULTADOS DE LAS MUESTRAS DE NITRÓGENO AMONIACAL MEDIANTE LA CONFIGURACIÓN DE 2 FUENTES SEPARADAS A DIFERENTES INTENSIDADES DE CORRIENTE ELÉCTRICA .....	241
TABLA 84: RESULTADOS DE LAS MUESTRAS MEDIANTE LA CONFIGURACIÓN DE 1 FUENTE (ÁNODO Y CÁTODO DE ALUMINIO) A LAS INTENSIDADES DE CORRIENTE ELÉCTRICA 0,5, 4 Y 6 A NITRÓGENO TOTAL (MG/L N), NITRATO (MG/L NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ), NITRITO (MG/L DE NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , AMONIACO (MG/L NH <sub>3</sub> ); NITRÓGENO AMONIACAL (MG/L N-NH <sub>3</sub> ); RENDIMIENTO (%).....	242
TABLA 85: RESULTADOS DE LAS MUESTRAS MEDIANTE LA CONFIGURACIÓN DE 2 FUENTES SEGUIDAS (ÁNODO Y CÁTODO DE ALUMINIO) A LAS INTENSIDADES DE CORRIENTE ELÉCTRICA 0,5, 4 Y 6 A.	242
TABLA 86: RESULTADOS DE LAS MUESTRAS MEDIANTE LA CONFIGURACIÓN DE 2 FUENTES SEPARADAS (ÁNODO Y CÁTODO DE ALUMINIO) A LAS INTENSIDADES DE CORRIENTE ELÉCTRICA 0,5, 4 Y 6 A NITRÓGENO TOTAL (MG/L N), NITRATO (MG/L NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ), NITRITO (MG/L DE NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , AMONIACO (MG/L NH <sub>3</sub> ); NITRÓGENO AMONIACAL (MG/L N-NH <sub>3</sub> ); RENDIMIENTO (%) .....	243
TABLA 87: RESULTADOS DE LAS MUESTRAS MEDIANTE LA CONFIGURACIÓN DE 1 FUENTE (ÁNODO Y CÁTODO DE ALUMINIO) A LAS INTENSIDADES DE CORRIENTE ELÉCTRICA 0,5, 4 Y 6 A.....	244
TABLA 88: RESULTADOS DE LAS MUESTRAS MEDIANTE LA CONFIGURACIÓN DE 2 FUENTES SEGUIDAS (ÁNODO Y CÁTODO DE ALUMINIO) A LAS INTENSIDADES DE CORRIENTE ELÉCTRICA 0,5, 4 Y 6 A.	244
TABLA 89: RESULTADOS DE LAS MUESTRAS MEDIANTE LA CONFIGURACIÓN DE 2 FUENTES SEPARADAS (ÁNODO Y CÁTODO DE ALUMINIO) A LAS INTENSIDADES DE CORRIENTE ELÉCTRICA 0,5, 4 Y 6 A.	245
TABLA 90: RESULTADOS DE LAS MUESTRAS DE AMONIACO MEDIANTE LA CONFIGURACIÓN DE 1 FUENTE (ÁNODO GRAFITO Y CÁTODO ALUMINIO) A DIFERENTES INTENSIDADES DE CORRIENTE ELÉCTRICA.....	246
TABLA 91: RESULTADOS DE LAS MUESTRAS DE AMONIACO MEDIANTE LA CONFIGURACIÓN DE 1 FUENTE MEDIANTE INTENSIDADES DE 4 Y 6 AMPERIOS .....	246
TABLA 92: RESULTADOS DE LAS MUESTRAS DE AMONIACO MEDIANTE LA CONFIGURACIÓN DE 2 FUENTES SEGUIDAS (ÁNODO GRAFITO Y CÁTODO ALUMINIO) A DIFERENTES INTENSIDADES DE CORRIENTE ELÉCTRICA .....	249
TABLA 93: RESULTADOS DE LAS MUESTRAS DE AMONIACO MEDIANTE LA CONFIGURACIÓN DE 2 FUENTES SEGUIDAS MEDIANTE INTENSIDADES DE 4 Y 6 AMPERIOS .....	249
TABLA 94: RESULTADOS DE LAS MUESTRAS MEDIANTE LA CONFIGURACIÓN DE 1 FUENTE (ÁNODO GRAFITO Y CÁTODO ALUMINIO) A LAS INTENSIDADES DE CORRIENTE ELÉCTRICA 4 Y 6 A .....	253

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

TABLA 95: RESULTADOS DE LAS MUESTRAS MEDIANTE LA CONFIGURACIÓN DE 2 FUENTES SEGUIDAS (ÁNODO GRAFITO Y CÁTODO ALUMINIO) A LAS INTENSIDADES DE CORRIENTE ELÉCTRICA 4 Y 6 A.....	253
TABLA 96: RESULTADOS DE LAS MUESTRAS MEDIANTE LA CONFIGURACIÓN DE 1 FUENTE (ÁNODO GRAFITO Y CÁTODO ALUMINIO) A LAS INTENSIDADES DE CORRIENTE ELÉCTRICA 4 Y 6 A .....	254
TABLA 97: RESULTADOS DE LAS MUESTRAS MEDIANTE LA CONFIGURACIÓN DE 2 FUENTES SEGUIDAS (ÁNODO GRAFITO Y CÁTODO ALUMINIO) A LAS INTENSIDADES DE CORRIENTE ELÉCTRICA 4 Y 6 A.....	254
TABLA 98: RESULTADOS DE LAS MUESTRAS DE ÁCIDO ACÉTICO MEDIANTE LA CONFIGURACIÓN DE 1 FUENTE A DIFERENTES INTENSIDADES DE CORRIENTE ELÉCTRICA.....	262
TABLA 99: RESULTADOS DE LAS MUESTRAS DE ÁCIDO ACÉTICO MEDIANTE LA CONFIGURACIÓN DE 2 FUENTES SEGUIDAS A DIFERENTES INTENSIDADES DE CORRIENTE ELÉCTRICA.....	262
TABLA 100: RESULTADOS DE LAS MUESTRAS DE ÁCIDO ACÉTICO MEDIANTE LA CONFIGURACIÓN DE 2 FUENTES SEPARADAS A DIFERENTES INTENSIDADES DE CORRIENTE ELÉCTRICA .....	263
TABLA 101: RESULTADOS DE LAS MUESTRAS MEDIANTE LA CONFIGURACIÓN DE 1 FUENTE (ÁNODO Y CÁTODO DE ALUMINIO) A LAS INTENSIDADES DE CORRIENTE ELÉCTRICA 0,5, 4 Y 6 A.....	263
TABLA 102: RESULTADOS DE LAS MUESTRAS MEDIANTE LA CONFIGURACIÓN DE 2 FUENTES SEGUIDAS (ÁNODO Y CÁTODO DE ALUMINIO) A LAS INTENSIDADES DE CORRIENTE ELÉCTRICA 0,5, 4 Y 6 A.	263
TABLA 103: RESULTADOS DE LAS MUESTRAS MEDIANTE LA CONFIGURACIÓN DE 2 FUENTES SEGUIDAS (ÁNODO Y CÁTODO DE ALUMINIO) A LAS INTENSIDADES DE CORRIENTE ELÉCTRICA 0,5, 4 Y 6 A.	263
TABLA 104: RESULTADOS DE LAS MUESTRAS DE ÁCIDO ACÉTICO MEDIANTE LA CONFIGURACIÓN DE 1 FUENTE A DIFERENTES INTENSIDADES DE CORRIENTE ELÉCTRICA.....	264
TABLA 105: RESULTADOS DE LAS MUESTRAS DE ÁCIDO ACÉTICO MEDIANTE LA CONFIGURACIÓN DE 2 FUENTES SEGUIDAS A DIFERENTES INTENSIDADES DE CORRIENTE ELÉCTRICA.....	264
TABLA 106: RESULTADOS DE LAS MUESTRAS MEDIANTE LA CONFIGURACIÓN DE 1 FUENTE (ÁNODO DE GRAFITO Y CÁTODO DE ALUMINIO) A LAS INTENSIDADES DE CORRIENTE ELÉCTRICA 0,5, 6, 8 Y 9,5. ....	264
TABLA 107: RESULTADOS DE LAS MUESTRAS MEDIANTE LA CONFIGURACIÓN DE 2 FUENTES SEGUIDAS (ÁNODO DE GRAFITO Y CÁTODO DE ALUMINIO) A LAS INTENSIDADES DE CORRIENTE ELÉCTRICA 2, 4, 6 Y 8. ....	265
TABLA 108: RESULTADOS DE LAS MUESTRAS DE TOLUENO MEDIANTE LA CONFIGURACIÓN DE 1 FUENTE A DIFERENTES INTENSIDADES DE CORRIENTE ELÉCTRICA.....	265

TABLA 109: RESULTADOS DE LAS MUESTRAS DE TOLUENO MEDIANTE LA CONFIGURACIÓN DE 2 FUENTES SEGUIDAS A DIFERENTES INTENSIDADES DE CORRIENTE ELÉCTRICA .....	266
TABLA 110: RESULTADOS DE LAS MUESTRAS DE TOLUENO MEDIANTE LA CONFIGURACIÓN DE 2 FUENTES SEPARADAS A DIFERENTES INTENSIDADES DE CORRIENTE ELÉCTRICA.....	266
TABLA 111: RESULTADOS DE LAS MUESTRAS DE TOLUENO SIN TRATAMIENTO MEDIANTE CORRIENTE ELÉCTRICA PARA VERIFICAR LA VOLATILIZACIÓN E INFLUENCIA EXTERNAS AL PROCESO.....	266
TABLA 112: RESULTADOS DE LAS MUESTRAS DE TOLUENO MEDIANTE LA CONFIGURACIÓN DE 1 FUENTE MEDIANTE LAS INTENSIDADES (0,5, 4 Y 6). 267	
TABLA 113: RESULTADOS DE LAS MUESTRAS DE TOLUENO MEDIANTE LA CONFIGURACIÓN DE 2 FUENTES SEGUIDAS, MEDIANTE LAS INTENSIDADES (0,5, 4 Y 6).....	267
TABLA 114: RESULTADOS DE LAS MUESTRAS DE TOLUENO MEDIANTE LA CONFIGURACIÓN DE 2 FUENTES SEPARADAS, MEDIANTE LAS INTENSIDADES (0,5, 4 Y 6).....	267
TABLA 115: RESULTADOS DE LAS MUESTRAS DE DICLOROMETANO MEDIANTE LA CONFIGURACIÓN DE 1 FUENTE A DIFERENTES INTENSIDADES DE CORRIENTE ELÉCTRICA.....	268
TABLA 116: RESULTADOS DE LAS MUESTRAS DE DICLOROMETANO MEDIANTE LA CONFIGURACIÓN DE 2 FUENTES SEGUIDAS A DIFERENTES INTENSIDADES DE CORRIENTE ELÉCTRICA.....	268
TABLA 117: RESULTADOS DE LAS MUESTRAS DE DICLOROMETANO MEDIANTE LA CONFIGURACIÓN DE 2 FUENTES SEPARADAS A DIFERENTES INTENSIDADES DE CORRIENTE ELÉCTRICA .....	269
TABLA 118: RESULTADOS DE LAS MUESTRAS DEL DICLOROMETANO SIN TRATAMIENTO MEDIANTE CORRIENTE ELÉCTRICA PARA VERIFICAR LA VOLATILIZACIÓN E INFLUENCIA EXTERNAS AL PROCESO.....	269
TABLA 119: RESULTADOS DE LAS MUESTRAS DE DICLOROMETANO MEDIANTE LA CONFIGURACIÓN DE 1 FUENTE, MEDIANTE LAS INTENSIDADES (0,5, 4 Y 6).....	269
TABLA 120: RESULTADOS DE LAS MUESTRAS DE DICLOROMETANO MEDIANTE LA CONFIGURACIÓN DE 2 FUENTES SEGUIDAS, MEDIANTE LAS INTENSIDADES (0,5, 4 Y 6).....	270
TABLA 121: RESULTADOS DE LAS MUESTRAS DE DICLOROMETANO MEDIANTE LA CONFIGURACIÓN DE 2 FUENTES SEPARADAS, MEDIANTE LAS INTENSIDADES (0,5, 4 Y 6). .....	270

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: CICLO AEROBIO (HERNÁNDEZ, 2001) .....	37
FIGURA 2: CICLO ANAEROBIO (HERNÁNDEZ, 2001) .....	38
FIGURA 3: ETAPAS DE CONTROL DE OLORES .....	66
FIGUA 4: OLFATOMETRÍA DINÁMICA CON ASESORES HUMANOS, PARA MEDIR LA CONCENTRACIÓN DEL OLOR SEGÚN EN13725. FOTO POR CORTESÍA DE ODOURNET UK LTD.....	80
FIGURA 5: EFICIENCIA DE DESCOMPOSICIÓN EN FUNCIÓN DA ENERGÍA SUMINISTRADA (SEI) (LOCK ET AL, 2006).....	105
FIGURA 6: INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA Y HUMEDAD EN LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DEL DMS. (LOCK ET AL, 2006) .....	106
FIGURA 7: ELIMINACIÓN DE H <sub>2</sub> S EN FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN (DALAINE ET AL, 1998) .....	107
FIGURA 8: PRIMEROS RESULTADOS DE DEGRADACIÓN FOTOCATALÍTICA DE H <sub>2</sub> S CON IRRADIACIÓN SOLAR EMPLEANDO MONOLITOS DE PET RECUBIERTOS CON TIO <sub>2</sub> COMO FOTOCATALIZADOR (SANCHÉZ ET AL, 2008).....	109
FIGURA 9: SISTEMA EXPERIMENTAL, 1: CAMISA DE VIDRIO DEL REACTOR; 2: LAMPARA UV; 3: TANQUE; 4: SOLUCIÓN; 5: BOMBA CENTRIFUGA; 6: CRIOSTATO DE CIRCULACIÓN; 7: CAMISA CUARZO; 8: ENTRADA DE AGUA; 9: SALIDA DE AGUA; 10: CALDALIMETRO; 11: VÁLVULA; 12: BY PASS; 13: BOMBEO DE AIRE. (MERABET ET AL, 2009) .....	110
FIGURA 10: EFEITO DE LAS CONCENTRACIONES CATALITICAS EN LA ELIMINACION DEL INDOL (MERABET ET AL, 2009) .....	111
FIGURA 11: EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN INICIAL DEL INDOL EN LA FOTO DEGRADACIÓN CON EL USO DEL TIO <sub>2</sub> (SOLUCIÓN VOLUMEN: 1200 ML, UV LAMP: 24W, TEMPERATURA: 25 °C, CORRIENTE DE AIRE: 2 L/MIN, PH: 6.8, CAUDAL = 0.5 ML/S, CONCENTRACIÓN CATALÍTICA = 1 G/L). (MERABET ET AL, 2009) .....	111
FIGURA 12: EFECTO DEL PH EN LA ELIMINACIÓN DEL INDOL (SOLUCIÓN VOLUMEN: 1200 ML, CORRIENTE DE AIRE: 2 L/MIN, TIO <sub>2</sub> = 1 G/L, T=25°C Y UV LAMP = 24W, CAUDAL = 0.5 ML/S). (MERABET ET AL, 2009).....	112
FIGURA 13: EFECTOS DE LA VELOCIDAD DE AGITACIÓN EN LA CONCENTRACIÓN INICIAL DEL INDOL (MERABET ET AL, 2009).....	112
FIGURA14: SULFOXIDACIÓN DEL DMSO CON H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> EN LA PRESENCIA DETS-1 Y SIO <sub>2</sub> - .....	113
TIO <sub>2</sub> ; T = 20°C, H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /DMSO = 1/1 (MOL MOL <sup>-1</sup> ) (COJOCARIU ET AL 2009).....	113
FIGURA 15: RESULTADOS DE LO ESPECTROSCOPIO FOTOELECTRÓNICO POR RAYOS X (HR-XPS), ANTES Y DESPUÉS DE LA REACCION DE LAS NANOPARTICULAS DE HIERRO Y SULFURO DE HIDROGENO (LI ET AL, 2007).....	114

FIGURA 16: EQUIPO ELECTROQUÍMICO DE BANCO (SZPYRKOWICZ ET AL, 1995).....	115
FIGURA 17: RELACIÓN ENTRE LA ELIMINACIÓN DE AMONIO Y LA ENERGÍA APLICADA (SZPYRKOWICZ ET AL, 1995) (A) EFLUENTE FINAL, (B) AGUA RESIDUAL ANTES DEL TRATAMIENTO AERÓBICO, (C) AGUA RESIDUAL DESPUÉS DEL TRATAMIENTO AERÓBICO, (D) AGUA RESIDUAL MEZCLADA, (E) AGUA RESIDUAL CRUDA. ....	116
FIGURA 18: REPRESENTACIÓN DE LA CÉLULA (ATEYA ET AL, 2005) A1 Y A2 CONTACTOS CON LOS ELECTRODOS POROSOS (E); C: MEDIDOR DE ELECTRODO; G:DISCO DE PLACA POROSA; R: ELECTRODO DE REFERENCIA ;Q: ESMERILADO; P: CONEXIÓN DE PLATINO PARA LOS ELECTRODOS POROSOS. ....	119
FIGURA 19: CÉLULA DE ELECTROFLOTACIÓN (MURUGANANTHAN ET AL, 2004) (A) ÁNODO; (B) CÁTODO; (C) CONJUNTO DE ELECTRODOS; (D) LABIO DE RESIDUOS; (E) ENTRADA Y (F) SALIDA.....	120
FIGURA 20: INFLUENCIA DE LA CONCENTRACIÓN INICIAL DE SULFURO, SULFITOS Y SULFATOS INICIAL VS. REMOCIÓN (ÁNODO: FE, TIEMPO DE FLOTACIÓN: 600 S, PH: 7.0, DENSIDAD: 32 MA/CM2 PARA SULFURO Y 62 MA/CM2 PARA EL SULFITO Y SULFATO). (MURUGANANTHAN ET AL, 2004)	121
FIGURA 21: INFLUENCIA DE LA DENSIDAD EN LA ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES SULFURADOS (ÁNODO: FE, TIEMPO DE FLOTACIÓN: 600 S, CONCENTRACIÓN INICIAL: 100 MG/L). (MURUGANANTHAN ET AL, 2004)	122
FIGURA 22: RESULTADOS DEL TON HEDÓNICO EN ESCALA DE LABORATORIO (KRACH ET AL, 2008).....	123
FIGURA 23: RESULTADOS DEL TOM HEDONIC EN ESCALA REAL (KRACH ET AL, 2008).....	124
FIGURA 24. EVALUACIÓN DEL LAS CONCENTRACIONES DE SULFURO DE HIDROGENO EN EL FANGO EN RELACIÓN A LOS OXIDANTES (DEVAI Y DELAUNE, 2002).....	126
FIGURA 25: EVALUACIÓN DEL LAS CONCENTRACIONES DE SULFURO DE CARBONILO EN EL FANGO EN RELACIÓN A LOS OXIDANTES (DEVAI Y DELAUNE, 2002).....	127
FIGURA 26: EVALUACIÓN DEL LAS CONCENTRACIONES DE METHANETHIOL EN EL FANGO EN RELACIÓN A LOS OXIDANTES (DEVAI Y DELAUNE, 2002).....	128
FIGURA 27: EVALUACIÓN DEL LAS CONCENTRACIONES DE DIMETIL SULFURO EN EL FANGO EN RELACIÓN A LOS OXIDANTES (DEVAI Y DELAUNE, 2002).....	129
FIGURA 28: EVALUACIÓN DEL LAS CONCENTRACIONES DE DISULFIDO CARBONO EN EL FANGO EN RELACIÓN A LOS OXIDANTES (DEVAI Y DELAUNE, 2002).....	130
FIGURA 29: CONCENTRACIONES DE METIL MERCAPTANO (MM) Y DIMETIL SULFURO (DMS)S OF THE METHYL VS. LOS VALORES DE POTENCIAL DE REDUCCIÓN-OXIDACIÓN (ORP) (ARISPE ET AL, 2007).....	132

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

FIGURA 30: INFLUENCIA DEL OXIDANTE EN LA ELIMINACIÓN DE SULFUROS (CADENA Y PETERS, 1998).....	133
FIGURA 31: REACCIONES DE LOS SULFUROS EN DIVERSAS SITUACIONES (A) CON H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (1 ML/L) (B) H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (1 ML/L) Y FE <sup>2+</sup> (0.4 MM); (C) PROCESO BIOLÓGICO.....	134
FIGURA 32: ESQUEMA DEL SISTEMA DE REACTORES (GUTIERREZ ET AL, 2008).....	135
FIGURA 33: OXIDACIÓN QUÍMICA DE SULFUROS POR EL OXIGENO (GUTIERREZ ET AL, 2008).....	136
FIGURA 34: OXIDACIÓN QUÍMICA Y BIOLÓGICA DE SULFUROS POR EL OXIGENO (GUTIERREZ ET AL, 2008).....	136
FIGURA 35: EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE H <sub>2</sub> S DE LA FASE GASEOSA EN FUNCIÓN DE LA RELACIÓN GAS/LÍQUIDO (JEFFERSON ET AL, 2005).....	138
FIGURA 36: EQUIPOS UTILIZADOS EN LOS EXPERIMENTOS (SATTLER Y ROSENBERK, 2006).....	139
FIGURA 37: RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN CONDICIONES HÚMEDAS CON LOS MATERIALES MÁS SIGNIFICATIVOS, COMPARADAS CON EL CARBÓN COMERCIAL (SANCHÉZ ET AL, 2008). ....	143
FIGURA 38: ESQUEMA DE LOS BIOFILTROS (JIANG ET AL, 2008). ....	144
FIGURA 39: EFICIENCIA DE LOS FILTROS BIOLÓGICO: (A) CONCENTRACIÓN DE H <sub>2</sub> S, (B) EFICIENCIA Y PH DE LA COLUMNA A, (C) EFICIENCIA Y PH DE LA COLUMNA B Y (D) EFICIENCIA Y PH DE LA COLUMNA C. (JIANG ET AL, 2008).....	145
FIGURA 40: EFICIENCIA DE LOS BIOFILTRO. – (A) EFICIENCIA DE REMOCIÓN Y PH VS. TIEMPO; (B) CONCENTRACIONES DE ENTRADA DE LAS COLUMNAS Y SALIDA DE LAS COLUMNAS VS. TIEMPO (DUANA ET AL, 2006).....	146
FIGURA 41: ACTUACIÓN DE FILTRO BIOLÓGICO CON TIERRA COMO MEDIO (EASTER ET AL, 2005).....	148
FIGURA 42: ACTUACIÓN DE FILTRO BIOLÓGICO CON ORGÁNICOS COMO MEDIO (EASTER ET AL, 2005).....	148
FIGURA 43: ACTUACIÓN DE UNA TORRE BIOLÓGICA CON INORGÁNICOS/INERTES COMO MEDIO (EASTER ET AL, 2005).....	149
FIGURA 44: ESQUEMA DEL EXPERIMENTO (1) COMPRESOR; (2) ROTÁMETRO; (3) SOLUCIÓN DE SULFURO SÓDICO; (4) BOMBA; (5) SOLUCIÓN DE H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ; (6) SOLUCIÓN DE AMONIO; (7) SOLUCIÓN DE ETILMERCAPTANO; (8) SOLUCIÓN DE ACIDO BUTÍRICO; (9) SOLUCIÓN DE ESTIRENO; (10) CÁMARA DE MESCLA; (11) BIOFILTRO CON PH NEUTRO; (12) BIOFILTRO CON PH BAJO (JIANWEI ET AL, 2008).....	151
FIGURA 45: RESULTADOS PARA EL BIOFILTRO CON BAJO PH; ○: ACIDO BUTÍRICO, △: AMONIO, ■: ESTIRENO, ◇: ETILMERCAPTANO (JIANWEI ET AL, 2008).....	152

FIGURA 46: RESULTADOS PARA EL BIOFILTRO CON PH NEUTRO; ○: ACIDO BUTÍRICO, △: AMONIO, ■: ESTIRENO, ◇: ETILMERCAPTANO (JIANWEI ET AL, 2008) .....	152
FIGURA 47: ESQUEMA DE LOS FILTROS DE ESCALA DE LABORATORIO (CHEN ET AL, 2004). .....	153
FIGURA 48: REPUESTA DE LOS FILTROS BIOLÓGICOS EN LA REMOCIÓN DE NH <sub>3</sub> EN RELACIÓN A LA VARIACIÓN DE CONCENTRACIÓN INICIAL DE NH <sub>3</sub> (CHEN ET AL, 2004). ▲ FILTRO CON FANGO ◆ FILTRO CON COMPOST .....	154
FIGURA 49: CONCENTRACIONES DE ENTRADA (●) Y SALIDA (○) Y EFICIENCIA DE REMOCIÓN (Δ) PARA MA (A), DMA (B) AND TMA (C). (HO ET AL, 2008).....	155
FIGURA 50: EFICIENCIA EN LA REMOCIÓN DE COD Y H <sub>2</sub> S EN DIFERENTES CONCENTRACIONES DE H <sub>2</sub> S (MOUSSAVI ET AL, 2007).....	157
FIGURA 51: EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE H <sub>2</sub> S EN VARIAS CONCENTRACIONES (MOUSSAVI ET AL, 2007). .....	157
FIGURA 52: PLANTA PILOTO DEL FILTRO BIOLÓGICO AIRADO SUMERGIDO (MATSUMOTO ET AL, 2004) .....	159
FIGURA 53: ESQUEMA DEL BIOFILTRO UTILIZADO (A): ENTRADA DE AIRE, (B): COMPRESOR, (C): CAUDALÍMETRO, (D): CAMAS DE CERÁMICA CON CÉLULAS, (E): 0,5% DE N-VALÉRICO (500 ML), (F): BOMBA PERISTÁLTICA, (G): SOLUCIÓN DE NAOH (100ML), (H): SALIDA DE AIRE, (I): ENTRADA DE AIRE, (J): JERINGA , (K): COLUMNA DE VIDRIO, (L): DEPOSITO, (M): CONTENEDOR (YUN Y OHTA, 2005).....	161
FIGURA 54: EL EFECTO EN LA CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO N-VALÉRICO PH 8.0; 0,2 L/MIN DE AIRE, VELOCIDAD SUPERFICIAL DE 0,96 H <sup>-1</sup> Y 37 °C DE TEMPERATURA (YUN Y OHTA, 2005). CONCENTRACIONES: (O) → 0,1%; (■)→0,5%; (●)→1%; (□)→2%; (Δ)→4% .....	162
FIGURA 55: REMOCIÓN DE VARIOS ÁCIDOS ORGÁNICOS VOLÁTILES DEL AGUA RESIDUAL ESTUDIADA (YUN Y OHTA, 2005) (O) → ACIDO PROPIÓNICO; (■)→ ACIDO N-VALÉRICO; (●)→ACIDO ACÉTICO; (□)→ ACIDO N-BUTÍRICO; (◇)→CÉLULA LIBRE .....	162
FIGURA 56: CONCENTRACIONES DE COV ANTES Y DESPUÉS DEL EXPERIMENTO (PRADO ET AL, 2009) .....	163
FIGURA 57: CONCENTRACIONES DE NH <sub>3</sub> ANTES Y DESPUÉS DEL EXPERIMENTO (PRADO ET AL, 2009) .....	164
FIGURA 58: ESQUEMA DEL BIOFILTRO. 1, COMPRESOR; 2, CAUDALIMETRO; 3, ALMACEN DE ESTIRENO; 4,FILTRO DE AIRE; 5, THREE-WAY; 6, BOMBA; 7, MEZCLA DE CULTIVOS; 8, CULTIVOS SIMPLE; 9, BALÓN DE MEDICIÓN (JANG ET AL, 2006) .....	165
FIGURA 59: RELACIÓN ENTRE LAS CONCENTRACIONES DE ESTIRENO Y LA CAPACIDAD DE ELIMINACIÓN DE LA EXPLOTACIÓN 1. (JANG ET AL, 2006); CÍRCULOS ABIERTOS: CULTIVOS SIMPLE; CÍRCULOS CERRADOS: CULTIVOS MEZCLADAS .....	166

FIGURA 60: RELACIÓN ENTRE LAS CONCENTRACIONES DE ESTIRENO Y LA CAPACIDAD DE ELIMINACIÓN DE LA EXPLOTACIÓN 2. (JANG ET AL, 2006); CÍRCULOS ABIERTOS: CULTIVO SIMPLE; CÍRCULOS CERRADOS: CULTIVOS MEZCLADAS..... 166

FIGURA 61: RELACIÓN ENTRE LAS CONCENTRACIONES DE ESTIRENO Y LA CAPACIDAD DE ELIMINACIÓN DE LA EXPLOTACIÓN 3. (JANG ET AL, 2006); CÍRCULOS ABIERTOS: CULTIVO SIMPLE; CÍRCULOS CERRADOS: CULTIVOS MEZCLADAS..... 167

FIGURA 62: ORGANIZACIÓN ÓPTIMA DE UN POLÍGONO INDUSTRIAL (GENERALITAT DE CATALUNYA)..... 177

FIGURA 63: CÉLULA DE ELECTROFLOTACIÓN (MURUGANANTHAN ET AL, 2004) (A) ÁNODO; (B) CÁTODO; (C) CONJUNTO DE ELECTRODOS; (D) LABIO DE RESIDUOS; (E) ENTRADA Y SALIDA (F)..... 180

FIGURA 64 A: INFLUENCIA DE LA CONCENTRACIÓN INICIAL DE SULFURO, SULFITOS Y SULFATOS INICIAL VS. REMOCIÓN (ÁNODO: FE, FLOTACIÓN TIEMPO: 600 S, PH: 7.0, DENSIDAD: 32 MA/CM2 PARA SULFURO Y 62 MA/CM2 PARA EL SULFITO Y SULFATO). (MURUGANANTHAN ET AL, 2004) 181

FIGURA 64 B: INFLUENCIA DE LA DENSIDAD EN LA ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES SULFURADOS (ÁNODO: FE, FLOTACIÓN TIEMPO: 600 S, INICIAL CONCENTRACIÓN: 100 MG/L). (MURUGANANTHAN ET AL, 2004) .... 182

FIGURA 65: EQUIPO ELECTROQUÍMICO DE BANCO (SZPYRKOWICZ ET AL, 1995) 1—TUBO DE PLEXIGLÁS; 2-- PRENSAESTOPAS; 3--COBERTURA; 4— VENTOSA DE GAS; 5--ELECTRODOS; 6—ENTRADA DE AGUA RESIDUAL (CONDICIONES DINÁMICAS); 7—SAIDA DE AGUA RESIDUAL 8—PUNTOS DE MUESTREO; 9—COBERTURA DO RESIDUO..... 183

FIGURA 66: RELACIÓN ENTRE LA ELIMINACIÓN DE AMONIO Y LA ENERGÍA APLICADA (SZPYRKOWICZ ET AL, 1995) (A) EFLUENTE FINAL, (B) AGUA RESIDUAL ANTES DEL TRATAMIENTO AERÓBICO, (C) AGUA RESIDUAL DESPUÉS DEL TRATAMIENTO AERÓBICO, (D) AGUA RESIDUAL MESCLADA, (E) AGUA RESIDUAL CRUDA..... 184

FIGURA 67: REPRESENTACIÓN DE LA CÉLULA (ATEYA ET AL, 2005) A1 AND A2 CONTACTOS CON LOS ELECTRODOS POROSOS (E); C: MEDIDOR DE ELECTRODO; G:DISCO DE PLACA POROSA; R: ELECTRODO DE REFERENCIA ;Q: ESMERILADO; P: CONEXIÓN DE PLATINO PLATINO PARA LOS ELECTRODOS POROSOS..... 187

FIGURA 68: CÉLULA DE ELECTROFLOTACIÓN (MURUGANANTHAN ET AL, 2004) (A) ÁNODO; (B) CÁTODO; (C) CONJUNTO DE ELECTRODOS; (D) LABIO DE RESIDUOS; (E) ENTRADA Y SALIDA (F)..... 188

FIGURA 69: INFLUENCIA DE LA CONCENTRACIÓN INICIAL DE SULFURO, SULFITOS Y SULFATOS INICIAL VS.V REMOCIÓN (ÁNODO: FE, FLOTACIÓN TIEMPO: 600 S, PH: 7.0, DENSIDAD: 32 MA/CM2 PARA SULFURO Y 62 MA/CM2 PARA EL SULFITO Y SULFATO). (MURUGANANTHAN ET AL, 2004) 189

FIGURA 70: INFLUENCIA DE LA DENSIDAD EN LA ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES SULFURADOS (ÁNODO: FE, FLOTACIÓN TIEMPO: 600 S, INICIAL CONCENTRACIÓN: 100 MG/L). (MURUGANANTHAN ET AL, 2004)... 190

FIGURA 71: DIGESTOR MERCK UTILIZADO PARA LOS TESTES EN CUBETAS DE NITRÓGENO TOTAL .....	208
FIGURA 72: ESPECTROFOTÓMETRO MERCK UTILIZADO PARA LOS TESTES EN CUBETAS.....	209
FIGURA 73: KIT MERCK DE TEST EN CUBETAS DE NITRÓGENO TOTAL .....	209
FIGURA 74: EL AUTOR DE LA PRESENTE TESIS DURANTE LOS ANALISIS EN EL LABORATORIO .....	210
FIGURA 75: JERINGAS Y PIPETA, UTILIZADAS PARA LOS REACTIVOS .....	213
FIGURA 76: CÉLULA DE ELECTROCOAGULACIÓN UTILIZADA EN LOS ENSAYOS CHOQUE.....	213
FIGURA 77: DEPURADORA VIVEROS DE LA VILLA.....	220
FIGURA 78: MANGUERA QUE CONDUCE EL AGUA HASTA LA PLANTA PILOTO.....	221
FIGURA 79: ESQUEMA FUNCIONAL DE LA PLANTA PILOTO .....	222
FIGURA 80: MODULO DE ALIMENTACIÓN Y PRE-TRATAMIENTO .....	223
FIGURA 81: PROCESO DE ELECTROCOAGULACIÓN .....	224
FIGURA 82: DECANTADOR DE LA PLANTA PILOTO.....	225
FIGURA 83: PANEL DE CONTROL Y CONTROLADOR SC 1000 CON PANTALLA TÁCTIL.....	226
FIGURA 84: FUENTE DE ALIMENTACIÓN.....	226
FIGURA 85: ESQUEMA DE LA CONFIGURACIÓN DE LAS PLACAS PARA LOS ENSAYOS MEDIANTE UNA FUENTE.....	231
FIGURA 86: ESQUEMA DE LA CONFIGURACIÓN DE LAS PLACAS PARA LOS ENSAYOS MEDIANTE DOS FUENTES SEGUIDAS .....	231
FIGURA 87: ESQUEMA DE LA CONFIGURACIÓN DE LAS PLACAS PARA LOS ENSAYOS MEDIANTE DOS FUENTES SEPARADAS.....	231
FIGURA 88: RENDIMIENTO DEL PROCESO EN REFERENCIA AL AMONIACO (CON 1 FUENTE UTILIZANDO ÁNODO DE GRAFITO Y CÁTODO DE ALUMINIO) EN RELACIÓN AL SUMINISTRO DE CORRIENTE ELÉCTRICA .....	247
FIGURA 89: RELACIÓN ENTRE RENDIMIENTO DEL PROCESO EN REFERENCIA AL AMONIACO (CON 1 FUENTE CON ÁNODO DE GRAFITO Y CÁTODO DE ALUMINIO) Y EL CONSUMO DE ENERGÍA EN W/H.....	248
FIGURA 90: RENDIMIENTO DEL PROCESO EN REFERENCIA AL AMONIACO (CON 2 FUENTES SEGUIDAS UTILIZANDO ÁNODO DE GRAFITO Y CÁTODO DE ALUMINIO) EN RELACIÓN AL SUMINISTRO DE CORRIENTE ELÉCTRICA.....	250
FIGURA 91: RELACIÓN ENTRE RENDIMIENTO DEL PROCESO EN REFERENCIA AL AMONIACO (MEDIANTE 2 FUENTES CONSECUTIVAS CON ÁNODO DE GRAFITO Y CÁTODO DE ALUMINIO) Y EL CONSUMO DE ENERGÍA EN W/H .....	251
FIGURA 92: RENDIMIENTO PONDERADO POR CONSUMO MEDIANTE LAS DOS CONFIGURACIONES DE ELECTRODOS .....	252

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

FIGURA 93: CORRELACIÓN ENTRE LA ELIMINACIÓN DE NITRÓGENO AMONIAL Y FORMACIÓN DE NITRATO MEDIANTE TRATAMIENTO CON 4 AMPERIOS.....	255
FIGURA 94: CORRELACIÓN ENTRE LA ELIMINACIÓN DE NITRÓGENO AMONIAL Y ELIMINACIÓN DE NITRÓGENO TOTAL MEDIANTE TRATAMIENTO CON 4 AMPERIOS.....	256
FIGURA 95: CORRELACIÓN ENTRE LA ELIMINACIÓN DE NITRÓGENO AMONIAL Y LA FORMACIÓN DE NITRATOS MEDIANTE TRATAMIENTO CON 6 AMPERIOS. ....	257
FIGURA 96: CORRELACIÓN ENTRE LA ELIMINACIÓN DE NITRÓGENO AMONIAL Y LA ELIMINACIÓN DE NITRÓGENO TOTAL MEDIANTE TRATAMIENTO CON 6 AMPERIOS.....	258
FIGURA 97: RELACIÓN CONCENTRACIÓN DE AMONIACO DE ENTRADA Y CONCENTRACIÓN DE AMONIACO SALIDA MEDIANTE LA INTENSIDAD DE 4 AMPERIOS.....	259
FIGURA 98: RELACIÓN CONCENTRACIÓN DE AMONIACO DE ENTRADA Y CONCENTRACIÓN DE AMONIACO SALIDA MEDIANTE LA INTENSIDAD DE 4 AMPERIOS.....	260
FIGURA 99: RELACIÓN CONCENTRACIÓN DE AMONIACO DE ENTRADA Y CONCENTRACIÓN DE AMONIACO SALIDA MEDIANTE LA INTENSIDAD DE 6 AMPERIOS.....	260
FIGURA 100: RELACIÓN CONCENTRACIÓN DE AMONIACO DE ENTRADA Y CONCENTRACIÓN DE AMONIACO SALIDA MEDIANTE LA INTENSIDAD DE 6 AMPERIOS.....	261
FIGURA 101: RELACIÓN ENTRE LA INTENSIDAD DE CORRIENTE ELÉCTRICA APLICADA Y EL CONSUMO DE ENERGÍA. ....	271
FIGURA 104: CONFIGURACIÓN DE ELECTRODOS MEDIANTE DOS FUENTES SEPARADAS.....	272
FIGURA 103: CONFIGURACIÓN DE ELECTRODOS MEDIANTE DOS FUENTES SEGUIDAS .....	272
FIGURA 102: CONFIGURACIÓN DE ELECTRODOS MEDIANTE UNA FUENTE. ....	272

## **RESUMEN**

La emisión de olores en las depuradoras de aguas residuales representa un impacto significativo. Una mayor concientización de la población sobre sus derechos y el aumento del número de depuradoras en explotación, asociadas a las presiones urbanas sobre áreas desocupadas que fuerzan la construcción de residencias y/o complejos de ocio cada vez más próximos de las depuradoras, obligan a las empresas responsables de las depuradoras a considerar este problema, buscando soluciones de forma constante para evitar conflictos con las comunidades.

La utilización de procesos electroquímicos para el tratamiento de aguas residuales está adquiriendo cada día más importancia por su versatilidad, reducido tamaño y capacidad de automatización. En este sentido, resultan de especial interés la electrocoagulación, como procedimiento de tratamiento de compuestos olorosos presentes en aguas residuales.

Durante la presente investigación se ha estudiado la eliminación de los siguientes compuestos olorosos mediante el proceso de electrocoagulación: sulfuro de carbono, amoníaco, ácido acético, tolueno y diclorometano.

Se ha investigado, al efecto, del diseño del reactor (configuración 1 fuente, configuración de 2 fuentes seguidas y configuración de 2 fuentes separadas), naturaleza de los electrodos (grafito y aluminio), y corriente eléctrica aplicada (0,5 A, 2 A, 4 A, 6 A, 8 A y 9,5 A).

La investigación experimental se ha llevado a cabo en una planta piloto de la Cátedra de Ingeniería Sanitaria, instalada en la EDAR de Viveros de la Villa, empleando como influente el agua residual procedente de la decantación secundaria de depuradora.

Para simular el tratamiento fue necesario adicionar los productos artificialmente en el tanque de pre-tratamiento de la planta piloto. En referencia al amoníaco, se realizaron con la adición artificial del amoníaco para simular el tratamiento en la cabecera de la planta, y sin la adición artificial del amoníaco para simular el tratamiento como un afino para depuradas.

Mediante el tratamiento con ánodo de aluminio y cátodo de aluminio se observaron rendimientos satisfactorios para el sulfuro de carbono y se determinó un rendimiento óptimo mediante electrodos de aluminio separados entre sí 2,5 cm., utilizando la configuración de 1 fuente, y aplicando intensidades muy bajas (0,5 amperios).

## **Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales**

No se observó acción significativa sobre el contenido de ácido acético, tolueno, diclorometano y amoníaco, sin embargo se desarrolla una aceleración de la oxidación en el agua muestreada al disminuir las concentraciones de nitrito y aumentar las concentraciones de nitrato.

La electrooxidación, mediante ánodo de grafito, se presentó como una técnica eficiente para un afino de depuradoras en relación a la eliminación del amoníaco, presentando rendimientos apreciables para el tratamiento de amoníaco en la cabecera de depuradoras. Se alcanzaron rendimientos medios de 34% en la reducción del amoníaco, utilizando la configuración 2 fuentes seguidas con electrodos separados entre sí 2,5 cm., aplicando 4 amperios de corriente eléctrica y consumiendo 15 w/h.

Se concluye también que el rendimiento del proceso se presenta inversamente proporcional a las concentraciones de amoníaco en la entrada del proceso, y que la mayor parte del amonio eliminado por electrooxidación pasa a nitrógeno gas.

Desde el punto de vista económico la electrooxidación mediante ánodo de grafito es eficiente por presentar los mayores rendimientos con un aporte de energía bajo y bajos tiempos de retención.

A pesar del comportamiento variable del sulfuro de carbono se observaron rendimientos satisfactorios para el sulfuro de carbono y se determinó un rendimiento óptimo mediante electrodos de aluminio separados entre sí 2,5 cm., utilizando la configuración de 1 fuente, y aplicando intensidades muy bajas (0,5 amperios). En referencia al tolueno se apreció un ligero rendimiento, mientras que no se observó acción significativa sobre el diclorometano y ácido acético.

El objetivo fundamental buscado, y alcanzado en esta investigación, es facilitar el escalonado de procesos de electrocoagulación necesarios para la eliminación de compuestos olorosos presentes en aguas residuales. Se concluye entonces que esta técnica es una arma positiva que permite una optimización de la calidad del agua eliminando compuestos olorosos.

## **ABSTRACT**

The present work of investigation is about electrocoagulation as a process of treatment of odours in wastewater, in view of the effects produced in society through emission of odours in wastewater treatment plants. In this context, the factors that stand out as a conscientization of population, increase the number of wastewater treatment plants associated to urban pressures and the construction of houses and recreation areas even closer of wastewater treatment plants. For these reasons, the companies responsible for operating the wastewater treatment plants are forced to consider this problem, constantly seeking solutions to avoid conflicts with communities.

The use of electrochemical processes in wastewater treatment has been gaining increasing importance, due to its versatility, compactness and automation capability. In this sense, it is of great interest to a study of the electrocoagulation procedure as treatment of odorous compounds present in wastewater.

This research concentrates on the elimination of carbon sulfide, ammonia, acetic acid, toluene and dichloromethane, through the process of electrocoagulation.

It takes into account the effect of reactor configuration (configuration 1 source, 2 sources followed configuration and configuration 2 separate sources), the nature of the electrodes (graphite and aluminum), and applied electric current (0.5 A, 2 A, 4 A, 6 A, 8 A y 9.5 A).

The experimental part of this thesis has been carried out in a pilot plant of the Department of Sanitary Engineering, located at the wastewater treatment plants of Viveros de la Villa (Madrid / Spain), using as influent water coming from the secondary sedimentation tank.

In the simulation of the treatment was necessary to artificially add the parameters in the tank pre-treatment of this pilot plant. Experiments were carried out with artificial addition of ammonia to simulate the treatment in the beginning of the station and others without the addition of it to simulate the treatment as an improvement.

Using aluminum anode and cathode aluminum, satisfactory yields were obtained for the carbon sulfide was identified optimum performance, electrodes separated by 2.5 cm, by configuration 1 source, and using very low intensities (0, 5 amp). Significant action on the concentration of acetic acid, toluene, dichloromethane and ammonia was not seen. However, It was produced an acceleration of the oxidation of water to lower concentrations of nitrite and increase nitrate concentrations.

## **Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales**

The process using graphite anode was presented as an efficient technique for improving wastewater treatment plants in relation to the elimination of ammonia, as well as was possible to observe appreciable yields for the treatment of ammonia in the station entrance, once found to average yields 34%, using the configuration with 2 sources followed electrodes separated 2.5 cm. by applying 4 amps and consuming 15 w / h. It was concluded also that the process yield is inversely proportional to the concentration of ammonia in the entry process and that most of the ammonia eliminated is electrooxidado and reduced to nitrogen gas.

From the economic point of view, the electrooxidation by graphite anode is effective for presenting the highest yields, requiring a low power consumption and small retention times. The fundamental objective planned and achieved in this research is to facilitate the best configuration of the electrocoagulation process to remove odorous compounds found in sewage. It can be concluded that this technique is a procedure that allows a good optimization of water quality by eliminating odorous compounds.

## **RESUMO**

Trata-se de um estudo sobre a eletrocoagulação, como procedimento de tratamento de compostos odorosos presentes em águas residuárias, tendo em vista os efeitos produzidos na sociedade pela emissão de odores em Estações de Tratamento de Esgoto (ETE). Nesse contexto destacam-se fatores como a conscientização da população sobre seus direitos por melhores condições de vida, o crescimento do número de ETEs em operação associada às pressões urbanas sobre áreas desocupadas e, ainda, a construção de residências e áreas de lazer cada vez mais próximas de ETEs. Por estas razões as empresas responsáveis pela operação da depuradora são forçadas a considerar este problema, buscando constantemente soluções para evitar conflitos com as comunidades. A utilização de processos eletroquímicos no tratamento de esgoto vem adquirindo cada vez mais importância, por sua versatilidade, tamanho reduzido e capacidade de automatização. Neste sentido, é de grande interesse um estudo sobre a eletrocoagulação como procedimento de tratamento de compostos odorosos presentes em águas residuárias.

A presente investigação tem como objetivo a eliminação de sulfuro de carbono, amoníaco, ácido acético, tolueno e diclorometano, mediante o processo de eletrocoagulação.

Leva-se em consideração o efeito da configuração do reator (configuração 1 fonte, configuração 2 fontes seguidas e configuração 2 fontes separadas), natureza dos eletrodos (grafito e alumínio), e intensidade de corrente elétrica aplicada (0,5 A, 2 A, 4 A, 6 A, 8 A y 9,5 A).

A parte experimental da presente tese foi realizada em um projeto piloto do departamento de engenharia sanitária da universidade politécnica de Madri, localizado na estação de tratamento de esgoto de Viveros de la Villa (Madri/ Espanha), empregando como influente água procedente do decantador secundário. Na simulação do tratamento foi necessário adicionar os parâmetros artificialmente no tanque de pré-tratamento da referida planta piloto.

Foram realizados experimentos com adição artificial de amoníaco para simular o tratamento na entrada da estação e outros sem a adição do mesmo para simular o tratamento como um polimento.

## **Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales**

Utilizando anodo de alumínio e cátodo de alumínio se conseguiu rendimentos satisfatórios para o sulfuro de carbono e identificou-se um rendimento ótimo, mediante eletrodos separados entre si 2,5 cm, mediante a configuração de 1 fonte, e aplicando intensidades muito baixas (0,5 ampère). Não foi observada ação significativa sobre a concentração de ácido acético, tolueno, diclorometano e amoníaco.

No entanto foi produzida uma aceleração da oxidação da água ao diminuir as concentrações de nitrito e aumentar as concentrações de nitrato. O processo utilizando anodo de grafite apresentou-se como uma técnica eficiente para um polimento de ETEs, em relação à eliminação de amoníaco, bem como foi possível observar rendimentos apreciáveis para o tratamento de amoníaco na entrada da estação, uma vez que se verificou rendimentos médios de 34%, utilizando a configuração 2 fontes seguidas com eletrodos separados entre si 2,5 cm., aplicando 4 ampères e consumindo 15 w/h. Concluiu-se, também, que o rendimento do processo é inversamente proporcional as concentrações de amoníaco na entrada do processo e que a maior parte do amônio eliminado é eletrooxidado e reduzido a nitrogênio gás.

Do ponto de vista econômico, a eletrooxidação mediante anodo de grafite é eficiente por apresentar os maiores rendimentos, necessitando de um baixo consumo de energia elétrica e tempos de retenção pequenos. O objetivo fundamental planejado e alcançado nesta investigação é facilitar a melhor configuração do processo de eletrocoagulação para eliminar compostos odorosos encontrados no esgoto. Pode-se concluir que esta técnica é um procedimento positivo que permite uma otimização da qualidade da água eliminando compostos odorosos.

## 1. ANTECEDENTES

### 1.1. Datos personales

Djalma Mariz Medeiros nace en Natal, Rio Grande do Norte (Brazil), el 01 de Enero de 1984. Estudia la licenciatura en 2002, en la “Universidade Federal do Rio Grande do Norte”. En 2007 obtiene el título de Ingeniero Civil. Paralelamente inicia su actividad como investigador a nivel de becario en los siguientes proyectos de investigación:

2005	Estudio de adecuación y viabilidad de las alternativas a la implementación del Plan director de saneamiento de la ciudad de Natal.
2006	Inclusión en el Plan Director de Saneamiento ambiental de la Ciudad de Natal de las alternativa de riego de canteros y espacios públicos, con vistas en el aprovechamiento de aguas de reutilización.

### 1.2. Formación doctorado

En noviembre de 2007 es aceptado en el Programa Doctoral: “Territorio y Medio Ambiente” del Departamento de Ingeniería civil: Ordenación del Territorio, Urbanismo y Medio Ambiente de la UPM. En el primer año lectivo (2007-2008) obtiene 21 créditos que son los necesarios para aprobar el año de docencia y en el año (2008-2009) realiza el trabajo tutelado de investigación de 12 créditos. Al haber superado estos dos periodos ha obtenido el Certificado de “Plena Eficiencia Investigadora”. A continuación se detallan los cursos realizados, los créditos superados y las calificaciones obtenidas.

*Periodo de Docencia. Curso 2007-2008*

Asignatura	Créditos	Calificación
Energía hidráulica: Tecnologías avanzadas; energías marinas	3	Notable
Legislación sectorial y ordenación urbana	6	Notable
Procesos de eliminación de nutrientes	6	Notable
Residuos tóxicos y peligrosos	3	Notable
Sistema de reciclaje y reutilización de los RSU	3	Sobresaliente
Legislación ambiental. Impactos ambientales y auditoría	6	Sobresaliente

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

*Período de Investigación. Curso 2008-2009*

Asignatura	Créditos	Calificación
Evaluación de la Biodegradabilidad de Lixiviados de Vertederos Sanitarios	12	Notable

## **2. GENERALIDADES**

Según El tribunal Europeo de Derechos Humanos y la jurisprudencia contencioso-administrativa han declarado que la contaminación por olores puede llegar a afectar en determinados casos el derecho a la intimidad domiciliaria de las personas. Con esta declaración podemos observar la importancia del tema y de la búsqueda de soluciones a este problema.

Antes que nada debe comentarse que la emisión de olores, en las depuradoras de aguas residuales, representa un impacto significativo. Una mayor concientización de la población sobre sus derechos, y el aumento del número de depuradoras en explotación, asociadas a las presiones urbanas sobre áreas desocupadas, que fuerzan la construcción de residencias y/o complejos de ocio cada vez más próximos de las depuradoras, obligan a las empresas responsables de las depuradoras a considerar este problema, buscando soluciones de forma constante para evitar problemas y conflictos con las comunidades.

### **2.1. Características de las aguas residuales**

El conocimiento de la naturaleza del agua residual es fundamental al proyecto y explotación de las infraestructuras tanto de recogida como de tratamiento y evacuación de las aguas residuales. En la tabla siguiente, la representación de un agua residual urbana queda definida.

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

Parámetro	Rango de Variación
pH*	7,5-8,5
DBO <sub>5</sub> (mg/l)*	100-400
DQO (mg/l)*	300-1.000
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N (mg/l)*	20-80
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N (mg/l)*	<1
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N (mg/l)*	<1
P (mg/l)*	4,0-18
Lípidos*	50-120
Sólidos totales (mg/l)**	200-1000
Sólidos totales Volátiles (mg/l)**	120-700
Sólidos totales Fijos (mg/l)**	80-300
Sólidos en suspensión totales (mg/l)**	100-500
Sólidos en suspensión volátiles (mg/l)**	70-400
Sólidos en suspensión fijos (mg/l)**	30-100
Sólidos sedimentables totales (mg/l)**	40-250
Sólidos sedimentables volátiles (mg/l)**	16-100
Sólidos sedimentables fijos (mg/l)**	24-150
Sólidos disueltos totales (mg/l)**	100-500
Sólidos disueltos volátiles (mg/l)**	50-300
Sólidos disueltos fijos (mg/l)**	50-200

Tabla 1: Características de las aguas residuales urbanas

\* (Water treatment handbook, 2007)

\*\* (Hernández, 2007)

En las aguas residuales urbanas se incorporan vertidos provenientes de actividades industriales. Entonces para una caracterización real del agua residual, vertida a una depuradora, es necesario verificar las características de las aguas residuales industriales, que tienen tratamiento compatible con las aguas residuales domésticas.

El agua residual industrial es muy variable, puede venir definida por:

- Compuestos orgánicos (mataderos, industrias del petróleo, químicas, alimentarias, celulosa, papel, textil, etc.).
- Compuestos inorgánicos (cementos, siderurgia, etc.).
- Compuestos radioactivos, etc.

Existe un gran número de industrias cuyos vertidos son compatibles con vertidos urbanos para tratamiento biológico conjunto, o bien su vertido puede unirse al vertido urbano, teniendo en cuenta el efecto de dilución. Pueden citarse, dentro de este grupo industrias: cerveceras, conserveras, textiles de algodón, lecheras, destilerías, mataderos, farmacéuticas, bebidas no alcohólicas, e incluso curtidos.

En las siguientes tablas siguientes se dar valores medios, cargas contaminantes de actividades industriales, con tratamiento compatible con las aguas residuales domesticas.

Tipo de producción	Unidad	Consumo de agua (m <sup>3</sup> ud)	Sólidos en Suspensión (Kg/ud)	DBO <sub>5</sub> Kg/ud	Habitantes equivalentes (ud)
<b>Cerveceras</b>					
Refrigeración	1 m <sup>3</sup> cerveza	18,5			
Limpieza de botellas	1 m <sup>3</sup> cerveza	5	0,6	0,4	
Lavado de filtrantes	1 m <sup>3</sup> cerveza	1,4	2	0,6	
Limpieza fábrica	1 m <sup>3</sup> cerveza				
Conserveras	1 t conserva	4-14,0	0,5-35,0	27	500
<b>Lecheras</b>					
Refrigeración	1 m <sup>3</sup> cerveza	2,0-4,0			
Desechos	1 m <sup>3</sup> cerveza	0,5-5		1,5-2,0	28-37
Mantequillas	1 m <sup>3</sup> cerveza			1,5-2,0	28-37
Mantequilla y leche	1 m <sup>3</sup> cerveza			2,0-3,0	37-55
Queso	1 m <sup>3</sup> cerveza			3,0-4,0	55-75
Mataderos	1 ud bovina 2,5 cerdos	0,3-40	0,6-26,0	4,0-11,0	70-200
Farmacéuticas	1m' solución	1,7	5	10	
Curtidos	1 t cuero	40-60	6	50,0-2.000	1.000-4.000

Tabla 2: Consumo de agua y contaminación de algunos tipos de industria (adaptado de Hernández, 2007)

- Industria lechera

Tipo	Albúminas	Grasas	Lactosa	pH	Oxidable al KMnO <sub>4</sub>
Leche	0,2-1,0	0,3-1,1	0,2-1,4	8,3-10,1	2,0-7,2
Mantequillas	0,02-2,9	0,1-0,6	0,02-1,6	6,5-9,7	0,08-13,5
Queso	0,4-2,0	0,3-0,5	0,1-9,4	4,3-7,94	4,0-20,1
Agua residual total	0,34-0,38	0,24-0,35	0,35-0,92	7,4-9,4	1,4-3,7

Tabla 3: Composición de aguas residuales de industria lechera (F. Meinck, H.Strooff, H. Kohlschutter, 1997)

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

- Cerveceras

<b>Parámetros</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>
N (mg/l)	263	7,7
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/l)	177	10
CaO (mg/l)	-	-
K <sub>2</sub> O (mg/l)	94	13

Tabla 4: Composición de aguas residuales de cerveceras (F. Meinck, H.Strooff, H. Kohlschutter, 1997)

- Mataderos

<b>Parámetros</b>	<b>Concentración</b>
Alcalinidad	7,2
Grasas (mg/l)	108
N	145
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/l)	18,7
K <sub>2</sub> O (mg/l)	28,7
CaO (mg/l)	131

Tabla 5: Composición de aguas residuales de Mataderos (F. Meinck, H.Strooff, H. Kohlschutter, 1997)

- Industrias farmacéuticas

<b>Parámetro</b>	<b>Concentración</b>
Carbohidratos	913
Amonio (mg/l)	91
Nitrito (mg/l)	28
Nitrato (mg/l)	1,9

Tabla 6: Composición de aguas residuales de industria de productos farmacéuticos (F. Meinck, H.Strooff, H. Kohlschutter, 1997)

- Industria Textil

Parámetro	Concentración	
	Máxima	Mínima
Pergamanato (O <sub>2</sub> l)	6535	34,3
Cloruros (mg/l)	296	103,3
Nitrógeno (mg/l)	22	16
Amoniaco (mg/l)	-	-

Tabla 7: Composición de aguas residuales de industria textil (F. Meinck, H.Strooff, H. Kohlschutter, 1997)

En el estudio de las características químicas de las aguas residuales se considera tanto la materia orgánica, como los compuestos inorgánicos.

### 2.1.1. Materia orgánica

Está relacionada con la síntesis de compuestos orgánicos, y están normalmente formados por combinaciones de carbono, hidrógeno, y oxígeno, con la presencia en determinados casos de nitrógeno. También pueden estar presentes otros elementos como azufre, fosforo y hierro. Los principales grupos de sustancias orgánicas presentes en las aguas residuales son las proteínas (40-60 por 100), hidratos de carbono (25-50 por 100), y grasas y aceites (10 por 100). Otro compuesto orgánico importante en el agua residual es la urea.

Las proteínas son compuestos orgánicos formados de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno (en algunos casos conteniendo, además, fósforo y azufre). Las proteínas en grandes cantidades pueden ser origen de olores fuertemente desagradables debido a los procesos de descomposición.

Las grasas (sólidas), aceites (líquido-ésteres de glicerol) y ceras, por otra parte, como los complejos antes citados, sirven de alimento a las bacterias y son hidrolizados con la producción de los correspondientes ácidos grasos y alcoholes.

Los hidratos de carbono (compuestos de carbono, hidrógeno y oxígeno, en los cuales los dos últimos elementos están en la misma relación que existen en el agua: 2 a 1). Son los azúcares, almidones y celulosa. Bacterias presentes en las aguas residuales, son capaces de convertir azúcares simples en dióxido de carbono y agua.

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

### 2.1.1.1. Consideraciones sobre los compuestos orgánicos presentes en las aguas residuales

Merece la pena destacar los siguientes compuestos:

- Compuestos orgánicos sintéticos pueden derivar de compuestos inorgánicos, que pueden contener halógenos, ciertos metales y otros.
- Entre los hidrocarburos saturados, el metano ( $\text{CH}_4$ ) es el compuesto más simple, y es el producto de mayor significación en los procesos anaerobios.
- Los hidrocarburos no saturados se transforman relativamente fácil a través de ciertas reacciones: oxidación, reducción, adiciones, polimerización y oxidación bacteriana.
- Entre los productos primarios de oxidación de los hidrocarburos están los alcoholes. Los alcoholes pueden ser oxidados (por microorganismos en medio aerobio o agentes oxidantes fuertes) a aldehídos o cetonas, según sean alcoholes primarios o secundarios. Los microorganismos oxidan, bajo condiciones aerobias, los alcoholes primarios y secundarios desdoblándolos en dióxido de carbono y agua. Otro paso en la oxidación de los compuestos produce los denominados ácidos orgánicos.
- Los ácidos fórmico, acético, butírico, y valérico, son de interés sobre la fermentación anaerobia.
- Los éteres son resultados de sustraer una molécula de agua a dos moléculas de alcohol. Estos compuestos son extremadamente resistentes a la oxidación biológica.
- Los mercaptanos o tioalcoholes, contienen azufre en sus moléculas en vez de oxígeno: ROH (alcohol), RSH (mercaptano). Normalmente están asociados con líquidos residuales industriales (pulpa de madera, por ejemplo).

- Los compuestos orgánicos aromáticos están formados por moléculas constituidas por anillos o grupos cíclicos de naturaleza aromática en su estructura. Dentro de los compuestos aromáticos, aparecen los fenoles, alcoholes, aldehídos, cetonas, ácidos, aminas y amidas. Estos dos últimos compuestos orgánicos contienen nitrógeno, formados por la acción del ácido nítrico sobre el benceno y otros compuestos aromáticos.
- Muchos de los compuestos heterocíclicos (que poseen otro elemento en el anillo, diferente del carbono) son importantes. En el caso del indol y el escatol (poseyendo un núcleo bencénico condensado con un núcleo pirrol), se forman en la descomposición de la materia proteínica, estando presente en los digestores anaeróbicos.

#### **2.1.1.2. Descomposición de la materia orgánica**

Los microorganismos presentes en la depuración son capaces de transformar eficientemente materia orgánica para obtener energía, mediante procesos que conllevan la oxidación química, en presencia o defecto de  $O_2$ , de los distintos compuestos orgánicos que componen su sustrato alimentario.

Mientras que las oxidaciones aerobias tienen por resultado la transformación de las moléculas orgánicas en  $CO_2$  y  $H_2O$ , las condiciones anaerobias o anoxicas implican la participación de otros compuestos que aporten oxígeno durante el proceso, tales como nitratos, sulfatos o  $CO_2$ , que conducen a la formación de  $NH_3$ ,  $H_2S$  y compuestos orgánicos volátiles (COVs, incluyendo las aminas, mercaptanos, ácidos orgánicos, aldehídos, cetonas, etc.).

##### **2.1.1.2.1. Ciclos en el proceso de depuración**

Los principales elementos que forman parte de los microorganismos, y que están presentes en la materia orgánica de los vertidos son el C, H, O, N, P, S, Na, K y otros. Los compuestos orgánicos por la acción de los microorganismos aerobios, anaerobios y facultativos dan origen a fermentaciones, que transforman la materia orgánica tendiendo hacia su mineralización (Hernández, 2001).

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

Estas transformaciones pueden sintetizarse como sigue.

### a) Ciclo del Carbono

- Ciclo aerobio

Las bacterias aerobias pueden oxidar materia orgánica carbonácea dando origen a anhídrido carbónico gaseoso, y en parte por la presencia de elementos básicos como sodio, calcio o magnesio, a carbonatos y bicarbonatos. El ciclo aerobio se representa en la figura 1.

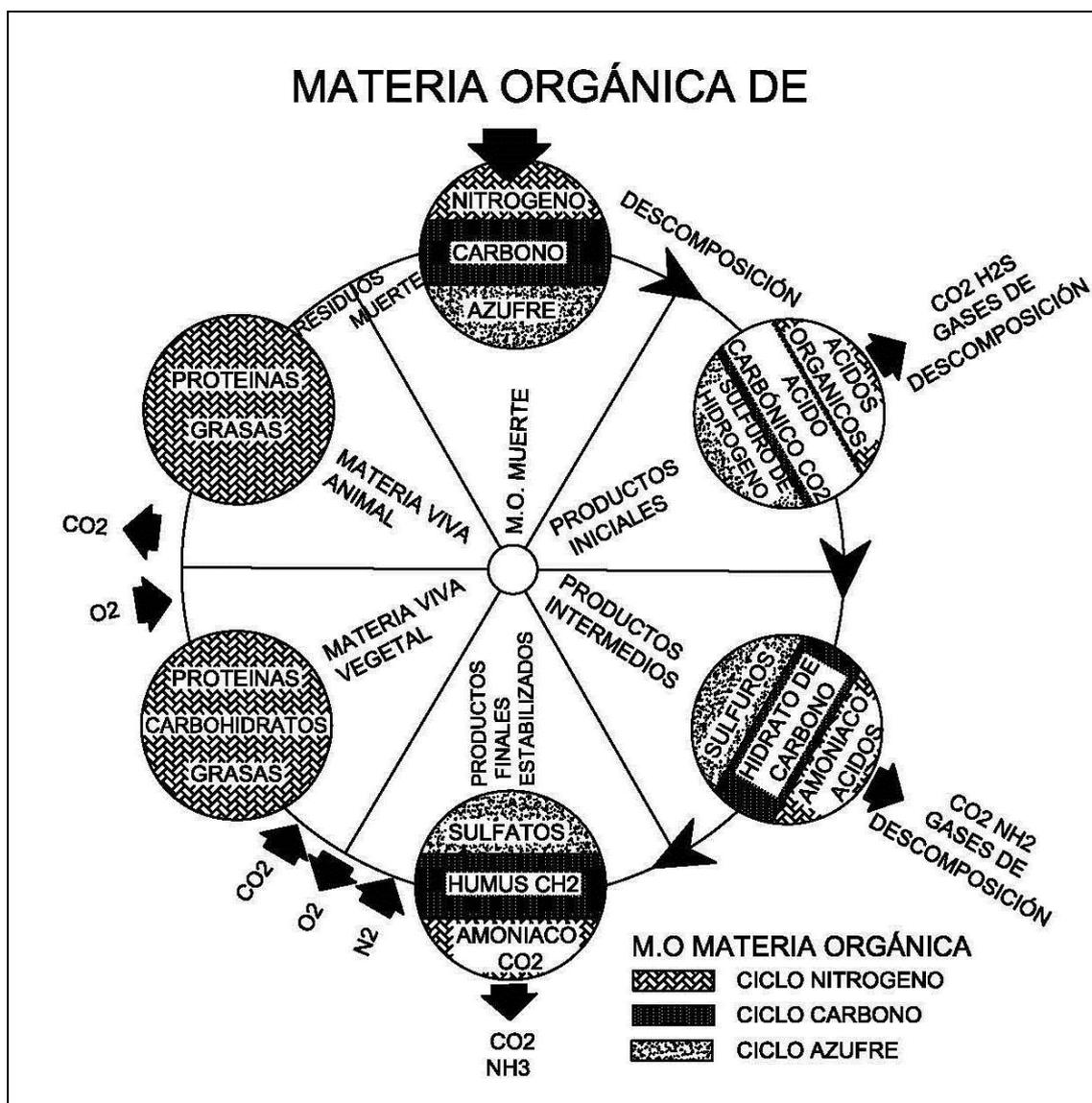


Figura 1: Ciclo aerobio (Hernández, 2001)

- Ciclo anaerobio

La depuración anaerobia é un proceso natural del ciclo del carbono, mucho complejo, del punto de vista microbiológico, por lo cual la recomposición de la materia orgánica por las bacterias se realiza en la ausencia de aire generando biomasa bacteriana y compuestos inorgánicos, generalmente volátiles:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{N}_2$  e  $\text{CH}_4$ .

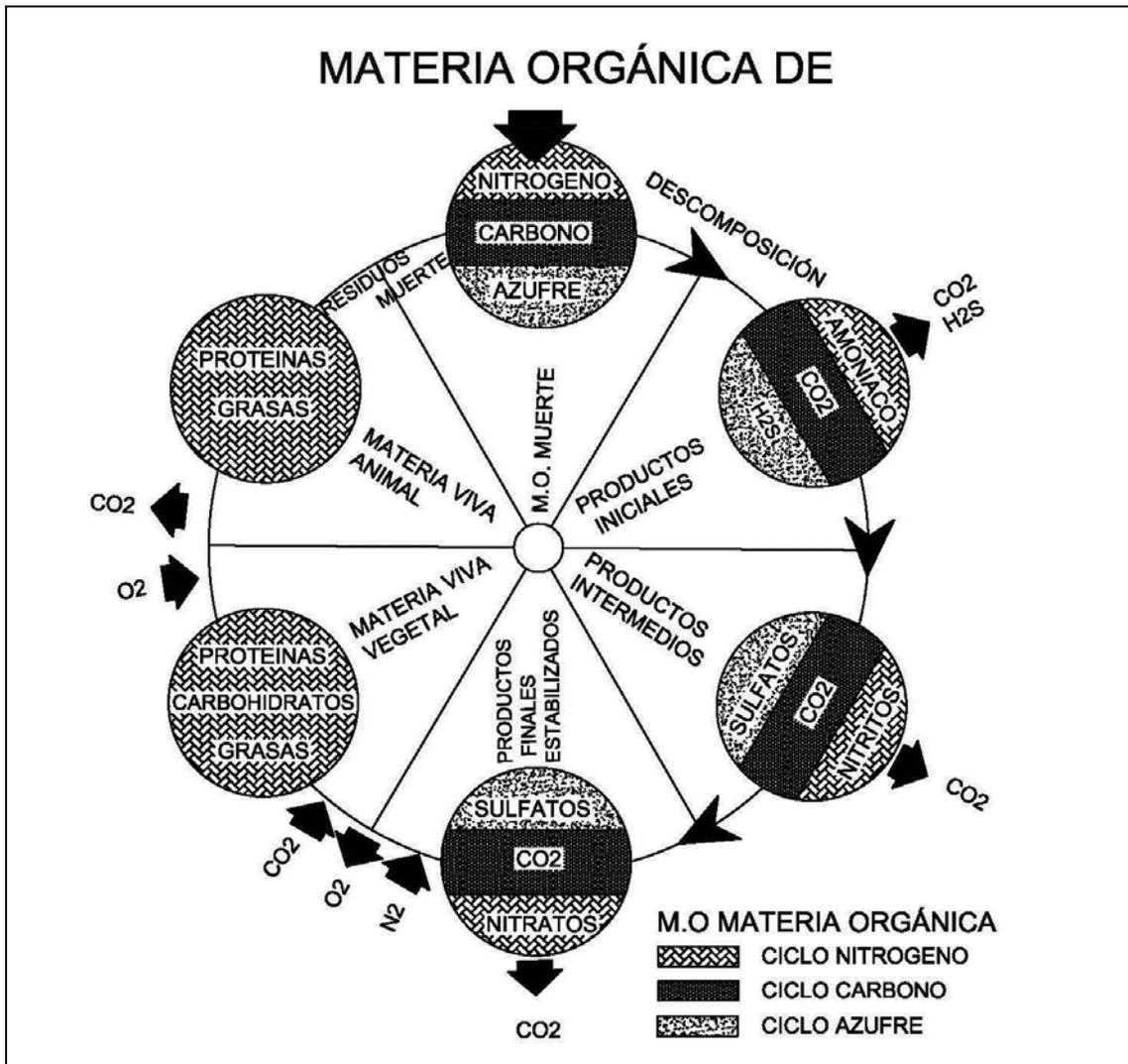


Figura 2: Ciclo anaerobio (Hernández, 2001)

La depuración anaerobia posee las siguientes etapas principales de digestión:

- Hidrólisis: por acción de bacterias fermentativas hidrolíticas ocurre la hidrólisis de materiales particulados complejos en materiales disueltos más sencillos.

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

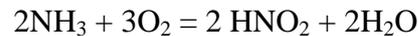
- Acidogénesis: por acción de bacterias fermentativas acidogénicas los compuestos provenientes de la fase de hidrólisis son convertidos en diversos compuestos más sencillos.
- Acetogénesis: las bacterias acetogénicas son responsables por la oxidación de los productos generados en la fase acidogénica en sustrato apropiado para las bacterias metanogénicas.
- Metanogénesis: Es la etapa final en el proceso de digestión de la materia orgánica, produciendo metano y dióxido de carbono por acción de las bacterias metanogénicas.

### b) Ciclo del nitrógeno

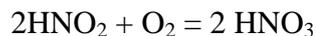
En las primeras etapas de la fermentación de la materia orgánica nitrogenada, por vía aerobia o anaerobia, se produce amoníaco y compuestos amoniacales. El ciclo anaerobio da origen a compuestos orgánicos olorosos.

En el proceso aerobio el amoníaco se nitrifica pasando a nitritos y nitratos en dos etapas sucesivas.

Por acción de las bacterias Nitrosomonas y Nitrosococcus pasa el amoníaco a nitritos.

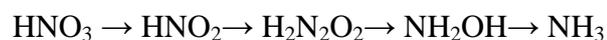


Por la acción de bacterias Nitrobácteres pasan los nitritos a nitratos



Los nitratos así obtenidos pueden ser asimilados por las plantas para formar proteínas.

Con presencia de materia orgánica carbonata y pequeñas concentraciones de oxígeno y por la acción de bacterias reductoras puede eliminarse nitratos o desnitrificarse. Se puede pasar así de nitratos a nitritos, y de nitritos a amoníaco, óxido nítrico y nitrógeno.



c) Ciclo del fósforo

El fósforo se encuentra en las aguas como materia orgánica, o productos totalmente oxidados como los ortofosfatos [(M<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, M<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, MPO<sub>4</sub>].

La acción de microorganismos aerobios transforma la materia orgánica fosfatada en fosfatos.

La acción anaerobia puede reducir los fosfatos a fosfitos, hipofosfitos e incluso fosfhídrico (PH<sub>3</sub>)

d) Ciclo del azufre

En condiciones anaeróbicas la materia orgánica sulfurada da origen a compuestos altamente olorosos como el sulfihídrico por la acción de bacterias anaerobias, y en ausencia de oxígeno y nitratos a productos como el metil-mercaptano (CH<sub>3</sub>SH). Productos que a la vez son corrosivos.

Por via aerobia y con presencia de nitratos, la materia orgánica se oxida rápidamente a sulfatos.

Las reacciones generales típicas que rigen estos procesos son:



e) Ciclo del oxígeno

El oxígeno molecular (O<sub>2</sub>) representa el 20% de la atmósfera terrestre. Este patrimonio abastece las necesidades de todos los organismos terrestres respiradores y cuando se disuelve en el agua, las necesidades de los organismos acuáticos. En el proceso de la respiración, el oxígeno actúa como aceptor final para los electrones retirados de los átomos de carbono de los alimentos. El producto es agua. El ciclo se completa en la fotosíntesis cuando se captura la energía de la luz para alejar los electrones respecto de los átomos de oxígeno de las moléculas de agua. Los electrones reducen los átomos de carbono (de bióxido de carbono) a carbohidrato. Al final se produce oxígeno molecular y así el ciclo se completa.

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

### f) Ciclo del hierro

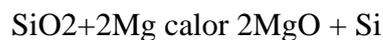
El ciclo de este elemento está asociado a la conversión entre sus formas  $\text{Fe}^{2+}$  más solubles que las  $\text{Fe}^{3+}$ . Los microorganismos que oxidan hierro (quimiolitotrofos) producen cambios en la accesibilización del elemento a otros miembros del ecosistema.

### g) Ciclo del Calcio

El ciclo biogeoquímico del calcio consiste en variaciones de su solubilidad debido a la formación de compuestos carbonatados más ( $\text{Ca}(\text{CO}_3\text{H})_2$ ) o menos ( $\text{CaCO}_3$ ) como consecuencia de la liberación por microorganismos de ácidos orgánicos que desplacen el equilibrio entre ambas formas.

### h) Ciclo del silicio

A pesar de su inactividad relativa, el silicio no se encuentra libre en la naturaleza. Se presenta únicamente en oxi-compuestos tales como la sílice y los silicatos. Los compuestos de silicio y oxígeno son los más abundantes de todos los existentes en la corteza terrestre. La mayor parte de las rocas y minerales son silicatos con una red, Esta red puede considerarse derivada del  $\text{SiO}_2$ , pero con átomos de otros elementos unidos a los átomos de silicio o de oxígeno y a veces, sustituyéndolos. El silicio elemental puede prepararse a partir de la sílice por reducción con el magnesio o aluminio.



En esta forma cristalina, el silicio es gris o negro. Ha tenido pocas aplicaciones; sin embargo, se está empleando como componente e los transistores y en algunas de las nuevas pilas solares.

Entre los haluros del silicio cabe destacar el fluoruro ( $\text{SiF}_4$ ), que se obtiene según la reacción:



Y el ácido Fluosilícico ( $\text{H}_2\text{SiF}_6$ ) que en solución es un electrolito fuerte y puede prepararse así:



### 2.1.2. Compuestos inorgánicos

Son varios los componentes inorgánicos en las aguas residuales y naturales que tienen importancia para la determinación y control de la calidad del agua. Los compuestos inorgánicos contenidos en las aguas residuales generalmente son provenientes, principalmente por las arenas y sustancias minerales disueltas. En el caso de tratamiento de aguas residuales domésticas con aguas residuales industriales, la mayoría de los compuestos inorgánicos son provenientes de estos vertidos industriales. Los compuestos inorgánicos están formados principalmente por nitrógeno, fósforo, cloruros, sulfatos, carbonatos, bicarbonatos y algunas sustancias tóxicas como arsénico, cianuro, cadmio, cromo, cobre, mercurio, plomo y zinc.

Los principales compuestos inorgánicos en las aguas residuales se concretan en:

a) Flúor

El flúor se encuentra naturalmente en las aguas superficiales y subterráneas, existiendo como ion fluoruro. Procede de materiales minerales fluorados como la fluorina  $\text{CaF}_2$ , la criolita  $\text{Al}_2\text{F}_6 \cdot 6\text{NaF}$ , el fluorapatito  $\text{CaF}_2 \cdot 3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ , etc.

El flúor es un gas corrosivo de color amarillo casi blanco, fuertemente oxidante. Es el elemento más electronegativo y reactivo y forma compuestos con prácticamente todo el resto de elementos, incluyendo los gases nobles xenón y radón. Incluso en ausencia de luz y a bajas temperaturas, el flúor reacciona explosivamente con el hidrógeno. Siempre se encuentra en la naturaleza combinado y tiene tal afinidad por otros elementos, especialmente silicio, que no se puede guardar en recipientes de vidrio.

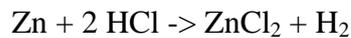
## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

### b) Cloruro

El ion cloruro es uno de los iones que están siempre presentes en las aguas en cantidades muy pequeñas. Las aguas fuertemente cloruradas son agresivas, entre otras razones porque en presencia de cloruro sódico ciertas sales son mucho más solubles que en el agua pura.

Los cloruros se pueden obtener por reacción de una base (óxido, hidróxido, carbonato, etc.) y ácido clorhídrico.

Algunos metales poco nobles reaccionan también directamente con el clorhídrico, dando hidrógeno elemental y el cloruro correspondiente. La reacción con el cinc por ejemplo sería la siguiente:



También es posible la reacción directamente de los elementos aunque en muchos casos es muy violenta.

### c) Sodio

Al igual que otros metales alcalinos el sodio es un metal blando, ligero y de color plateado que no se encuentra libre en la naturaleza. El sodio flota en el agua descomponiéndola, desprendiendo hidrógeno y formando un hidróxido. En las condiciones apropiadas reacciona espontáneamente en el agua. Normalmente no arde en contacto con el aire por debajo de 40 °C).

### d) Potasio

Es el quinto metal más ligero y liviano; es un sólido blando que se corta con facilidad con un cuchillo, tiene un punto de fusión muy bajo, arde con llama violeta y presenta un color plateado en las superficies no expuestas al aire, en cuyo contacto se oxida con rapidez, lo que obliga a almacenarlo recubierto de aceite. Al igual que otros metales alcalinos reacciona violentamente con el agua desprendiendo hidrógeno, incluso puede inflamarse espontáneamente en presencia de agua.

e) Calcio

Los iones de calcio actúan de cofactor en muchas reacciones enzimáticas, interviene en el metabolismo del glucógeno, junto al potasio y el sodio regula la contracción muscular. No existen libres en la naturaleza. Combinado se encuentra en gran abundancia como las sales de los ácidos sulfúrico y carbónico principalmente.

f) Magnesio

Se encuentra combinado en la naturaleza como carbonato,  $MgCO_3$ , constituyendo el mineral llamado magnesita o giobertita. Es indispensables en ciertos sistemas enzimáticos.

En contacto con el aire se vuelve menos lustroso, aunque a diferencia de otros metales alcalinos no necesita ser almacenado en ambientes libres de oxígeno, ya que está protegido por una fina capa de óxido, la cual es bastante impermeable y difícil de sacar. Como su vecino inferior de la tabla periódica, el calcio, el magnesio reacciona con agua a temperatura ambiente, aunque mucho más lento. Cuando se sumerge en agua, en la superficie del metal se forman pequeñas burbujas de hidrógeno, pero si es pulverizado reacciona más rápidamente. El magnesio también reacciona con ácido clorhídrico (HCl) produciendo calor e hidrógeno, que se libera al ambiente en forma de burbujas. A altas temperaturas la reacción ocurre aún más rápido.

g) Boro

Es un elemento metaloide, semiconductor, trivalente que existe abundantemente en el mineral bórax. Hay dos alótropos del boro; el boro amorfo es un polvo marrón, pero el boro metálico es negro. La forma metálica es dura (9,3 en la escala de Mohs) y es un mal conductor a temperatura ambiente. No se ha encontrado libre en la naturaleza. En las aguas el boro se encuentra, esencialmente, bajo la forma de ácido bórico no disociado.

## **Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales**

### h) Aluminio

En estado natural se encuentra en muchos silicatos (feldespatos, plagioclasas y micas).

El aluminio tiene características anfóteras. Esto significa que se disuelve tanto en ácidos (formando sales de aluminio) como en bases fuertes (formando aluminatos con el anión  $[Al(OH)_4]^-$ ) liberando hidrógeno.

La capa de óxido formada sobre el aluminio se puede disolver en ácido cítrico formando citrato de aluminio. El aluminio encontrase en el agua en forma iónica, suele estar normalmente formando complejos con iones hidróxido y menos corrientemente con los fluoruros.

## **2.2. Sustancias asociadas a los malos olores generados en las depuradoras**

Los compuestos químicos orgánicos o inorgánicos responsables por la generación de olores provenientes de depuradoras, normalmente son resultados de las actividades bacterianas en la red colectora o en la propia depuradora emitidos a través de gases. Algunos compuestos proceden de actividades industriales, al verterse en la red alcantarillado también pueden generar malos olores.

Los compuestos sulfurados son, en general, las sustancias dominantes asociadas a los malos olores en las depuradoras, siendo el  $H_2S$  el compuesto mayoritario. Sin embargo existen otros compuestos no sulfurados que también se asocian a olores biogénicos que incluyen: compuestos nitrogenados, ácidos grasos, alcoholes y cetonas (Stuetz et al, 2001).

Se citan a continuación algunos compuestos, responsables por los olores en las aguas residuales:

- a) Gas Sulhídrico: El  $H_2S$  es formado a partir de la acción de microorganismos sobre sulfatos y otros compuestos de azufre en condiciones anaerobias. Puede ser encontrado en las aguas residuales afluente de la depuradora, cuando el tiempo de retención en el sistema colector es elevado (ej.: zonas metropolitanas) o por aportaciones de efluente industrial. Es fácilmente liberado a la atmosfera, principalmente en sitios de flujo turbulento. Posee olor desagradable, siendo detectado por la mayoría de los individuos en concentraciones extremadamente bajas 2-4 ppb. Es letal en concentraciones por encima de 300 ppm. Ataca el hormigón, hierro y otros metales.
- b) Amonio ( $NH_3$ ): Normalmente se encuentra en las aguas residuales en concentraciones relativamente bajas de hasta 100 mg/l. La concentración de detección es la misma de la concentración límite de exposición ocupacional, 5 ppm, lo que significa que, cuando está presente en concentraciones perceptivas el amonio, presenta también un riesgo potencial a la salud del operador.
- c) Aminas: Compuestos orgánicos que contienen el grupo amina ( $R-NH_2$ ), siendo lo más conocido la trietilamina ( $(CH_3 CH_2)_3N$ ) detectable en concentraciones de 0,2 ppb y responsable por el olor a peces.
- d) Mercaptanos [ $CH_3SH, CH_3(CH_2)SH, CH_3CH_2S, CH_3(CH_2)_3SH$ ] :Compuestos orgánicos de azufre con olor desagradable y detectables en bajas concentraciones, son compuestos sensibles a un oxidante en medio alcalino.
- e) Ácidos orgánicos, aldehídos, cetonas, fenoles y esterés: larga variedad de compuestos químicos, todos con olor desagradable a bajas concentraciones de detección, que, frente oxidaciones energicas, se descomponen en anhídrido carbónico y agua.
- f) Indol: Compuestos órgano-nitrogenados complejos, presentes en aguas residuales domesticas, detectables en bajas concentraciones.

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

Los principales compuestos químicos causantes de olores en las aguas residuales, pueden resumirse en la tabla 8.

Familia	Compuestos	Percepción de olor	Límite de Detección (ppb)
Sulfurados	Sulfuro de hidrógeno	huevos podridos	0,5
	Metilmercaptano	Putrefacto	0,0014-18
	Etilmercaptano	Calabaza podrida	0,02
	Dióxido de azufre	Irritante, penetrante	
	Sulfuro de dimetilo	Vegetales podridos	0,12-0,4
	Disulfuro de dimetilo	Putrefacto	0,3-11
	Tiocresol	Secreción mofeta	
Nitrogenados	Amoniaco	Irritante, amoniacal	130-15300
	Metilamina	Pescado podrido	0,9-53
	Etilamina	Amoniacal	2-400
	Dimetilamina	Pescado	23-80
	Piridinas	Irritante, desagradable	
	Escalotes	fecal, repulsivo	0,002-0,06
	Indoles	fecal, repulsivo	1,4
Ácidos	Acético	Vinagre	16
	Butírico	Rancio	0,09-20
	Valérico	Sudor	1,8-2630
Aldehídos y cetonas	formaldehido	Sofocante	370
	Acetaldehido	Manzana	0,005-2
	Butiraldehido	Rancio	4,6
	Acetona	Fruta dulce	4-580
	Butanona	Manzana verde	270

Tabla 8: Principales fuentes de emisión del H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub> y otros contaminantes así como sus concentraciones típicas en una depuradora (Vicente et al.1998).

### 2.3. Procesos de depuración de aguas residuales

Los contaminantes presentes en las aguas residuales pueden eliminarse con procesos químicos, físicos y/o biológicos. Los métodos individuales suelen clasificarse en operaciones físicas, procesos químicos y procesos biológicos. Estos métodos se utilizan conjuntamente en los sistemas de aguas residuales con el fin de alcanzar una combinación optima que permita llegar al objetivo de tratamiento establecido, y que se ajuste a las normativas (Hernández, 2001).

En la tabla 9 se presenta una clasificación convencional de los tipos de tratamiento de aguas residuales.

<b>Tipo de Tratamiento</b>		<b>Proceso Unitario</b>
Procesos Físicos		Cambios de Régimen hidráulico
		Desbaste (Rejillas e tamices)
		Desarenado y Desengrasado
		Decantación física
Procesos Químicos		Precipitación
		Neutralización
		Oxidación
Procesos Biológicos	Línea de aguas	Fangos Activos
		Aireación Prolongada
		Estabilización por contacto
		Lagunas anaerobias y aerobias
	Línea de fangos	Digestores aerobios
		Digestores anaerobios
Lechos bacterianos		
Otros procesos	Procesos de eliminación de nutrientes	
Tratamientos Terciarios		Intercambio iónico
		Microfiltración
		Absorción
		Ultrafiltración
		Nanofiltración
		Osmosis inversa
		Evaporación

Tabla 9: clasificación convencional de los tipos de tratamiento de aguas residuales.

### 2.3.1. Escalones de proceso de una depuradora y la generación de olores

En una depuradora, los problemas de generación de olores, se hacen más sensibles en las unidades de entrada, tratamiento preliminar y primario disminuyendo con la continuación del flujo de tratamiento. Son importantes los problemas en las unidades de tratamiento de fangos y recirculación internas que se caracterizan por elevadas cargas orgánicas.

### 2.3.1.1. Línea de aguas

#### 2.3.1.1.1. Tratamiento físico

##### a) Rejillas de desbaste

###### – Problemas funcionales

Debido a la gran concentración de material putrescible y sólidos groseros retenidos en las rejillas, estas pueden ser fuentes generadoras de olores en potencial.

##### b) Tamices

###### – Problemas funcionales

La acumulación de sólidos y limpiezas irregulares pueden, hacer a convertirse en fuentes de emisión de olores.

##### c) Desarenado

###### – Problemas funcionales

La entrada de arena en los elementos de tratamientos primario y secundario perturbaría su funcionamiento, por el aumento de densidad del fango, por aumento del riesgo de atascamientos por acumulaciones en los canales y tuberías e por la abrasión provocada sobre los elementos mecánicos en movimiento.

Para separar el agua residual de la arena se provoca una reducción de la velocidad del agua por debajo de los límites de precipitación de los granos de dichas arenas, pero debajo de los límites de sedimentación de la materia orgánica. De no cumplirse esta última condición, se producirían depósitos de materia orgánica, susceptibles de fermentación, que producirían malos olores.

La materia orgánica adsorbida en las paredes de la arena a ser removida también puede generar olores.

En pequeñas depuradoras y en estaciones de bombeo, donde la arena se almacena por periodos de tiempo largos, antes de la remoción, la emisión de olores es bastante importante.

d) Desengrasado

– Problemas funcionales

Las grasas pueden causar los siguientes problemas en la depuración de aguas residuales:

- En rejillas finas causan obstrucciones que aumentan los gastos de conservación
- En los decantadores forman una capa superficial que dificulta la sedimentación
- En fangos activos dificultan la correcta aireación disminuyendo el coeficiente de transferencia al 55-70%
- Perturban el proceso de digestión del lodo
- La DQO se incrementa en un 20 a 30%.

e) Decantadores Primarios

– Problemas funcionales

Normalmente son proyectados con una seguridad elevada lo que puede ocasionar un tiempo de retención mayor que el recomendado en determinados periodos del día.

La remoción inadecuada de espuma, provoca acumulo seguido de putrefacción de las mismas con fuerte producción de olor. Retiradas irregulares e insuficientes del fango decantado pueden llevarlo a condiciones de septicidad, resultando formación de sulfuros y la consecuente liberación de olores.

Los decantadores son importantes fuentes de olores, estudios en los Estados Unidos indican que estas unidades llegan a ser responsables por hasta un 25% de las reclamaciones con relación a la generación de olores desagradables.

### f) Decantación Secundaria

#### – Problemas funcionales

Las causas de la generación de olores en los decantadores secundarios son semejantes con las citadas para los decantadores primarios, debiéndose tomar en cuenta que el contenido orgánico es superior. En situaciones normales estas unidades no generan olores ofensivos.

Sin embargo la presencia de fango activado en suspensión en la superficie del decantador, común en depuradoras que operan con edad de fango elevada con vistas la remoción biológica de nitrógeno, puede causar problemas como los descritos anteriormente.

### **2.3.1.1.2. Tratamiento químico**

#### a) Sedimentación de partículas floculadas

#### – Problemas funcionales

En la adición de hierro en grandes cantidades puede causar una disminución del pH y consecuente liberación de gas sulfhídrico.

En la acción de Cal, para ayudar en la sedimentación o para estabilización de fangos, va a inhibir la liberación de gas sulfhídrico, debido al aumento del pH, sin embargo incrementa significadamente la cantidad de amonio y otros olores, venidos de compuestos de nitrógeno.

### **2.3.1.1.3. Procesos biológicos**

#### a) Fangos Activos

#### – Problemas funcionales

Si se incorpora aire en exceso aparece, aunque darse por otras muchas causas, el fenómeno de nominado “BULKING”. Los lodos contienen exceso de gas, disminuye la densidad y no sedimentan.

El fango activo, en actividad aeróbica, libera olor poco ofensivo siendo raramente objeto de reclamaciones. Es imprescindible garantizar las condiciones aeróbicas. Sin embargo en el proceso de eliminación de nutrientes existe la posibilidad de generación de fango flotado en las cámaras anaerobias y anóxicas, que después de algunas horas se queda oscuro y entra en septicidad, generando olores desagradables.

Con cantidades en exceso de compuestos orgánicos, que son tóxicos, como el caso del fenol, metales pesados y sales, el proceso biológico puede quedar inhibido o destruido.

b) Lechos bacterianos

– Problemas funcionales

Se produce conjuntamente una fase anaeróbica con desprendimiento de gases y rotura de la película, perdiendo la adherencia al medio poroso, lo que constituye la formación de flóculos. En seguida la película se desprende, por arrastre de las aguas residuales hasta la decantación secundaria.

La explotación de los lechos bacterianos es mucho más sencilla que la de otros procesos de depuración biológica, sin embargo hay emisión de olor desagradable debido a la entrada en funcionamiento preferente de las bacterias anaerobias o facultativas por falta de aireación.

**2.3.1.1.4. Desinfección (cloración)**

– Problemas funcionales

Formación de trihalometanos con carácter cancerígeno y mutagénico, así como la formación de productos cancerígenos en la mezcla del cloro con ácidos húmicos y fúlvicos.

Cuando se añade cloro en un agua que contenga amoníaco, el amoníaco reacciona con el HOCl para formar cloraminas.

El cloro puede reaccionar con fenoles formando clorofenoles.

Los compuestos de cloro con aminoácidos tienen por lo general un bajo poder bactericida, y complican el proceso de cloración por originar un elevado consumo de cloro y dar lugar a molestos olores y sabores.

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

Si el agua es portadora de materia orgánica, puede formar compuestos clorados como los PCB.

### 2.3.1.1.5. Influencia de las estaciones en la generación de olores

Según Jeon et al (2009), en verano la liberación de compuestos olorosos en la depuradora es mayor que en invierno. Los autores sacaron estas conclusiones en una investigación desarrollada en Sun-Cheon, Chonlanam-Do, Corea del Sur.

Los resultados son presentados en las tablas 10 y 11.

Etapa de Tratamiento	ppb	NH <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> S	CH <sub>3</sub> SH	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> S	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> N
Decantador Primario	Mañana	506	23,86	7,34	No detección	207,9	2,84
	Tarde	340	20,23	4,34	No detección	3,03	1,33
	Media	423	22,05	5,84		105,47	2,09
	SD	117	2,57	2,12		144,86	1,07
Tanque de aeración	Mañana	120	26,79	No detección	No detección	2,2	No detección
	Tarde	279	26,62	No detección		1,75	No detección
	Media	195	26,71			1,98	
	SD	106	0,12			0,32	
Decantador Secundario	Mañana	181	4,35	No detección	No detección	3,56	No detección
	Tarde						
	Media	181	4,35			3,56	
	SD						
Detección mínima		7,5	0,14	0,17	0,15	0,17	0,22

Tabla 10: Medición de los compuestos seleccionados en el verano (Jeon et al, 2009)

Etapa de Tratamiento	ppb	NH <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> S	CH <sub>3</sub> SH	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> S	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> N
Decantador Primario	Mañana	780	1,68	0,35	1,11	6,12	No detección
	Tarde	340	9,85	0,43	0,8	2,44	0,17
	Media	870	3,47	0,21	0,8	2,19	0,04
	SD	153	4,35	0,21	0,24	2,84	
Tanque de aeración	Mañana	105	0,13	1,09	2,87	23,51	0,13
	Tarde	275	0,11	0,86	3,61	23,48	
	Media	150	0,08	1,14	4,32	12,75	0,43
	SD	97	0,05	0,41	1,93	12,41	0,41
Decantador Secundario	Mañana	164	0,06	0,04	0,33	0,54	0,32
	Tarde	163	0,07	0,03	0,39	0,53	0,17
	Media	97	0,08	0,08	0,41	0,35	0,22
	SD	79	0,05	0,05	0,07	0,22	0,07

Tabla 11: Medición de los compuestos seleccionados en el invierno (Jeon et al, 2009)

### 2.3.1.2. Línea de fangos

El riesgo de impacto de olor de una depuradora aumenta si las operaciones de tratamiento de fangos se realizan en las propias instalaciones.

Los olores agresivos son causados por los gases producidos durante el proceso de biodegradación del fango. El fango bruto, por contener alta cantidad de sólidos volátiles, presenta alto potencial de putrefacción y consecuente producción de aminas, diaminas, gas sulfhídrico, mercaptanos e amonio, principales gases responsables por los olores desagradables.

Los malos olores en las depuradoras están provocados, principalmente, por la presencia de microorganismos capaces de transformar eficientemente este residuo para obtener energía, mediante procesos que comportan la oxidación química de la materia orgánica en presencia o defecto de O<sub>2</sub>. Mientras que las oxidaciones aeróbicas tienen como resultado la oxidación de la materia orgánica en CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O, las condiciones anaerobias implican la participación de otros compuestos que aportan O<sub>2</sub> al proceso, como nitratos, sulfatos o CO<sub>2</sub>, que participan en la formación de NH<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S y COV (compuestos orgánicos volátiles).

#### 2.3.1.2.1. Composición de los lodos

La naturaleza de los fangos extraídos de las depuradoras, es esencialmente orgánica y está constituida por polímeros complejos como los carbohidratos, proteínas y lípidos.

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

Se incluyen algunos datos típicos de la composición química de fangos crudos y digeridos en la tabla 12.

Muchos de los constituyentes químicos de los lodos, incluyendo los nutrientes, son de gran importancia a la hora de considerar la evacuación final del fango tratado y del líquido extraído del fango durante su tratamiento.

Características	Fango primario crudo		Fango primario digerido		Fango activado
	Intervalo	Valor típico	Intervalo	Valor típico	intervalo
Sólidos secos totales (ST)%	2,0-8,0	5	6,0-12,0	10	0,83-1,16
Sólidos volátiles (% de ST)	60-80	65	30,0-60,0	40	59-88
Grasas y aceites (% de ST)					
Solubles en éter	6,0-30		5,0-20,0	18	
Extractable en éter	7,0-35				5,0-12
Proteínas (% de ST)	20-30	25	15,0-20,0	18	32-41
Nitrógeno (N, % de ST)	1,5-4	2,5	1,6-6,0	3	2,4-5,0
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , % de ST)	0,8-2,8	1,6	1,5-4,0	2,5	2,8-11,0
Potasio (K <sub>2</sub> O, % de ST)	0-1	0,4	0,0-3,0	1	0,5-0,7
Celulosa (% de ST)	8,0-15	10	8,0-15,0	10	
Hierro (no como sulfuro)	2,0-4,0	2,5	3,0-8,0	4	
Sílice (SiO <sub>2</sub> , % de ST)	15,0-20,0		10,0-20,0		
pH	5,0-8,0	6	6,5-7,5	7	6,5-8,0
Alcalinidad (Mg/l como CaCO <sub>3</sub> )	500-1500	600	2500-3500	3000	580-1100
Ácidos orgánicos (Mg/l como HAc)	200-2000	500	100-600	200	1100-1700
Poder calorífico (MJ/Kg)	23000-29000	25.500	9000-13500	11500	18500-23000

Tabla 12: Composición típica del fango crudo y digerido (Metcalf & Eddy, 1995).

### 2.3.1.2.2. Características de los lodos

- Fangos provenientes de la decantación primaria: Son generalmente de consistencia limosa y color marrón a gris, volviéndose sépticos y dando mal olor con gran facilidad.
- Fangos provenientes de la precipitación química: Son generalmente de color negro y su olor, aunque puede llegar a ser desagradable. Su cantidad es 3 veces mayor que los producidos en la decantación primaria sin coadyuvantes para la precipitación.

- Fangos provenientes de tratamiento secundario: En el caso de fangos activados, son de color marrón, relativamente ligeros, y por estar bien aireados en el caso general, no suelen producir olor con tanta rapidez como los fangos provenientes del decantador primario. Sin embargo, si por no estar suficientemente aireados se acercan a las condiciones sépticas, su color se oscurece y producen un olor tan fuerte como el fango primario.
- Fangos provenientes de lechos bacterianos: Son de color marrón, y no producen olores molestos si están frescos. Se degradan a una velocidad menor que los fangos procedentes del sistema secundario de fangos activados, salvo en el caso de que contengan una preponderancia de organismos superiores, en cuyo caso pueden llegar a dar olores muy rápidamente.
- Fango digeridos: Tiene color entre marrón oscuro y negro, y contiene cantidades relativamente grandes de gas. Cuando está bien digerido prácticamente no produce olor o produce olor relativamente débil que no es desagradable.

#### **2.3.1.2.1. Escalones de proceso de una depuradora y la generación de olores en los procesos de manejo y tratamiento de fango**

Se estima que cerca de un 50% de las reclamaciones contra las depuradoras se deben a los procesos de manejo y tratamiento de fango. Los procesos de espesamiento, digestión, deshidratación, secado son fuentes en potencial para generación de olores desagradables.

##### a) Espesamiento del fango

- Espesadores por gravedad
  - Problemas funcionales

Espesadores por gravedad son unidades particularmente susceptibles a la generación de olores desagradables. El acumulo de fango en el fondo de los espesadores favorece la descomposición anaerobia, y la consecuente producción de H<sub>2</sub>S y otros compuestos de azufre.

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

- Espesadores por flotación

- Problemas funcionales

Los detergentes toman parte activa en la disminución de la tensión superficial y sobre la velocidad ascensional.

Los espesadores por flotación son unidades con reducido potencial en la generación de olores debido a su ambiente oxidante y la retirada constante del material flotado.

### b) Digestión del fango

- Digestión anaerobia

- Problemas funcionales

En la digestión anaerobia el potencial de olores está asociado al gas liberado para atmósfera o gas retirado en el fango digerido.

Cuando un digestor se recupera de una situación ácida, suele ser muy rápida la descomposición de los ácidos volátiles y la formación de metano y anhídrido carbónico. Entonces el digestor puede producir espuma, empujando los sólidos de los fangos a través de los cierres de agua y de las tuberías de gas, dando lugar a un serio problema operativo.

Las bacterias pueden empezar a trabajar con mucha rapidez, cuando tienen el medio ambiente apropiado. Casi en una noche pueden generar el gas suficiente para crear una mezcla terrible de espuma negra y fango. La espuma no sólo taponar los sistemas de tuberías, sino que puede ejercer presiones excesivas sobre la cubierta del digestor, y ocasiona problemas de olores.

Cuando se pone en funcionamiento un digestor por primera vez, se producen gases muy malolientes, por la presencia de algunos compuestos del nitrógeno y del azufre, como escatol, indol, mercaptanos y sulfhídrico. Muchos de estos gases también se producen durante el proceso normal de digestión, pero en tan pequeñas proporciones que quedan enmascarados por el anhídrido carbónico y el metano.

Una alimentación excesiva de fango fresco al digestor, la extracción del fango digerido, o una carga de choque como la causada por la tormenta que limpie el sistema de colectores, puede desequilibrar la proporción ácidos volátiles/alcalinidad. Una relación alta es el primer aviso de que se está originando un problema en el digestor.

- Digestión aerobia
  - Problemas funcionales

Debido la aireación puede surgir espumas, la posible incidencia sanitaria de la formación de aerosoles, y el nivel de ruido.

c) Deshidratación y Secado del fango

- Secado
  - Problemas funcionales

Normalmente funcionan bien y produce un lodo seco sin olores apreciables, cuando el fango está bien digerido. El secado del lodo se desarrolla con un contacto intenso con el aire caliente, donde la mayoría de los compuestos generadores de olores desagradables son volatilizados y pasan a hacer parte de la corriente del aire. La condensación del vapor producido genera un líquido de olor característico fuerte con elevada concentración de ácidos orgánicos volátiles, que no debe ser expuesto al atmosfera o sufrir turbulencia cuando conducido.

- Deshidratación
  - Problemas funcionales

La liberación de olores está relacionada con el tipo de fango a ser deshidratado y del contenedor de fango utilizado. La deshidratación de fango no digerido esta normalmente asociado a la liberación de olor. El flujo del aire proveniente de equipos de deshidratación tipo centrífugas y filtro prensas contienen elevada concentración de compuestos orgánicos e inorgánicos con alto potencial odorífico.

## **Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales**

Independiente del tratamiento elegido para el lodo, todos excepto la incineración tienen en común la producción de líquido con elevada carga orgánica que necesita de tratamiento antes de su vertido. Normalmente este líquido es recirculado a entrada de la depuradora donde se une a las aguas residuales. En este caso el punto de vertido de estos líquidos debe ser cuidadosamente estudiado para no favorecer la volatilización de los compuestos orgánicos presentes.

### **2.3.1.3. Elemento común (Bombeos de lodos recirculados y en exceso)**

En el proceso de fangos activos la biomasa se recircula continuamente al reactor, con el objetivo de aumentar la concentración de sólidos en el fango. En este caso el decantador desarrolla la función de espesador de lodo, en función de la disminución del volumen de lodo descartado y el consecuente aumento en el tiempo de detención del fango en el decantador.

#### **– Problemas funcionales**

El paso del efluente primario, a través de los vertedores del decantador, hasta el canal de recepción puede causar la liberación de gases disueltos en la masa líquida.

El transporte del fango en exceso puede causar la emisión de olores en la atmosfera.

Esas dos operaciones son unas de las principales causas observadas para el comprometimiento del funcionamiento de los decantadores primarios en relación a la emisión de olores.

La reducción de la recirculación, frente el valor obtenido en el cálculo de la cantidad de recirculación puede tener consecuencias graves, más que las debidas a la recirculación en exceso.

Hay el riesgo de inundación, cuando no se dispone de cota suficiente para prever un aliviadero de seguridad.

Posibilidad de conducir a cambios de velocidad puntual y local. La pérdida de contacto de la masa de agua con las paredes produce un efecto de flujo negativo en esas zonas. El flujo negativo produce sedimentaciones puntuales que a la postre serán fuente de olores.

Perturbaciones en el sistema debido la vorticidad y las prerrotaciones.

En los depósitos de almacenamiento del fango puede ocurrir una decantación y consecuente formación de zona muertas.

#### 2.3.1.4. Línea de gases

El proceso de digestión anaerobia produce de 400 a 700 litros de gas por cada kilogramo de materias volátiles destruidas, según sea las características del fango. El gas se compone principalmente de metano ( $\text{CH}_4$ ) y de anhídrido carbónico ( $\text{CO}_2$ ). El contenido en metano, del gas de un digestor que funcione adecuadamente, variará del 65% al 70%, con una oscilación en el anhídrido carbónico del 23% al 30% en volumen. Un uno o dos por cien del gas del digestor se componen de otros gases, como sulfhídrico, amoniac, nitrógeno, hidrogeno y oxigeno. La concentración de sulfhídrico en lodos urbanos puede ser de 0,05 mg/l.

El sistema de gas sirve para trasladar éste desde el digestor a sus puntos de consumo o al quemador de gases en exceso. Un sistema de gas se compone normalmente de las siguientes partes:

- Cúpula de gas
  - Problemas funcionales

Si la presión del gas sube por encima del recorrido de la columna de agua, se escapará a través del cierre de agua hacia la atmosfera, sin levantar el techo. Si se extrae el fango o se utiliza el gas con demasiada rapidez, el vacío puede pasar de los 20 cm y romper el cierre de agua permitiendo la entrada la entrada de aire en el tanque. Sin el cierre de agua, el vacío aumentaría y podría romper el tanque.

La entrada puede crear en el tanque una mezcla explosiva.

- Válvula de seguridad y rompedora de vacío
  - Problemas funcionales

Si la presión de gas en el tanque excede la presión de timbraje, la válvula se abrirá y dejará escapar gas durante un cierto tiempo. El cierre de agua se puede romper cuando la alimentación del tanque sea excesiva o cuando la extracción del gas sea demasiado lenta.

## **Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales**

El funcionamiento de cualquiera de estas dos válvulas es peligroso, porque, permite la mezcla del gas del digestor con el aire y podría producir una explosión fuera del tanque, si se abriera la válvula de seguridad, y dentro del tanque, si se abriera la válvula rompedora de vacío. La válvula de seguridad se monta en la parte superior de digestor.

- Purgadores de condensado
  - Problemas funcionales

Cuando hay el riesgo del agua condensar, el gas puede ser impedido de circular, y causara daños en algunos equipos como los compresores, e interferirá en la utilización del gas

Los purgadores automáticos no son recomendables porque muchos van provisto de un flotador, y de un orificio con válvula de aguja y la corrosión de los sedimentos y la incrustación en el sistema de gas pueden impedir que la aguja asiente. Las pérdidas consiguientes pueden crear concentraciones de gas con posibles riesgos para las personas y para los equipos.

- Manómetros y reguladores de presión
  - Problemas funcionales

Si la presión del gas en el sistema es inferior a los 20 cm de columna de agua, no llegará gas al quemador.

### **2.3.1.5. Principales fuentes de emisión de olores**

En la tabla 13 se presentan las principales fuentes de emisión de H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub> y otros contaminantes.

**E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos de Madrid**

<b>Fuente</b>	<b>Familia</b>	<b>Composición</b>
Reja desbaste	Sulfurados	Sulfuro de hidrógeno Metilmercaptano Etilmercaptano Dióxido de azufre Sulfuro de dimetilo Disulfuro de dimetilo Tiocresol
	Nitrogenados	Amoníaco Metilamina Etilamina Dimetilamina Piridinas Escalotes Indoles
Desarenador	Sulfurados	Sulfuro de hidrógeno Metilmercaptano Etilmercaptano Dióxido de azufre Sulfuro de dimetilo Disulfuro de dimetilo Tiocresol
	Nitrogenados	Amoníaco Metilamina Etilamina Dimetilamina Piridinas Escalotes Indoles
Decantador	Sulfurados	Sulfuro de hidrógeno Metilmercaptano Etilmercaptano Dióxido de azufre Sulfuro de dimetilo Disulfuro de dimetilo Tiocresol

**Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales**

<b>Fuente</b>	<b>Familia</b>	<b>Composición</b>
Decantador	Nitrogenados	Amoníaco
		Metilamina
		Etilamina
		Dimetilamina
		Piridinas
		Escalotes
		Indoles
Fangos Activos	Sulfurados	Sulfuro de hidrógeno
		Metilmercaptano
		Etilmercaptano
		Dióxido de azufre
		Sulfuro de dimetilo
		Disulfuro de dimetilo
		Tiocresol
	Nitrogenados	Amoníaco
		Metilamina
		Etilamina
		Dimetilamina
		Piridinas
		Escalotes
		Indoles
Lechos Bacterianos	Sulfurados	Sulfuro de hidrógeno
		Metilmercaptano
		Etilmercaptano
		Dióxido de azufre
		Sulfuro de dimetilo
		Disulfuro de dimetilo
		Tiocresol
	Nitrogenados	Amoníaco
		Metilamina
		Etilamina
		Dimetilamina
		Piridinas
		Escalotes
		Indoles

**E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos de Madrid**

<b>Fuente</b>	<b>Familia</b>	<b>Composición</b>
Desinfección	Nitrogenados	Cloraminas
	Clorados	Clorofenoles
Espesamiento de fangos	Sulfurados	Sulfuro de hidrógeno
		Metilmercaptano
		Etilmercaptano
		Dióxido de azufre
		Sulfuro de dimetilo
	Nitrogenados	Disulfuro de dimetilo
		Tiocresol
		Amoníaco
		Metilamina
		Etilamina
Ácidos	Dimetilamina	
	Piridinas	
	Escalotes	
	Indoles	
	Acético	
Digestor de fangos	Sulfurados	Butírico
		Valérico
		Sulfuro de hidrógeno
		Metilmercaptano
		Etilmercaptano
	Nitrogenados	Dióxido de azufre
		Sulfuro de dimetilo
		Disulfuro de dimetilo
		Tiocresol
		Amoníaco
Indoles	Metilamina	
	Etilamina	
	Dimetilamina	
	Piridinas	
	Escalotes	

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

Fuente	Familia	Composición
Secado y deshidratación de fangos	Ácidos	Acético
		Butírico
		Valérico
	Sulfurados	Sulfuro de hidrógeno
		Metilmercaptano
		Etilmercaptano
		Dióxido de azufre
		Sulfuro de dimetilo
		Disulfuro de dimetilo
	Nitrogenados	Tiocresol
Amoníaco		
Metilamina		
Etilamina		
Dimetilamina		
Piridinas		
Escalotes		
Estación de Bombeo	Ácidos	Indoles
		Acético
		Butírico
	Sulfurados	Valérico
		Sulfuro de hidrógeno
		Metilmercaptano
		Etilmercaptano
		Dióxido de azufre
		Sulfuro de dimetilo
	Nitrogenados	Disulfuro de dimetilo
Tiocresol		
Amoníaco		
Metilamina		
Etilamina		
Dimetilamina		
Piridinas		
Escalotes		
	Indoles	

Tabla 13: principales fuentes de emisión de H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub> y otros contaminantes en depuradoras.

## 2.4. Técnicas correctivas para la eliminación de olores

En la figura se presentan las progresivas etapas de control de olores

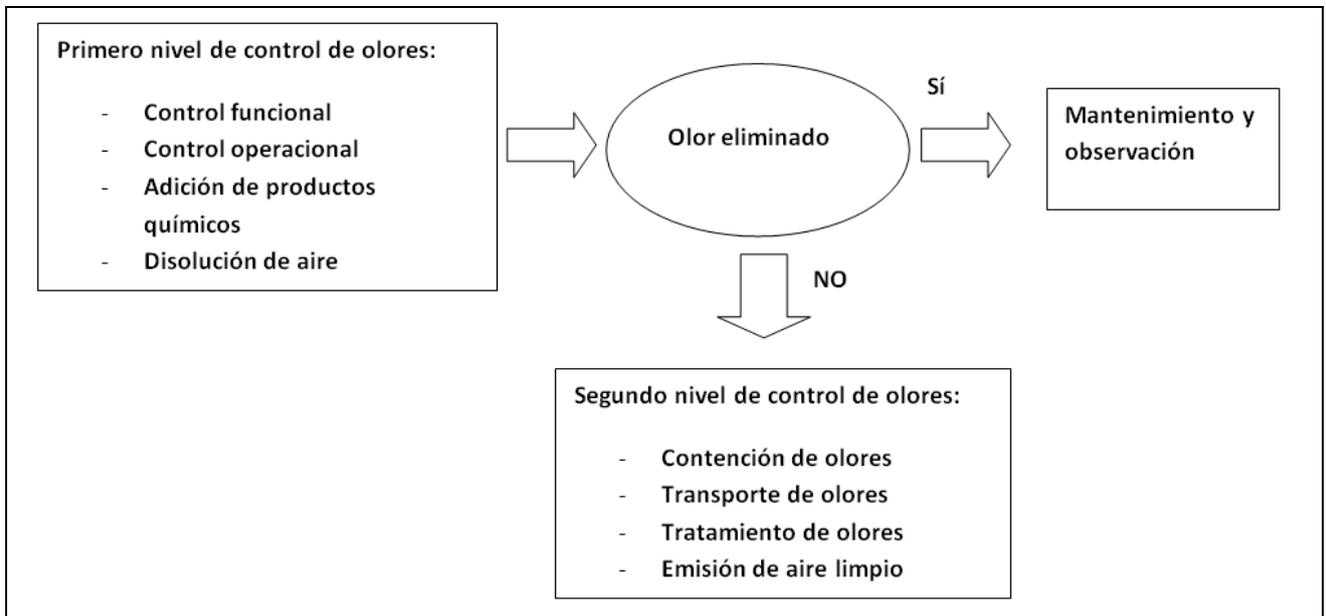


Figura 3: Etapas de control de olores

### 2.4.1. Correcciones funcionales

El enfoque más común para controlar los impactos de olor consiste en confinar estas unidades de proceso, mediante la instalación de un sistema de extracción de los gases, generados con objeto de dirigirlos a un sistema de tratamiento. Sin embargo, en estas fases también es relevante aplicar buenas prácticas de gestión de olores, puesto que los mismos se pueden minimizar, o bien evitar en origen la contaminación odorífera durante el desarrollo de la actividad, reduciendo el coste y mejorando el funcionamiento de los sistemas de tratamiento de las emisiones.

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

Algunos cambios operacionales pueden prevenir la generación de olores como el aumento de los niveles de aeración en los procesos de tratamiento biológico, reducción de sobrecargas en el proceso, reducción de la masa de fangos existente en la planta, aumento de la frecuencia de bombeo de fangos y espumas, control de la liberación de aerosoles, adición de agua clorada a los espesadores de fango, reducción de las turbulencias generadas, aumento de la frecuencia de descarte de arena y residuos, limpieza frecuentemente de las acumulaciones de compuesto olorosos. Otros criterios de corrección con sus respectivas etapas de tratamiento, pueden verse seguidamente:

### a) Rejillas de desbaste

El parámetro de control fundamental en la comprobación de rejillas es la velocidad de paso del agua entre los barrotes. Se recomienda las siguientes velocidades de paso a caudal medio y caudal máximo:

$$V_{\text{paso}}(Q_{\text{med}}) > 0.6 \text{ m/s}$$

$$V_{\text{paso}}(Q_{\text{max}}) < 1.0 \text{ m/s (con limpieza a favor de corriente)}$$

$$V_{\text{paso}}(Q_{\text{max}}) < 1.2 \text{ m/s (con limpieza en contra corriente)}$$

La acumulación de material orgánico en canales, rejillas, etc. debe ser evitada a través de la limpieza regular de estas unidades y equipos. Se sugiere que las unidades de rejillas estén cerradas. El material de estas unidades no debe ser almacenado o depositado en el área de la depuradora, debiendo ser transportado a vertederos con la frecuencia adecuada. Durante el período en que el material permanece en la depuradora, se recomienda la aplicación regular de cal, como forma de evitar el olor y la proliferación de moscas.

Es conveniente instalar prensado para eliminar la humedad y compactar el residuo, permitiendo periodos mayores entre las retiradas.

En la configuración de las cámaras es importante evitar zonas muertas en las que se produzcan depósitos de sedimentos, y además el diseño de las bombas adoptado debe garantizar la no acumulación de flotantes en la superficie.

En particular esta zona estará perfectamente dotada para la limpieza mediante manguero, y todo el sistema gozará de una accesibilidad fácil y segura, estando previstas plataformas para el accionamiento y mantenimiento de todos los equipos de achura suficiente.

b) Desarenado

Debe ser considerado la variación del caudal, que influye de forma importante sobre el rendimiento de los desarenadores.

Para las aguas negras las variaciones diarias reiteradas deben compensarse buscando la constancia de la  $V_h$  mediante un correcto diseño de la forma transversal del desarenador. Las variaciones estacionales o de tormenta deberán compensarse con un depósito previo de regulación, elemento complementario, o bien admitir rendimientos de retención más bajos.

Las velocidades, longitud, tiempo de retención y cantidad de arena retirada deben estar bien dimensionadas.

En el desarenador la velocidad del agua debe estar por debajo de los límites de precipitación de los granos de las arenas y por encima de los límites de sedimentación de la materia orgánica, para que no se produzcan depósitos de materia orgánica, susceptibles de fermentación, que producirían malos olores.

Un sistema válido para evitar la sedimentación de la materia orgánica por descenso de velocidad en el desarenador, consistirá en la aeración de fondo, que mantendría en suspensión dicha materia orgánica.

Deben evitarse las zonas de sedimentación sin posibilidad de eliminación en el sistema de extracción. El material de estas unidades no debe ser almacenado o depositado en el área de la depuradora, debiendo ser transportado a vertederos según la frecuencia adecuada.

Toda la zona de recogida y almacenamiento de detritus debe estar dotada de una red de drenaje adecuada para la recogida de escurridos y aguas de limpieza.

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

### c) Decantador primario y decantador secundario

Es interesante prever la instalación de un deflector que impida el escape de flotantes.

En la entrada de agua de los decantadores es interesante utilizar dispositivos como:

- Mampara de tranquilización, para romper la energía de la entrada del agua, y para facilitar su reparto en las capas inferiores del decantador.
- Sistema de rotura de carga, para realizar un reparto homogéneo por toda la zona de entrada.

La velocidad en las conducciones debe ser inferior a 1m/s.

En la salida de los decantadores es interesante utilizar dispositivos como:

- Vertederos perimetrales, para evitar que sea recogida la capa superficial que pueden llevar espumas y sólidos sobrenadantes, el vertedero se protege con una pantalla deflectora.
- Vertederos radiales, para utilizar combinados con los perimetrales cuando la carga de salida por vertedero resulta muy alta usando únicamente éstos.

En un decantador rectangular la velocidad horizontal debe ser inferior a la velocidad de arrastre.

Se recomienda que la altura de caída entre el vertedero y el nivel del agua en el canal no sea superior a 10 cm, para disminuir la turbulencia y minimizar la liberación de gases disueltos.

Los decantadores deben ser proyectados con seguridad, pero no muy elevada, evitando así un tiempo de detención mayor que el recomendado en determinados periodos del día. Las retiradas del fango decantado y de espumas deben ser regulares y suficientes, evitando alcanzar condiciones anóxicas.

Debido a la posibilidad de aparición de un bulking o fango voluminoso deberá evitarse un periodo de retención en la arqueta excesivamente prolongado pues podría aparecer una desnitrificación de los nitratos formados, que conducirá a la aparición de una boyancia de los fangos por arrastre de los mismos hacia la superficie.

Debe evitarse la aireación excesiva.

d) Reactor Biológico

En la entrada de los reactores la turbulencia puede facilitar la liberación de los gases disueltos.

La mejor manera de evitar olores en los reactores es mantener las condiciones aerobias, manteniendo la concentración de oxígeno entre los valores adecuados.

Al parar, para mantenimiento, el reactor biológico deberá quedar limpio en el tiempo más breve posible, eliminando todo el lodo activado en un período inferior a 6 horas. Este tipo de explotación deberá ser precedida de planeamiento para no sobrecargar las unidades del proceso de lodos.

La división de tanques para difusión de aire por burbujas tenderá siempre a obtener las secciones transversales óptimas para facilitar la correcta recirculación interior, evitando zonas muertas donde sea posible la sedimentación de flóculos.

Con independencia de la transferencia de oxígeno, los difusores, su ubicación, y el volumen de aire incorporado, deben garantizar unas corrientes en la masa de agua, que debe generar una velocidad mínima de 20 cm/seg, para garantizar la homogenización de la masa y evitar la sedimentación de los flóculos formados.

e) Espesamiento del fango

Los espesadores concentran el fango de forma que a cierta altura hay una zona de agua que debe drenarse. Estas extracciones se llevan a cabo por gravedad y pueden ser superficiales o, en el mejor de los casos, mediante drenajes a diferentes alturas.

En cualquier caso, hay que tener en cuenta la estanqueidad de estos sistemas de evacuación, ya que se ha observado que son un foco muy importante de emanación de sulfhídrico. También interesa que la descarga de este efluente, así como el drenaje de la centrífuga, entren de forma subsuperficial a cabecera de planta para minimizar el desprendimiento de gases en el pretratamiento.

Se recomienda que los espesadores sean cerrados trabajando en depresión.

La velocidad ascensional influye sobre la forma de la curva de sedimentación, en la capacidad de formación y eliminación de sobrenadantes. Recomienda se utilizar valores comprendidos entre 2,0 y 3,0 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d.

No son aconsejables tiempos de retención superiores a las 6 horas, sin adoptar medidas especiales contra los olores, aunque por concentración pueden pensarse en tiempos de retención de 1-2 días.

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

La presencia de material flotado en la superficie del espesador debe ser limitada al mínimo.

### f) Digestores de fango

La costra en el digestor debe ser controlada, para proporcionar el mezclado y el calentamiento adecuado.

Es importante evitar la entrada de productos petrolíferos y aceites minerales, artículos de goma, plásticos, filtros de cigarrillos, cabellos, material inorgánico sedimentable e fibra, pues pueden originar capas de costra de espesor, obligando a vaciados para limpieza de digestores con todas las dificultades que llegan consigo.

El modo más sencillo de poner en funcionamiento un digestor es con fango de reserva de otro digestor.

Para controlar la formación de espumas debe agitarse el contenido del tanque para permitir que el gas salga de la masa y, a ser posible, no alimentar el digestor hasta que haya disminuido la espuma.

La temperatura del digestor debe registrarse y mantenerse, para la digestión mesófila, entre los 29 y 33 °C, esta temperatura no debe variar más de 1 grado por día.

La relación ácidos volátiles/alcalinidad debe ser baja y se producirá una buena digestión anaerobia de fangos. Un buen procedimiento de control consiste en medir la relación ácidos volátiles/alcalinidad al menos dos veces por semana, dibujar la curva de variación de esta relación en función del tiempo y observar si se producen evoluciones perjudiciales.

Cuando la proporción empieza a aumentar puede acudir a las siguientes medidas: aumentar el tiempo de mezclado del contenido del digestor, mantener el calentamiento más uniforme, y disminuir las extracciones de fangos, si es posible, bombear parte del fango, concentrado del digestor secundario, para ayudar a equilibrar la proporción. Todas estas variaciones deben ser lentas.

En las instalaciones de bombeo de fangos y cerca de los digestores estará prohibido encender fuego, fumar o provocar chispas.

Instalación de válvulas de seguridad y rompedora de vacío. La primera para en situaciones de altas presiones abrir, evitando explosiones. El cierre de agua se puede romper cuando la alimentación del tanque sea excesiva o cuando la extracción del gas sea demasiado lenta. La válvula rompedora de vacío funciona de manera idéntica, excepto en que alivia las presiones negativas para evitar el colapso del tanque.

Instalación de válvula apagallamas permitiendo parar la circulación de aire en un conducto de ventilación en caso de incendio. Se utiliza una válvula cortafuegos para crear una resistencia al fuego continua de una pared con un conducto de ventilación.

El gas del digestor está bastante húmedo, y en su recorrido desde el tanque caliente hasta zonas de temperatura más bajas el agua se condensa. Esta agua debe recogerse en los puntos bajos del sistema, ya que de lo contrario impedirá que el gas circule, causará daño en algunos equipos como los compresores, e interferirá en la posterior utilización del gas. Estos purgadores disponen generalmente de una capacidad de un cuarto o medio litro de agua.

El suelo del tanque de digestión debe estar inclinado, para que la arena, el material inorgánico sedimentable y la fracción pesada del influente puedan ser extraídos del tanque. Los digestores deben tener cubiertas, fijas o flotantes, cuya misión es impedir que escapen olores, conservar la temperatura, evitar la entrada de oxígeno y recoger el gas producido.

Es aconsejable mezclar muy intensamente el tanque primario de digestión, pero no es recomendable devolver la mezcla digerida a la instalación como sobrenadante.

#### g) Deshidratación y secado del fango

Se recomienda mantener el edificio de secado cerrado y en depresión.

Una manera de minimizar los olores en la deshidratación del fango es trabajar solamente con el fango digerido. En las centrífugas, como el equipo es totalmente cerrado facilita la retirada del aire y su vertido en un desodorizador.

Para los filtros prensa, donde el contacto del material a ser deshidratado con la atmosfera es prolongado, como alternativa pueden ponerse cubiertas sobre las misma, de forma a confinar el aire y sprays producido por la agua de lavado de las telas.

El principal problema de secado del lodo, independiente del sistema que se aplique, es el problema de olor de los vapores. La experiencia ha demostrado que la única solución fiable para el olor es la desodorización a 800° - 900°C (Hernández, 2001).

#### h) Bombeos de fangos recirculados y en exceso

Se recomienda que la altura de caída entre el vertedero y el nivel del agua en el canal no sea superior a 10 cm, con el objetivo de disminuir la turbulencia y minimizar la liberación de gases.

## **Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales**

En los casos extremos donde la depuradora se ubica muy próxima de las residencias, se recomienda la cobertura del canal de desagüe que rodea el decantador, e instalación de sistema de evacuación y tratamiento del aire retirado. Esta medida permite el confinamiento de los gases y la liberación para la atmósfera del aire después de la remoción de los compuestos olorosos.

Para eliminar el aire llevado por el agua debe colocarse una barrera divisoria en las proximidades del canal de entrada que permita el paso del agua sólo en la parte sumergida a una determinada profundidad.

El recirculado debe ser tranquilizado después de una entrada del colector en cascada (muro de contención), se debe eliminar el aire contenido (tabique sumergido), y debe ser distribuido hacia las bombas de forma uniforme y equitativa.

Debe garantizarse el flujo en continuo evitando puntos muertos en los depósitos.

Por lo general, la turbulencia alrededor del tubo de la bomba se produce a causa de una distribución asimétrica de la velocidad en el flujo de aproximación. Es preciso hallar la forma de mejorar esta simetría. La subdivisión del flujo de entrada mediante paredes divisorias, y la introducción de paredes de orientación, deflectores o de resistencia al flujo son algunas de las opciones para lograrlo. En forma alternativa, una reducción de la velocidad de flujo, por ejemplo, mediante el incremento de la profundidad de agua en el pozo, puede ayudar a minimizar los efectos negativos de la aproximación asimétrica.

El edificio de bombas deberá emplazarse fuera de la zona de avenidas extraordinarias o debidamente protegidos.

En la entrada de la cámara de toma se dispondrá, una rejilla que retenga las impurezas gruesas.

El edificio destinado a proteger las bombas, deberá ser de fácil acceso, bien iluminado, bien aireado y con espacio suficiente de modo que se pueda circular libremente alrededor de los grupos, para su limpieza y reparación.

Es interesante que en el canal de descarga se disponga un aliviadero de seguridad que permita el aliviado al canal de descarga de las bombas de by pass hacia la arqueta de tamizado del by pass general por si fallara el desbaste.

i) Línea de gas

Para los casos en que el gas del digestor está bastante húmedo, en su recorrido, desde el tanque caliente hasta zonas de temperatura más bajas, e agua se condensa, el agua debe ser purgada en los puntos bajos del sistema, a través de purgadores condensado.

En condiciones normales, el CO<sub>2</sub> debe estar entre el 25 y el 35% del gas producido y el pH debe ser superior a 7,0.

Debe mantenerse las aspiraciones de aire y gases en los edificios y elementos en depresión se conducen a tratamiento.

Una tubería entre el tanque de almacenaje de gas y el digestor, protegerá a éste de las pérdidas del cierre de agua, si el paso no está cortado. Cuando se introducen líquidos en el digestor, el gas puede salir por la tubería hacia el tanque de almacenaje y cuando se extraen del digestor, el agua puede volver al tanque, a través de la misma conducción.

## **2.5. Técnicas de control, minimización y tratamiento de olores**

### **2.5.1. Medidas de minimización de olores en la red de alcantarillado**

a) Inyección de aire y de oxígeno

La producción de olores puede ser prevenida si la concentración de oxígeno disuelto es mantenida entre 0,5 hasta 1,0 mg/l (U.S. EPA, 1985). El oxígeno también puede oxidar los compuestos que provocan olores, sin embargo es muy difícil mantener naturalmente las concentraciones de oxígeno, entonces técnicas de inyección de oxígeno deben ser utilizadas. El aire puede ser inyectado por el método directo o por aspiradores venturi, para la condición de inyección forzada y por aireadores U-TUBE o presurización lateral para la condición de inyección por gravedad.

La adición de oxígeno puro es más ventajosa que la adición de aire, pues el oxígeno es 5 veces más soluble en agua. El oxígeno puro puede ser inyectado por los mismos métodos señalados anteriormente para la adición de aire.

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

### b) Oxidación química

Es uno de los métodos más comúnmente utilizados para llevar a cabo el control de olores. Los principales productos químicos utilizados son: oxígeno puro, nitrato, peróxido de hidrogeno, cloro, permanganato de potasio y sales metálicas (precipitación química), etc. La adición de nitrato para el control de olores y producción de  $H_2S$  se debe al hecho de que las bacterias reductoras de sulfato, prefieren el nitrato, si está presente, al sulfato como fuente de oxígeno.

La baja reactividad y peligrosidad del nitrato además de su capacidad de reducir la concentración de sulfuro hasta cero, son sus ventajas principales. La principal ventaja de la aplicación de sales de hierro es control no solamente del olor más también de la corrosión.

El control de sulfuros con sales de hierro está limitado a concentraciones entre 0,05 hasta 0,1 mg/l, debido a la solubilidad del sulfuro de hierro. En puntos de vertido con pH inferiores a 6,5 en condiciones anaerobias puede existir disociación de sales de hierro y consecuente liberación de sulfuros en la masa líquida.

### c) Ajuste de pH

El ajuste de pH puede ser realizado manteniendo el  $H_2S$  en solución que previene la liberación del gas  $H_2S$  cambiando el equilibrio del sulfuro por el hidrosulfuro, y disolviendo compuestos sulfurosos a través de la adición de hidróxido de magnesio, o adicionando sustancias causticas que impiden la reducción de sulfato a sulfuro.

### d) Control biológico

El control biológico puede ser realizado con el cambio del metabolismo por un producto que contiene anthraquinone, este producto inhibe la reducción del sulfato a sulfuro (solamente es inhibido la reducción del sulfuro) o por la adicción de bacterias que compiten con las que hay en las redes y que a su vez no generan sulfuros.

## 2.5.2. Contención de olores

Esta técnica consta en la Instalación de cubiertas, conducciones de aspiración, y equipos de manejo de aire para contener y conducir los gases olorosos a sistema de evacuación o de tratamiento.

### 2.5.3. Tipos de tratamiento de olores

Las depuradoras, en concreto, suelen disponer de sistemas de captación que permiten aspirar el aire contenido en las naves y en distintas zonas de trabajo localizadas, con objeto de conducirlo hasta la instalación de tratamiento. Los sistemas se pueden adaptar para tratar dos corrientes de aire diferenciadas: una más contaminada, procedente de las zonas con una mayor emisión de olor (línea de fangos, fase de descomposición del proceso de compostaje, aspiraciones locales, etc.) y otra menos contaminada, procedente de la renovación general de las naves.

El tratamiento de olores puede ser realizado a través de procesos de tratamiento químico o biológico a depender de las necesidades y ubicación de la fuente generadora de olor. El tratamiento puede ser en la depuradora o en la red alcantarillado. A continuación se indican las técnicas para la eliminación de olores.

- a) Torres de lavado de gases (*Scrubbers*): Los gases malolientes se pueden hacer pasar a través de torres de lavado especialmente diseñadas para eliminar olores. Generalmente se añade algún agente químico o biológico. Este sistema puede ser de múltiple nivel con diversas torres en serie cada una con la función de remover uno tipo de olor.
- b) Torres de Adsorción: Una desodorización eficiente puede ser obtenida haciendo pasar el aire contaminado por un medio adsorbente impregnado con compuestos químicos responsables por la oxidación o inactivación de las sustancias odoríferas. Carbón activado es el principal medio adsorbente utilizado debido su alta eficiencia y relativo bajo costo. La eficiencia de este proceso depende del mantenimiento del aire libre de humedad y polvo y de cambio regular del medio adsorbente.
- c) Filtros percoladores o tanques de aeración de fangos activos: Los gases malolientes pueden hacerse pasar a través de biofiltros o inyectarse en los tanques de aeración de fangos activados para eliminar los compuestos. El funcionamiento de esta técnica exige un medio de contacto para el crecimiento de la biomasa bacteriana y suficiente abastecimiento de aire. El sistema es de fácil mantenimiento, siendo indicado para tratamiento de bajos caudales de aire contaminado. La biofiltración se ha implementado en la mayor parte de las plantas europeas de tratamiento de residuos y se presenta como una alternativa simple, económica y eficaz a la hora de reducir las emisiones olorosas derivadas de estos tipos de procesos.

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

d) Combustión: Los gases pueden ser eliminarse por oxidación térmica por temperaturas superiores a 800 grados centígrados. Las unidades tienen una eficiencia alta (del orden de 99%) Común en industrias o depuradoras que poseen incineradores. El alto costo inviabiliza su utilización solamente para tratamiento de olores.

En la tabla abajo, están presentadas las etapas de tratamiento de las aguas residuales con sus posibles técnicas de control y tratamiento de olores.

<b>Etapas de Tratamiento</b>	<b>Técnicas correctivas artificiales</b>
Rejillas de desbaste	Cubrimiento
	Torres de Adsorción
	Filtros percoladores o tanques de aeración *
	Torres de lavado de gases (Scrubbers)
Desarenado	Adición de productos químicos
	Cubrimiento
Decantador	Filtros percoladores o tanques de aeración *
Reactor Biológico	Garantizar la aeración
Desinfección	Cubrimiento
Bombas de lodos recirculados y en exceso (Canal de recorrida)	Cubrimiento
	Torres de Adsorción
	Filtros percoladores o tanques de aeración *
	Torres de lavado de gases (Scrubbers)
Espesamiento, Digestión, Deshidratación y secado de fangos	Cubrimiento
	Torres de Adsorción
	Filtros percoladores o tanques de aeración *
	Torres de lavado de gases (Scrubbers)
	Adición de productos químicos

Tabla 14: Técnicas correctivas artificiales de olores posibles de utilización en cada una de las etapas de tratamiento de aguas residuales.

Las estrategias de control de olores deben orientarse a la prevención de las emisiones de olor en el punto de generación, pero cuando ello no resulte viable, habrá que minimizar la tasa de generación de olor y considerar tecnologías finalistas de control adecuadas en función de la naturaleza y del tipo de fuente de emisión.

El método específico a emplear variará en función de las condiciones particulares de cada caso. Sin embargo, dado que las medidas de control de olores tienden a ser caras, en todos los casos deberá evaluar el coste de los cambios en los procesos o de las modificaciones en las instalaciones para eliminar el desarrollo de olores, y llevar a cabo una comparación con el coste de la implantación de las diversas medidas alternativas de control de olores antes de adoptarlas.

## 2.6. Métodos de determinación de olores

La percepción sensorial de los olores puede ser caracterizada por cuatro atributos o dimensiones:

- Concentración del olor: La medición es hecha por proporción de dilución e informada por un umbral de detección.
- Intensidad del olor: Informada la equivalencia en partes por millón de butanol utilizando una escala decreciente de concentración de butanol
- Persistencia del olor: Presentada en respuesta a una dosis dada, relación entre la concentración del olor y la intensidad del olor.
- Características del olor: A lo que el olor se asemeja de acordó con una escala de categorías.

La valoración de estas dimensiones puede dar información valiosa de la magnitud de la molestia de los olores generados.

### a) Olfatometría

La base técnica para la medida cuantitativa de olor por la olfatometría se materializa por medio del estudio olfatómico, el cual proporciona datos sobre la concentración, la intensidad del olor y la sensación que produce en la población. La olfatometría es un método que después de un largo período experimental está reconocido científicamente y que ya es oficial en algunos países.

Esta técnica ha tenido que afrontar numerosas dificultades dado que la sensación olfativa que resulta de la interacción de determinadas moléculas odoríferas con la mucosa varía no sólo de un individuo a otro, sino para un mismo individuo en función de su propio estado fisiológico y de las condiciones de olfateo.

El objetivo de la olfatometría es la medida de la concentración de olor utilizando una técnica sensorial. Se lleva a cabo mediante la utilización de un panel de expertos que constituyen el elemento sensor y de un aparato denominado olfatómetro cuya parte esencial es el dilutor.

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

Estas medidas se efectúan por medio de personas especializadas, catalogadas y calibradas, que constituyen lo que se denomina un panel de expertos y se llevan a cabo en un aparato que recibe el nombre de olfatómetro y cuya parte esencial es un dilutor de gases que suministra mezclas de la atmósfera problema y de gas neutro en una amplia gama de proporciones (dinámica del dilutor). El número de veces que la corriente de atmósfera va diluida en el gas neutro recibe el nombre de factor de dilución. Así, una atmósfera problema diluida al uno por mil tendrá un factor de dilución de 1.000.

Al panel de expertos se le presenta alternativamente a través de dos boquillas: por una, aire neutro; por otra la atmósfera problema procedente del dilutor en proporciones crecientes. Cuando el 50% de los panelistas percibe olor de la corriente de la atmósfera problema diluida se dice que se ha alcanzado el *umbral de detección* ( $D_{50}$ ) y se determina el factor de dilución correspondiente ( $Z_{50}$ ). La concentración de olor en el umbral de detección es, por definición, la unidad de concentración de olor,  $1 \text{ UO}_E / \text{m}^3$ .

Cualquier otra sustancia cuyo olor sea perceptible habrá alcanzado, necesariamente, su umbral de identificación al que también corresponderá un factor de dilución que será múltiplo del de la unidad. El umbral de detección puede determinarse tanto para olores simples como para olores compuestos.

Se asume que el panel de expertos constituye una muestra representativa de la población estándar.

La desventaja de este método es que no es específico, y consecuentemente no identifica las especies químicas causantes del olor.



*Figura 4: Olfatometría Dinámica con asesores humanos, para medir la concentración del olor según EN13725. Foto por cortesía de Odournet UK Ltd.*

#### b) Métodos físicos-químicos

La ventaja de las técnicas físicas-químicas es que son relativamente fáciles de realizar, y que identifican cuantitativamente las especies químicas presentes en un olor. La desventaja de la técnica es que no provee información alguna de la molestia que puede generar un olor, en términos de percepción humana.

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

- Cromatografía de gases

El Cromatógrafo de gases acoplado con un detector de masas (CG/MS), se considera generalmente como un dispositivo de laboratorio, de ahí su limitado uso para análisis en campo. Aun así, existen algunas unidades portátiles para medidas en campo.

El CG/MS puede ser usado tanto para identificar como para medir la concentración de un gas.

Según Gutiérrez y Droguet (2002) la cromatografía de gases combinada con la espectrometría de masas es una herramienta potente para separar, identificar y cuantificar los componentes causantes de mal olor.

Por el anterior, la combinación de la cromatografía de gases con la espectrofotometría de masa es la técnica más utilizada para la identificación y cuantificación en emisiones en las depuradoras.

Muestras de aire muy pequeñas se inyectan en una corriente de gas portador (nitrógeno o helio) que pasa a través de la columna de GC/MS. La columna adsorbe y desorbe los compuestos químicos en el aire a diferentes velocidades para separarlos. Después de la separación, el gas portador junto con los compuestos químicos separados pasa por el detector. La señal de salida del detector identifica el compuesto químico y la concentración de este en la muestra.

- Detectores de ionización de llama y fotoionización

Son normalmente utilizados para medir la cantidad de compuestos orgánicos volátiles. Son típicamente utilizados como un aparato de rastreo para determinar áreas de muestreo o para proporcionar informaciones de concentraciones para un análisis más refinado. Los detectores de ionización de llama son más sensibles a los hidrocarburos y poseen menos interferencia del vapor de agua en relación a los detectores de fotoionización. Estos equipos pueden ser utilizados para identificar compuestos con considerable cantidades. Sin embargo cuando no se conoce la fuente del compuesto, este equipo no presenta una buena caracterización.

- Colorimétrico

Los métodos colorimétricos identifican de una manera más o menos cuantitativa la presencia de un gas. Es posible usar Parches o Tubos colorimétricos.

- Parches

Los parches son piezas de cartón de un solo uso recubiertas con un plástico cubierto con un compuesto químico que cambia de color cuando se expone a un gas que se va a medir. Tanto la cantidad de tiempo de exposición como la intensidad de cambio de color son importantes. Los Parches dan un valor medio e integrado pero no muy preciso.

Asimismo, pueden colgarse en cualquier sitio, llevarse en la ropa de los trabajadores o combinarse con pequeños ventiladores para diferentes aplicaciones.

- Tubos colorimétricos

Se encuentran disponibles diferentes tipos de tubos colorimétricos para medir un amplio rango de gases. Los tubos colorimétricos son tubos de vidrio con ambos extremos cerrados. Para realizar una lectura con un tubo colorimétrico, se rompen las puntas de ambos extremos y el tubo se acopla en una bomba de mano. La bomba hace pasar a través del tubo un volumen de gas oloroso conocido. El medio reacciona en el tubo y cambia de color según el tipo de gas que haya en la muestra. Para medir la cantidad de medio que reacciona con el gas se usa una escala, la cual indica la concentración del gas detectado.

Los tubos colorimétricos incorporan escalas limitadas y la precisión es alrededor de un 10% de la escala completa de lectura del tubo. Los tubos colorimétricos ofrecen lecturas casi instantáneas.

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

- Sensores piezoeléctricos (narices electrónicas)

Recientes avances en la tecnología de los olores han llevado a la aparición de las narices electrónicas, unos dispositivos en los cuales una serie de sensores responden a diferentes componentes de una muestra de olor y se obtiene lo que se llama la “huella del olor”.

Una nariz electrónica es un dispositivo equipado con uno o varios sensores (Fígaro, Capteur Sensors, etc.) de óxido de metal u otros y provisto de un software para reconocer la secuencia de las señales de los sensores.

El principio de funcionamiento es relativamente simple, la serie de sensores se usa para medir un gas específico o mezcla de gases, la respuesta de los sensores se compara con las señales de los sensores medidas antes y clasificadas usando técnicas de reconocimiento de patrones. Con esta tecnología es posible una rápida identificación de los gases o medidas complejas sin la necesidad de pasar por un laboratorio.

Debido la naturaleza compleja de los olores y el hecho de que los componentes olorosos se encuentran en unas concentraciones de tan solo unos ppb hace que este tipo de sistemas no sirva para medidas puntuales de olor a no ser que se trate de casos muy concretos.

### 2.6.1. Métodos de muestreo de olores

#### a) Cámara de flux

Es un método directo de medición de contaminación del aire. Determina la emisión en:

- Agua superficial
- Sólidos o fangos
- Orificios abiertos
- Cobertura de vertederos

Todas las cámaras de flux deben ser conducidas por los documentos de la U.S. EPA (U.S. EPA, 1989).

b) Túnel aerodinámico de ensayos

Esto método es más utilizado en Europa y sur del pacifico. Es una simulación más eficiente que la cámara de flux, sin embargo los túneles aerodinámicos son grandes, voluminosos y no poseen la validación histórica de las cámaras de flux.

c) Open-Path Optical Transect

Es un método de indirecto que necesita de datos meteorológicos para predecir por modelos de dispersión las mediciones de contaminantes. El método más utilizado es el Fourier.

d) Muestreo en parcelas

Utiliza estaciones de muestreo localizadas corriente abajo del proceso. Muestras y datos atmosféricos son colectados. El método puede fallar debido a perturbaciones en el viento, concentraciones en la corriente arriba o problemas de detección de límites.

e) Supervisión de divisas

Es similar al muestreo en parcelas, pero en distancias lejas y utiliza muestras elevadas.

f) Supervisión del ambiente

Es típicamente utilizado para verificar los resultados obtenidos por otros métodos.

En el caso de colecta del aire, puede ser utilizado bolsos de Tendlar o Telflón o recipiente metálico hermético.

Para las colectas por absorción, se utiliza bombas de calibración y transferencia de reactivos para el impactor.

La coleta de aire es preferible a la absorción, sin embargo algunos compuestos solamente pueden ser evaluados cogidos desde sólidos.

Los métodos de muestreo y de análisis generalmente utilizados para emisiones en depuradoras son presentados en la tabla 15.

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

Grupo	Método de Muestreo	Método Analítico
Sulfuro de Hidrogeno	Aparato de Campo	Jerome 631-X
H <sub>2</sub> S y sulfuros orgánicos reducidos	Bolso de Tedlar	ASTM D5504/Metodo EPA 16/TO-14
Amonio	absorción/impactador	NIOSH 6016/SCAQMD 207.1
COV Tóxicos	recipiente metálico	TO-15
COV Totales	recipiente metálico	TO-12
Aldehídos, Cetonas	absorción/impactador	TO-11
Aminas	absorción/impactador	HPLC-CGMS
Ácidos Orgánicos	Impactor	HPLC-UV
Siloxano	recipiente metálico	TO-15
Dioxinas y Furanos	absorción/impactador	
Hexafluoro de azufre	Cualquier contenedor	CG

Tabla 15: métodos de muestreo y de análisis generalmente utilizados para emisiones en depuradoras

### 2.7. Electrocoagulación

La electrocoagulación-electroflotación combina el efecto de la coagulación y de la flotación utilizando como motor de estos fenómenos la corriente eléctrica.

El dispositivo convencional mínimo consta de una cuba en la que se sumergen los electrodos, normalmente placas rectangulares, donde los cátodos se alternan con los ánodos enfrentando sus superficies. Los ánodos han de ser de un material capaz de solubilizarse ante la aplicación de una diferencia de potencial: Fe, Al o incluso Cu. En el caso de utilizar ánodos inertes ya no hablaríamos de electrocoagulación, por la ausencia de generación de coagulante, sino de electroflotación. La electroflotación tiene lugar como consecuencia de la electrólisis del agua, tanto en el seno de los cátodos, donde se reduce produciendo H<sub>2</sub> gaseoso, como en el de los ánodos, donde se oxida produciendo O<sub>2</sub> (en menor medida).

Estos gases adquieren forma de microburbujas y adhieren las partículas del efluente compactándolas en la zona superior de la cuba.

Cuando el equipo funciona en modo continuo se crea un flujo de efluente ascendente. Esta corriente facilita el rebose de los lodos flotados. La separación de los mismos del efluente tratado depende en buena medida del diseño del sistema.

Los fenómenos físico-químicos que se producen en una cámara de electrocoagulación son múltiples y están enlazados entre sí. Estos procesos son: electroquímicos, coagulación-floculación y flotación. A continuación se detalla el fundamento de cada uno de ellos.

a) Procesos electroquímicos

La aplicación de un potencial eléctrico da lugar a las reacciones de oxidación y reducción sobre las superficies de los ánodos y cátodos, respectivamente.

- Reacciones en los ánodos

- Solubilización de los ánodos

Cuando los ánodos están constituidos por metales tales como Al o Fe se produce la disolución de los mismos en forma de cationes. Los electrones liberados circulan por el conductor metálico hacia el cátodo donde esperan a ser incorporados a otras especies cercanas a la superficie del mismo. Esta reacción puede representar hasta un 90 % de la corriente total circulante.

El otro 10 % corresponde a la producción de especies cloradas,  $O_2$  procedente de la electrolisis del agua y a la oxidación electroquímica de los propios contaminantes del efluente.

Los cationes liberados ejercen su función como coagulante, interaccionando directamente con las propias condiciones del medio y con los contaminantes presentes en el mismo.

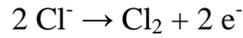
El mecanismo del proceso de coagulación presenta algunas diferencias respecto al que tiene lugar cuando se trata de la adición de sales. Con la presencia de un campo eléctrico, la acidez extrema sobre la interfaz ánodo-efluente, la hidráulica del sistema y la ausencia del contra-ión sulfato (presente mayoritariamente cuando se trata de coagulantes químicos) son las causas principales de estas diferencias.

- Oxidación de  $Cl^-$

En presencia de efluentes que contienen  $Cl^-$ , bien de forma natural o por adición controlada de sal, se pueden producir oxidaciones que dan lugar a especies cloradas:  $Cl_2$ ,  $ClOH$  y  $ClO^-$ , en orden decreciente de poder oxidante.

Las reacciones que dan lugar a estos productos se pueden resumir como sigue:

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

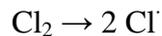


En el cátodo, como se verá posteriormente, se produce una alcalinización que favorece la reacción:



La presencia relativa de cada una de estas especies radica en el pH del medio en las cercanías de la superficie de los electrodos. A pH menor de 4 la especie mayoritaria es la forma diatómica,  $\text{Cl}_2$ ; en el intervalo pH 4-7, predomina la forma  $\text{HClO}$  y por encima de pH 7 será mayoritaria la forma  $\text{ClO}^-$ . Esto significa que en presencia de ánodos de aluminio el poder oxidante de las especies cloradas será algo mayor que en presencia de ánodos de Fe, debido al mayor descenso de pH que tiene lugar sobre la superficie de los mismos.

La importancia de la presencia de estos compuestos radica en su propia capacidad oxidante, lo que da lugar a un proceso añadido de tratamiento sobre las materias contaminantes del efluente. La otra cara de la moneda es la capacidad que tienen estos oxidantes para clorar los compuestos orgánicos pudiendo generarse así especies de mayor toxicidad que las iniciales. Ello ocurre si se producen radicales  $\text{Cl}^\cdot$  que se adicionan a las moléculas orgánicas del efluente.



### – Electrólisis del agua

Corresponde a la oxidación del  $\text{H}_2\text{O}$  cuando se sobrepasa la diferencia de potencial de rotura, cercano a 2,0 V. Esta oxidación da lugar a una generación de  $\text{O}_2$  gas en forma de microburbujas, el cual presenta dos efectos:

- Por un lado es un oxidante capaz de atacar a los contaminantes.

- Por otro, participa en los fenómenos de flotación, mediante los cuales las partículas contaminantes y el hidróxido de Al o Fe se adsorben sobre la superficie de las microburbujas y son arrastradas a la superficie en una trayectoria ascendente.

– Oxidaciones directas de las especies contaminantes

Este mecanismo ha de ser predominante cuando se trabaja con electrodos insolubles (Ti/Pt, Ti/PbO<sub>2</sub>, Ti/IrO<sub>2</sub>), debido a que el paso de corriente no se desvía al proceso de disolución de ánodos.

En cualquier caso es un mecanismo también confirmado con ánodos de Al y Fe en el tratamiento de efluentes que contienen lignina.

El mecanismo de reacción se puede resumir en tres etapas (Huerga, 2005):

- Descarga anódica de H<sub>2</sub>O con formación de radicales hidroxilo adsorbidos sobre la superficie metálica (M):



- Oxidación del producto orgánico:



- Reacción colateral:

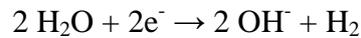


Del conjunto de las tres etapas se desprenden consecuencias colaterales que ya conocíamos, como son la formación de O<sub>2</sub> y la acidificación de la disolución en el entorno del ánodo.

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

- Reacciones en los cátodos

Los electrones que llegan desde los ánodos son donados a especies que están en la disolución. Si en el medio existen metales disueltos y el potencial es adecuado se puede producir la deposición de los mismos sobre los cátodos. De lo contrario, será la reducción del agua la que mantendrá el circuito eléctrico cerrado. En este caso se produce la generación de H<sub>2</sub> gas en forma de microburbujas, responsables, junto con el O<sub>2</sub> procedente de los ánodos, de la flotación de las sustancias coloidales y sólidas. La reacción que tiene lugar es:



Esta rotura del agua da lugar a una alcalinización del medio en las cercanías de la superficie del cátodo, lo que acentúa el gradiente de pH entre dos placas ánodo-cátodo.

El H<sub>2</sub> generado puede actuar como agente reductor sobre algunos grupos funcionales dados a la hidrogenación, como dobles enlaces C=C y N=N presentes en moléculas comunes en productos industriales. La superficie del propio cátodo (de Fe, por ejemplo) puede actuar como catalizador.

### b) Proceso de coagulación-floculación

La disolución de los ánodos da lugar, como se ha comentado con anterioridad, a la formación de Al o Fe soluble capaz de actuar como coagulante. Sin embargo el mecanismo que sigue el coagulante en su proceso presenta algunas diferencias respecto a la coagulación-floculación convencional.

En esencia, la gran diferencia de los óxidos-hidróxidos formados mediante electrocoagulación frente a los formados por coagulación química es el grado de cristalinidad más bajo de los primeros. Esta característica confiere una mayor capacidad de adsorción sobre los contaminantes a eliminar.

En el caso de los ánodos de Fe, se produce la disolución a  $Fe^{2+}$ . En este estado de oxidación el Fe sigue varias vías:

- Oxidación directa con sustancias presentes en el efluente para formar complejos solubles o insolubles.
- Oxidación con el  $O_2$  o  $Cl_2$  liberado simultáneamente en el ánodo.
- Hidrólisis a  $Fe(OH)_2$  y posterior oxidación a  $Fe(OH)_3$ .

En realidad, el proceso no es tan secuencial, lo que da lugar a productos que son una mezcla de hidróxidos de Fe (II) y Fe (III) y sus oxihidratos, cuya composición se parece a la hidromagnetita.

En el caso de los ánodos de Al la situación es similar, con el añadido de que la valencia del Al al abandonar el ánodo es inferior a 3, con valores en el rango 1,7-2,0. Este hecho condiciona enormemente las propiedades cristal químicas y composición de los óxido-hidróxidos.

En disoluciones acuosas de  $Al^{3+}$  a pH 5 se produce la hidrólisis del aluminio que da lugar a especies intermedias:  $Al(OH)^{2+}$  y  $Al(OH)_2^+$  (especies  $Al_1$ ),  $Al_2(OH)_2^{4+}$  (especie  $Al_2$ ),  $Al_{13}(OH)_{32}^{7+}$  (especie  $Al_{13}$ ) y complejos hidroxilo con propiedades de partículas coloidales ( $Al_c$ ). Cuando la disolución es de sulfato de aluminio la especie  $Al_{13}$  está prácticamente ausente de la disolución.

A concentraciones bajas de sulfatos la especie  $Al_{13}$  comprende el 75 %, (responsable de la elevada capacidad de adsorción), las especies  $Al_1$  y  $Al_2$  cerca del 20 % y la especie  $Al_c$  comprende el resto. Aumentos en la concentración de Al dan lugar a aumentos en la proporción de  $Al_c$  y descensos en la proporción de  $Al_{13}$ , manteniéndose en un nivel constante la proporción de  $Al_1+Al_2$ .

En el seno de la interfaz acuosa entre ánodo y cátodo se establecen dos gradientes de pH, uno horizontal, a lo largo de la distancia entre ánodo y cátodo, y otro vertical, en el sentido de la corriente hidráulica. El primero tiene lugar como consecuencia de las reacciones de oxidación del agua y de la propia hidrólisis del catión liberado que se dan sobre la superficie de los electrodos, produciéndose una acidificación importante sobre ánodos con valores de pH de 0-2,5 cuando se trata de Al y 3,5-4,1 con ánodos de Fe.

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

En los cátodos tiene lugar la reducción del agua, lo que supone un pH alcalino sobre la superficie. El otro gradiente se establece como consecuencia del exceso de iones  $Al^{3+}$  y  $Al_1$  o  $Fe$  (II/III), que se produce conforme asciende el efluente. En este sentido se va llevando a cabo una continuación de la hidrólisis (con un descenso gradual del pH del seno de la disolución conforme se asciende), con la formación de los complejos óxidos-hidróxidos finales tipo  $Al_{13}$  de estructura desordenada y con gran capacidad de adsorción.

Además, durante la formación de estos complejos más avanzados se pueden obtener complejos insolubles con las sustancias contaminantes (caso de ácidos fúlvicos, proteínas (puede contener S), ligninas, sustancias húmicas, grasas, etc.).

El pH del efluente a tratar influye notablemente en todo el proceso comentado. Por ello hay que tener en cuenta un rango de entrada óptimo, que para el caso de los ánodos de aluminio está entre 5 y 8,5 y para el hierro está por encima de 5. El caso del aluminio es más restrictivo debido a la solubilización de los óxidos-hidróxidos que se produce en medios alcalinos, lo que originaría el vertido del metal.

### c) Proceso de flotación

La generación de  $O_2$  pero principalmente la de  $H_2$  (con ánodos solubles) conduce a la formación de finas burbujas, en un rango de 5-200  $\mu m$  de diámetro, con un valor medio de 50  $\mu m$ , e inferior a las obtenidas en flotación por aire disuelto, en torno a 287  $\mu m$  (Matis K A y Backhurst J R, 1984).

Estas burbujas de gran superficie efectiva atrapan con mayor eficiencia las partículas coloidales o sólidas transportándolas hacia la superficie de la cuba y permitiendo la posterior separación del efluente clarificado.

La concentración de estas burbujas vendrá determinada por la intensidad de corriente aplicada, lo cual afectará a la eficiencia del mecanismo.

Conocidos los procesos que tienen lugar en un reactor de electrocoagulación a continuación se comentan las variables que afectan a su rendimiento. En la descripción siguiente se distinguen dos tipos de variables: las de diseño y las de funcionamiento. Las primeras son prácticamente invariables, ya que conforman la estructura y forma del equipo.

Por contra las segundas sí que pueden ser manipuladas a voluntad y optimizadas en función de la naturaleza del efluente.

- Variables de diseño

- Volumen de la cuba de reacción

Este parámetro determina la capacidad volumétrica de tratamiento del sistema.

- Tipo de electrodos

Se puede trabajar con electrodos solubles o insolubles. Los equipos ya vienen diseñados para trabajar con uno de estos tipos. Los solubles suelen ser de Al, Fe, acero, a veces de Cu e incluso de Ag, este último para funciones antisépticas (Huerga, 2005).

Entre los electrodos inertes están los de Ti, Ir, Pb, o grafito.

Recordemos que la diferencia entre el uso de electrodos solubles e insolubles radica en la presencia o ausencia de fenómenos de coagulación.

- Forma y dimensiones de los electrodos

Las formas varían entre las placas planas rectangulares, placas cilíndricas o mallas. La superficie eficaz de los electrodos es aquella que mirando al total de los ánodos enfrenta una superficie equivalente sobre los cátodos.

A mayor superficie repartida sobre el volumen del reactor menor será la resistencia eléctrica que opone este elemento al circuito eléctrico, disminuyendo el consumo eléctrico del tratamiento. Esta superficie ha de ser distribuida en dos dimensiones. La altura de los electrodos debe cubrir convenientemente los fenómenos de flotación que se producen, de modo que al aumentar la altura se producen mejoras en los rendimientos de flotación.

El espesor de los electrodos, en el caso de electrodos solubles, determina la duración de los mismos antes de su recambio.

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

### – Distancia entre los electrodos

Normalmente, cuando se trata de un sistema de electrodos de placas o cilíndrico se establecen distancias en el rango 10-30 mm (EPA, 1998). Para un volumen dado de reactor este factor se traduce en la posibilidad de trabajar con una mayor o menor superficie eficaz.

### – Hidráulica del sistema y separación de lodos

En este sentido los equipos disponibles difieren enormemente unos de otros. Algunos sistemas crean una corriente en laberinto, lo cual facilita la mezcla y minimiza los volúmenes muertos, pero no se produce una separación inicial de efluente y lodos que aproveche el fenómeno de flotación.

Otros inyectan el efluente desde arriba y extraen el clarificado por abajo, los lodos gasificados que tienden a ascender se recogen por arriba y los que consiguen sedimentar por abajo.

Algunos diseños alimentan desde abajo, lugar donde se produce la electrocoagulación; allí las burbujas siguen una tendencia ascendente, lo que provoca el arrastre de lodos que son recogidos en una cuba; mientras tanto el clarificado se sale de esa tendencia ascendente vertical y rebosa a un lado. Por último existen diseños en electroflotación de alimentación superior y recogida del clarificado inferior. La disposición prácticamente horizontal de los electrodos permite una flotación eficaz que lleva los lodos a la superficie de donde son arrastrados fuera de la cuba.

### – Cámara de desgasificación

En algunos diseños se opta por colocar a la salida de la mezcla efluente/lodos una cuba de reposo. Allí no sólo termina el proceso de formación de los complejos contaminante-coagulante, sino que se reduce la concentración del coagulante solubilizado en el posterior clarificado (EPA, 1998).

• Variables de funcionamiento

– Intensidad o densidad de carga (A o A/m<sup>2</sup>)

Este parámetro determina la dosis de coagulante aplicada sobre un volumen dado de efluente, en el caso de los ánodos solubles, y la capacidad de flotación del sistema, siendo mayor, normalmente, conforme mayor es la intensidad. Al mismo tiempo determina, junto con la salinidad del efluente, el consumo eléctrico de la celda y el nivel de producción de lodos.

La densidad de carga aplicada oscila en gran medida en función del diseño del equipo y de las características del efluente a tratar; generalmente se trabaja en el rango 30-600 A/m<sup>2</sup> (tabla 16).

Tipo de efluente	I (A/m <sup>2</sup> )	Observaciones	Referencia
Efluentes con lignina	50-600	Uso de Al y Fe como ánodos. Modo continuo. Cámara de maduración	Kovalenco, Y A y cols., 1987
Taladrinas	40	Dosis ánodo: 400 g/m <sup>3</sup> . Modo continuo Coste energético: 7,8 kWh/m <sup>3</sup>	Gladkii A I y cols., 1991
Aguas de tratamiento de superficies metálicas	66	Modo continuo	Pozhidaeva L G y cols., 1989
Lixiviado de vertedero	100-750	Ánodos de Al o Fe y cátodos de Cu	Tsai C T y cols., 1997.
Efluentes con detergentes	100	Ánodos de Al o Fe. Adición de CaCl <sub>2</sub>	Novikova s P y cols., 1982

Tabla 16: Relación de ejemplos prácticos donde se refleja la densidad de carga aplicada en función de la naturaleza del efluente a tratar. (Huerga, 2005)

– Caudal o tiempo de retención

El caudal de alimentación establece el tiempo de contacto del efluente con los electrodos y con todos los fenómenos que allí tienen lugar: reacciones electroquímicas, dosis de coagulante, flotación, etc. Junto con la intensidad y el voltaje es la variable que más determina la capacidad de tratamiento de esta tecnología.

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

### – Salinidad o conductividad del efluente

Un aumento de conductividad mediante la adición de sal reduce notablemente el consumo energético del proceso. El coste de este reactivo es bajo, incluso se puede hacer uso de agua de mar. Además, con la adición de NaCl se obtienen especies oxidantes que pueden ayudar a mejorar la eficacia del proceso.

Por contra, este mismo fenómeno ralentiza un tanto la cinética de depuración, por la lógica competencia de reacciones que tienen lugar en el ánodo. En cualquier caso esta sal es la que mejores resultados suele dar, más incluso que otras sales más estables como Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

### – Temperatura del efluente alimentado

La efectividad del tratamiento aumenta con las altas temperaturas, incluso hasta 60 °C (EPA, 1998). Sin embargo, a veces calentar el efluente hasta estos valores puede crear un sobre coste que no compense la mejor eficiencia obtenida.

La electrocoagulación/electroflotación, aunque de manera todavía minoritaria ha sido experimentada y aplicada en multitud de tipologías de efluentes. A continuación se enumeran algunas de estas aplicaciones:

- Defluorización del agua. En esta aplicación se ha utilizado tanto la electrocoagulación con corriente alterna como con corriente continua (Matveevich V y cols., 1984; Drondina R V y Drako I V, 1993; Mameri N y cols., 1998). En el segundo caso el aluminio solubilizado convertido en hidróxido presenta una gran capacidad de adsorción del ion fluoruro.
- Emulsiones agua-aceite o taladrinas agotadas (Ogutveren, U B y Koparal S, 1997).
- Efluentes urbanos (Pouet M F y Grasmick A, 1995).
- Efluentes que contienen tintes (Ogutveren, U B y cols., 1992; Linsheng Z y Dobias B, 1992).
- Aguas salobres (Sanfan W, 1991).
- Efluentes procedentes del tratamiento de superficies metálicas (Pozhidaeva E Y y cols., 1989).

- Efluentes con cromo. Por reducción del Cr (VI) a Cr (III) y eliminación en forma de hidróxido (Gorodovykh V E y cols. 1988; Zouboulis A I y Matis K A, 1989).
- Efluentes con plaguicidas (Maatta R y Tabakov D, 1987).
- Aguas con fenoles (Kharlamova T A y Gorokhova L T, 1982).
- Detergentes (Novikova S P y cols., 1982).
- Suspensiones de arcillas (caolinita y bentonita) (Szynkarczuk J y cols., 1994; Paul A B, 1996).
- Efluentes del sector curtidos (Ramírez E R y cols., 1978).
- Potabilización de aguas. Se suman los efectos de la coagulación y la desinfección por formación de ClO<sup>-</sup> en el ánodo a partir de los Cl<sup>-</sup> presentes en el efluente (Costaz P y cols., 1983; Vik E y cols., 1984).
- Efluentes de la industria del papel (Serdobol'skii E N y cols., 1976).
- Lixiviados de vertederos (Tsai C T y cols. 1997).

### **3. OBJETIVOS INICIALES**

Lo que se plantea a continuación tiene como fin fundamental investigar y dar respuestas a las diferentes inquietudes, sobre el tema de olores en depuradoras, no han sido resueltas, y que son indispensables para un adecuado control y eliminación de olores en depuradoras.

El objetivo general de esta investigación será la eliminación de olores utilizando sistemas de electrocoagulación, electrofloculación y electrolisis.

Se justifica este objetivo ya que la infraestructura es simple, de pequeño tamaño y acoplable en cualquier tipo de tratamiento.

Los objetivos parciales que se proponen después del análisis y de los estudios realizados, resumido en el apartado de las generalidades pueden concretarse en:

- 1. Clasificación de los productos olorosos**
- 2. Sistemas utilizados en la eliminación de olores**
- 3. Consideración de la normativa pertinente**
- 4. Eliminación de compuestos olorosos por solubilización de los ánodos**
- 5. Oxidación directa de los compuestos olorosos utilizando electrodos de hierro, aluminio, titanio y Dióxido de plomo (PbO<sub>2</sub>)**
- 6. Eliminación de compuestos olorosos por electroflotación**

#### 4. INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA

En la investigación bibliográfica se logró obtener una gran cantidad de información, para poder hacer la mejor clasificación, obtener información necesaria y deducir el estado de la técnica, y de esta forma llevar a buen puerto la investigación.

Durante el desarrollo de este capítulo, se resumen y comentan brevemente aquellos trabajos de investigaciones recientes, que han tratado sobre el tema de olores en depuradoras.

La Investigación bibliográfica va a ser fundamental como apoyo científico, accediendo a trabajos, que ya fueran desarrollados en relación con el tema, y experiencias de otros investigadores sobre la cuestión, artículos científicos y libros de los principales investigadores en los diversos temas.

He accedido a todas las bibliotecas de la Universidad Politécnica de Madrid (catalogo general, guía del usuario, catalogo de publicaciones periódicas, catalogo de tesis doctorales, base de datos, revistas electrónicas), a Catálogos colectivos españoles (REBIUN en línea), a el Centro de Estudios y Documentación Europeos (CEYDE), a el CSIC, a bibliotecas virtuales de otras entidades nacionales e internacionales, portales y comunidades académicas científicas, agentes de busca como Copernic agent y google.

En Brasil he consultado la biblioteca central Zila Mamede (UFRN), Biblioteca digital de tesis e investigaciones (BDTD), portales periódicos de la CAPES, bibliotecas virtuales temáticas (IBICT / Prossiga) acervo de la Universidad Federal do Rio Grande do Norte y de otras grandes bibliotecas, catálogos colectivos, revistas científicas y revistas científicas electrónicas y a otras como: los portales del MEC, CNPq, Bibvirt y Scielo.

Las palabras claves utilizadas han sido realizadas en español, inglés y portugués para obtener más resultados.

Las palabras claves utilizadas han sido resultados de la combinación, en diferente orden, de dos o más de las siguientes palabras (utilizadas en inglés, español y portugués): olores, depuradoras, tratamiento, normativa, generación, *odours*, *wastewater treatment plants*, *treatment*, *regulation*, *generation*, *odores*, *estações de tratamento de esgoto*, *legislação* y *geração*.

## **Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales**

### **4.1. Análisis de datos**

Debido a la gran cantidad de información fue necesario realizar un filtro y organización. Se ha comenzado una lectura rápida para comprender el desarrollo de la investigación y, así, poder realizar un filtro y eliminar los datos que no eran de interés. Se han analizado 272 documentos, y se han seleccionado 69 que aparecen en el anexo bibliográfico.

### **4.2. Resultados de la investigación bibliográfica**

#### **4.2.1. En referencia al objetivo inicial 1: Clasificación de los productos olorosos**

Los compuestos sulfurados son, en general, las sustancias dominantes asociadas a los malos olores generados en las depuradoras, siendo el  $H_2S$  el compuesto mayoritario. Sin embargo existen otros compuestos no sulfurados que también se asocian a olores biogénicos que incluyen: compuestos nitrogenados, ácidos grasos, alcoholes y cetonas (Stuetz et al, 2001).

Evaluando las investigaciones realizadas por la IWA (2001), la WEF (1979), el Consejo de recursos de los Estados Unidos (2002) y Freuze et al (2006) se ha desarrollado una clasificación de los compuestos olorosos, según su familia (clasificación a) y en compuestos orgánicos e inorgánicos (clasificación b). Los resultados se presentan en las tablas siguientes.

a) Clasificación según la familia

Familia	Compuestos	Fórmula	Características del olor	Umbral (ppb)
	Sulfuro de hidrógeno*	H <sub>2</sub> S	huevos podridos	0,5
	Metilmercaptano*	CH <sub>3</sub> SH	Putrefacto	1,1
	Mercaptano Alílico*	CH <sub>2</sub> =C-CH <sub>2</sub> -SH	ajo	0,05
	Mercaptano de Pentilo*	CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub> -SH	Putrefacto	0,3
	Mercaptano Bencílico*	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>2</sub> -SH	Desagradable	0,19
	Mercaptano de Crotyl*	CH <sub>3</sub> -CH=CH-CH <sub>2</sub> -SH	Mofeta	0,029
	Etilmercaptano*	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> -SH	Calabaza podrida	0,19
Sulfurados	Sulfuro de carbono***	CS <sub>2</sub>	Desagradable	7,8
	Oxysulfide de Carbono***	COS	acre	
	Mercaptano de Propilo*	CH <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -SH	Desagradable	0,075
	Sulfuro de dimetilo*	CH <sub>3</sub> -S-CH <sub>3</sub>	Vegetales podridos	0,1
	Disulfuro de dimetilo*	CH <sub>3</sub> -S-S-CH <sub>3</sub>	Putrefacto	1
	Dimetilsulfóxido*	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> OS	Desagradable	
	Trisulfuro de dimetilo***	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	Desagradable	
	terc-butil mercaptano*	(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> C-SH	Desagradable	0,08
	Tiofenol*	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> SH	Putrefacto	0,062
	Tiocresol*	CH <sub>3</sub> -C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> -SH	Secreción mofeta	0,062

Tabla 17: Compuestos Sulfurados olorosos en depuradoras

\*: (WEF, 1979)

\*\* : (IWA, 2001)

\*\*\* : (NRC, 2002)

Familia	Compuestos	Fórmula	Características del olor	Umbral (ppb)
Nitrogenados	Amoníaco**	NH <sub>3</sub>	Irritante, amoniacal	130-15300
	Metilamina**	CH <sub>3</sub> NH <sub>2</sub>	Pescado podrido	0,9-53
	Etilamina**	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> NH <sub>2</sub>	Amoniacal	2400
	Dimetilamina**	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> NH	Pescado	23-80
	Trimetilamina**	(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> N	Pescado	
	Piridinas**	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> N	Irritante, desagradable	3,7
	Aminometano***	(CH <sub>3</sub> )NH <sub>2</sub>	Pescado	
	Escalotes**	C <sub>9</sub> H <sub>9</sub> N	fecal, repulsivo	0,002-0,06
	Indoles**	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> NH	fecal, repulsivo	1,4

Tabla 18: Compuestos Nitrogenados olorosos en depuradoras

\*: (WEF, 1979)

\*\* : (IWA, 2001)

\*\*\* : (NRC, 2002)

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

Familia	Compuestos	Fórmula	Características del olor	Umbral (ppb)
Ácidos	Acético**	CH <sub>3</sub> COOH	Vinagre	0,16
	Butírico**	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> COOH	Rancio	0,09-20
	Propiónico***	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> COOH	Rancio	
	Valérico**	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> COOH	Sudor	1,8-2630
	Carbólico***	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH	Medicinal	
	Fórmico***	HCOOH		
	Isovalérico***	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CHCH <sub>2</sub> CO OH	Desagradable	

Tabla 19: Compuestos ácidos olorosos en depuradoras

\*: (WEF,1979)

\*\*.: (IWA,2001)

\*\*\*.: (NRC, 2002)

Familia	Compuestos	Fórmula	Características del olor	Umbral (ppb)
Aldehídos y Cetonas	Formaldehido**	HCHO	Sofocante	370
	Acetaldehido**	CH <sub>3</sub> CHO	Manzana	0,005-2
	Butiraldehido**	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CHO	Rancio	4,6
	Isobutiraldehido**	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CHCHO	Fruta	4,7-7
	Valeraldehyde**	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> CHO	Fruta	0,7-9
	Acetona**	CH <sub>3</sub> COCH <sub>3</sub>	Fruta dulce	4580
	2-Pentanona***	CH <sub>3</sub> COCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	Dulce	
	Butanona**	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> COCH <sub>3</sub>	Manzana verde	270

Tabla 20: Compuestos olorosos derivados de Aldehídos y cetonas en depuradoras

\*: (WEF,1979)

\*\*.: (IWA,2001)

\*\*\*.: (NRC, 2002)

Familia	Compuestos	Fórmula	Características del olor	Umbral(mg/m <sup>3</sup> )
Benceno	Benzothiozole***	CH <sub>6</sub> H <sub>4</sub> SCHN	Penetrante	0,442
	Estireno***	Anillo de Benceno w/CHCH <sub>2</sub>	Dulce	0,2021
	Xilenos***	CH <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> CH <sub>3</sub>	Dulce	0,349-174
	Toluileno***	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	Desagradable	140

Tabla 21: Compuestos olorosos derivados del Benceno en depuradoras

\*: (WEF,1979)

\*\*.: (IWA,2001)

\*\*\*.: (NRC, 2002)

Familia	Compuestos	Fórmula	Características del olor	Umbral (mg/m <sup>3</sup> )
Clorados	Cloroformo***	CHCl <sub>3</sub>		30
	Diclorometano***	CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	Desagradable	3
	Tetracloroetileno***	CCl <sub>2</sub> CCl <sub>2</sub>	Etérico	320
	Cloroaldimine****	R-CH=NCl		
	1,1,1-tricloroetano***	CCl <sub>3</sub> CH <sub>3</sub>	Dulce	2100

Tabla 22: Compuestos clorados olorosos en depuradoras

\*: (WEF, 1979)

\*\* : (IWA, 2001)

\*\*\*: (NRC, 2002)

\*\*\*\*: (Freuze et al, 2006)

b) Clasificación en orgánicos e inorgánicos

Familia	Compuestos	Fórmula	Características del olor	Umbral (ppb)
Orgánicos	Metilmercaptano*	CH <sub>3</sub> SH	Putrefacto	1,1
	Mercaptano Alílico*	CH <sub>2</sub> =C-CH <sub>2</sub> -SH	ajo	0,05
	Mercaptano de Pentilo*	CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub> -SH	Putrefacto	0,3
	Mercaptano Bencílico*	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>2</sub> -SH	Desagradable	0,19
	Mercaptano de Crotyl*	CH <sub>3</sub> -CH=CH-CH <sub>2</sub> -SH	Mofeta	0,029
	Etilmercaptano*	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> -SH	Calabaza podrida	0,19
	Mercaptano de Propilo*	CH <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -SH	Desagradable	0,075
	Sulfuro de dimetilo*	CH <sub>3</sub> -S-CH <sub>3</sub>	Vegetales podridos	0,1
	Disulfuro de dimetilo*	CH <sub>3</sub> -S-S-CH <sub>3</sub>	Putrefacto	1
	Trisulfuro de dimetilo***	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	Desagradable	
	terc-butil mercaptano*	(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> C-SH	Desagradable	0,08
	Tiofenol*	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> SH	Putrefacto	0,062
	Tiocresol*	CH <sub>3</sub> -C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> -SH	Secreción mofeta	0,062
	Metilamina**	CH <sub>3</sub> NH <sub>2</sub>	Pescado podrido	0,9-53
	Etilamina**	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> NH <sub>2</sub>	Amoniacal	2400
	Dimetilamina**	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> NH	Pescado	23-80
	Trimetilamina**	(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> N	Pescado	
	Piridinas**	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> N	Irritante, desagradable	3,7
	Aminometano***	(CH <sub>3</sub> )NH <sub>2</sub>	Pescado	
	Escalotes**	C <sub>9</sub> H <sub>9</sub> N	fecal, repulsivo	0,002-0,06
Indoles**	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> NH	fecal, repulsivo	1,4	

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

Familia	Compuestos	Fórmula	Características del olor	Umbral (ppb)
Orgánicos	Acético**	CH <sub>3</sub> COOH	Vinagre	0,16
	Butírico**	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> COOH	Rancio	0,09-20
	Propiónico***	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> COOH	Rancio	
	Valérico**	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> COOH	Sudor	1,8-2630
	Carbólico***	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH	Medicinal	
	Fórmico***	HCOOH		
	Isovalérico***	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CHCH <sub>2</sub> CO OH	Desagradable	
	Formaldehido**	HCHO	Sofocante	370
	Acetaldehido**	CH <sub>3</sub> CHO	Manzana	0,005-2
	Butiraldehido**	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CHO	Rancio	4,6
	Isobutiraldehido**	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CHCHO	Fruta	4,7-7
	Valeraldehyde**	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> CHO	Fruta	0,7-9
	Acetona**	CH <sub>3</sub> COCH <sub>3</sub>	Fruta dulce	4580
	2-Pentanona***	CH <sub>3</sub> COCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	Dulce	
	Butanona**	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> COCH <sub>3</sub>	Manzana verde	270
	Benzothiozole***	CH <sub>6</sub> H <sub>4</sub> SCHN	Penetrante	0,442
		Anel de Benzeno	Dulce	0,2021
	Estireno***	w/CHCH <sub>2</sub>		
	Xilenos***	CH <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> CH <sub>3</sub>	Dulce	0,349-174
	Tolueno***	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	Desagradable	140
	Cloroformo***	CHCl <sub>3</sub>		30
	Diclorometano***	CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	Desagradable	3
	Tetracloroetano***	CCl <sub>2</sub> CCl <sub>2</sub>	Etérico	320
Cloroaldimine****	R-CH=NCl			
	1,1,1-tricloroetano***	CCl <sub>3</sub> CH <sub>3</sub>	Dulce	2100

Tabla 23: Compuestos Orgánicos olorosos en depuradoras

\*: (WEF,1979)

\*\* : (IWA,2001)

\*\*\*: (NRC, 2002)

\*\*\*\*: (Freuze et al, 2006)

Familia	Compuestos	Formula	Características del olor	Umbral (ppb)
Inorgánicos	Amoniaco**	NH <sub>3</sub>	Irritante, amoniacal	130-15300
	Sulfuro de hidrógeno*	H <sub>2</sub> S	Huevos podridos	0,5
	Sulfuro de carbono***	CS <sub>2</sub>	Desagradable	7,8
	Oxysulfide de Carbono***	COS	Acre	
	Tetracloroetileno***	CCl <sub>2</sub> CCl <sub>2</sub>	Etérico	320

Tabla 24: Compuestos Inorgánicos olorosos en depuradoras

\*: (WEF,1979)

\*\*.: (IWA,2001)

\*\*\*.: (NRC, 2002)

\*\*\*\*.: (Freuze et al, 2006)

#### 4.2.2. En referencia al objetivo inicial 2: Sistemas utilizados en la eliminación de olores

Este objetivo se ha abordado agrupando las investigaciones de los autores según los tipos de técnicas utilizadas en la eliminación de olores en depuradoras.

##### a) Tratamiento químico

Lock et al (2006), investigaran el uso de plasma no térmico en la eliminación de dimetilo sulfuro (DMS). El reactor de emisión radiante está constituido por un electrodo coaxial con voltaje (6 a 12kV) y frecuencia variable (15 a 1000 Hz). El reactor está ubicado en un horno (Modelo 3200, Lindberg, Inc), que opera en temperaturas entre 50 y 180°C. El DMS ha sido suministrado como una mezcla de gases en la que se ha utilizado el nitrógeno como equilibrador. Un controlador de flujo másico hace la medición del caudal de gas en la entrada (constante 2 slm) y un inyector de aire seco asegura la no influencia de la humedad residual de los compuestos orgánicos.

Las concentraciones iniciales y finales son determinadas por un cromatógrafo de gas (GC - Varian Inc, Model 3800). Las muestras son recogidas en un depósito de 0,25 ml, inyectadas en una columna capilar (Supelcowax-10) y analizadas por un detector de llama. Los resultados fueron procesados mediante el software Star Chromatography Workstation, Versión 6.0.

Los experimentos han sido realizados con aire seco y en temperaturas de 80 °C.

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

Primeramente el voltaje permaneció constante en 8 kV y la frecuencia ha variado de 250 hasta 1316 Hz. En el segundo caso, la frecuencia se quedó constante en 250 Hz y el voltaje varió de 8 hasta 14 kV. Como observado se observa en la figura 5, la relación de la concentración final (C) y concentración inicial ( $C_0$ ) disminuye no linealmente con el cambio de suministro de energía (SEI).

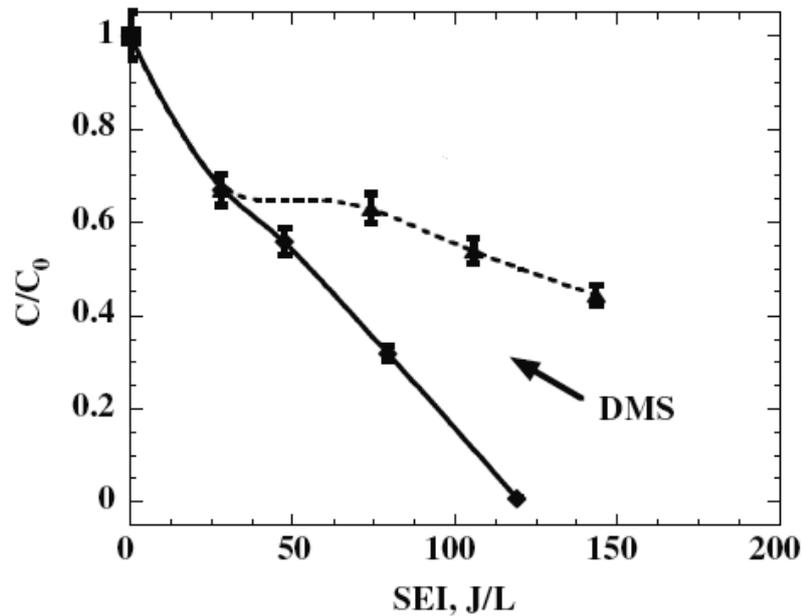


Figura 5: Eficiencia de descomposición en función da energía suministrada (SEI) (Lock et al, 2006)

La figura 6 representa la influencia de la temperatura y la humedad en la eficiencia de remoción de DMS (DRE). Un aumento en la temperatura tiene como resultado un aumento de energía, lo que posibilita una remoción más eficiente del contaminante.

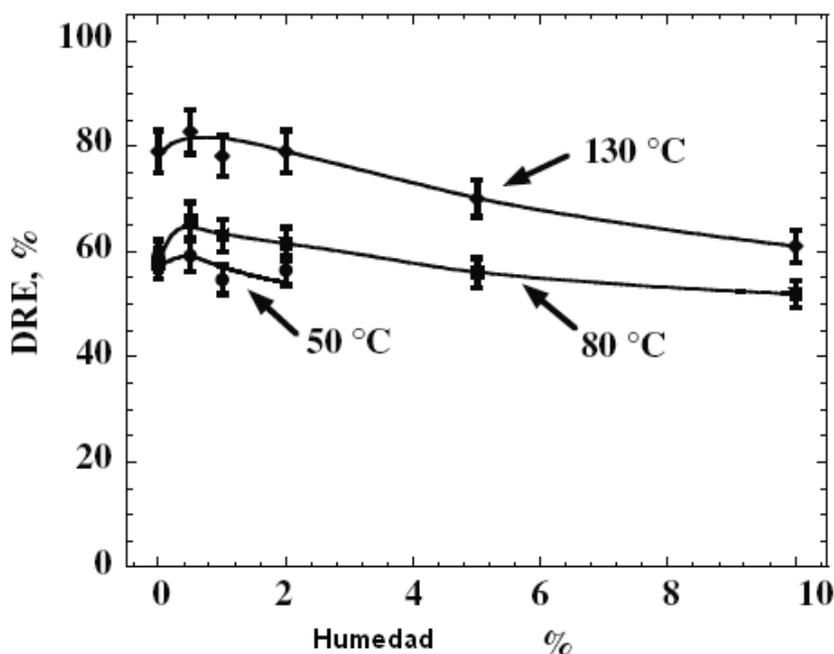


Figura 6: Influencia de la temperatura y humedad en la eficiencia de remoción del DMS. (Lock et al, 2006)

Como resultado de la investigación, Lock et al (2006) han concluido que:

- La humedad refuerza la eficiencia de remoción de contaminantes hasta 0,5 %, pero en niveles mayores disminuye la eficiencia.
- El aumento en la temperatura da como resultado un aumento de energía, lo que posibilita una remoción más eficiente del contaminante.
- El aumento del suministro de energía causa una mejor, pero no lineal eficiencia en la remoción de contaminantes.

En una investigación anterior Dalaine et al (1998), estudiaron la eliminación de  $H_2S$  diluido en el aire con frecuencias de descargas eléctricas de 50 Hz y 25 kHz en un reactor de plasma.

Los autores han concluyeron que la eficiencia en la remoción de  $H_2S$  es mejor con la frecuencia de 50 Hz (figura 7). En frecuencias más bajas es posible obtener mejores longitudes de descarga que los obtenidos en alta frecuencia. Sin embargo, la eficiencia del método no fue investigado conjuntamente con otros compuestos como agua,  $CO_2$  y  $CH_4$ .

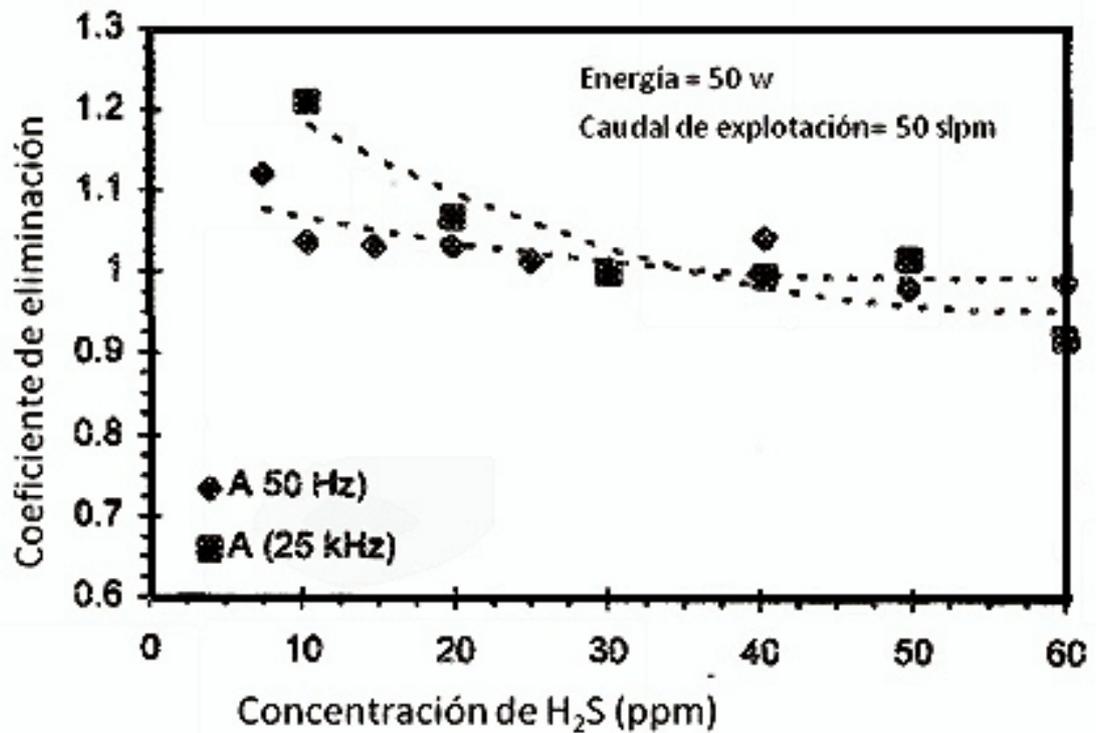


Figura 7: Eliminación de H<sub>2</sub>S en función de la concentración (Dalaine et al, 1998)

En una investigación realizada por Krüger et al (2009), se evaluó la eficiencia del proceso Fenton en la degradación de Dimetil Disulfuro (DMDS) en un reactor de banco experimental con control de temperatura. El experimento estudió la influencia de las concentraciones de peróxido de hidrogeno, concentraciones de Fe<sup>+2</sup>, temperatura y pH en el proceso.

Los análisis fueron realizados mediante el uso de un cromatógrafo de gases equipado con un detector espectrofotómetro (CG/MS Shimadzu QP5050A).

En las reacciones con el uso solamente de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sin Fe<sup>+2</sup> se observó una degradación solamente de 60% para 0.025mgL<sup>-1</sup> de solución de DMDS, con pH 3 y temperatura de 60°C en 10,000mgL<sup>-1</sup> de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en 30 minutos de reacción (tabla 25).

En el estudio se ha observado que el proceso Fenton puede obtener una eficiencia de 95% de remoción de DMDS, con pH 3, a 60°C, 5mgL<sup>-1</sup> de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y 1 mgL<sup>-1</sup> de Fe<sup>+2</sup> en 10 minutos de contacto (tabla 26).

Muestra	Temperatura (°C)	pH	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mgL <sup>-1</sup> )	% Degradación
1	25 (-1)	3 (-1)	10,000 (+1)	22,4 ± 4,0
2	60 (+1)	3 (-1)	10,000 (+1)	59,7 ± 0,2
3	25 (-1)	11 (+1)	10,000 (+1)	0
4	60 (+1)	11 (+1)	10,000 (+1)	39,5 ± 1,4
5	25 (-1)	3 (-1)	500 (-1)	19,3 ± 2,0
6	60 (+1)	3 (-1)	500 (-1)	39,2 ± 1,6
7	25 (-1)	11 (+1)	500 (-1)	15,0 ± 1,6
8	60 (+1)	11 (+1)	500 (-1)	37,0 ± 1,6
9	42,5 (0)	7 (0)	5250 (0)	53,3 ± 2,2

Tabla 25: Resultados de la degradación del DMDS sin Fe<sup>-2</sup> (Krüger et al, 2009)

Muestra	Temperatura (°C)	Fe <sup>+2</sup> (mgL <sup>-1</sup> )	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mgL <sup>-1</sup> )	% Degradación
1	25 (-1)	0,1 (-1)	5 (-1)	8,16 ± 1,46
2	25 (-1)	1 (+1)	5 (-1)	73,81 ± 1,28
3	25 (-1)	0,1 (-1)	50 (+1)	21,82 ± 2,49
4	25 (-1)	1 (+1)	50 (+1)	93,89 ± 0,38
5	60 (+1)	0,1 (-1)	5 (-1)	79,89 ± 1,58
6	60 (+1)	1 (+1)	5 (-1)	95,77 ± 0,09
7	60 (+1)	0,1 (-1)	50 (-1)	95,41 ± 3,63
8	60 (+1)	1 (+1)	50 (-1)	100,00 ± 1,45
9	42,5 (0)	0,55 (0)	27,5 (0)	97,04 ± 0,71

Tabla 26: Resultados de la degradación del DMDS con Fe<sup>-2</sup> (Krüger et al, 2009)

Sánchez et al (2008) han propuesto el empleo de la fotocatalisis heterogénea para la eliminación de H<sub>2</sub>S del aire de plantas de tratamiento de aguas residuales un diseño de fotorreactor híbrido. El sistema puede operar, de forma simultánea o alternativa, con radiación solar captada por un CPC, en cuyo foco se sitúa el reactor anular de vidrio borosilicato y artificial proporcionada por el tubo fluorescente UV situado en el eje del reactor. Este diseño, permite considerar la operatividad del sistema durante las 24 horas del día. La actividad fotocatalítica se puede regenerar mediante el lavado de los fotocatalizadores con agua, de modo que alternar entre flujo ascendente de aire durante la operación o flujo descendente de agua durante la regeneración permite operar de modo semi-continuo.

En la Figura 8 se presenta un ejemplo de los resultados preliminares obtenidos.

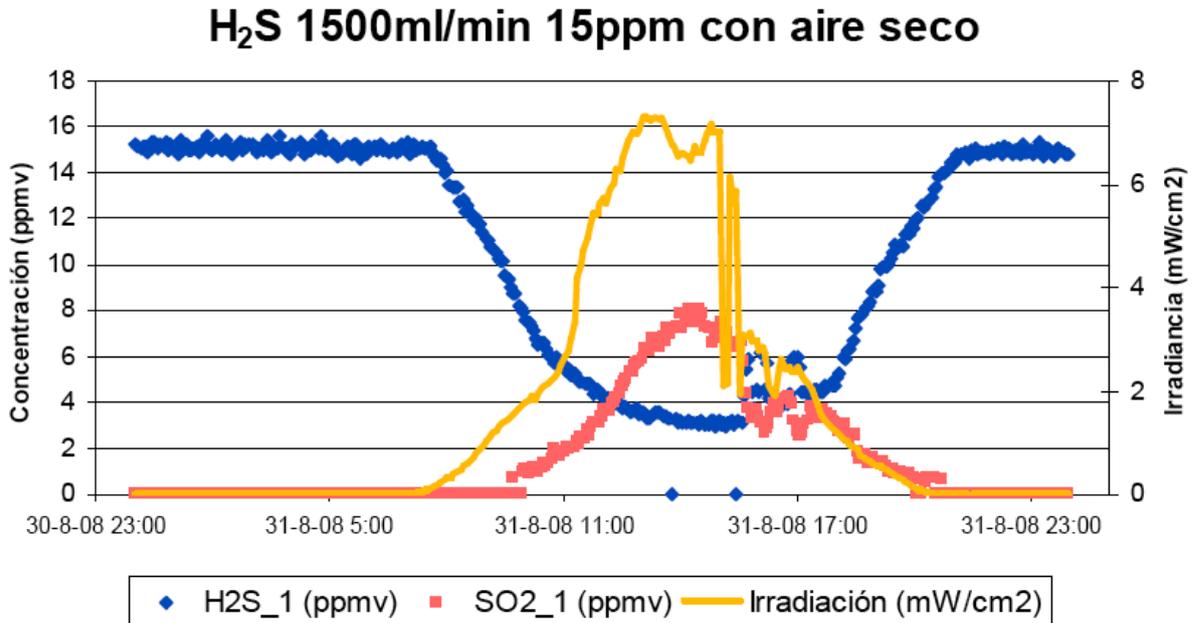


Figura 8: Primeros resultados de degradación fotocatalítica de H<sub>2</sub>S con irradiación solar empleando monolitos de PET recubiertos con TiO<sub>2</sub> como fotocatalizador (Sánchez et al, 2008).

Canela et al (1998), estudió el uso del proceso fotocatalítico con un fotoreactor de banco con la utilización de TiO<sub>2</sub>/UV-VIS en la eliminación de Sulfuro de Hidrogeno en aguas residuales de una depuradora en Campinas - Brasil. Las concentraciones de H<sub>2</sub>S fueron determinadas por el método colorimétrico. El proceso ha presentado una alta eficiencia en la eliminación de H<sub>2</sub>S con degradación de 99 % de sulfuro de hidrogeno en concentraciones de 33 hasta 855 ppmv.

Ya Merabet et al (2009) han investigado los parámetros que influyen en el proceso fotocatalítico con el uso de UV/TiO<sub>2</sub> en el tratamiento del Indol. El sistema utilizado en la parte experimental se presenta en la figura 9.

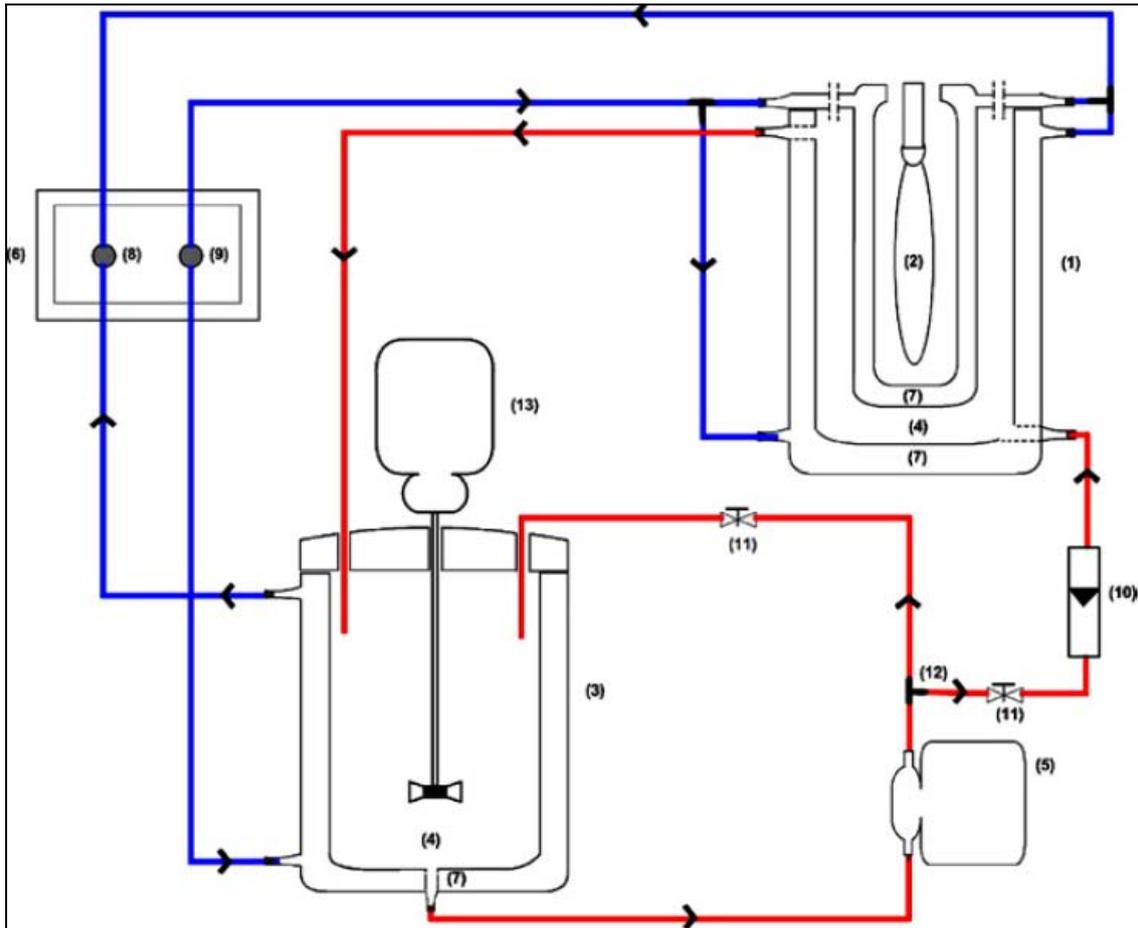


Figura 9: Sistema experimental, 1: Camisa de vidrio del Reactor; 2: lámpara UV; 3: tanque; 4: solución; 5: bomba centrífuga; 6: criostato de circulación; 7: camisa cuarzo; 8: entrada de agua; 9: salida de agua; 10: caldalimetro; 11: válvula; 12: by pass; 13: bombeo de aire. (Merabet et al, 2009)

Los resultados del experimento indican que la fotocatálisis es eficiente en la eliminación del Indol, que el pH óptimo para la eliminación del Indol está entre 6-7 (figura 12); que la carga catalítica óptima de aplicación es de 1 g/L (figura 10); que el aumento de la recirculación disminuye la degradación del Indol (figura 11), pues reduce el tiempo de retención, y que la agitación presenta una muy ligera influencia en la degradación del Indol (figura 13).

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

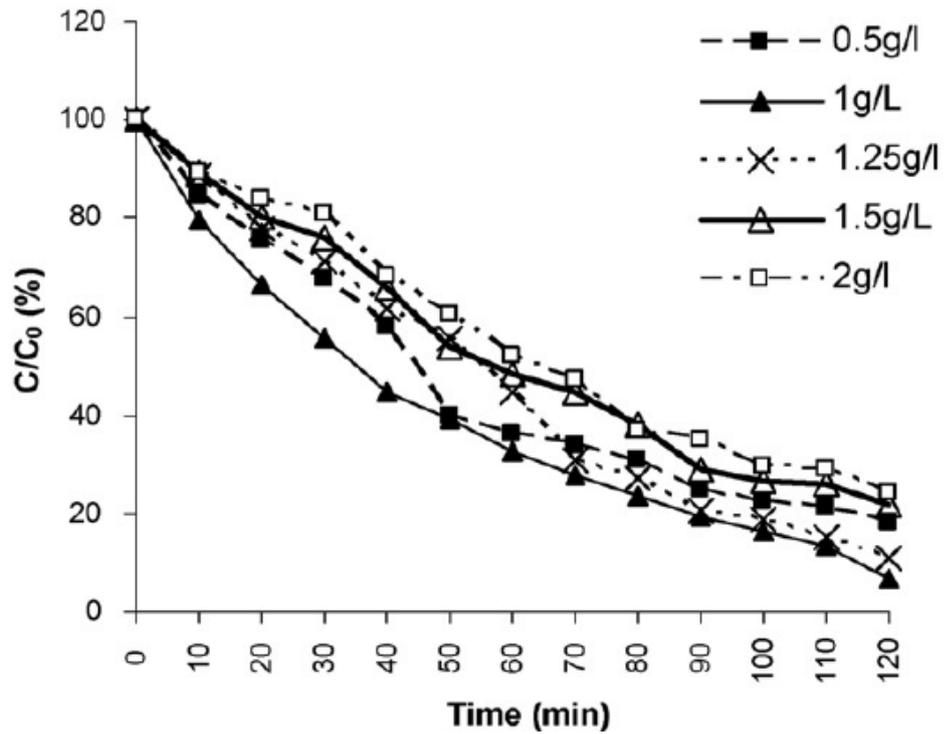


Figura 10: Efeito de las concentraciones catalíticas en la eliminación del Indol (Merabet et al, 2009)

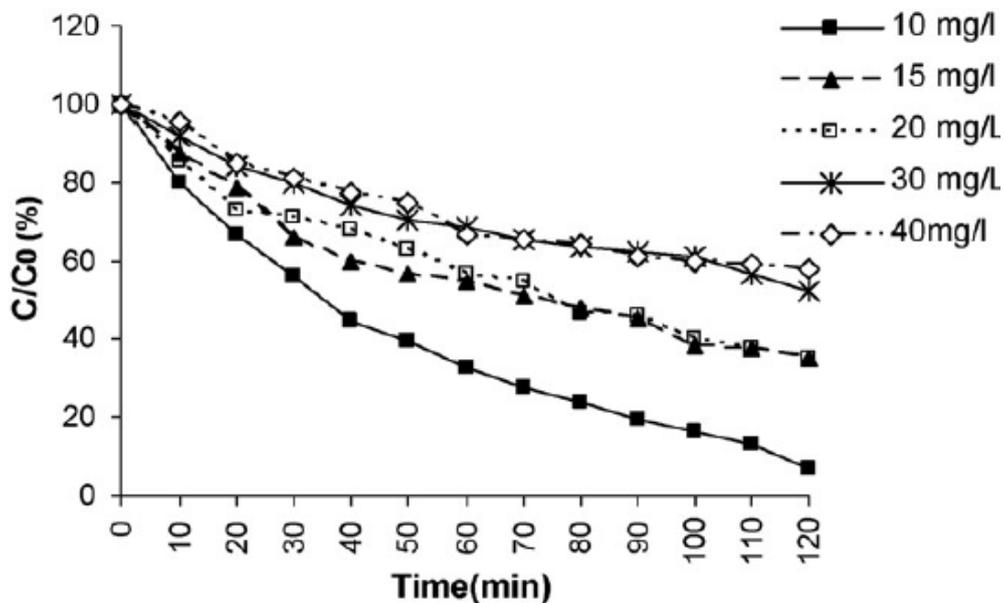


Figura 11: Efecto de la concentración inicial del Indol en la foto degradación con el uso del  $TiO_2$  (solución volumen: 1200 mL, UV lamp: 24W, temperatura: 25 °C, corriente de aire: 2 L/min, pH: 6.8, caudal = 0.5 mL/s, concentración catalítica = 1 g/L). (Merabet et al, 2009)

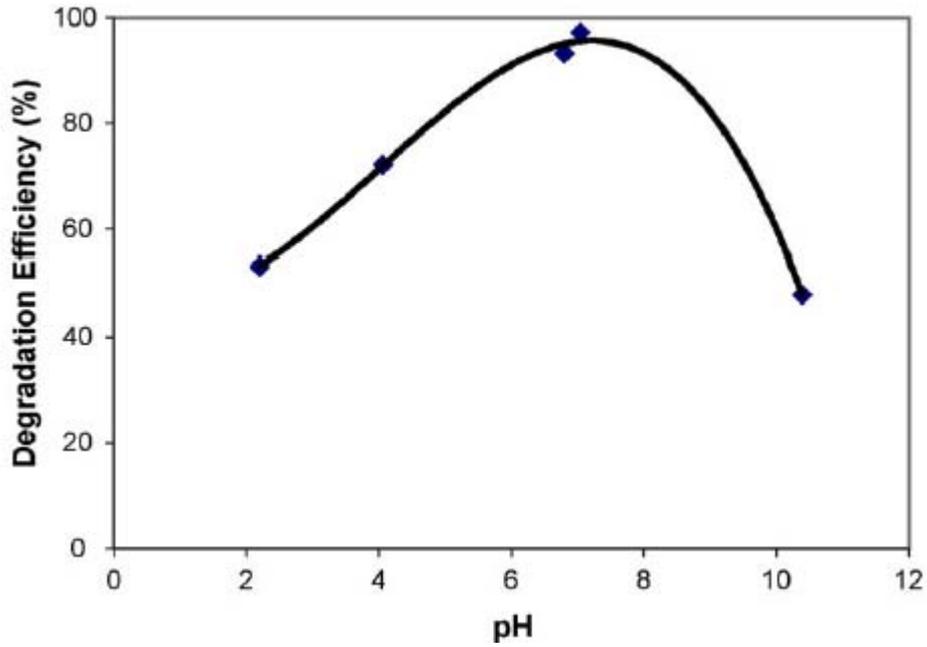


Figura 12: Efecto del pH en la eliminación del Indol (solución volumen: 1200 mL, Corriente de aire: 2 L/min,  $TiO_2 = 1$  g/L,  $T=25^\circ C$  y UV lamp = 24W, caudal = 0.5 mL/s). (Merabet et al, 2009)

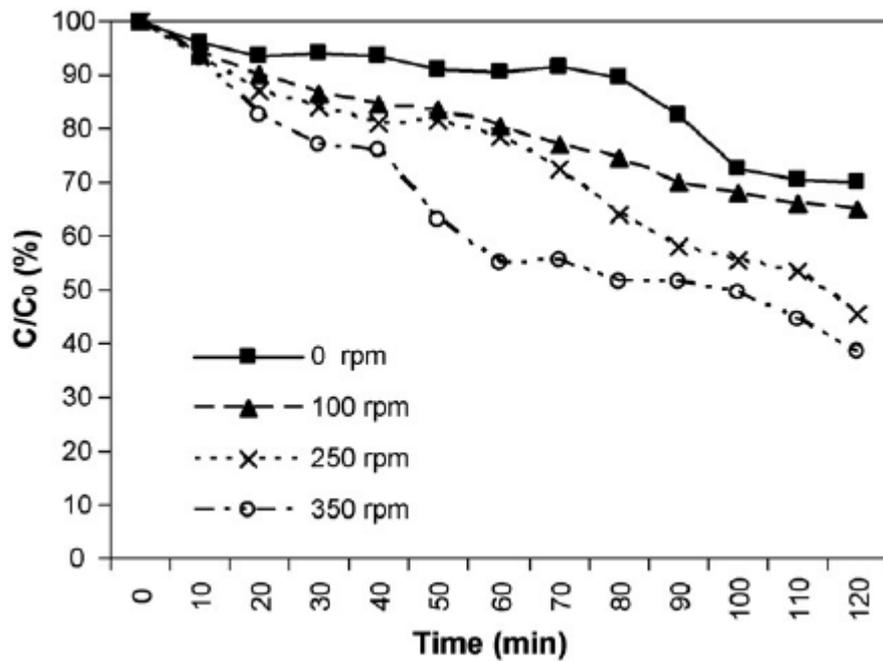
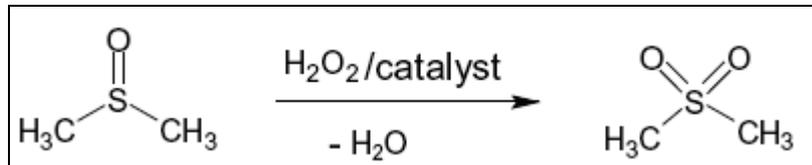


Figura 13: Efectos de la velocidad de agitación en la concentración inicial del Indol (Merabet et al, 2009)

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

Cojocariu et al 2009, han investigado sobre el uso del catalizador  $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$  y el silicato de titanio TS-1 en la oxidación catalítica del Dimetil sulfóxido (DMSO) en Dimetil Sulfona con peróxido de hidrogeno. La oxidación del DMSO se presentada en la ecuación abajo:



Ambos materiales han presentado muy buenos resultados en la conversión del DMSO en Dimetil Sofona con el auxilio del peróxido de hidrogeno. Sin embargo la eficiencia del  $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$  es más pequeña que la del TS-1. Los resultados de la investigación son resumidos en la figura abajo. Los autores han concluido que el proceso estudiado puede ser combinado con técnicas biológicas para el tratamiento de aguas residuales contaminas con DMSO.

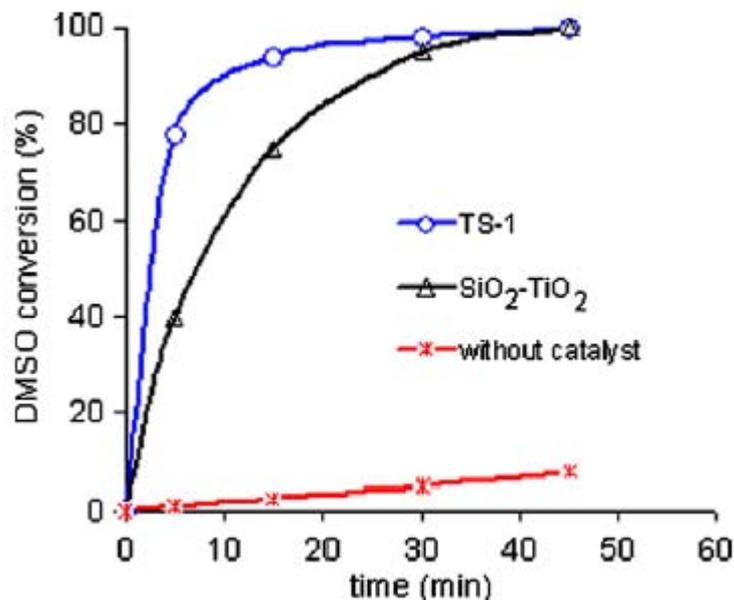


Figura14: Sulfoxidación del DMSO con  $\text{H}_2\text{O}_2$  en la presencia de TS-1 y  $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$ ;  $T = 20^\circ\text{C}$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{DMSO} = 1/1$  ( $\text{mol mol}^{-1}$ ) (Cojocariu et al 2009)

También sobre el tema de la estabilización de los fangos, Li et al (2007) han investigado el zero-valent nanopartículas de hierro (1–100 nm) para reducción de emisión de olores generados en el fango.

Un reactor de banco, conjuntamente con un espectroscopio fotoelectrónico por rayos X (HR-XPS) de alta resolución ha evaluado la eficiencia de las nanopartículas de hierro en concentraciones de 0,5, 1 y 5 g/l en 100 ml de solución acuosa con 3400 mg/l de sulfuro de hidrogeno. En todas las concentraciones utilizadas, incluso la menor (0,5 g/l), presentaron remoción completa de sulfuro de hidrogeno en menos de 15 minutos. La eliminación rápida de sulfuro de hidrogeno previene la producción de otros compuestos olorosos de azufre. En la figura 15 se presentan las mediciones de nanopartículas de hierro antes ( $t=0$ ) y después (24h) de la reacción con sulfuro de hidrogeno.

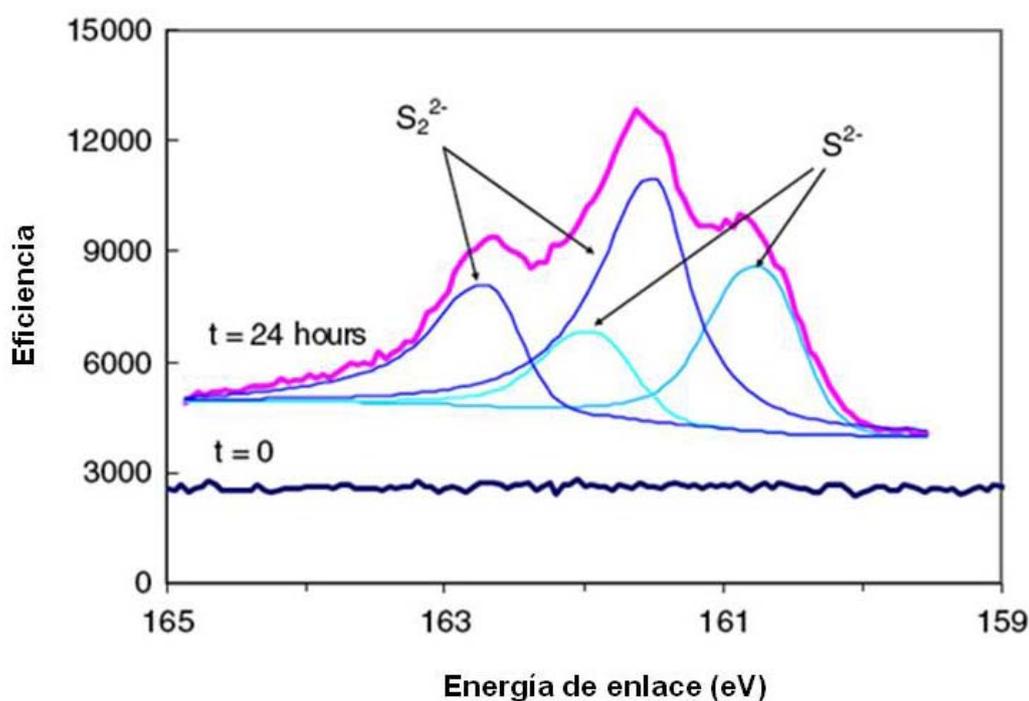


Figura 15: Resultados de lo espectroscopio fotoelectrónico por rayos X (HR-XPS), antes y después de la reacción de las nanopartículas de hierro y sulfuro de hidrogeno (Li et al, 2007).

Los resultados indican que el sulfuro de hidrogeno removido fue inmovilizado por las nanopartículas de hierro formando FeS y FeS<sub>2</sub>.

Según Szpyrkowicz et al, (1995) el método electroquímico utilizando Ti/Pt y Ti/Pt/Ir electrodos es eficiente en la eliminación de amonio en efluentes de tenerías. En la investigación realizada se utilizaron un efluente de tenería mezclado con agua residual doméstica y un equipo electroquímico de banco con voltaje entre 0-10 V. El equipo electroquímico se presenta en la figura 16.

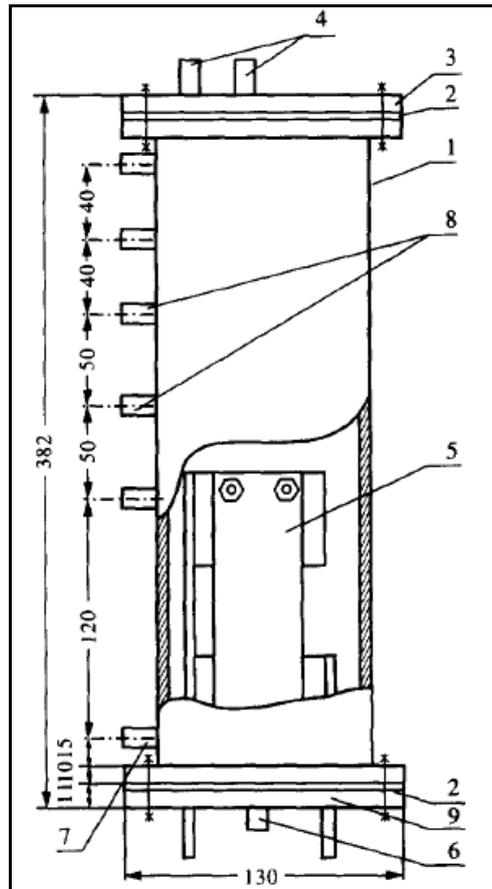


Figura 16: Equipo electroquímico de banco (Szpyrkowicz et al, 1995)

1—Tubo de Plexiglás; 2-- prensaestopas; 3--cobertura; 4—ventosa de gas; 5-- electrodos; 6—Entrada de agua residual (condiciones dinámicas); 7—Saida de agua residual 8—Puntos de muestreo; 9—cobertura de residuo.

Para ambos los ánodos y tipos de agua residual utilizados el tratamiento ha sido satisfactorio, presentando la completa remoción de amonio (figura 17 y tabla 27). Se observó también que la eliminación de amonio depende de la concentración inicial, de la presencia de otros contaminantes y de la densidad.

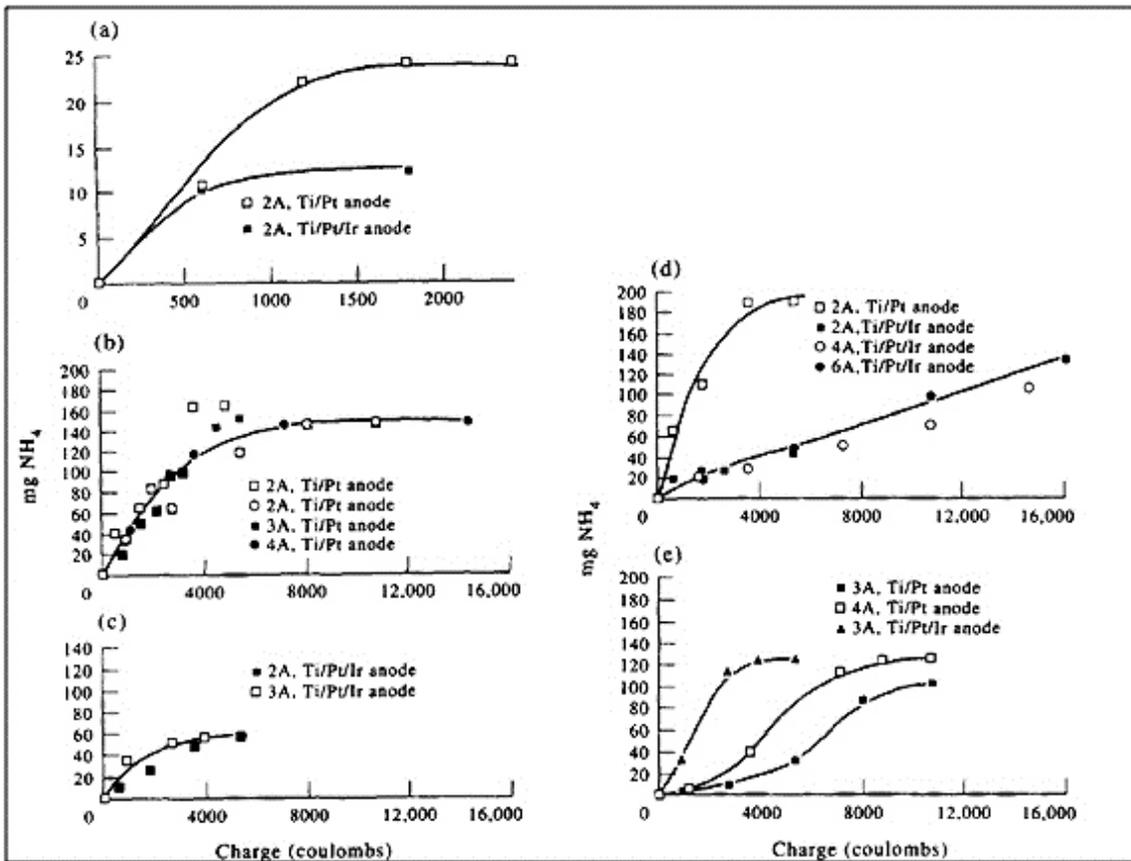


Figura 17: Relación entre la eliminación de amonio y la energía aplicada (Szpyrkowicz et al, 1995) (a) efluente final, (b) agua residual antes del tratamiento aeróbico, (c) agua residual después del tratamiento aeróbico, (d) agua residual mezclada, (e) agua residual cruda.

Debido a la propiedad electro catalítica de los electrodos de Ti/Pt/Ir, la eliminación de amonio en este tipo de agua residual es realizada conjuntamente con el efecto directo e indirecto de la oxidación en el ánodo.

Con los resultados se concluyó que el ánodo Ti/Pt/Ir es más eficiente en la eliminación de amonio, debido a la oxidación directa del amonio en los ánodos de Ti/Pt/Ir, sin embargo, con el uso del ánodo de Ti/Pt el proceso es más barato y menos sensible a las diferencias de potencial.

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

Muestra Nº	Tiempo Electri.	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)		Temperatura (°C)		pH		Cl <sup>-</sup>		DQO	
		Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
1	20	24,2	0,21	25	29	7,49	7,09	1840	1710	93	33
2	30	164	1,25	25	34	7,85	7,18	2560	2230	458	
3	45	146	0,5	25	35	7,61	7	2470	2100	25	90
4	25	151	8,2	27	35	7,66	6,62			458	164
5	30	146	0,4	25	42	7,61	7,54	2470	1690	237	70
6	45	138	0,49	27	37	7,8	6,35	2570	1940	660	165
7	60	125	26	25	39	7,53	6,49	2562	2300	1774	950
8	45	125	1,08	25	45	7,53	6,84	2562	1952	1774	540
9	15	12,2	0,17	26	28	7,56	7,34	1846	1720	146	63
10	45	56	0,36	25	28	7,27	7,29	1935	1860	176	142
11	45	136	86,5	25	28	7,59	7,31			1480	
12	22	56	0,28	25	32	7,27	6,91	1935	1860	176	100
13	30	125	1	22	32	7,53	6,55	2562	2307	1774	1580
14	60	136	23	25	42	7,57	7,13	2414	2360	1250	
15	30	136	35	27	46	7,57	5,97	2414	2307	1250	

Tabla 27: Resultados obtenidos en la parte experimental (Szpyrkowicz et al, 1995)

Se concluyó, también, que para aguas residuales con baja concentración de materia orgánica degradable la mejor densidad para la remoción de amonio utilizando electrodo de Ti/Pt es de 2 A dm<sup>-2</sup>. En densidades más bajas el efecto en la remoción de amonio en altas concentraciones de amonio es malo, debido a la mezcla insuficiente. Con densidades mayores que 2 Adm<sup>-2</sup> el consumo de energía aumenta. Para aguas residuales con alto contenido orgánico degradable la densidad para ambos electrodos debe ser mayor (3 Adm<sup>-2</sup> para *Ti/Pt/Ir* y 4 A din<sup>-2</sup> para Ti/Pt).

En una investigación anterior Szpyrkowicz et al, (1994) evaluaron en escala de laboratorio la eficiencia de la electrooxidación en la eliminación de amonio con ánodos de Titanio puro, titanio cubierto con óxidos, grafito y fibras de carbono. Con los resultados obtenidos se sacó la conclusión de que el grafito se presenta como el mejor ánodo para el tratamiento. En la continuación de la investigación, los autores investigaran la combinación del ánodo de grafito y el cátodo de acero.

En la investigación se realizaron experimentos mediante efluente final, agua residual después del tratamiento aerobio y mezcla de efluente final con agua residual después del tratamiento anaerobio. Los ensayos se realizaron en un equipo electroquímico de banco con voltaje entre 0-10 V (figura 16).

Muestra	Tiempo	Temperatura				DQO			
		NH <sub>4</sub> <sup>+4</sup> (mg/l)		(°C)		Densidad			
Nº	Electri.	Inicial	Final	Inicial	Final	(A/dm <sup>2</sup> )	Voltaje (V)	Inicial	Final
1	60	40,2	0,2	25	37	0,73	5,6	162	-
2	30	40,2	2	25	33	1,17	6,1	162	0
3	30	50	0,5	25	25	0,44	4,4	202	49
4	60	50	25,2	25	-	0,23	3,7	202	-
5	30	50	0	25	28	0,42	4,2	202	3
6	45	50	2	25	26	0,12	3,65	202	-
7	60	175	98	25	25	0,44	4,5	315	-
8	60	175	74	25	25	0,73	5,2	315	75*
9	90	175	1	25	28	1,17	5,7	315	0
10	60	175	0,16	25	26	1,11	5,6	315	15**
11	55	63	0,07	25	29	0,55	4,2	186	0
12	60	136	24,5	27	40	1,11	6,0	1250	730

Tabla 28: Resultados obtenidos en la parte experimental (Szpyrkowicz et al, 1994)

(\*): después de 5 min (\*\*): después de 30 min

Muestras 1-6: Efluente final, muestras 7-11: después del tratamiento aerobio, Muestras 12: aguas residuales mezcladas.

Se concluyo que la electrooxidación se presenta como una etapa eficiente para el pulido de efluentes de tratamiento biológico y que la mejor eficiencia en la eliminación del amoniaco se presenta después de 30 minutos de tratamiento, mediante densidad de 0,44 A/dm<sup>2</sup> utilizando ánodo de grafito y cátodo de acero.

Ateya et al (2005) evaluó el método electroquímico para la remoción de sulfuro de hidrogeno en salmera con la utilización de electrodos porosos (carbón felt). La analítica fue realizada con una célula electroquímica (figura 18) y las mediciones con un espectrofotómetro.

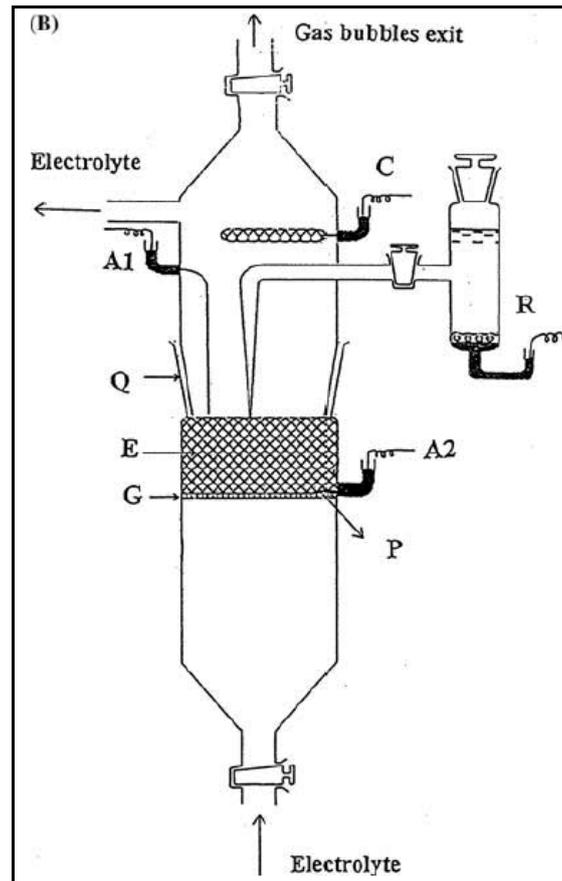


Figura 18: Representación de la célula (Ateya et al, 2005) A1 y A2 contactos con los electrodos porosos (E); C: medidor de electrodo; G: disco de placa porosa; R: electrodo de referencia ;Q: esmerilado; P: Conexión de platino para los electrodos porosos.

Se concluyó en la investigación que:

- Los iones de sulfuro pueden ser oxidados directamente en azufre elemental con electrodos de carbón.
- La tasa del proceso es controlada por la transferencia de la interfase y por la difusión de iones de sulfuros en el poro electrolito
- El electrodo de carbón posee una capacidad de remoción de iones de sulfuro mayor que los demás electrodos planos, debido su mayor área superficial
- La velocidad de reacción y, consecuentemente, la eficiencia de remoción aumentan con la concentración de sulfuro, la potencia, la temperatura y el flujo electrolito.
- La medición de sulfuros es menor que la real debido los sulfuros que se depositan en los poros intermedios.

Muruganathan et al (2004), investigaron la eficiencia de la electrocoagulación en la eliminación de iones de sulfuro, sulfitos y sulfatos en efluente de tenerías, con una célula de electroflotación (figura 19) y analítica según el standar methods Se estudiaron los siguientes parámetros: pH, densidad y concentración inicial.

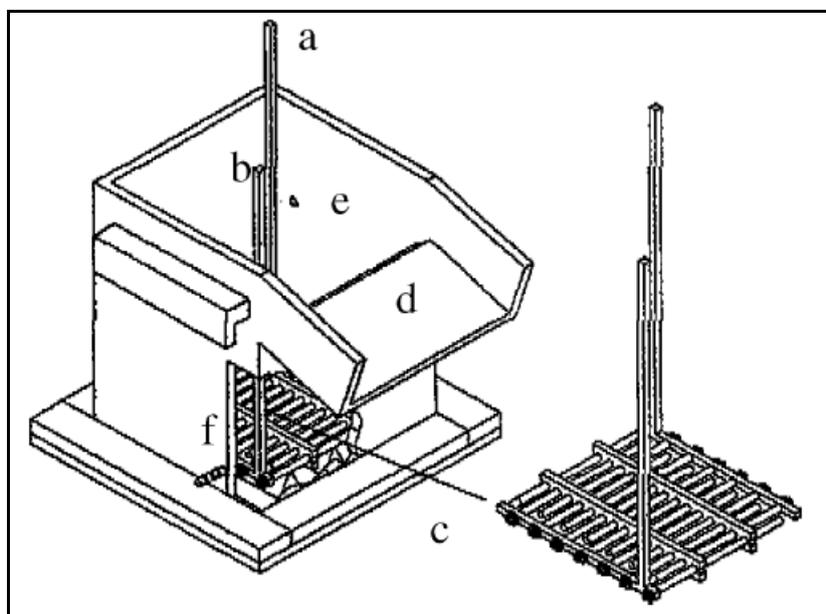


Figura 19: Célula de electroflotación (Muruganathan et al, 2004) (a) ánodo; (b) cátodo; (c) conjunto de electrodos; (d) labio de residuos; (e) entrada y (f) salida

Parámetro	Muestra	Después de la electrocoagulación (ánodo)			
	entrada	Fe	Al	Ti	Fe y Al
pH	11,86	11,78	11,78	11,59	11,52
Conductividad ( $\mu\text{mho/cm}$ )	9540	3970	3920	9420	3980
Sulfuro (mg/l)	108	29	34	56	28
Sulfato (mg/l)	54	31	35	93	22
Cloro (mg/l)	30	29	30	21	30
Sólidos en suspensión (mg/l)	1078	270	24	687	24
Sólidos Totales disuelto (mg/l)	3470		1924		1878
DBO (mg/l)	766	55			41
DQO (mg/l)	1314	84	75	1210	67

Tabla 29: Efecto del material del ánodo en la eliminación de contaminantes (Muruganathan et al, 2004) Densidad: 47 mA/cm<sup>2</sup> y tiempo de electroflotación: 1200 s.

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

Los autores evaluaron el hierro, aluminio y titanio como ánodos y se observó que los ánodos de hierro y aluminio son eficientes en la remoción de sulfuro, sulfitos y sulfatos (tabla 30). Esos iones metálicos provenientes del ánodo pueden precipitar los iones de sulfuro en efluentes como metal sulfuro. El precipitado formado puede ser simultáneamente eliminado por flotación debido las burbujas de hidrogeno regeneradas en el cátodo.

Los iones metálicos generados en la oxidación electroquímica en los ánodos reaccionaran con los iones de sulfuro.

En relación a los parámetros investigados se ha concluido que:

- Con el aumento de la concentración de contaminantes la eficiencia del proceso disminuye (figura 20).
- Con densidades mayores la remoción de los contaminantes sulfurados también es mayor (figura 21).
- Con el pH ligeramente ácido la remoción de los contaminantes es mejor (tabla 30).

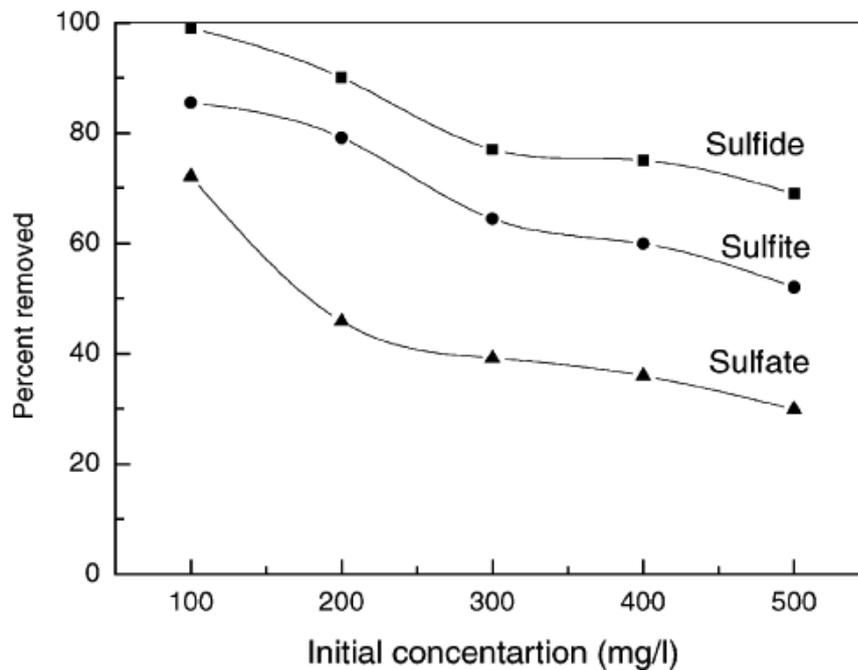


Figura 20: Influencia de la concentración inicial de sulfuro, sulfitos y sulfatos inicial vs. Remoción (ánodo: Fe, tiempo de flotación: 600 s, pH: 7.0, densidad: 32 mA/cm<sup>2</sup> para sulfuro y 62 mA/cm<sup>2</sup> para el sulfito y sulfato). (Muruganathan et al, 2004)

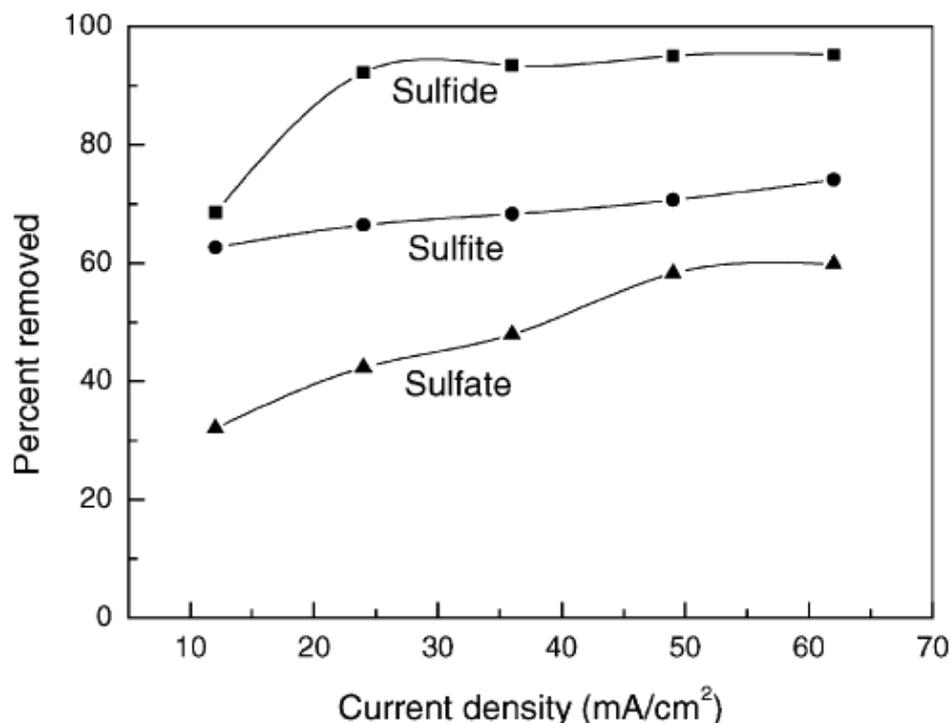


Figura 21: Influencia de la densidad en la eliminación de contaminantes sulfurados (ánodo: Fe, tiempo de flotación: 600 s, concentración inicial: 100 mg/l). (Muruganathan et al, 2004)

pH	Concentración de $\text{SO}_4^{2-}$ (mg/l)		Remoción de $\text{SO}_4^{2-}$ (%)	
	Después de la electrocoagulación		Ánodo Fe	Ánodo Al
	Ánodo de Fe	Ánodo de Al		
5,5	32	28	68	72
7	35	33	65	67
8,5	41	49	59	41
9,5	59	73	41	27
10,5	78	80	22	20

Tabla 30: influencia del pH en la remoción de Sulfato Concentración inicial: 100 mg/l, densidad: 62 mA/cm<sup>2</sup> y tiempo de electro flotación: 600 s. (Muruganathan et al, 2004).

En una depuradora en el sur de Pensilvania – Estados Unidos, Krach et al (2008), han realizado un estudio con el objetivo de eliminar olores en fangos producidos por la estabilización con cal, desarrollando una mezcla apropiada de cal y fango. Los estudios fueron desarrollados en escala de laboratorio para determinar el tiempo óptimo de mezcla y la cantidad de cal a ser utilizada en escala real en la depuradora (cambios en la depuradora).

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

Las concentraciones de cal viva añadidas en los fangos fueran de 3.5%, 7% y 10% en 2 Kg de fangos. La mezcla fue realizada por mezclador (Reynolds Electric Company, River Grove, IL) por 60 segundos.

Las muestras de pH, análisis de gases (Cromatógrafo de gases - Hewlett-Packard 6890 y un espectrofotómetro de masa - Hewlett-Packard 5973), detección y reconocimiento umbral (ASTM E679-04) y ton hedónico (5-12 personas en el panel) fueran analizadas semanalmente.

Los resultados de cuatro semanas de ensayos ton hedónico en escala de laboratorio son presentados en la figura 22 y la tabla 31 y 32.

	Descripción del olor				
	Día 1	Día 7	Día 15	Día 22	Día 29
Control	PE, PO	PE, PU, PO	PO, S, A, PE	PU, PO, S	PU, PO, S
3,50%	A, PU	A, PE	A, S, PE	A, PO, PE	A, PE, T
7%	A, PE, T, PU	A, PE	A, PE	A, PO	A, T
10%	PE, PO, T	A, PE, PO	A, PE	A, HU	A, PE

Tabla 31: Descripción realizadas por el panel de expertos (ton hedónico)

A: Amonio, PE: Pescado, PU: Pútrido, PO: Podrido, HU: Humedad, T: Tierra, S: Sulfuro (Krach et al, 2008)

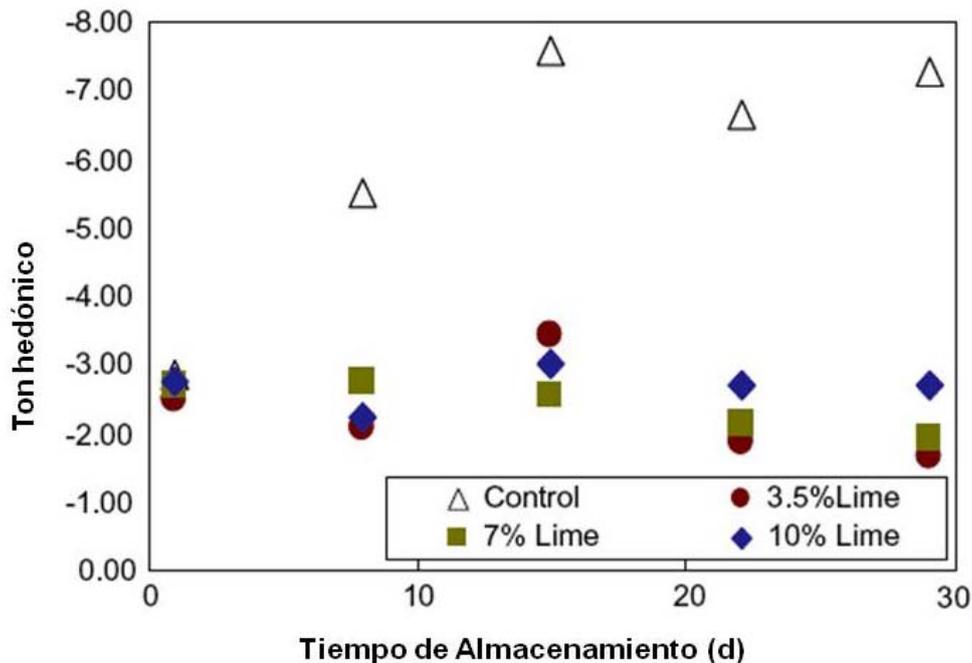


Figura 22: Resultados del Ton Hedónico en escala de laboratorio (Krach et al, 2008).

	Día 1		Día 15		Día 22		Día 29	
	DT	RT	DT	RT	DT	RT	DT	RT
Control	2500	4300	17	8800	12	7400	8200	5200
3,5 % Cal	660	1200	1500	1100	2200	1300	1100	680
7 % Cal	760	1400	1200	770	1400	800	1500	1000
10 % Cal	440	810	5300	4300	4900	3700	3200	2500

Tabla 32: Detección (DT) y reconocimiento (RT) umbral por el St. Croix sensory, Inc (Krach et al, 2008)

En escala de laboratorio se ha concluido que los fangos con una mezcla menor tienen un olor menos ofensivo que los demás con poca mezcla.

Con las conclusiones del estudio en escala de laboratorio, la operación de estabilización con cal fue cambiada en escala real prolongando el tiempo de mezcla. En seguida fueran comparadas la intensidad de emisión de olores antes (muestras control) y después de las modificaciones (muestras, samples).

Los resultados de estas comparaciones son presentados en la figura 23 y tablas 33 y 34.

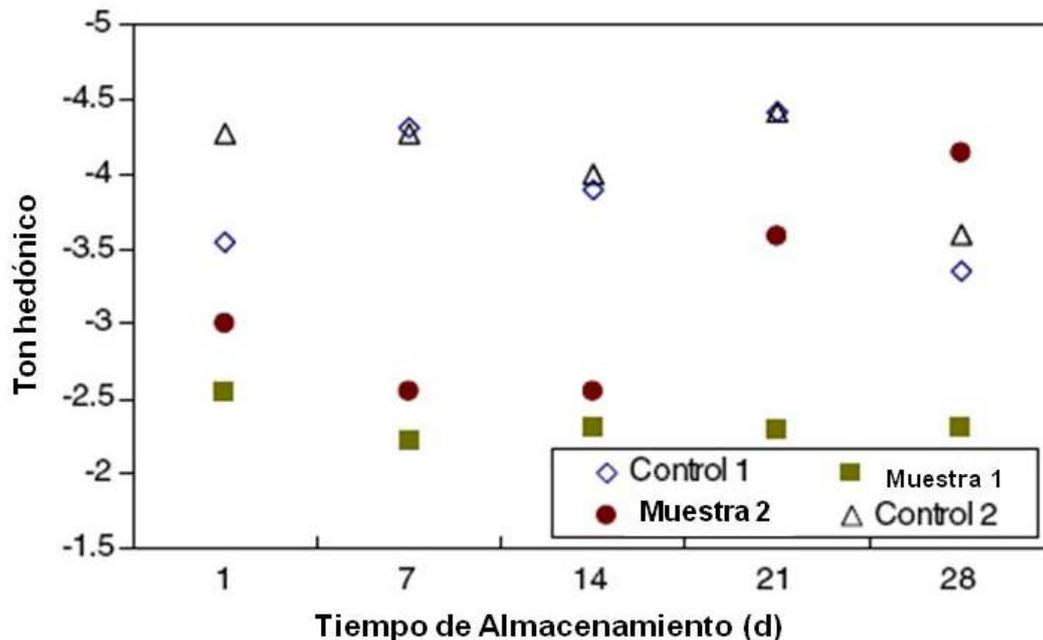


Figura 23: Resultados del Tom Hedonic en escala real (Krach et al, 2008).

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

	Descripción del olor				
	Día 1	Día 7	Día 14	Día 21	Día 29
Control 1	PE, PO	PE, PU, S	PO, PU, PE	PU, PO, PE	PE, S
Sample 1	PE, A, PU	A	A, PO	A, PU, PE	A
Sample 2	A, PE, T	A, PE	PE	A, PO, PU	PE, S
Control 2	PE, PO	A, PO	S	PO, S, PE	S, PO

Tabla 33: Descripción realizadas por el panel de expertos escala real (Hedonic tom)  
 A: Amonio, PE: Pescado, PU: Pútrido, PO: Podrido, HU: Humedad, T: Tierra, S: Sulfuro (Krach et al, 2008)

	Día 7		Día 28	
	DT	RT	DT	RT
Control 1	13	11	3900	2900
Sample 1	3200	2100	1300	970
Sample 2	19	13	11	8300
Control 2	13	8900	4800	3600

Tabla 34: Detección (DT) y reconocimiento (RT) umbral por el St. Croix sensory, Inc (Krach et al, 2008)

Las muestras colectadas, después de los cambios, presentan olor menos ofensivo. El estudio de laboratorio y el estudio en escala real indican que una mejor mezcla de fangos produce menos olores.

La eficiencia de varios oxidantes (Cloruro férrico, Hipoclorito de sodio, permanganato potásico, peróxido de hidrogeno y nitrato de potasio) en el control y reducción de emisiones de gases sulfurados (Sulfuro de hidrogeno, Metilmercaptano, dimetil sulfuro, disulfuro de carbono y sulfuro de carbonilo) en fangos de la depuradora de Baton Rouge (Louisiana, USA) fueron estudiados por Devai y Delaune (2002) en escala da laboratorio. Las concentraciones utilizadas para cada uno de los oxidantes fueran: 0 ppm, 30 ppm, 300ppm y 1000ppm.

Para la análisis de los gases sulfurados en 0,5, 1, 2, 4 y 24 horas de incubación en 25 °C, fue utilizado uno cromatógrafo (Perkin Elmer Modelo 8700) equipado con un detector de llama.

En las figuras siguientes se presentan la eficiencia de los oxidantes en la reducción de cada uno de los gases de azufre.

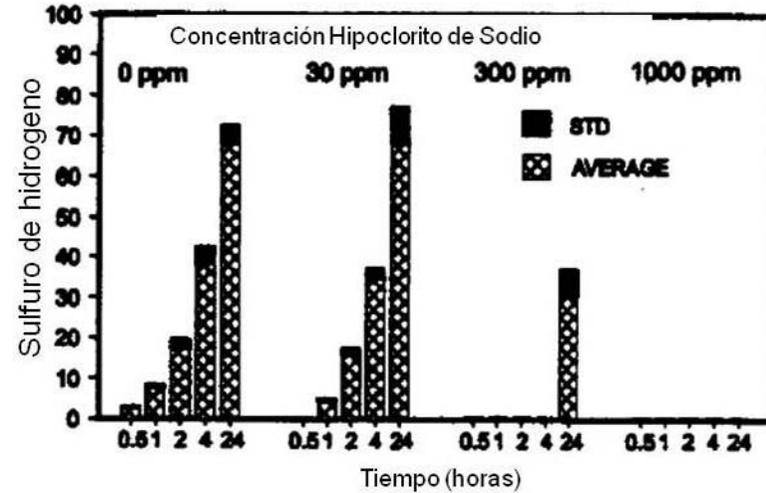
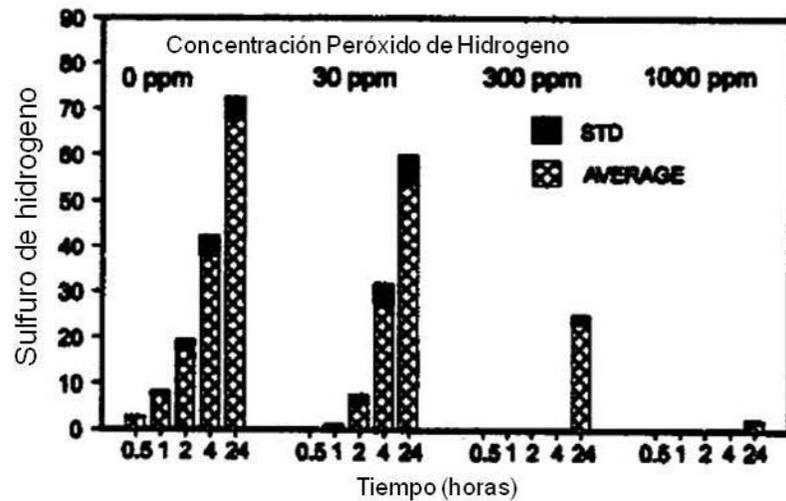
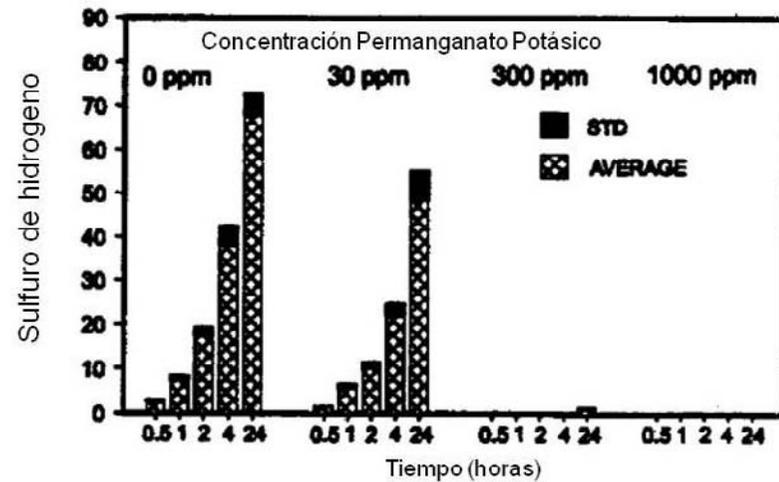
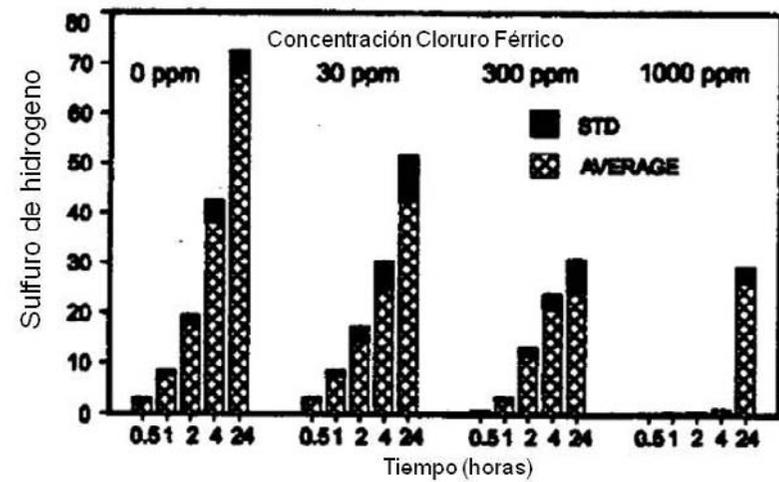


Figura 24. Evaluación de las concentraciones de Sulfuro de Hidrogeno en el fango en relación a los oxidantes (Devai y Delaune, 2002)

Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

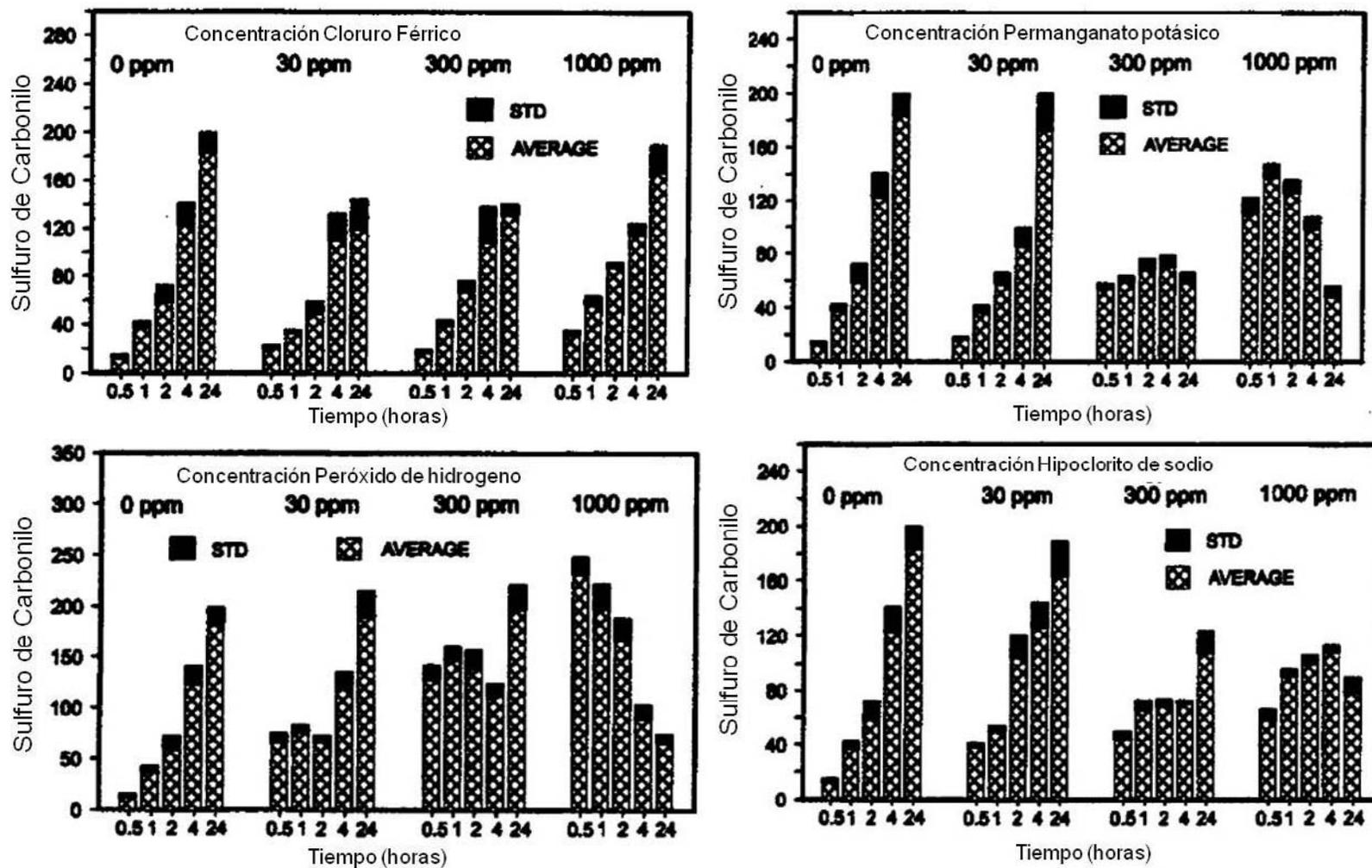


Figura 25: Evaluación de las concentraciones de sulfuro de carbonilo en el fango en relación a los oxidantes (Devai y Delaune, 2002)

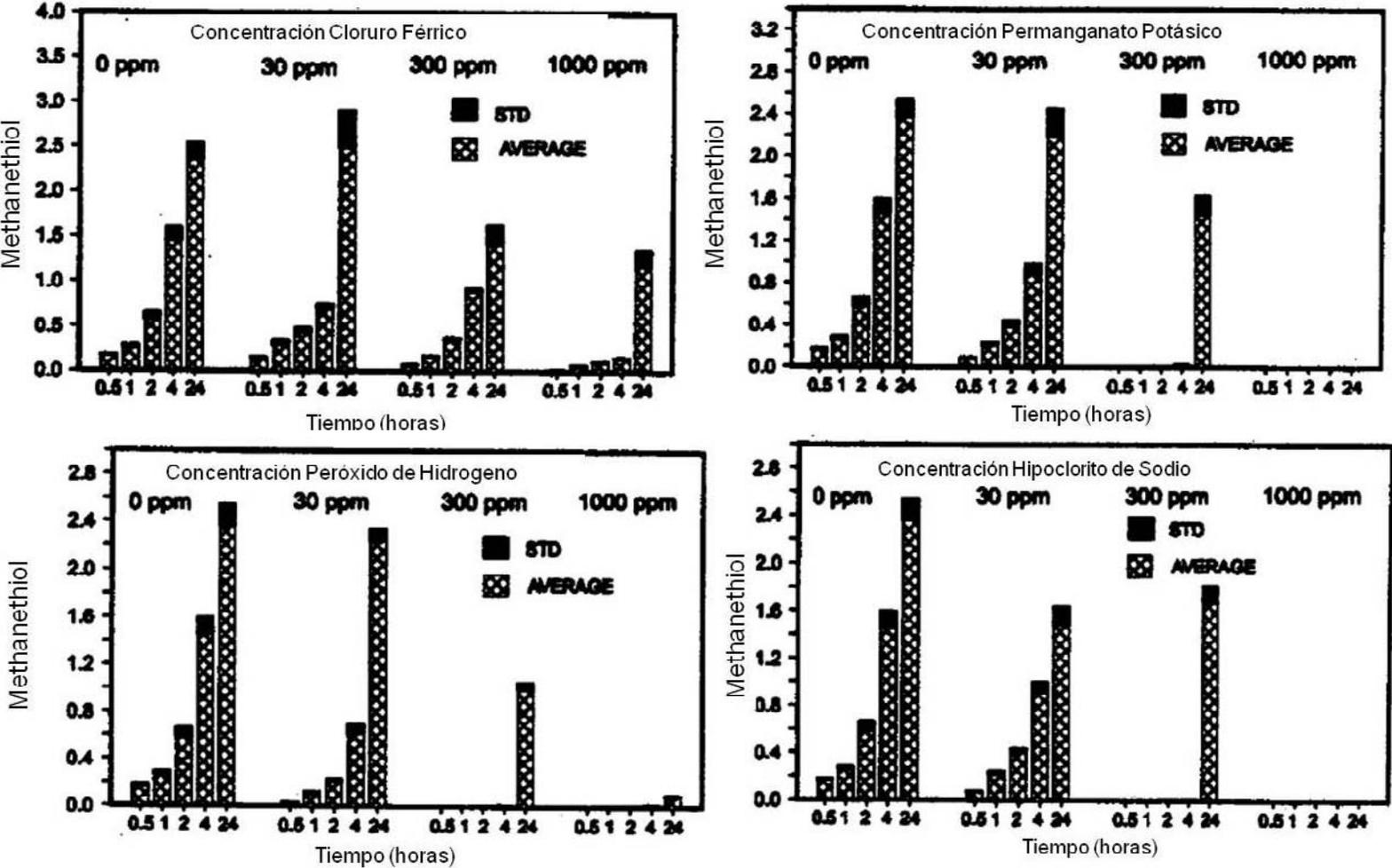


Figura 26: Evaluación de las concentraciones de Methanethiol en el fango en relación a los oxidantes (Devai y Delaune, 2002)

Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

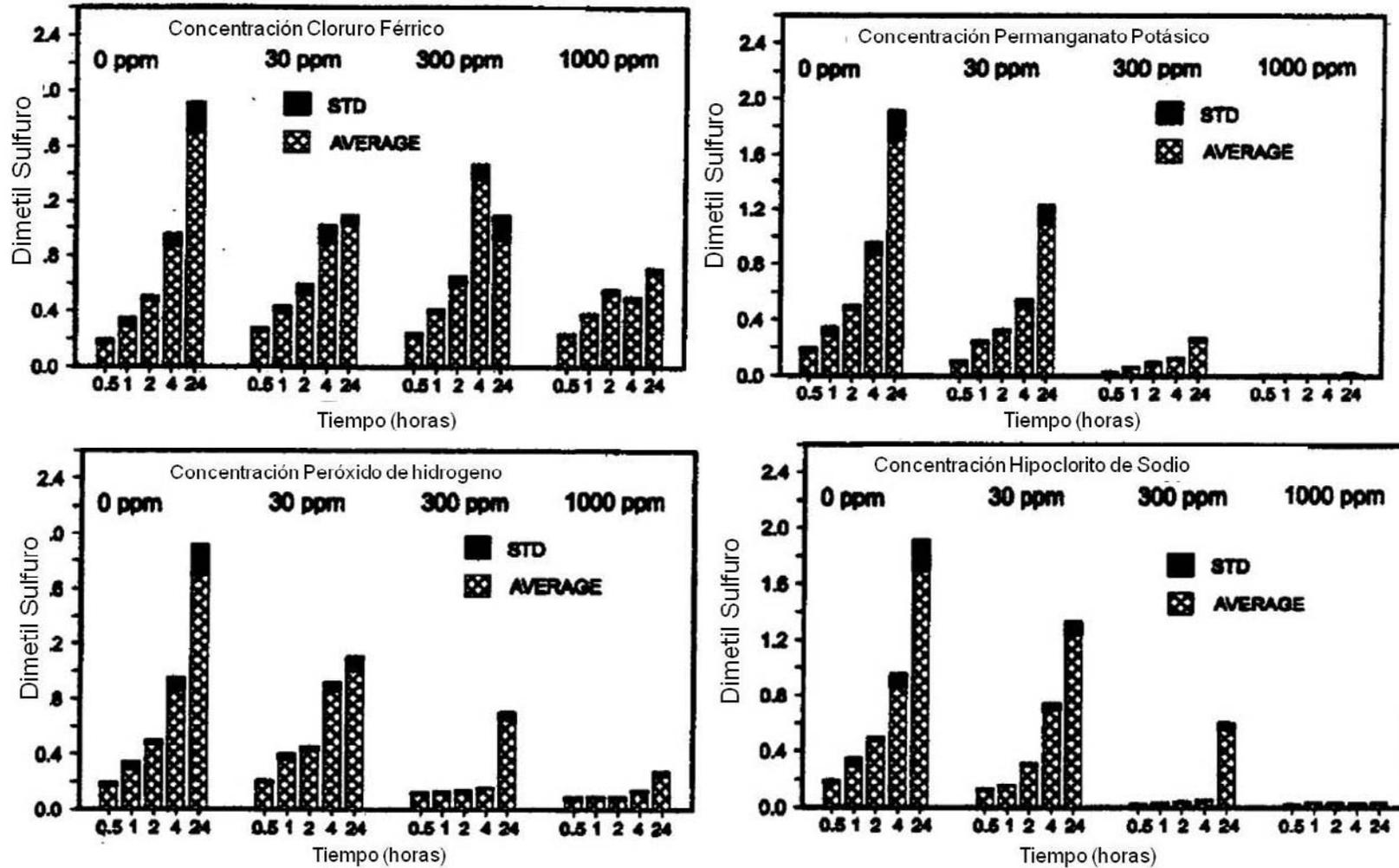


Figura 27: Evaluación de las concentraciones de Dimetil sulfuro en el fango en relación a los oxidantes (Devai y Delaune, 2002)

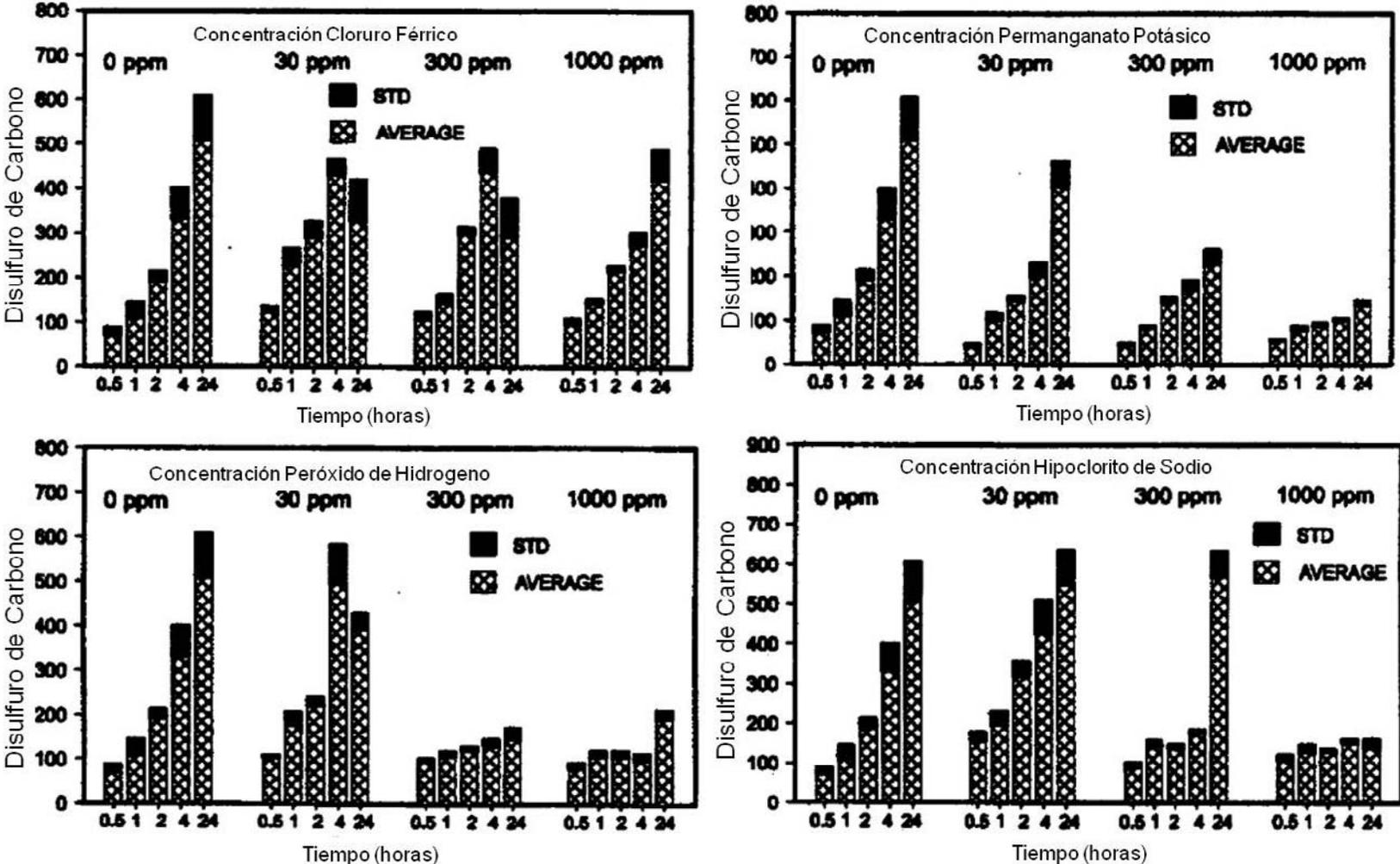


Figura 28: Evaluación del las concentraciones de Disulfido Carbono en el fango en relación a los oxidantes (Devai y Delaune, 2002)

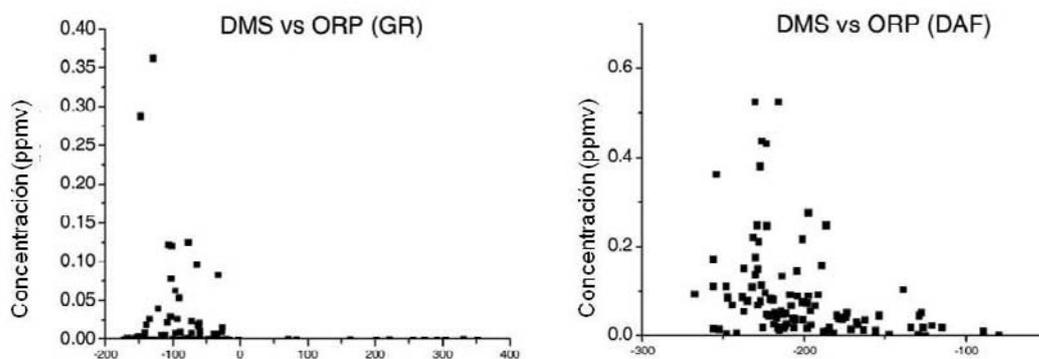
## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

Como conclusiones de los resultados presentados, se ha observado que el Permanganato de potasio fue el más efectivo en la reducción de gases de azufre, seguido del peróxido de hidrogeno y Hipoclorito sódico. Clorato férrico ha presentado remociones solamente en las altas concentraciones (1000 ppm) y el Nitrato de potasio no es eficiente en la reducción de ninguno compuesto.

La investigación realizada por Arispe et al (2007), también ha estudiado el tema de control de olores en fangos de depuradoras con el uso de oxidantes químicos. Los autores evaluarán los oxidantes ya estudiados por Devai y Delaune (hipoclorito sódico y Permanganato de Potasio) incluyendo el ferrato de potasio y el Nitrato Cálxico para la oxidación del Metil mercaptano y del Dimetil Sulfuro.

Ocho muestras de 300 ml de fangos fueran colectadas del espesador de gravedad y analizadas por un cromatógrafo de gases con detector de llama (Agilent 6890N). Los oxidantes fueran adicionados en las concentraciones de 0.3, 0.5 0.8 gramos cada 4 horas, el potencial de reducción-oxidación (ORP) y el pH fueran medidos.

Los autores han concluido que los oxidantes pueden cambiar el estado de oxidación de las muestras para inhibir el crecimiento de las bacterias reductoras de Sulfato y promover el crecimiento de bacterias desnitrificantes, reduciendo de esta manera la producción de compuestos sulfurados reducidos. Los oxidantes también oxidan los compuestos sulfurados reducidos en sulfatos. Entre los 4 oxidantes investigados, el Nitrato de Cálxico ha presentado los mejores resultados en la eliminación de Metil Mercaptano, y el Permanganato de Potasio los mejores resultados para la eliminación del Dimetil Sulfuro. También se ha concluido que el potencial de reducción-oxidación puede ser un parámetro fiable para la evaluación del impacto del olor (figura 29).



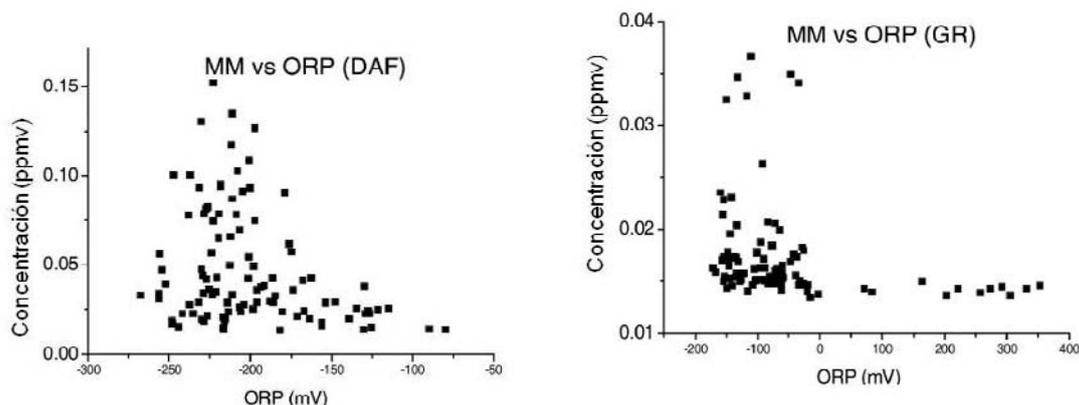


Figura 29: Concentraciones de Metil Mercaptano (MM) y Dimetil Sulfuro (DMS) *s of the methyl* vs. Los valores de potencial de reducción-oxidación (ORP) (Arispe *et al*, 2007).

Cadena y Peters (1998), han evaluado el uso de peróxido de hidrogeno, cloro y permanganato potásico en la oxidación de sulfuro de hidrogeno en muestras de agua residual de la depuradora numero 2 de Albuquerque. El pH de las muestras ha variado entre 7,2 y 7,5, la temperatura aproximada de 25 °C ( $\pm 1^\circ\text{C}$ ), y la analítica ha sido realizada según el standar methods, justo después del muestreo y 5 minutos después de la adición del oxidante.

La cinética de oxidación de los sulfuros con compuestos de cloro y permanganato potásico es muy rápida, el equilibrio químico ocurre 5 minutos después de la adición del oxidante, sin embargo la oxidación con peróxido de hidrogeno es más lenta. Las dosis mínimas de peróxido de hidrogeno, cloro y permanganato potásico para la remoción 1 gramo de sulfuro de hidrogeno son respectivamente 2,4, 4,2 y 11,8 gramos.

Los resultados de la investigación son resumidos en la figura 30 y en la tabla 35.

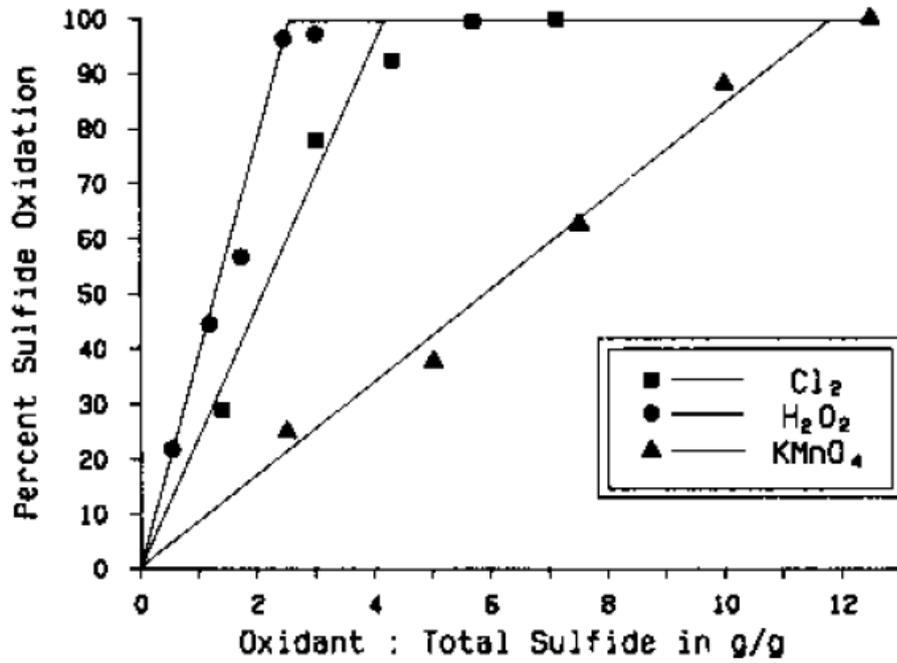


Figura 30: Influencia del oxidante en la eliminación de Sulfuros (Cadena y Peters, 1998)

Oxidante	Oxidación S <sup>2-</sup> g/g	Remoción (%)
Cl <sub>2</sub>	0	0
	1,4	29
	2,9	57
	4,3	93
	5,7	100
	7,1	100
KMnO <sub>4</sub>	0	0
	2,5	25
	5	38
	7,5	63
	10	88
	12,5	100
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0	0
	0,6	22
	1,2	45
	1,8	78
	2,4	97
	3	98

Tabla 35: Efectos de los oxidantes en la eliminación de sulfuro de hidrogeno (Cadena y Peters, 1998)

El uso del peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) como oxidante de compuestos sulfurados presentes en aguas residuales fue estudiado por Ksibi (2006). Ksibi observó que a medida que se añade  $H_2O_2$  la concentración de sulfatos aumenta y la de sulfuro disminuye. Con un pH de 8,82, los sulfuros son oxidados en sulfatos por el  $H_2O_2$  (figura 31).

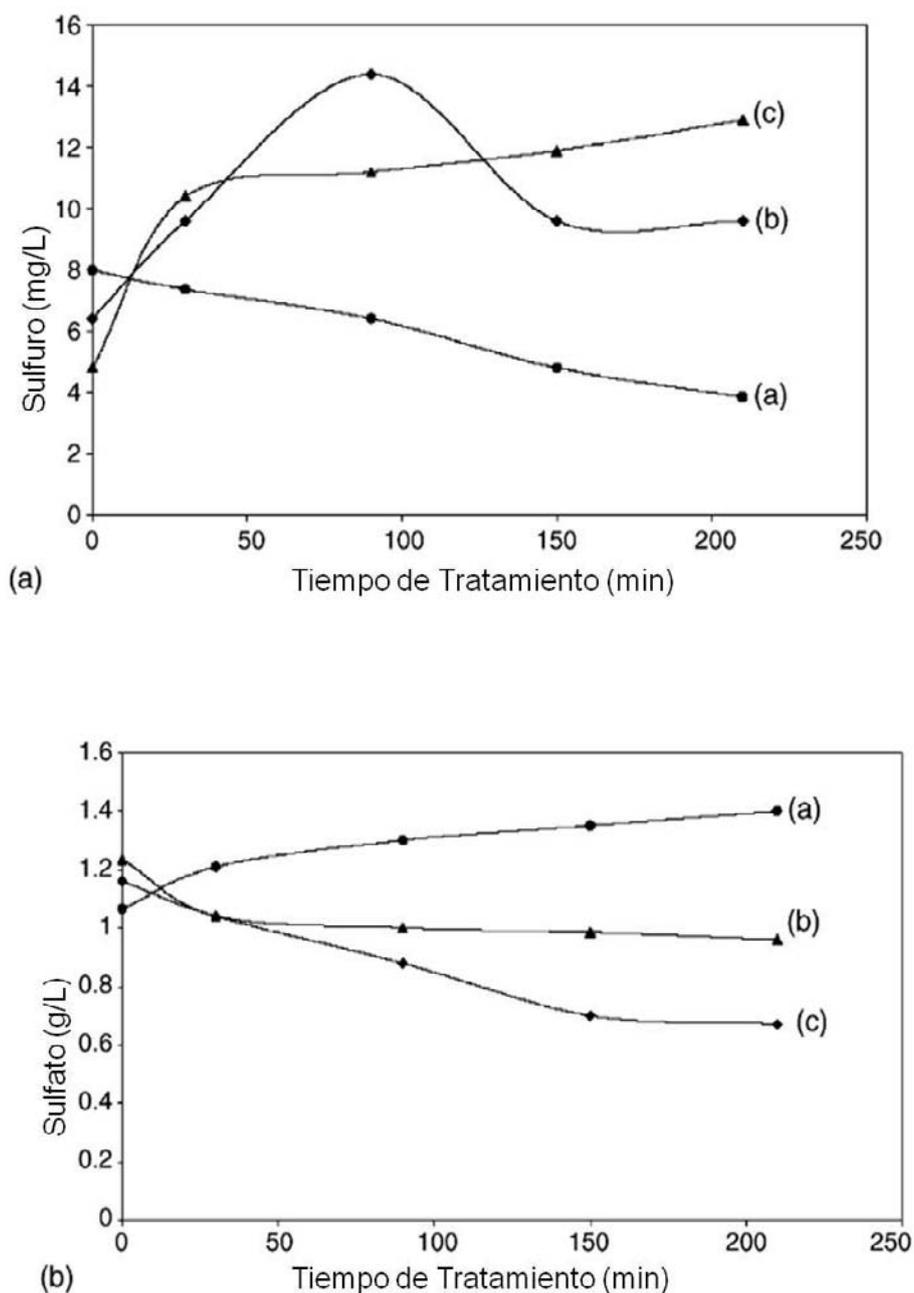


Figura 31: Reacciones de los sulfuros en diversas situaciones (a) Con  $H_2O_2$  (1 ml/L) (b)  $H_2O_2$  (1 ml/L) y  $Fe^{2+}$  (0.4 mM); (c) proceso biológico

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

En Bucks County – Estados Unidos, Hollowell (1994), ha investigado sobre la adición de nitrato para el control de Sulfuro de Hidrogeno en la red de alcantarillado. Las concentraciones de  $H_2S$  fueran reducidas de 49 ppm hasta límites no detectables. Esos resultados fueran obtenidos añadiendo 7,5 l/Kg de Sulfuro.

Según U.S. EPA (1985), La mayoría de los olores producidos en depuradoras pueden ser prevenidos con la inyección de Oxígeno en concentraciones entre 0,5 hasta 1,0 mg/L. El oxígeno puede oxidar los compuestos generadores de olores o suministrar oxígeno para las bacterias aerobias para que ellas realicen esta función mientras desarrollan el proceso metabólico.

Gutierrez et al (2008) ha realizado una investigación sobre la eliminación de sulfuros en la red de alcantarillado con la inyección de oxígeno. Para el desarrollo da la investigación se ha proyectado un reactor de laboratorio, que consiste en un sistema de dos líneas paralelas, con 4 reactores cada una de ellas conectados en serie (figura 32). Las muestras de aguas residuales (concentraciones de sulfuro a bajo de 3 mgS/L), fueran colectadas de la depuradora de Brisbane, Australia y transportadas inmediatamente al laboratorio, y analizadas por un cromatógrafo compacto (Dionex ICS- 2000 ion).

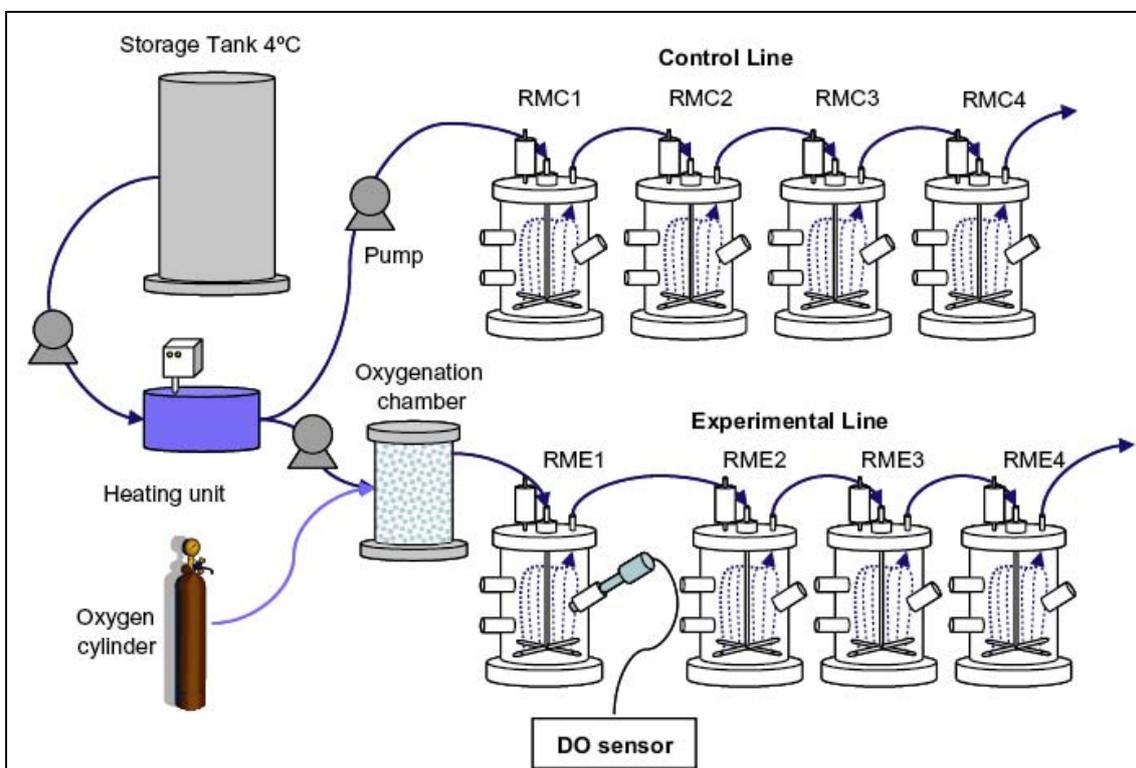


Figura 32: Esquema del sistema de reactores (Gutierrez et al, 2008)

La adición de oxígeno (15-25 mg O<sub>2</sub>) en la entrada del sistema disminuye los niveles de sulfuros en 65 %. Oxígeno se presentó como un buen oxidante químico y biológico de sulfuros, sin embargo no presentan el cese de la producción de sulfuros. Los resultados son presentados en las figuras a continuación.

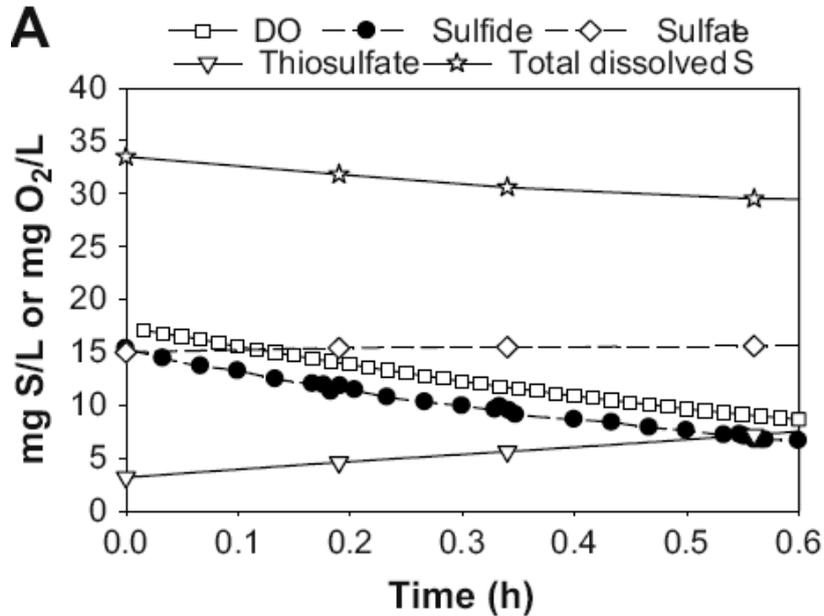


Figura 33: Oxidación química de Sulfuros por el oxígeno (Gutierrez et al, 2008)

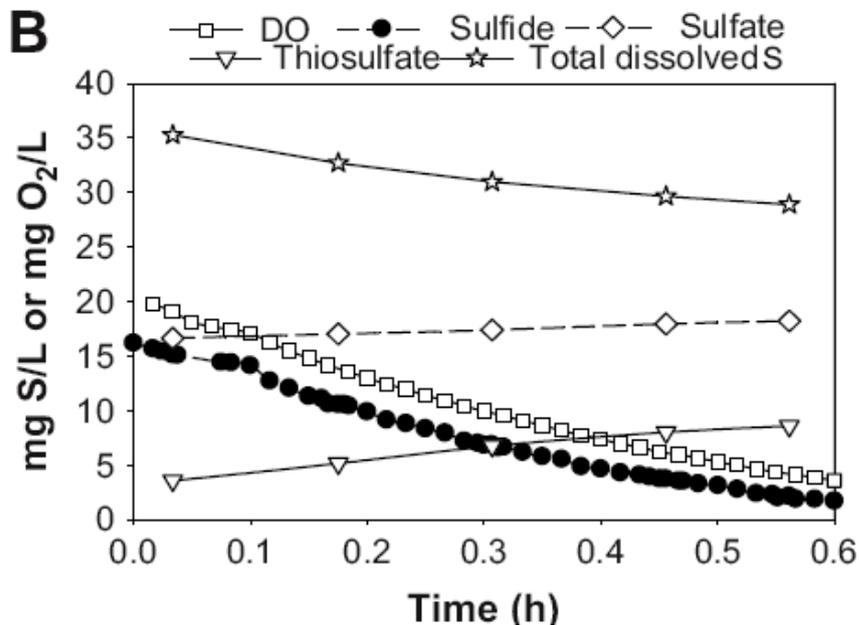


Figura 34: Oxidación química y biológica de Sulfuros por el oxígeno (Gutierrez et al, 2008)

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

Alves et al (2004), han realizado un estudio para evaluar las técnicas de eliminación de olores, viables para las depuradoras de Paraná – Brasil. En estudios preliminares han concluido que entre las alternativas la precipitación química u oxidación del efluente de reactores era una alternativa viable y fiable.

Como continuación de estos estudios preliminares el autor ha investigado la eficiencia de los agentes desinfectantes en la precipitación química para eliminación de olores. En el caso de clorato de hierro el tratamiento se torna inviable económicamente, debido a gran cantidad de este producto para realizar la precipitación (120 mg/l), sin embargo el uso de hipoclorito de sodio ha presentado una reducción significativa de  $H_2S$  y no presentan producción de compuestos organoclorados y cloraminas.

En la depuradora de Philadelphia – Estados Unidos se ha comprobado por estudios anteriores, que los olores producidos en la planta son generados debido la reducción de dimetil sulfóxido en Dimetil Sulfuro. Con esas conclusiones Cheng et al (2009), han realizado cambios, operacionales para evitar la formación de dimetil sulfóxido y consecuentemente la generación de Dimetil Sulfuro. Después de estos cambios, la depuradora no se considera ya como fuente de generación de olores.

### b) Absorción

Jefferson et al (2005) evaluaron el uso de una membrana de polipropileno en la remoción de  $H_2S$  en residuos gaseosos. Se añadieron en una membrana gases con concentraciones entre 25-210 ppmv mientras se hace fluir por la fibra lumen una solución de agua y NaOH. El gas utilizado es una mezcla de  $H_2S$  con aire sintético ( $N_2 + O_2$ ).

Se tomaron muestras en el momento que el pH se igualó a 7 en botellas de 25 ml para su análisis en un espectrofotómetro. Con el pH 13 (10% NaOH), las muestras fueron colectadas con una solución antioxidante (Standards Methods 4500 S2-.G), con el objetivo de inhibir la oxidación del sulfuro. La medición del sulfuro fue realizada por una sonda de ionización mientras que los compuestos sulfurados se midieron por absorción atómica.

El proceso fue efectivo con remoción de 96 % del  $H_2S$  (pH 13 y relación gas/liquido por encima de 50).

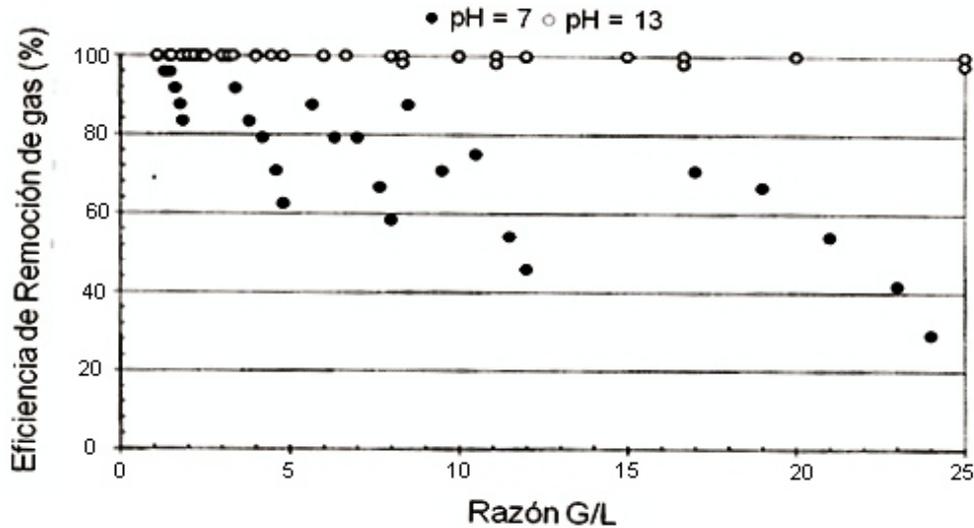


Figura 35: Eficiencia de Remoción de H<sub>2</sub>S de la fase gaseosa en función de la relación gas/líquido (Jefferson et al, 2005)

En referencia a la comparación económica del uso de membranas como sistema de tratamiento de olores con biofiltración, la paridad es determinada mediante concentraciones de gases entre 580 y 3752 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>, esos valores dependen del costo de las membranas.

Sattler y Rosenberk (2006) realizaron una investigación con los siguientes objetivos:

- Evaluar la capacidad de absorción de tres diferentes carbones en la remoción de carbonilo sulfurado (COS).
- Evaluar el impacto de la humedad (RH) en la absorción de COS.
- Evaluar la absorción de COS en la presencia de H<sub>2</sub>S.
- Evaluar la influencia de la inyección de amonio en la capacidad de absorción de COS.

Fueron ensayados en laboratorio en tres columnas, los carbones reactivos en la fase vapor (VPR; reactivated), Carbones BPL (bituminous coal-based) y Carbones Centaur (físicamente modificados) manufacturados por Calgon Carbon Corp. Las concentraciones de COS han variado de 35 a 49 ppmv (86-120 mg/m<sup>3</sup>) y humedades relativas (RH) de 17%, 30%, 50% y 90%.

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

En la eliminación conjunta con  $H_2S$  las concentraciones utilizadas fueron 60 ppmv de  $H_2S$  y 30 ppmv de COS.

Los equipos utilizados en el experimento son indicados en la figura 36.



Figura 36: Equipos utilizados en los experimentos (Sattler y Rosenberk, 2006)

Las concentraciones de COS, RH,  $H_2S$  y amonio fueron determinadas mediante la utilización de un sensor Modelo IQ-350, medidor de humedad Cole-Parmer, un analizador portátil Interscan Corp. 1000 y un sensor de amonio, Dräger Accuro, respectivamente.

Durante la investigación se concluyó que:

- La capacidad de absorción del carbón Centaur es mayor que la de los demás carbones (Tabla 36).
- La capacidad de absorción del carbón Centaur disminuye con el aumento de la humedad.
- La capacidad de absorción de COS disminuye en proporción al suministro de  $H_2S$  (tabla 37).
- El amonio aumenta la capacidad de absorción del  $H_2S$ , pero no aumenta en el caso de del COS (Tabla 38).

Tipo de Carbón	RH	Capacidad Media de absorción x 10 <sup>3</sup> COS/g C)	% Disminución en la capacidad de absorción
VPR	17%	1,82	
	30%	1,79	1,60%
	50%	1,48	19%
	90%	1,37	35%
BPL	17%	2,1	
	30%	1,84	12%
	50%	1,39	34%
	90%	1,37	35%
Centaur	17%	3,5	
	30%	3	14%
	50%	2,84	19%
	90%	1,76	50%

Tabla 36: Capacidad de Absorción de COS para cada Carbón en función de la humedad (Sattler y Rosenberk, 2006).

Tipo de Carbón	COS entrada (ppm)	H <sub>2</sub> S entrada (ppm)	% de moléculas de H <sub>2</sub> S	Capacidad de Absorción x 10 <sup>3</sup> (contaminante /g C)			% Reducción en la capacidad de absorción de COS debido al H <sub>2</sub> S
				H <sub>2</sub> S en Presencia de COS	COS en Presencia de H <sub>2</sub> S	COS Solo	
VPR	27	60	69%	4,11	0,58	1,8	68%
BPL	28	60	68%	4,16	0,68	2,1	68%

Tabla 37: Capacidad de absorción de COS y H<sub>2</sub>S con humedad de 17%(Sattler y Rosenberk, 2006).

Tipo de Carbón	Concentración de COS en la entrada (ppm)	Concentración de NH <sub>3</sub> en la entrada (ppm)	Capacidad de Absorción de COS x 10 <sup>3</sup> (g COS/g C)
VPR	37	0	1,4
	47	10	1,45
	47	20	1,58
BPL	36	0	1,4
	46,5	10	1,51
	47	20	1,59
Centaur	38	0	2,83
	46,5	10	2,89
	47	20	3

Tabla 38: Capacidad de absorción de en la presencia de (Sattler y Rosenberk, 2006).

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

En relación al uso del carbón activo como técnica de tratamiento de olores de  $H_2S$  se pueden citar como ejemplo las investigaciones de Bagreev y Bandosz (2002) y Yan et al (2002). En ambos casos trabajan a 10.000 ppmv de  $H_2S$  y emplean carbones comerciales impregnados con NaOH y KOH, respectivamente. En el caso del trabajo de Bagreev y Bandosz (2002), se observa que los carbones activados impregnados con cáusticos dan valores de capacidad de eliminación superiores a los mismos sin impregnar utilizando el método de la ASTM (tabla 39). También se observa que para carbones con la misma cantidad de NaOH las capacidades específicas calculadas por unidad de área superficial son más o menos similares en todos los carbones. Se ha visto que se absorben 3 moles de  $H_2S$  por cada mol de NaOH, hecho que indica el efecto catalítico del agente activante. En el trabajo de Yan et al (2002) se observa que las 5 muestras que se han utilizado presentan porosidades similares.

Carbones	Capacidad de	Adsorción		
	Remoción de $H_2S$ (mg/g)	de agua (mg/g)	pH	pHE
SCS-300	1	39,3	4,15	
SCS-600	40,7	52,7	9,97	7,99
SCS-800	43	42,1	11,52	8,83
SCS-950	114	67,4	11,62	7,46

Tabla 39: Resultados de remoción de  $H_2S$  (Bagreev y Bandosz, 2002)  
pHE: pH después de los ensayos

Asmari et al (2005) y Bagreev et al (2001) utilizaron para la activación  $ZnCl_2$ ,  $H_2SO_4$  y adsorbentes lavados con ácido y mezclados con  $Ca(OH)_2$  respectivamente. En todos los casos se observa que para materiales con áreas superficiales poco o muy poco desarrolladas se obtienen capacidades de eliminación importantes en las mismas condiciones experimentales (a 3000 ppmv los valores varían entre 20-100mg  $g^{-1}$  para el estudio de Bargreev y 85-351 mg  $g^{-1}$  en el caso investigado por Ansari). Los resultados de la investigación realizada por Asari están presentados en la tabla 40.

Carbones	Capacidad de Remoción de H <sub>2</sub> S (mg/cm <sup>3</sup> )	Capacidad de Remoción de H <sub>2</sub> S (m/g)	Adsorción del agua (m/g)	pHin	pHE
CS	10	19	93	7,38	7,15
CPS					
10/90	29	45	74	8,66	8,22
CPS					
30/70	31	111	134	9	8,98
CPS					
50/50	21	160	245	8,7	6,6
CPS					
70/30	16	180	173	7,21	4,93
CP	0	0	150	6,02	

Tabla 40: Resultados de remoción de H<sub>2</sub>S a 100 ppm (Asmari et al, 2005)

pHin: pH antes de la adsorción con H<sub>2</sub>S

pHE: pH después de la adsorción con H<sub>2</sub>S

Sans 2006, estudió el uso de fangos como adsorbentes tanto para la remoción de H<sub>2</sub>S, como para remoción de NH<sub>3</sub>. Se ha observado en la investigación que los materiales adsorbentes obtenidos mediante activación química con hidróxidos alcalinos son adecuados para la eliminación del H<sub>2</sub>S e incluso NH<sub>3</sub>.

Sánchez et al (2008), realizaron una investigación sobre la adsorbentes para el tratamiento de H<sub>2</sub>S y ha comparado estos con el carbón comercial, utilizado en la depuradora Viveros de la Villa.

Los adsorbentes investigados por lo autores fueran:

- Carbones activados de distinto origen: mineral, de coco, de turba y de madera, y con distinto procedimiento de activación: vapor de agua o H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>.
- Silicatos naturales: sepiolita, arcilla (tipo caolinita) y zeolitas naturales (tipo clinoptilolita).
- Óxidos inorgánicos: alúmina, óxido de titanio y zirconia.
- Fases activas: Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO<sub>2</sub> KOH, NaOH.

Los ensayos realizados fueran operando en las siguientes condiciones: Temperatura: 25°C, Caudal: 100 ml/min, [H<sub>2</sub>S]: 9000 ppm, HR: 100%, Peso adsorbente: 4-5 g. En la Figura 37 se muestra un resumen de los resultados más significativos obtenidos en estas condiciones.

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

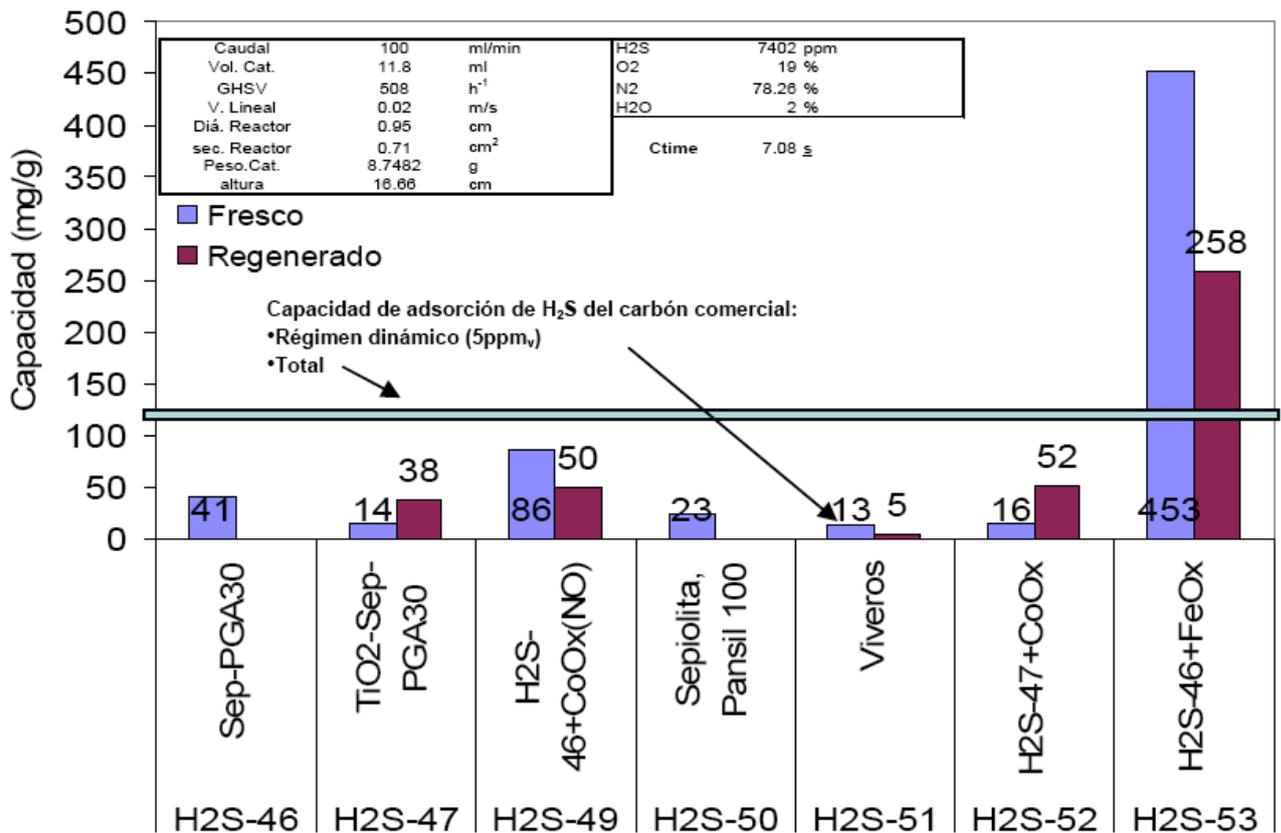


Figura 37: Resumen de los resultados obtenidos en condiciones húmedas con los materiales más significativos, comparadas con el carbón comercial (Sánchez et al, 2008).

Se observó que el adsorbente desarrollado en este Programa posee una capacidad de adsorción de H<sub>2</sub>S del orden de 40 veces el del adsorbente comercial que actualmente se está utilizando para esta aplicación en la planta.

### c) Biológicos

Jiang et al (2008) buscando una solución para los carbones agotados en la absorción, estudiaron la reutilización de estos carbones como medio filtrantes en biofiltros para la eliminación de H<sub>2</sub>S. La eliminación de H<sub>2</sub>S fue estudiada mediante el análisis de compuestos sulfurados en los biofiltros (con medio reciclado y con carbón activo).

El equipo de ensayos es constituido por cuatro columnas de vidrio (40mm diámetro, 200 mm de altura de relleno) (figura 38). Las Columnas A, B, C y D, fueran rellena respectivamente con carbón activado (150g) del pico, medio y fondo de la cama de absorción.

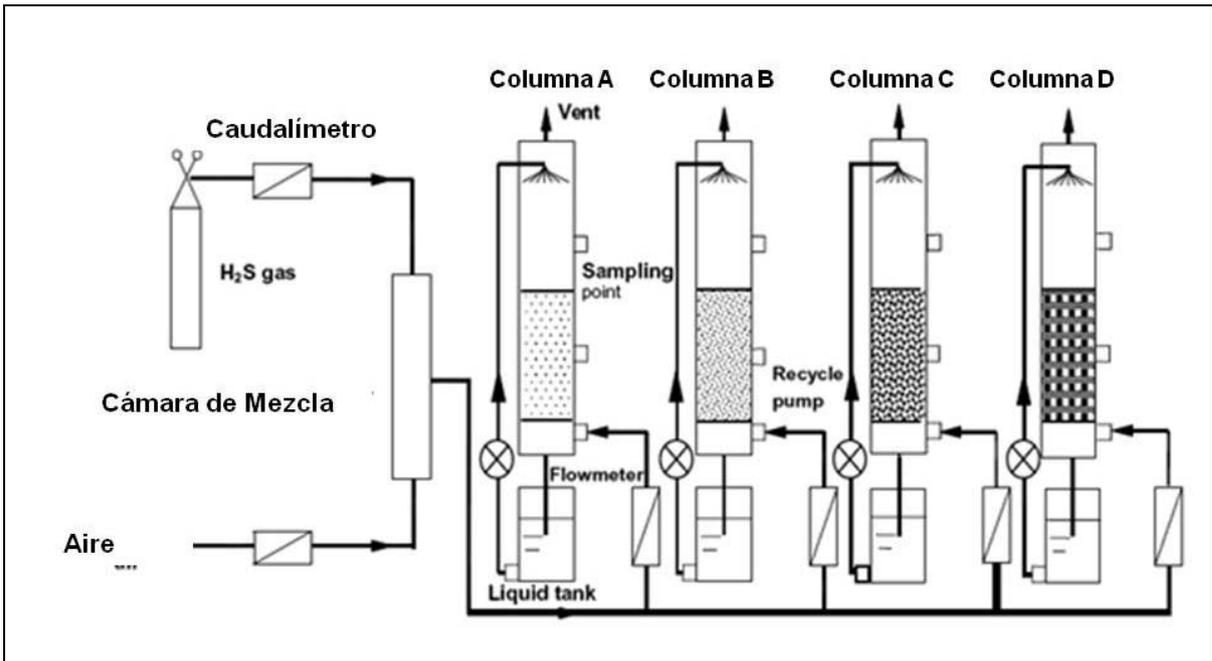


Figura 38: Esquema de los biofiltros (Jiang et al, 2008).

La concentración de entrada de H<sub>2</sub>S fue mantenida en 20 ppm por un mezclador 5% (v/v) estándar (Linda Gas, Singapore) con ajuste de aire por control de masa (The Brooks Model 5850E, USA). Las concentraciones de H<sub>2</sub>S fueran determinadas por un analizador de Sulfuro de hidrogeno Jerome 631-X (Arizona Instruments, USA).

En la figura 39 son presentados los resultados de la eficiencia de las columnas del biofiltro.

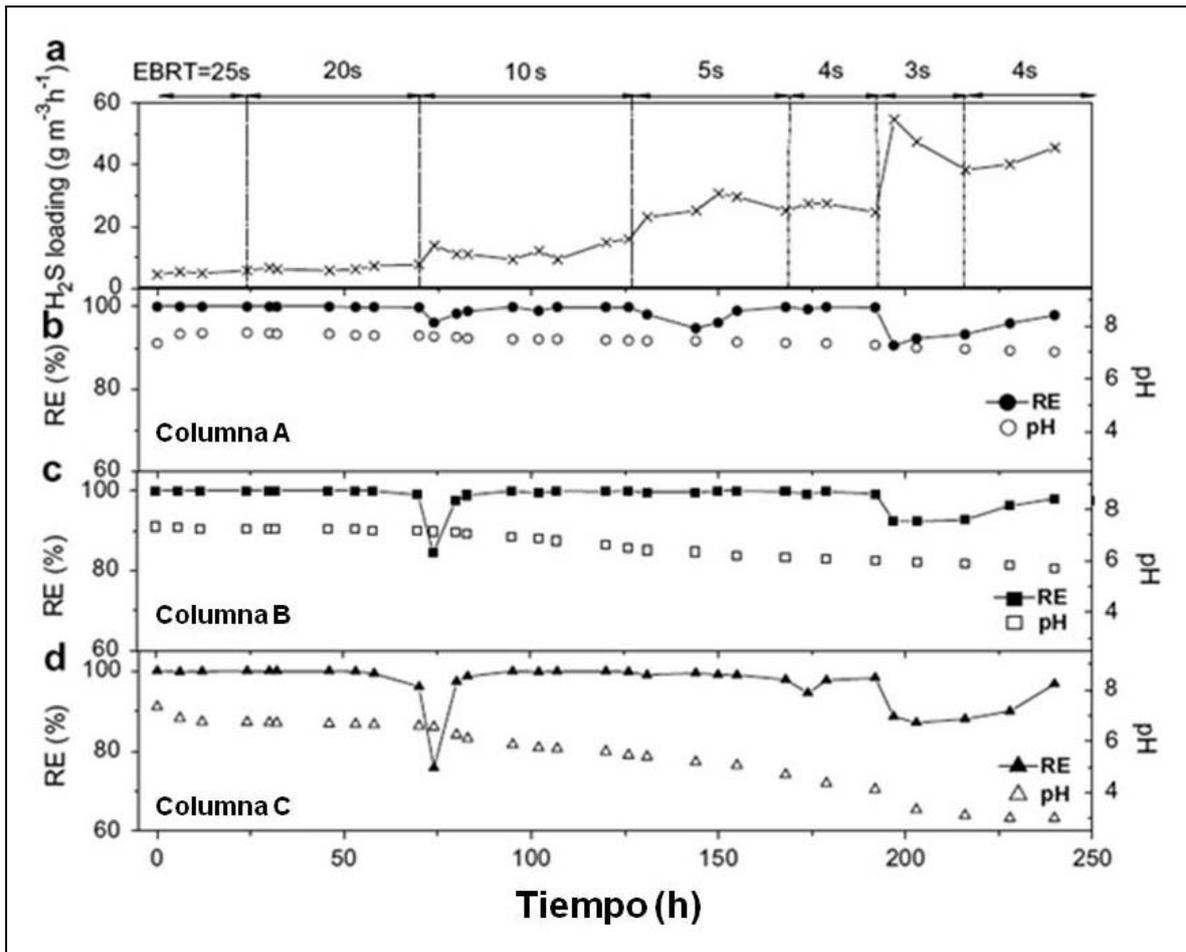


Figura 39: Eficiencia de los filtros biológico: (a) concentración de  $H_2S$ , (b) Eficiencia y pH de la Columna A, (c) Eficiencia y pH de la Columna B y (d) Eficiencia y pH de la Columna C. (Jiang et al, 2008).

Este estudio indica que carbón agotado como medio de filtros biológicos en la eliminación de olores es una alternativa viable, fiable y económica.

Duana et al (2006), han realizado un estudio con el objetivo de evaluar la viabilidad del uso de carbón biológico activo como material para mejorar el rendimiento de un proceso de biofiltración en el tratamiento de  $H_2S$  a través de una proporción óptima y una combinación entre la capacidad de adsorción con la biodegradación del  $H_2S$  con bacterias inmovilizadas en el material.

El biofilm fue desarrollado por bacterias presentes en el carbón en medio natural. Fueran utilizados un microscopio de barrido electrónico para identificar el desarrollo del biofilm en el carbón. Dos biofiltros en escala de laboratorio, uno con carbón activo biológico y el otro con carbón virgen, sin bacterias inmovilizadas fueran suministrados por varias concentraciones de  $H_2S$  (arriba de 125 ppmv) con el objetivo de determinar el mejor rendimiento.

Bolsos Tedlar fueron utilizados para coleccionar muestras en varias localizaciones. Las concentraciones de  $H_2S$  fueran medidas con la utilización de un analizador Jerome 631-X (Arizona Instruments, USA). Los análisis de cada muestra de gas fueran inmediatamente realizados para evaluar la degradación de  $H_2S$ . Para eliminar el efecto residual en los bolsos de Tedlar, los bolsos fueran limpiados después de cada análisis. Tres análisis de cada una de las muestras fueran realizadas en carácter de choque. Un analizador cromatografico (FIA/IC, Lachat, QuickChem 8000), ha sido utilizado para la análisis de sulfatos y un SEM (Stereoscan 420, LEO, UK) fue utilizado para identificar el desarrollo del biofilm.

La figura 40 presenta la eficiencia (RE) de los dos biofiltros, con carbón activo biológico (BAC) y con carbón virgen (VAC) durante 21 días de operación.

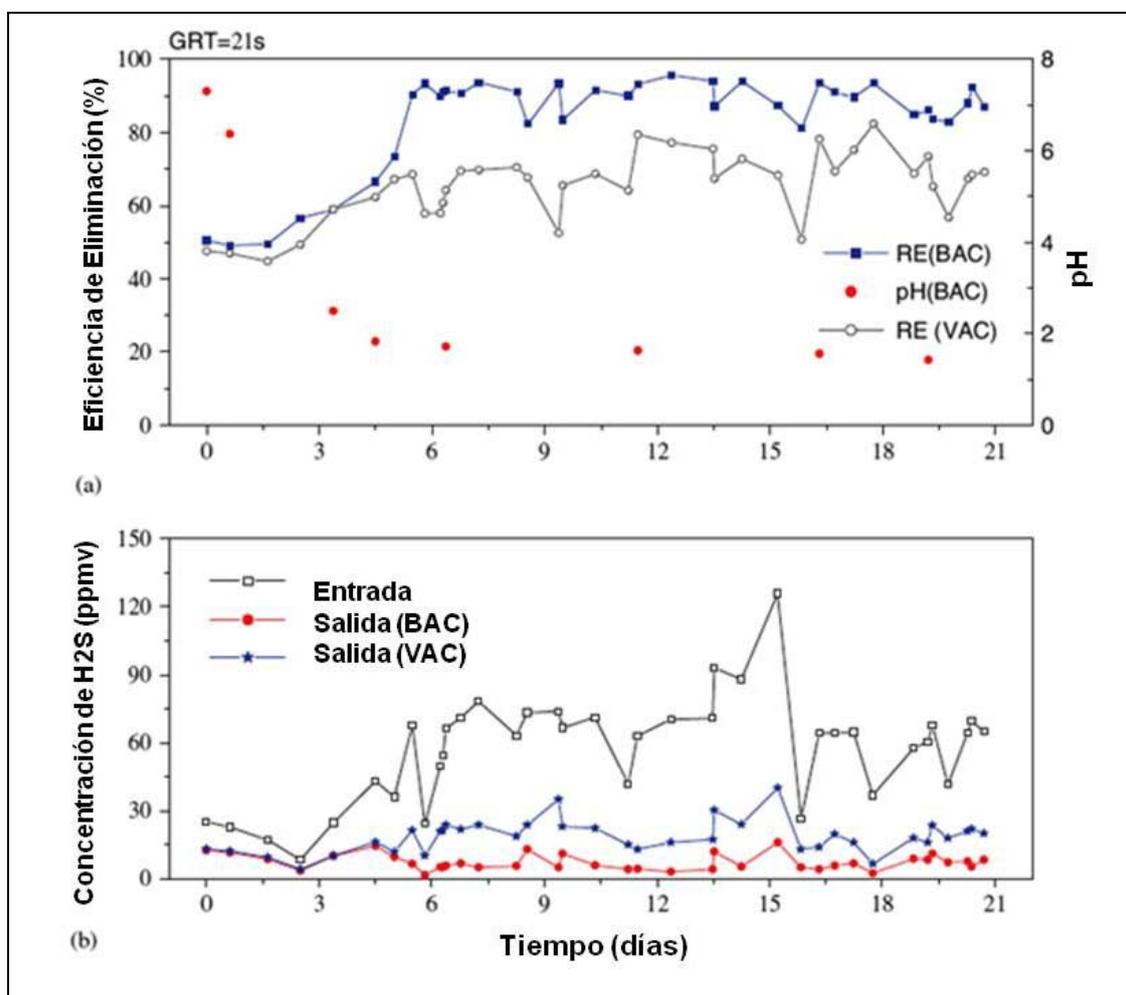


Figura 40: Eficiencia de los biofiltro. – (a) Eficiencia de remoción y pH vs. tiempo; (b) Concentraciones de entrada de las columnas y salida de las columnas vs. Tiempo (Duana et al, 2006)

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

La evaluación del estudio indica que el biofiltro con carbón activo biológico presenta mejor eficiencia que el biofiltro con carbón virgen en la eliminación de  $H_2S$ . Carbón activo es un excelente medio para los microorganismos en la biofiltración presentando eliminación arriba de 90 % de  $H_2S$ .

Easter et al (2005) han colectado datos de biotecnología (Biofiltros y Torres biológicas) en la remoción de olores durante 4 años. Fueran colectados datos referentes a la eficiencia de filtros biológicos con solido orgánico y inorgánicos como medio y Torres biológicas con inorgánicos inertes.

Los resultados indican que el control de olores por biotecnología es viable y fiable con altos rendimientos para Sulfuro de hidrogeno y otros compuestos que producen olores.

En relación a la remoción de compuestos orgánicos volátiles (COV) y compuestos peligrosos, la eficiencia es menor que la observada para el  $H_2S$ .

Los biofiltros evaluados presentaran altos niveles de remoción de  $H_2S$  y otros compuestos olorosos generales. Las torres biológicas también presentaran eficiencia elevada en la remoción de  $H_2S$ , pero indicaran menores eficiencias para otros compuestos olorosos generales.

El muestreo fue constituido por una combinación de un bolso de aire para el olor y sulfuros reducidos y una medición de campo del  $H_2S$ . Las muestras de fueran colectados por un bolso Tedlar (10 L para la muestra de olor y 1 L para los sulfuros reducidos) utilizando una cámara de vacío. Las muestras fueran analizadas 24 horas después de la colección en laboratorio con el uso del método ASTM E-679-91 "Determination of odor and taste threshold by a forced-choice ascending concentration series method of limits." La especificación y cuantificación de los compuestos sulfurados reducidos han sido completados con procedimientos de laboratorio (EPA Method 15/16) y un cromatógrafo de gases. La medición del  $H_2S$  fue realizada por analizador Jerome 631-X.

La actuación de los tres filtros biológicos y de la torre biológica utilizando como medio, en el primer caso tierra y orgánicos y, en el segundo caso, inorgánicos / inertes se presentan en las próximas figuras.

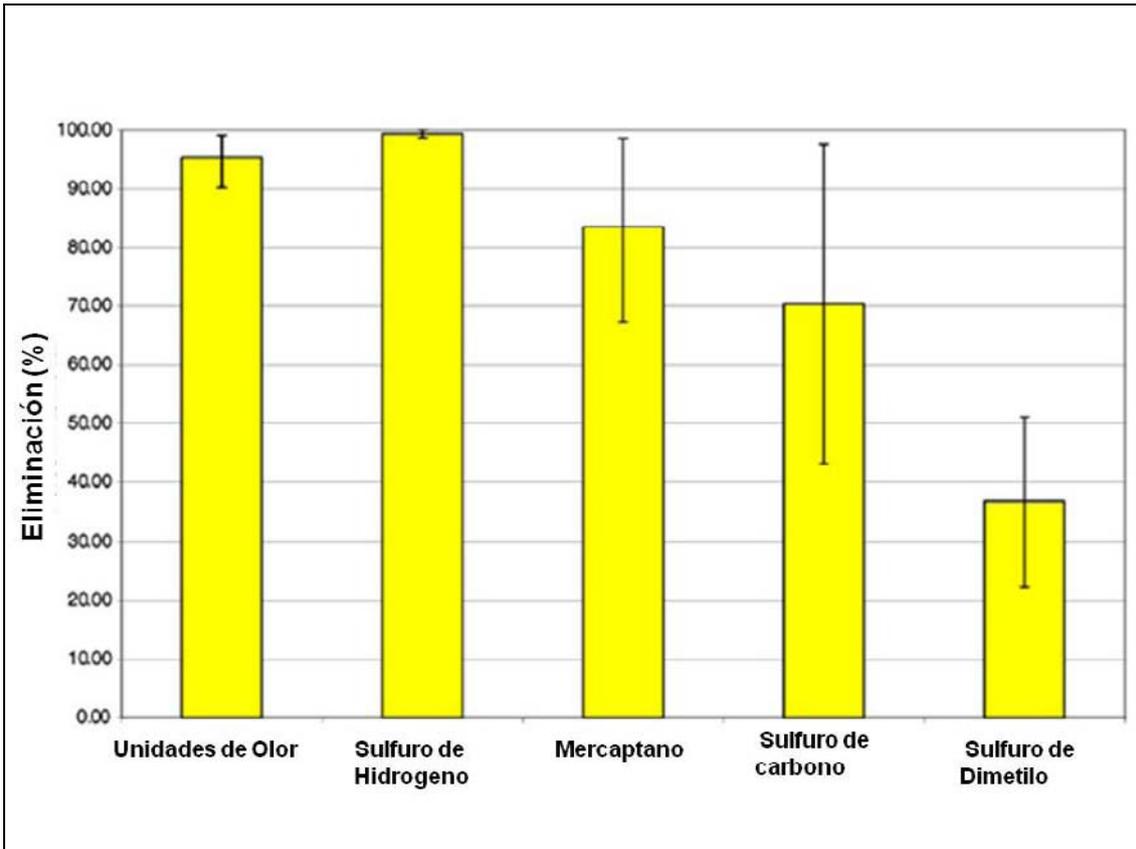


Figura 41: Actuación de filtro biológico con tierra como medio (Easter et al, 2005)

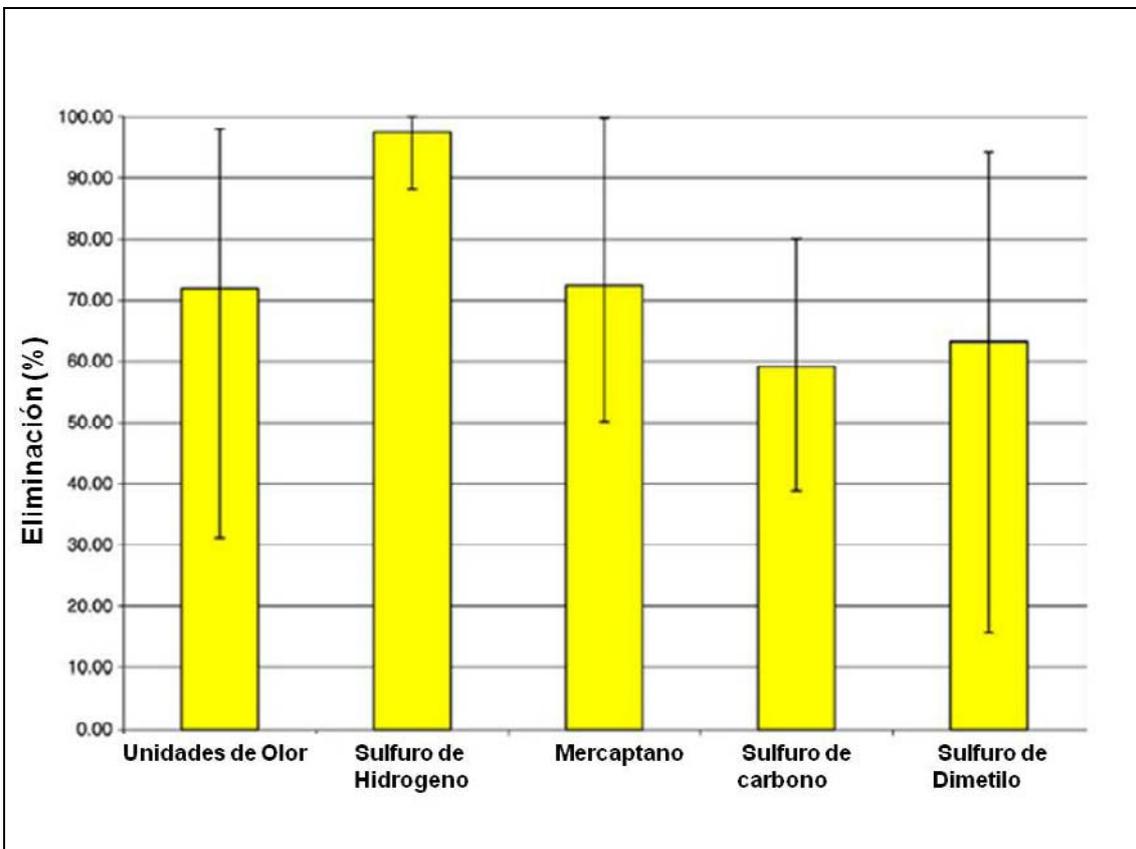


Figura 42: Actuación de filtro biológico con orgánicos como medio (Easter et al, 2005)

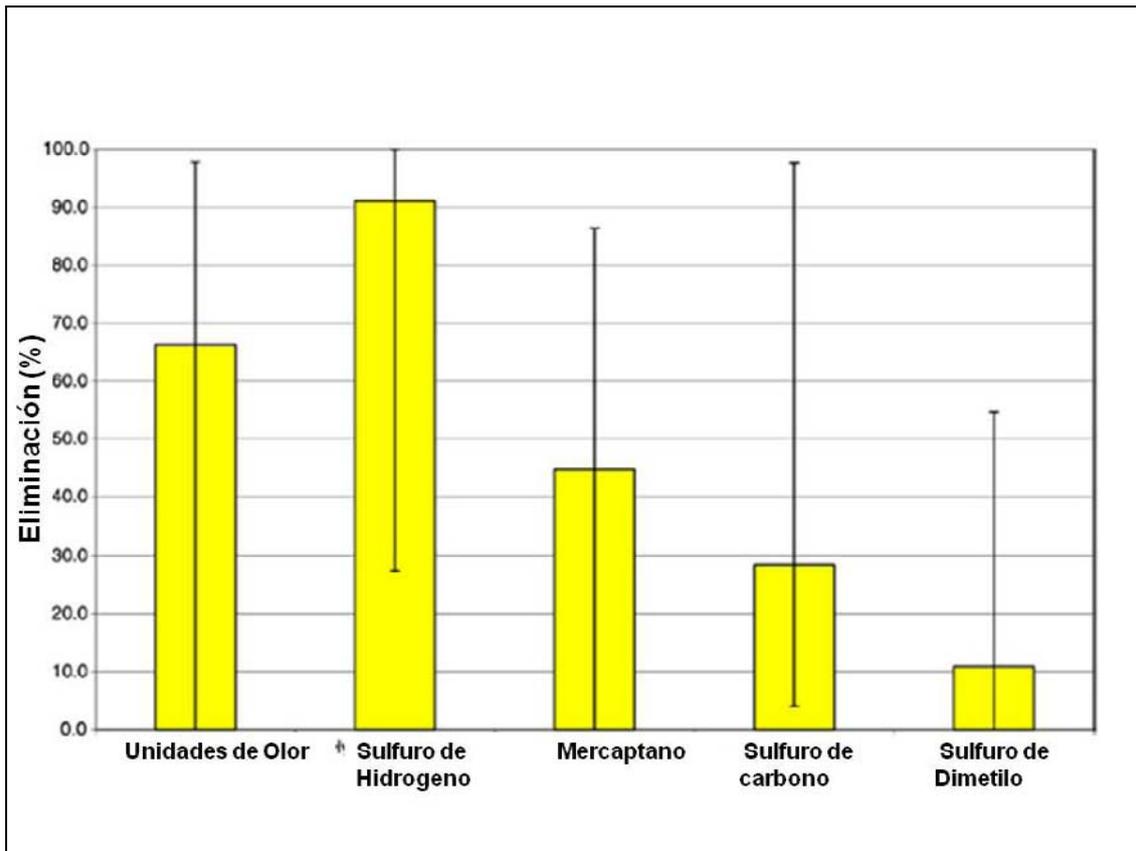


Figura 43: Actuación de una torre biológica con inorgánicos/inertes como medio (Easter et al, 2005).

En la investigación se concluyó que:

- Biofiltros con un diseño y operación adecuados son mejores para el control de olores en la red de alcantarillado y en depuradoras.
- Torres biológicas presentan alta eficiencia en la eliminación de  $H_2S$ .
- Actuaciones de 34 sistemas de operación biotecnológica indica que todos los tipos de medio (tierra, orgánico, inorgánico e inerte) son capaces de eliminar grandes cantidades de  $H_2S$  con eficiencias entre 96 y 99%.

En California – Estados Unidos, Converse et al (2003), estudiaron la eliminación de sulfuro de hidrogeno y compuestos orgánicos volátiles en biofiltro en un proyecto piloto con dos cámaras, una para el H<sub>2</sub>S y la otra para los COV, durante 10 meses. Realizando los análisis en muestras tomadas antes y después del Biofiltro. Los análisis de H<sub>2</sub>S se realizaron mediante un analizador de H<sub>2</sub>S Jerome 631-X (Arizona Instruments, Temple, Arizona) y para los compuestos orgánicos volátiles con la ayuda de un cromatógrafo de gases equipado con un fotoionizador y detector de conductividad. Las muestras puntuales se tomaron en los mismos días y se analizaron por un panel con 8 expertos (Odor Science & Engineering, Bloomfield, Connecticut) en D/T y en intensidad del olor. Los resultados se presentan en la tabla abajo.

Contaminante	Concentración Entrada	Eficiencia de Remoción (%)
<b>Sulfurados</b>		
Sulfuro de Hidrogeno	15-24 ppm <sub>v</sub>	99-99,8
Sulfuro de Carbonilo	19-52 ppb <sub>v</sub>	30-33
Metilmercaptano	149-165 ppb <sub>v</sub>	91-94
Sulfuro de dimetilo	8-12 ppb <sub>v</sub>	0-21
Disulfuro de carbono	6-8 ppb <sub>v</sub>	32-36
Terc-butil mercaptano	< 2-3 ppb <sub>v</sub>	> 31 <sup>a</sup>
<b>COV</b>		
Benceno	0,5-1 ppb <sub>b</sub>	0-50
Tolueno	20-50 ppb <sub>b</sub>	42-86
Xileno	40-150 ppb <sub>b</sub>	40-75
Diclorobenceno	4-8 ppb <sub>b</sub>	43-60
Diclorometano	Nab	NA
Cloroformo	50-75 ppb <sub>b</sub>	0-17
Tetra-cloro etileno	50-140 ppb <sub>b</sub>	0-9
Triclor etileno	NA	NA
<b>Olor</b>		
Reducción de olor	35000-46000 D/T	99-99,4

Tabla 41: Eficiencia del proyecto piloto en el día 253.

a: Concentración cerca del límite de detección

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

Se ha concluido que el biofiltro fue correctamente dimensionado, pues reduce los olores desagradables, elimina el Sulfuro de hidrogeno y reduce la emisión de gases tóxicos y COV (moderada para los no clorados y mala para los clorados). La remoción de COV por los Biofiltros como se ha presentado en este estudio es una ventaja en relación al proceso de scrubbers químico que solamente elimina el H<sub>2</sub>S.

Jianwei et al (2008), han llevado a cabo una investigación para eliminación de compuestos oloroso presentes en depuradoras. La investigación se ha desarrollado en un filtro biológico (figura 44) operando en dos condiciones distintas, una con pH neutro y la otra con pH bajo. El amonio, ácido butírico, etilmercaptano y estireno fueran añadidos en las concentraciones 20, 20, 20, 80 mg/m<sup>3</sup> respectivamente. Los filtros fueran inoculados con fango activo de una depuradora los tiempos de retención variaran entre 20 y 180 segundos y el caudal suministrado entre 0.5 to 4.5 L/min.

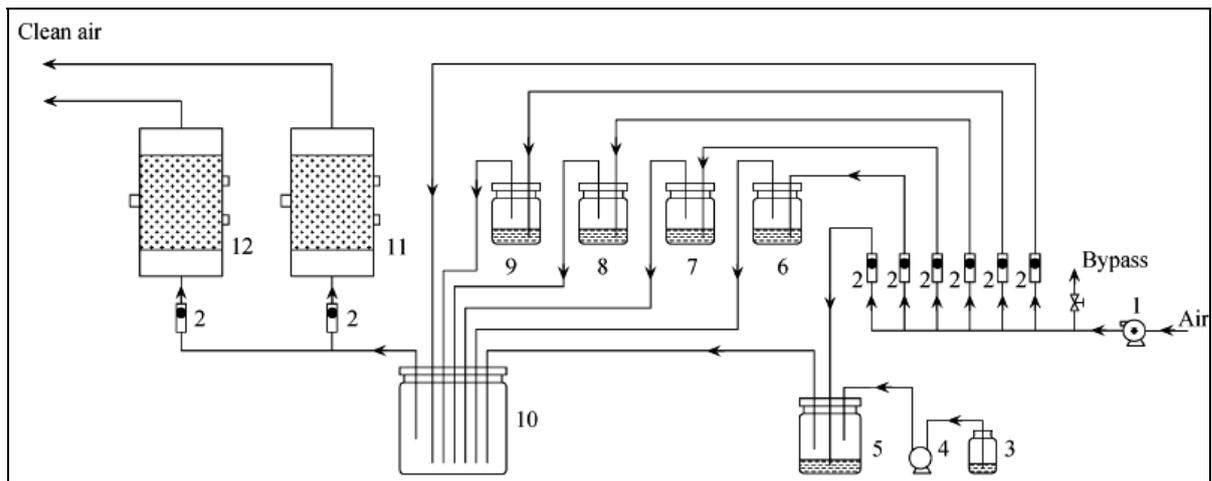


Figura 44: Esquema del experimento (1) compresor; (2) rotámetro; (3) solución de sulfuro sódico; (4) bomba; (5) solución de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; (6) solución de amonio; (7) solución de etilmercaptano; (8) solución de ácido butírico; (9) solución de estireno; (10) cámara de mezcla; (11) biofiltro con pH neutro; (12) biofiltro con pH bajo (Jianwei et al, 2008)

Los resultados de la investigación son resumidos en las figuras abajo. La investigación ha concluido que el filtro con pH neutro presentan mayores eficiencias para el amonio y el ácido butírico, sin embargo para el etilmercaptano y estireno la eficiencia se ha observado mejor en el filtro biológico con pH bajo.

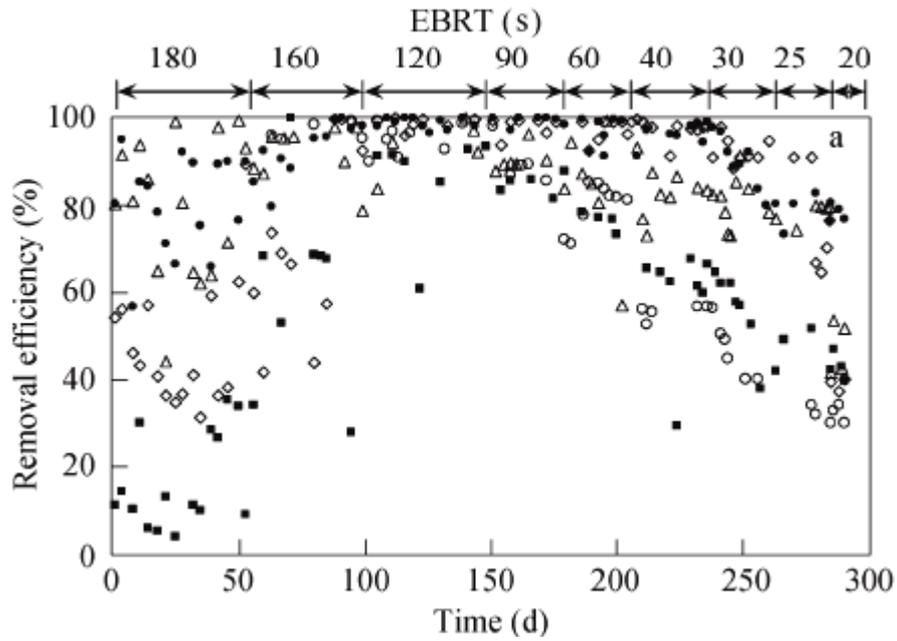


Figura 45: Resultados para el biofiltro con bajo pH; ○: ácido butírico, Δ: amonio, ■: estireno, ◇: etilmercaptano (Jianwei et al, 2008)

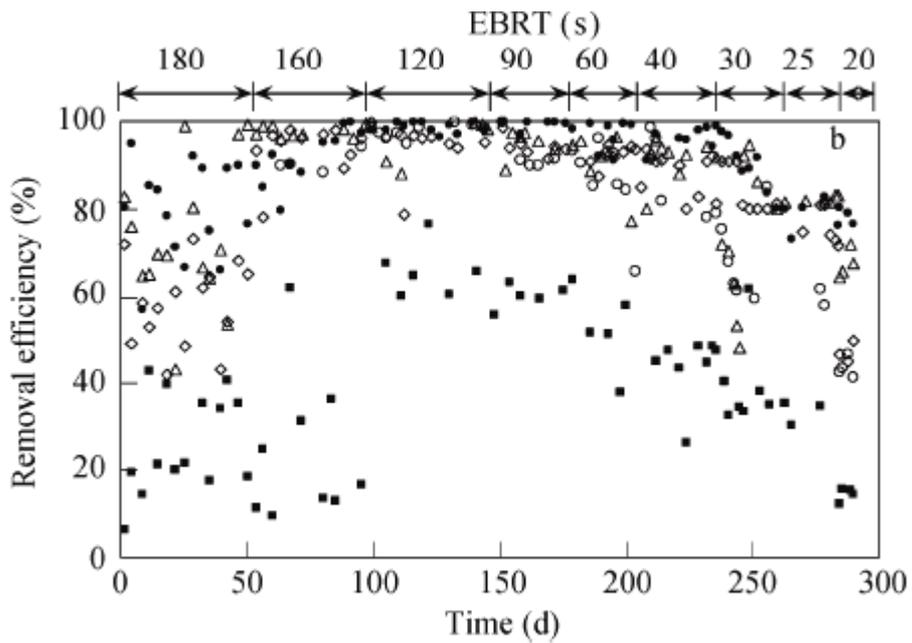


Figura 46: Resultados para el biofiltro con pH neutro; ○: ácido butírico, Δ: amonio, ■: estireno, ◇: etilmercaptano (Jianwei et al, 2008)

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

En China, Chen et al (2004), investigaron la eliminación de Amonio en dos filtros biológicos (figura 47) de escala de banco y se evaluaron las concentraciones de contaminantes en la eficiencia del proceso. Se utilizaron mezclas de compost/perlita (5:1) y fango seco/carbón activo (5:1) como medio filtrante. En la tabla 42 se presenta las características de los materiales de los filtros. Se investigaron también la variación de masa de contaminantes, la composición del agua, el periodo “nonuse” (aire no pasa en los filtros) y la concentración en la entrada.

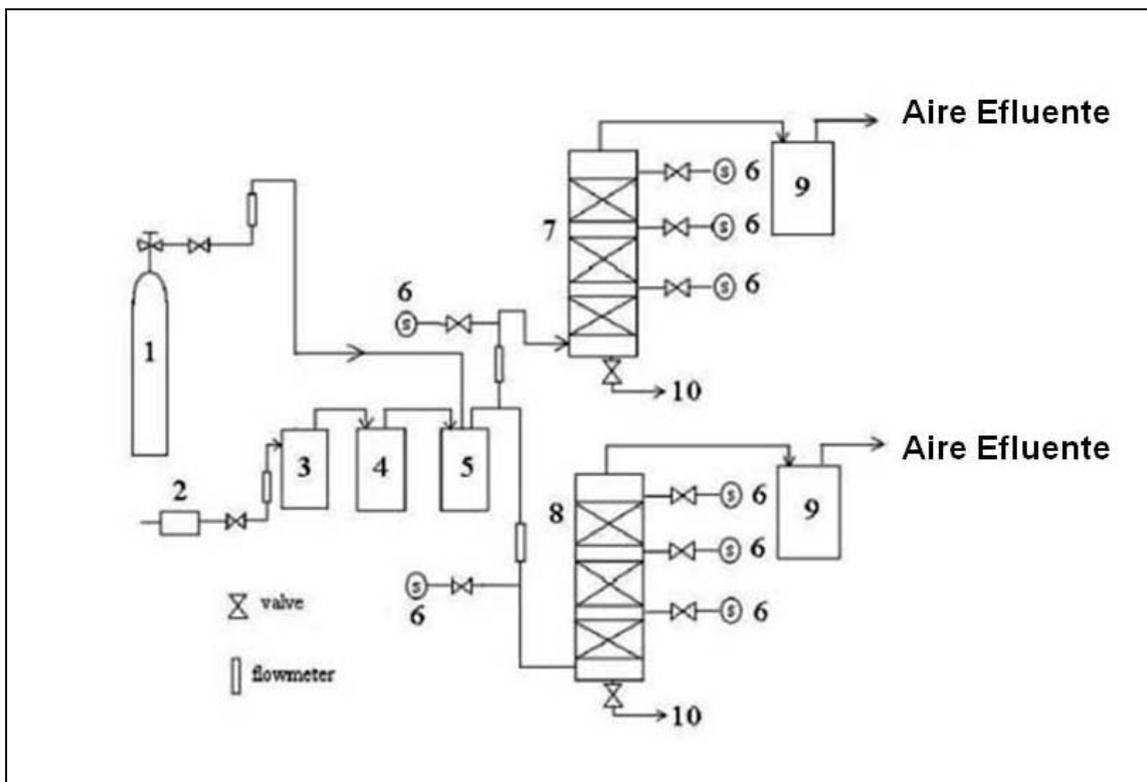


Figura 47: Esquema de los filtros de escala de laboratorio (Chen et al, 2004).

Características	Unidad	Compost	Fango
pH		8,04	6,74
Agua	%	65	9
Densidad en masa	Kg m <sup>-3</sup>	391	726
Composición orgánica del carbón	g kg <sup>-1</sup>	177	190
Cenizas	%	18	54
Porosidad	%	38,9	52,7
Amonio	g kg <sup>-1</sup>	74,5	414
Nitrito	g kg <sup>-1</sup>	1,86	0,394
Nitrato	g kg <sup>-1</sup>	11,6	8,28

Tabla 42: Características de los materiales de los filtros biológicos (Chen et al, 2004).

La concentración de Amonio en la fase gas se determinó mediante análisis químico. El Amonio fue transferido a una solución acuosa por una gasificación en una solución de ácido sulfúrico y sus concentraciones determinadas por espectrofotómetro. El límite mínimo de detección fue  $0,125 \text{ mg. m}^{-3}$ .

En la figura 48 se presenta la variación en la concentración inicial de  $\text{NH}_3$  y su eficiencia de eliminación en los filtros biológicos.

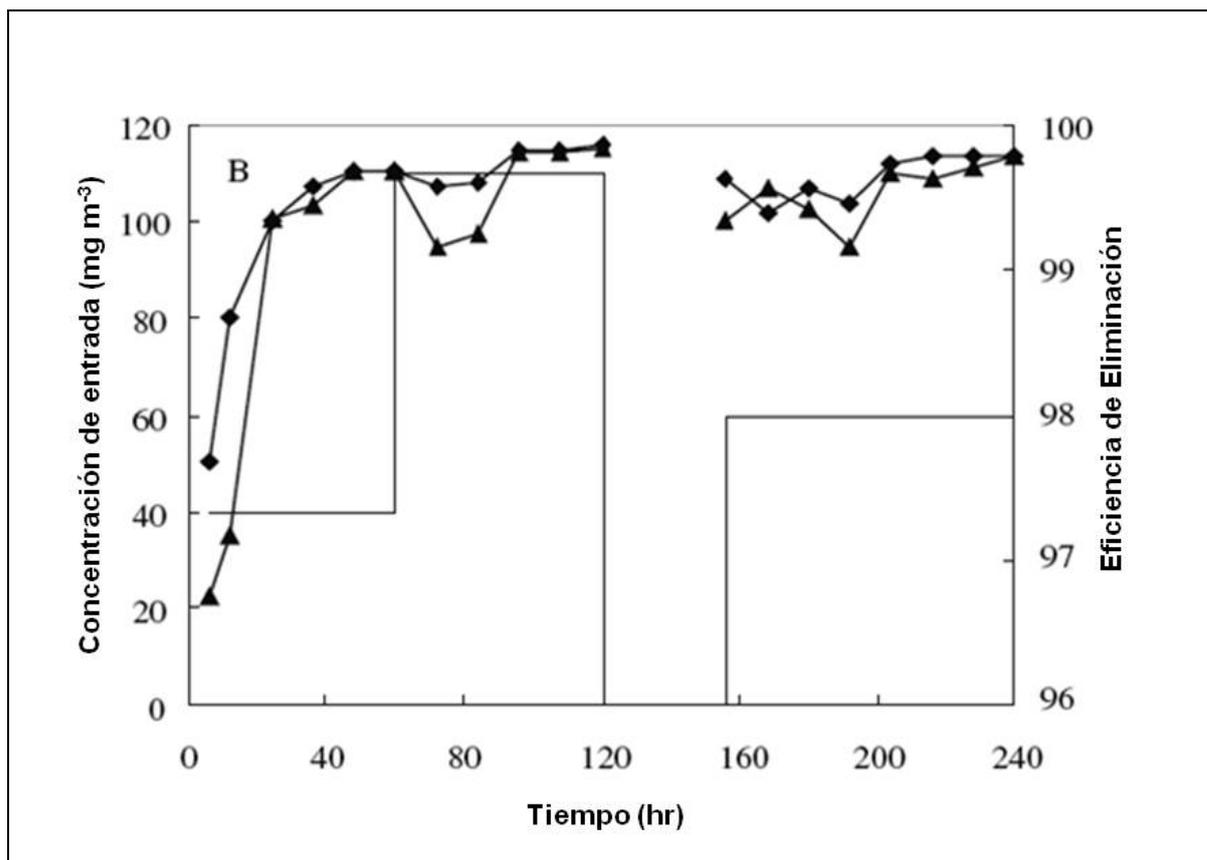


Figura 48: Repuesta de los filtros biológicos en la remoción de  $\text{NH}_3$  en relación a la variación de concentración inicial de  $\text{NH}_3$  (Chen et al, 2004). ▲ Filtro con fango ♦ Filtro con compost

El filtro con compost y con fango presentó repuestas similares en la remoción de  $\text{NH}_3$  (por encima de 99 % para todas las variaciones de concentraciones iniciales). El biofiltro con fangos demostró una menor disminución debido los cambios de variaciones.

Chen et al (2004), también observaron que se necesitan varias horas e incluso más de un día para la re-climatización de los filtros. Además, si el medio se queda seco la eliminación de  $\text{NH}_3$  disminuye rápidamente.

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

Sobre el tema de la eliminación de aminas olorosas, Ho et al (2008), utilizaron un filtro biológico con carbón activo y bacterias *Paracoccus* sp. CP2 inmovilizadas para la eliminación de 10-250 ppm de trimetilamina (TMA), dimetilamina (DMA) y metilamina (MA) en intervalos entre 30 y 60 segundos.

Los resultados presentaron una buena eficiencia para el tratamiento de las aminas estudiadas. Para Metilamina >93%, para Dimetilamina >90%, y >85% para la Trimetilamina (figura 49).

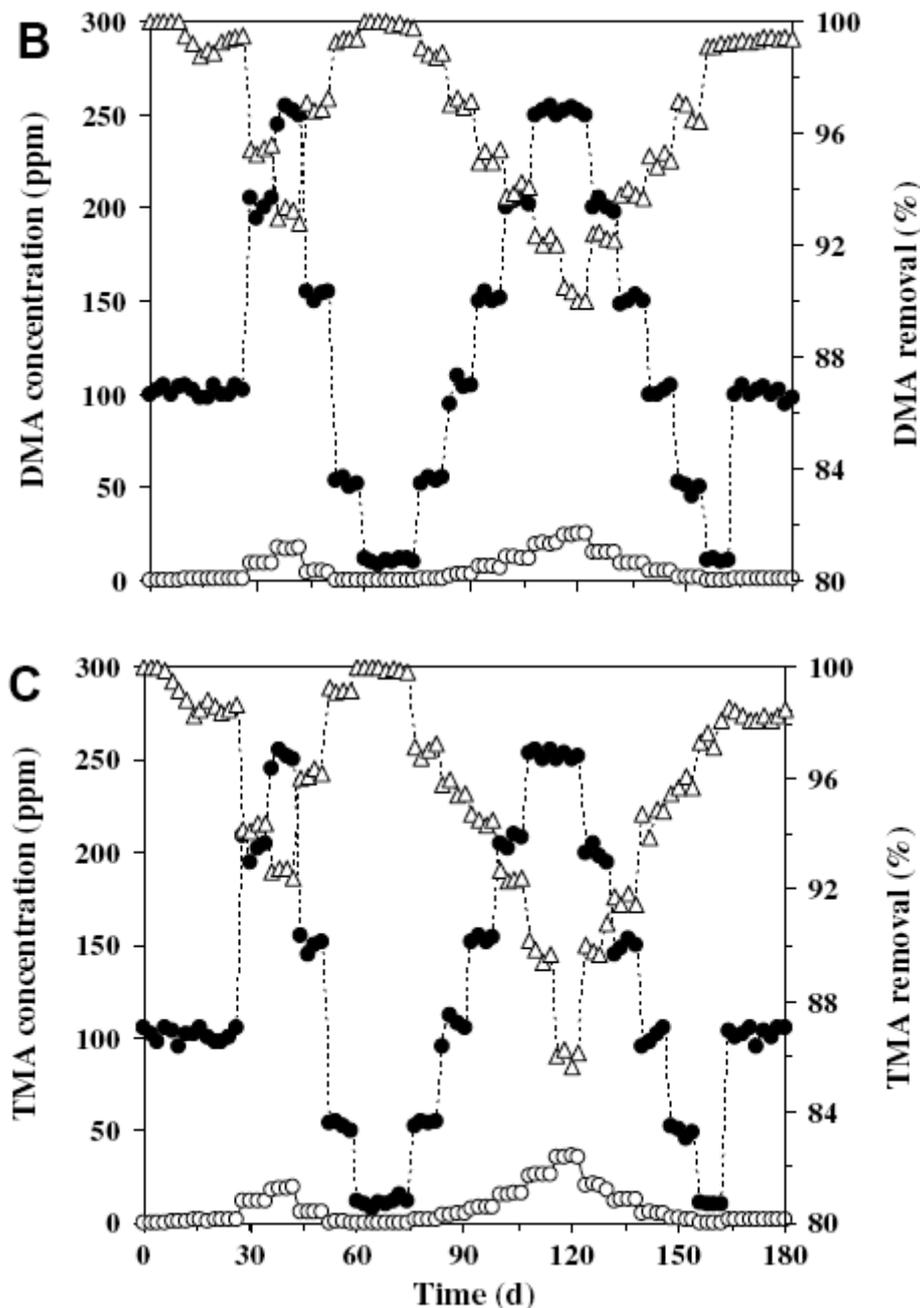


Figura 49: Concentraciones de entrada (●) y salida (○) y eficiencia de remoción (Δ) para MA (A), DMA (B) and TMA (C). (Ho et al, 2008)

Moussavi et al (2007) investigaron la eliminación de H<sub>2</sub>S del aire oloroso en un reactor de fangos activos en escala de banco y los efectos de la concentración de H<sub>2</sub>S (5 hasta 50 ppmv) en la reducción de la demanda química de oxígeno (COD) y estabilidad de la biomasa. Las características del agua base utilizada en los ensayos son indicadas en la tabla 43.

Compuesto	Concentración (mg l <sup>-1</sup> )
C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	285
NH <sub>4</sub> Cl	110
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	70
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	35
MgSO <sub>4</sub>	25

Tabla 43: Características del agua residual base (Moussavi et al, 2007).

Las concentraciones de H<sub>2</sub>S en la entrada y en la salida del reactor se determinaron mediante un medidor absorbente de volúmenes de aire en solución de hidróxido de Cadmio y el análisis del líquido a través del método colorimétrico utilizando un espectrofotómetro (*Perkin Elmer Lambda 25*).

Las concentraciones de los sulfuros totales, demanda química de oxígeno (COD) y SO<sub>4</sub> se determinaron según el Standard Methods. El pH, Oxígeno disuelto y temperatura fueron constantemente verificados.

Después de la climatización, el reactor fue explotado en un modo continuo con 5 horas de retención hidráulica y residencia de seis días. Los resultados presentaron eliminación de 93,5 % de COD y 94,5 % de H<sub>2</sub>S (Figuras 50 y 51).

Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

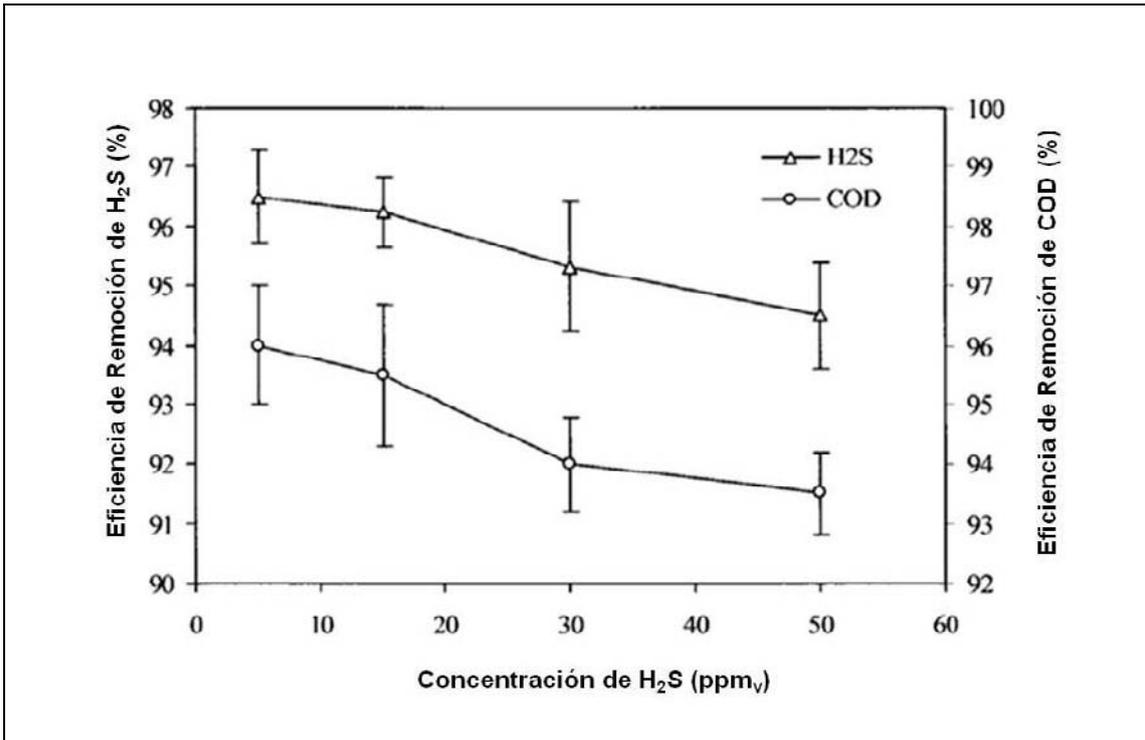


Figura 50: Eficiencia en la remoción de COD y H<sub>2</sub>S en diferentes concentraciones de H<sub>2</sub>S (Moussavi et al, 2007).

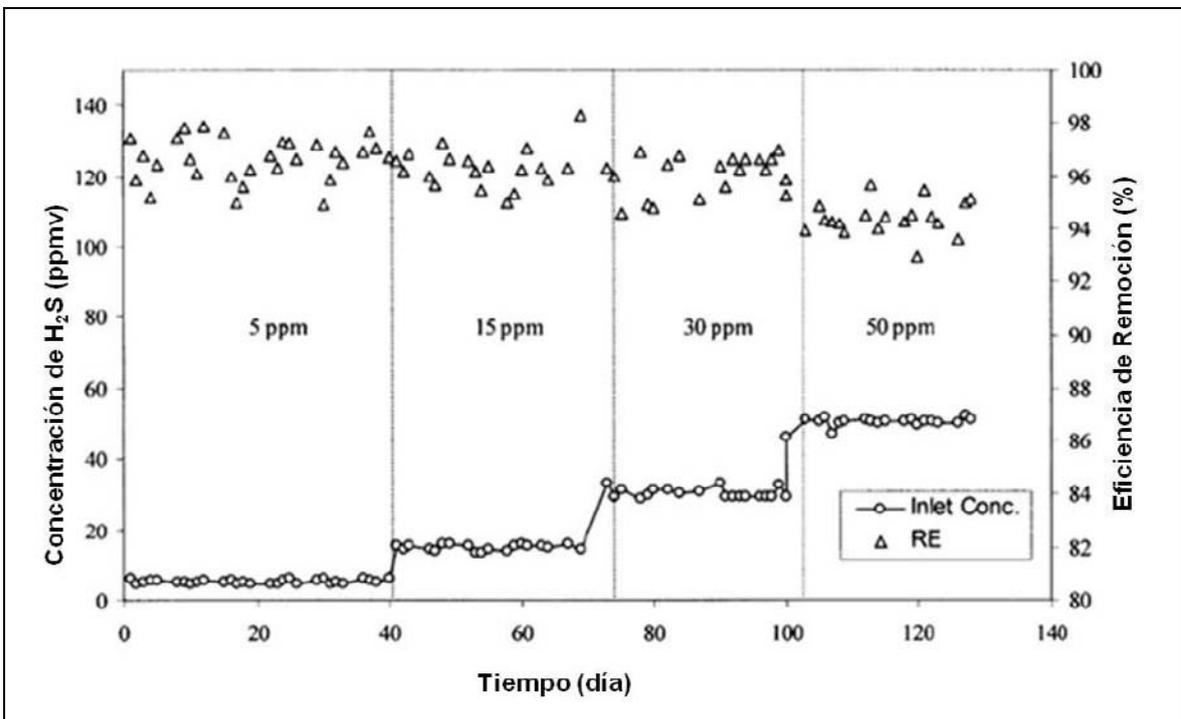


Figura 51: Eficiencia de remoción de H<sub>2</sub>S en varias concentraciones (Moussavi et al, 2007).

## E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos de Madrid

Además, concentraciones de H<sub>2</sub>S por encima de 50 ppmv no afectaron significativamente la eliminación de COD. El único problema observado fue el bulking del fango en concentraciones superiores a 4,4 mg<sub>H<sub>2</sub>S</sub> g<sup>-1</sup><sub>MLSS</sub> d<sup>-1</sup>.

Los resultados también indicaron que H<sub>2</sub>S en concentraciones generalmente emitidas en depuradoras (menores que 50 ppmv), pueden ser tratadas con eficiencia por difusión en fangos activos, sin perjudicar el proceso de depuración del reactor.

Bowker, 2000 realizó una investigación sobre las depuradoras en Estados Unidos que utilizan la difusión en Fangos Activos como método de control de olores. Siguientemente se incluye un listado de las depuradoras que utilizan esta técnica.

Depuradora y Localización	Capacidad ml/d	Depuradora y Localización	Capacidad ml/d	Depuradora y Localización	Capacidad ml/d
Bonny Brook Calgary	500	Ventura San Buena, CA	15	Concord Concord, NH	39
Gainey Ranch Scottsdale, AZ	6,4	Whittier Narrows So. El Monte, CA	57	Durham Durham, NH	9,5
Kyrene Tempe, AZ	11	San Jose Creek Whittier, CA	240	Roche Chemicals Belvedere, NJ	11
Los Coyote Cerritos, CA	140	Conserv II Orlando, FL	95	Musonetcong Stanhope, NJ	9,5
Long Beach Long Beach, CA	95	Reedy Creek Orlando, FL	34	Newberg Newberg	15
Hyperion Los Angeles, CA	1,14	Vista Royale Vero Beacha, FL	0,8	Velley Forge Phoenixville, PA	30
LA Glendale Los Angeles, CA	76	Town Branch Lexington, KY	68	Trinity River Grand Prairie, TX	615
Terminal Island Los Angeles, CA	80	Lowell Lowell, MA	120	Walnut Creek Austin, TX	230
Tilman Los Angeles, CA	150	Springfield Regional Springfield, MA	250	Arlington Co. Alexandria, VA	110

Tabla 44: Plantas depuradoras que utilizan la difusión en fangos activos como técnica de control de olores (Bowker, 2000).

El autor concluyó que:

- El proceso de difusión en fangos activos es eficiente en el tratamiento de moderadas y altas concentraciones de olores además de económico
- Burbujas finas presentan mejores remociones de contaminantes que burbujas gruesas.

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

- Se los flotadores y difusores fuesen instalados sólo para el control de olores, el proceso no resulta económico en relación a las demás técnicas de control.

Matsumoto et al (2004), investigaron el UASB seguido por filtro biológico aireado sumergido como técnica de reducción de olores en depuradoras de efluentes industriales.

Para desarrollar el estudio se analizaron la reducción de amonio y sulfuro de hidrogeno en agua residual de una curtiduría conjuntamente con la reducción de carga contaminante aplicada en el reactor UASB seguido de filtro biológico airado sumergido (BFS) evaluando la variación de la tasa de aireación para tres niveles de carga orgánica volumétrica.

Los sulfuros se analizaron según el standar methods y el amonio por espectrofotometría HACH.

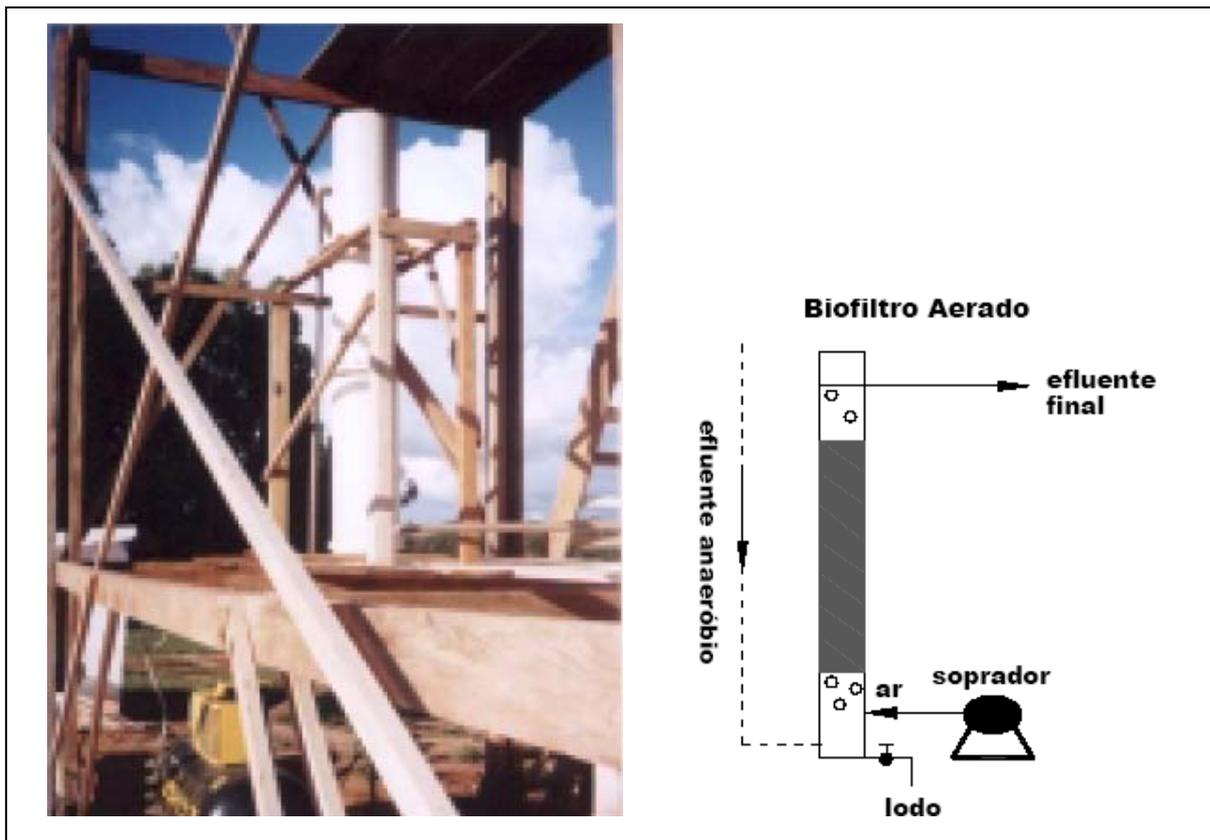


Figura 52: Planta piloto del filtro biológico airado sumergido (Matsumoto et al, 2004)

Los autores observaron que se presenta remoción de sulfuros en 72% y de 70% de amonio. Lo que les permitió concluir que el Filtro biológico es eficiente en la remoción de gases olorosos en efluente de tenerías.

Rappert y Müller (2005), estudiaron la biodegradación de algunos compuestos olorosos (Sulfuros, Aminas y Pirazinas), presentando las bacterias responsables por la biodegradación de compuestos sulfurados y compuestos que contienen amina (Tabla 45 y 46) como fuente de carbono.

Compuesto	Microorganismo
Dimetil Trisulfuro	Pseudonocardia asaccharolytica
Dimetil Disulfuro	Pseudonocardia asaccharolytica, Hyphomicrobium spp., Thiobacillus spp., Thiobacillus thioparus
Dimetil Sulfuro	Pseudonocardia asaccharolytica, Hyphomicrobium spp., Thiobacillus spp., Thiobacillus thioparus, Thiocapsa roseopersicina, Pseudomonas putida
Metanotiona	Hyphomicrobium spp., Thiobacillus spp., Thiobacillus thioparus
Disulfido de Carbono	Paracoccus denitrificans, Thiobacillus sp.
Sulfuro de Hidrogeno	Thiobacillus spp., Thiobacillus thioparus, Hyphomicrobium spp., Xanthomonas spp., Methylophaga sulfidovorans, Pseudomonas putida

Tabla 45: Microorganismos responsables por la biodegradación de compuestos sulfurados (Rappert y Müller, 2005).

Compuesto	Microorganismo
Dimetilamina	Arthrobacter sp., Bacillus sp., Hyphomicrobium sp., Methylobacterium sp., pseudomonas aminovorans, Mycobacterium sp., Paracoccus denitrificans, methylophilus methylospor, Micrococcus sp., Pseudomonas sp., Paracoccus sp.
Trimetilamina	Aminobacter aminovorans, Paracoccus sp., Paracoccus aminovorans, Pseudomonas aminovorans, Hyphomicrobium sp., Micrococcus sp.
Dietilamina	Pseudomonas Citronellolis, Mycobacterium diernhoferi, Hyphomicrobium sp., Pseudomonas sp., Candida utilis, Hasemula polymorpha
Trietilamina	Pseudomonas citronellolis, Mycobacterium diernhoferi

Tabla 46: Microorganismos responsables por la biodegradación de compuestos que contienen aminas (Rappert y Müller, 2005).

La remoción de Ácidos orgánicos volátiles por la inmovilización de Rhodococcus sp. B261 fue estudiada por Yun y Ohta (2005) en agua residual suministrada por el centro de medio ambiente de Higashi-Hiroshima – Japón.

Para el desarrollo de los ensayos se construyó un biofiltro (figura 53) y para la análisis se utilizó un Cromatógrafo de gases (Shimadzu, model GC-14B, Japón) equipado con un FID.

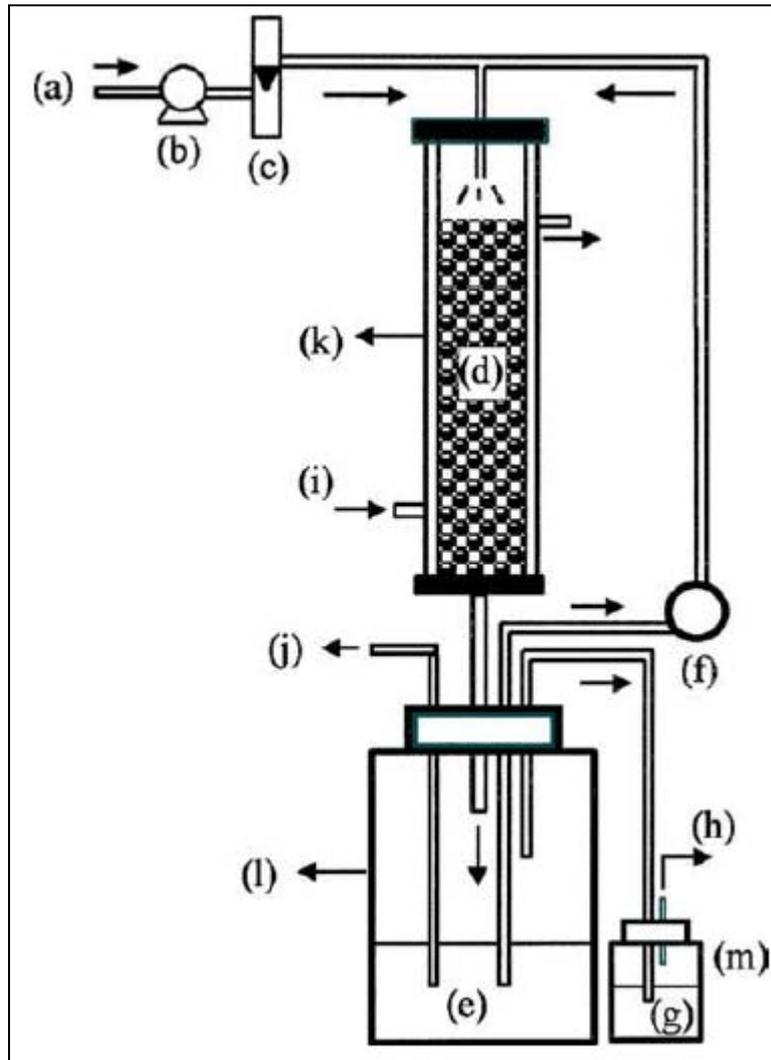


Figura 53: Esquema del biofiltro utilizado (a): entrada de aire, (b): compresor, (c): Caudalímetro, (d): camas de cerámica con células, (e): 0,5% de n-valérico (500 ml), (f): bomba peristáltica, (g): Solución de NaOH (100ml), (h): salida de aire, (i): entrada de aire, (j): jeringa, (k): columna de vidrio, (l): deposito, (m): contenedor (Yun y Ohta, 2005).

El ácido valérico (0,5%) fue completamente eliminado con 25 horas en las siguientes condiciones: pH 8.0; 0,2 l/min de aire, velocidad superficial de  $0,96 \text{ h}^{-1}$  y  $37^\circ\text{C}$  de temperatura (figura 54). Con optimizaciones desarrolladas el ácido acético (8525 ppm), propiónico (7310 ppm) y n-butírico (4360 ppm), fueron completamente eliminados con la inmovilización de *Rhodococcus* sp. B261 en 24 horas (figura 55).

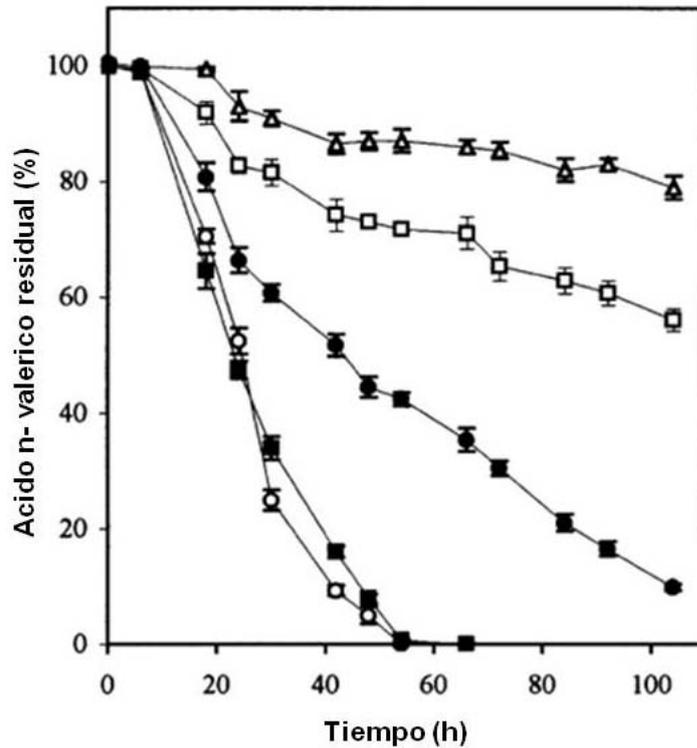


Figura 54: El efecto en la concentración de ácido n-valérico pH 8.0; 0,2 l/min de aire, velocidad superficial de 0,96 h<sup>-1</sup> y 37 °C de temperatura (Yun y Ohta, 2005). Concentraciones: (O) → 0,1%; (■)→ 0,5%; (●)→1%; (□)→ 2%; (Δ)→4%

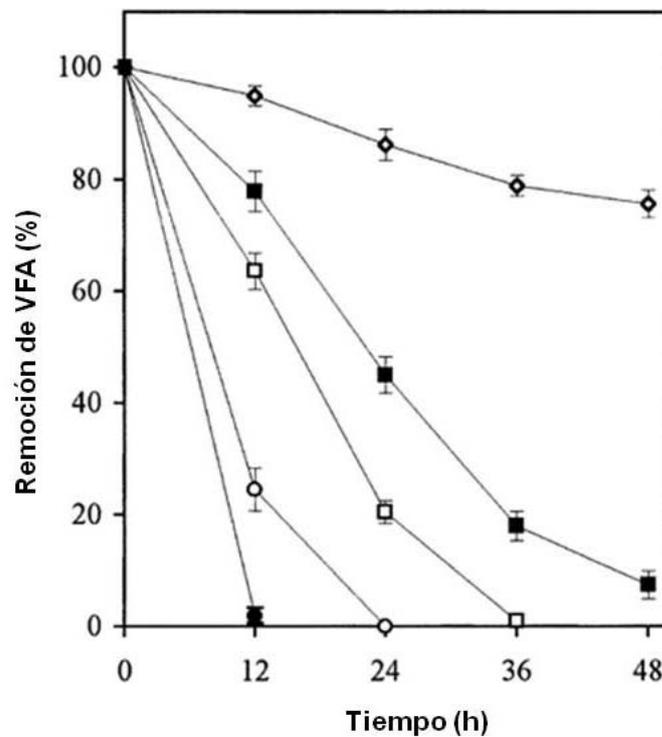


Figura 55: Remoción de varios ácidos orgánicos volátiles del agua residual estudiada (Yun y Ohta, 2005) (O) → ácido propiónico; (■)→ ácido n-valérico; (●)→ácido acético; (□)→ ácido n-butírico; (◇)→célula libre

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

Prado et al (2009) realizaron un estudio sobre el tratamiento de olores en un filtro biotrickling. Los estudios de eficiencia del sistema se desarrollaron en 5 meses con un tiempo de residencia de 0,9 segundos con un caudal de gas de 50,000 m<sup>3</sup>/h, con concentraciones de Compuestos orgánicos volátiles, NH<sub>3</sub> y H<sub>2</sub>S de aproximadamente 10, 2 y 1 ppmv, respectivamente.

Para los análisis de las concentraciones de los COVs se utilizó un Sensor photoionization Mini ERA 2000 (ERA Systems, Estados Unidos) y para H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub> utilizaron un Sensor Oldham MX 2100 (Oldham IS, Suiza).

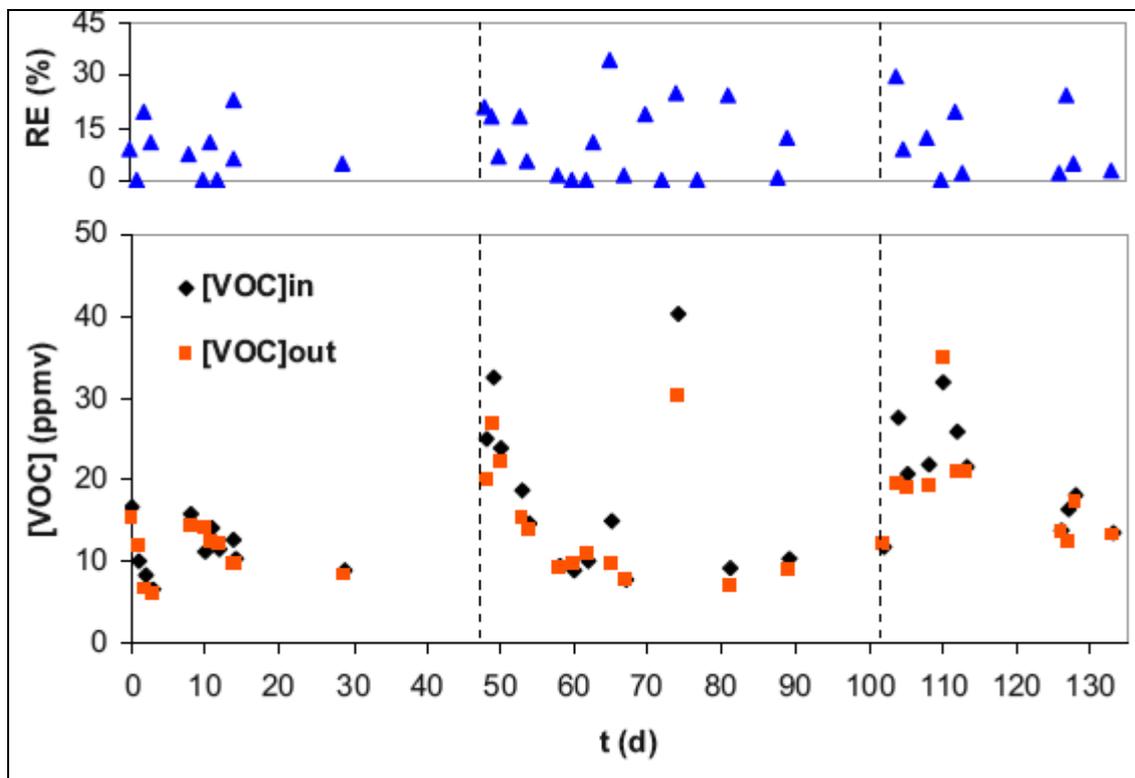


Figura 56: Concentraciones de COV antes y después del experimento (Prado et al, 2009)

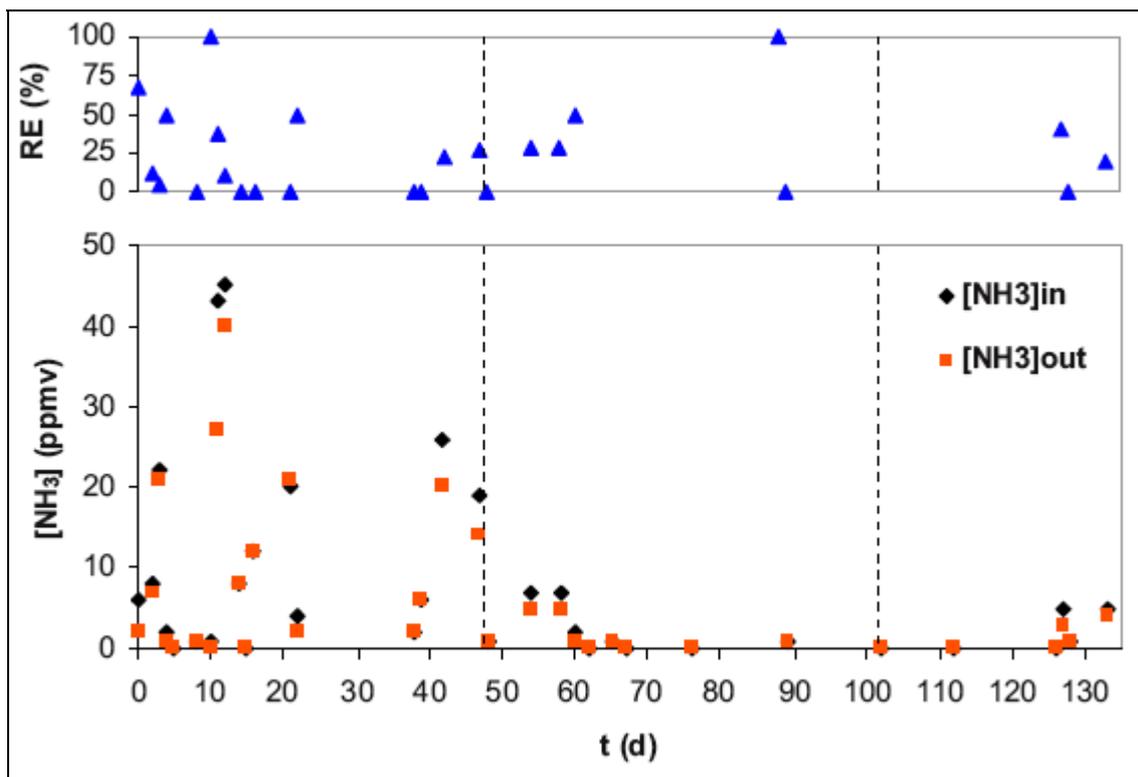


Figura 57: Concentraciones de  $\text{NH}_3$  antes y después del experimento (Prado et al, 2009)

Como resultados de la investigación son presentadas las figuras 56 y 57 en que indican que el filtro biotrickling no presenta buena eficiencia en la remoción de compuestos orgánicos volátiles y  $\text{NH}_3$ .

Jang et al (2006) evaluaron la eficiencia de bacterias *Pseudomonas* sp. SR-5 para el tratamiento de Estirenos en un biofiltro. En la investigación se evaluaron la mezcla de cultivos de SR-5 y otros microorganismos para determinar la posibilidad de eficiencia en un largo periodo. Las alternativas utilizadas fueron bacterias degradadoras de estireno, tipo 1 e 3; Bacteria *Raoultella* sp. A degradadora de ácido benzóico y agua residual industrial conteniendo Estireno.

Para la realización de los ensayos se utilizó un biofiltro de bancada, cuyo el esquema se presenta en la figura 58. Las operaciones de la parte experimental se resumen en la tabla 47.

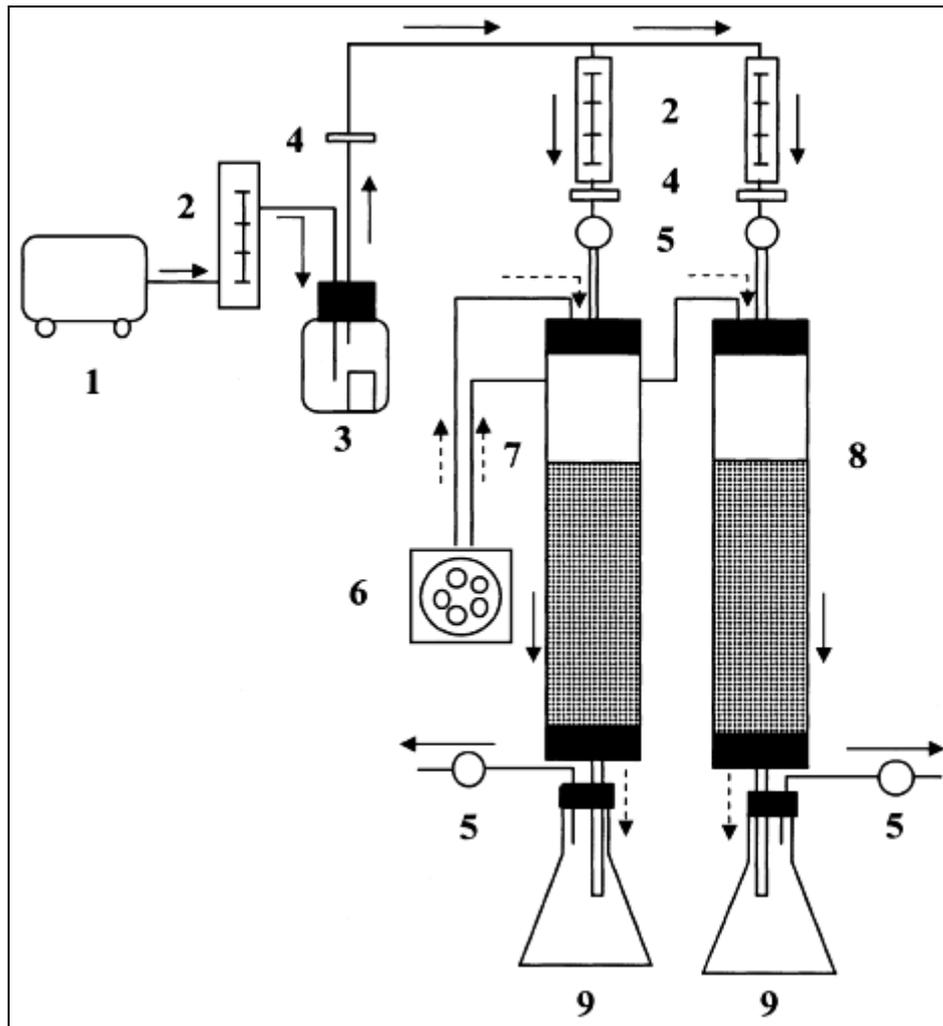


Figura 58: Esquema del biofiltro. 1, Compresor; 2, Caudalímetro; 3, Almacén de Estireno; 4, filtro de aire; 5, three-way; 6, bomba; 7, mezcla de cultivos; 8, Cultivos simple; 9, balón de medición (Jang et al, 2006)

Tipo de explotación	Material de relleno	Control	Mescla de Culturas
1	Cerámica	Tipo SR-5 <sup>b</sup>	SR-5: Tipo 1 <sup>b</sup> : Tipo 3 <sup>b</sup> (2:1:1) <sup>c</sup>
2	Tubera + Cerámica (1:1) <sup>a</sup>	Tipo SR-6	SR-5: Tipo A <sup>d</sup> (1:1) <sup>c</sup>
3	Tubera + Cerámica (1:1) <sup>a</sup>	Agua residual	SR-5: agua residual (1:3) <sup>c</sup>

Tabla 47: Condiciones de la parte experimental (Jang et al, 2006)

a: Cociente peso seco de los tipos de rellenos

b:SR-5, 1 y 3 son microorganismo degradadores de estireno

c: Numero inicial de células de cada cultivo en cada tipo de relleno

d: Tipo A es un microorganismo degradador de ácido benzóico

Estas mezclas presentaron una eficiencia mejor que con el uso solamente de los cultivos de SR-5. Los resultados se presentan en las figuras a continuación.

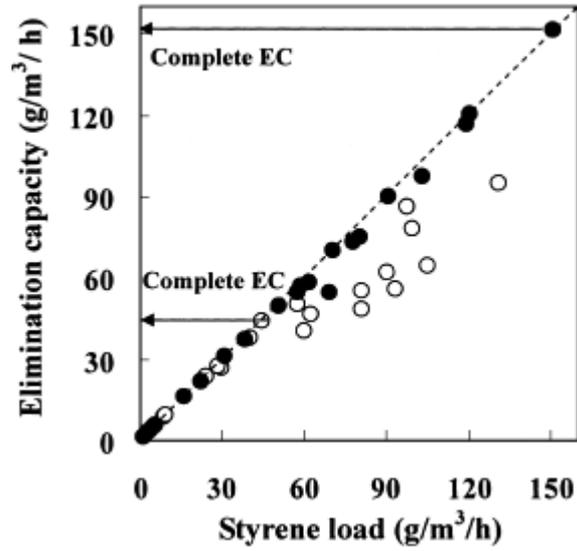


Figura 59: Relación entre las concentraciones de estireno y la capacidad de eliminación de la explotación 1. (Jang et al, 2006); Círculos abiertos: Cultivos simple; Círculos cerrados: Cultivos mezcladas

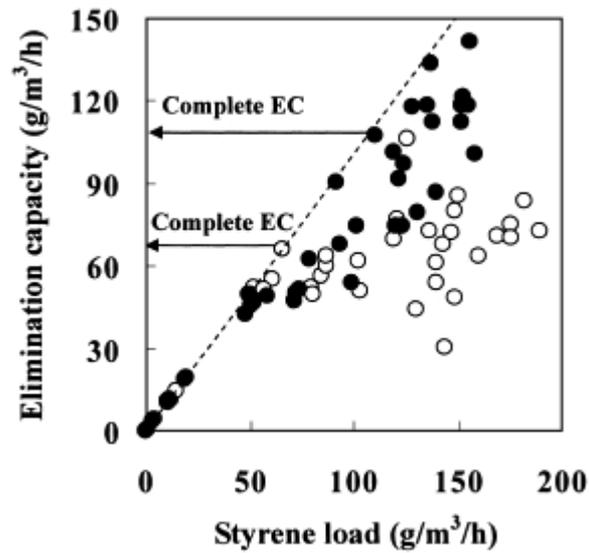


Figura 60: Relación entre las concentraciones de estireno y la capacidad de eliminación de la explotación 2. (Jang et al, 2006); Círculos abiertos: Cultivo simple; Círculos cerrados: Cultivos mezcladas

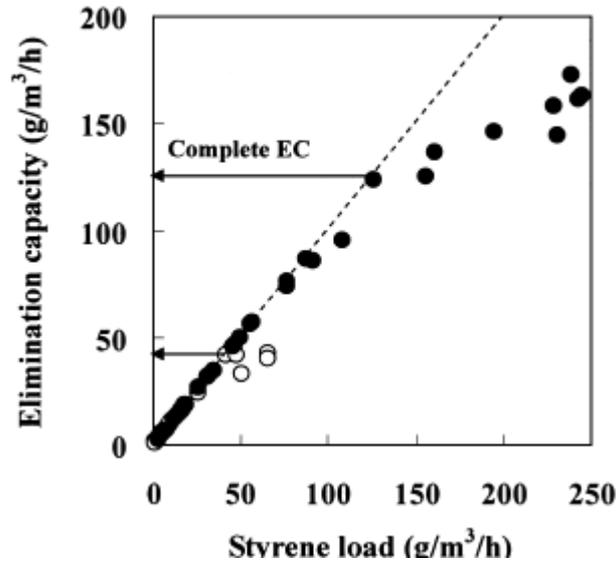


Figura 61: Relación entre las concentraciones de estireno y la capacidad de eliminación de la explotación 3. (Jang et al, 2006); Círculos abiertos: Cultivo simple; Círculos cerrados: Cultivos mezcladas

En las explotaciones con la mezcla de cultivos se alcanzó la eficiencia de 100% en la eliminación del Estireno.

En la universidad de Las Palmas de Gran Canaria, España, Melián et al (2008), investigaron la eliminación de formaldehído y carbono total orgánico en aguas residuales de la industria de formol. La parte experimental fue realizada en un filtro biológico aireado y en un reactor wetland con las mismas concentraciones de formaldehído suministradas (0.01–0.9 kg/m<sup>3</sup> d). Ambos los reactores presentaron buena eficiencia en la remoción del formaldehído y de carbono orgánico total, pero el filtro biológico alcanzó mejores eliminaciones, entre 98 y 92 %, respectivamente (tabla 48).

	Filtro Biológico Aireado		Wetland	
	Max.	Min.	Max.	Min.
<b>Formaldehido</b>				
Volumen suministrado (kg/m <sup>3</sup> d)	0,9	0,01	0,7	0,03
Concentración entrada (mg/L)	711	11	311	30
Concentración salida (mg/L)	19	< 3	134	<3
Eliminación (%)	100	91	100	19
<b>COT</b>				
Volumen suministrado (kg/m <sup>3</sup> d)	1	0,2	0,71	0,07
Concentración entrada (mg/L)	837	150	346	42
Concentración salida (mg/L)	45	14	227	41
Eliminación (%)	96	86	54,5	8,3

Tabla 48: Resultados de los ensayos para el filtro biológico y wetland (Melián et al, 2008)

La degradación de la piridina por bacterias *Paracoccus* sp fueron investigadas por Quiao y Wang (2010) que además de concluir que la técnica es eficiente en la remoción de piridina, han presentados resultados que indican:

- Que con las concentraciones de piridina en 900 mg/l, la glucosa presenta concentración de 100mg/l y la remoción de piridina aumenta.
- Que con Cloruro amoniaco en concentraciones de 100mg/l la eliminación de la piridina es afectada negativamente.

#### 4.2.3. En referencia al objetivo inicial 3: Consideración de la normativa pertinente

Según El tribunal Europeo de Derechos Humanos y la jurisprudencia contencioso-administrativa han declarado que la contaminación por olores puede llegar a afectar en determinados casos el derecho a la intimidad domiciliaria de las personas.

Por lo anterior, se considera necesaria la elaboración de normativa sobre el tema.

## **Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales**

La búsqueda bibliográfica abarcó las numerosas legislaciones internacionales dirigidas a solucionar el problema de la contaminación ambiental por olores. En Europa los países con una normativa más avanzada son Holanda, Alemania y el Reino Unido. En países de Asia muy poblados como Japón, China o Singapur existe legislación desde hace varias decenas de años. En Japón se introdujo en 1971 la ley de control de los olores ofensivos, corregida en 1995. En España, el anteproyecto de ley contra la contaminación odorífera de Cataluña se prepara para su aprobación.

En seguida son presentadas las normativas consideradas como adecuadas por Furberg, y Preston (2005):

### **a) Ontario, Canadá**

Ontario no tiene programa de gestión de olores, sin embargo en la sección 14 del documento de protección ambiental de Ontario (1990), dice que el olor es considerado como contaminante, consecuentemente la eliminación de los contaminantes, que pueden causar efectos y olores, son reglamentados por este documento.

Además Ontario posee un número de punto de impacto (PI) estándar y de calidad del aire ambiente (CAA) como base de olor. También propone un límite de olor ambiente de 1 OU/m<sup>3</sup>, que es utilizado en cada caso. Ontario delimita la distancia mínima de separación de las actividades de agricultura y de depuradoras.

### **b) Bay Area Air Quality Management District, California, Estados Unidos**

El BAAQMD Considera su programa de gestión de olores satisfactorio. La estructura consiste en una ley de molestia, cuantitativa de la concentración límite individual de compuestos químicos y olor, criterio de reclamación y criterio cuantitativo de emisión. El elemento de mayor eficiencia de su programa es la ley de molestia de olor.

c) King County, Washington, Estados Unidos

El departamento de Recurso Naturales y de Tratamiento de Aguas Residuales de King County tiene una política de prevención de olores, que define los niveles de admisibles, e incluye recomendaciones para cambiar fallos existentes, así como desarrollar nuevas formas de controlar el olor. El foco es en la prevención de olores y no en el control de olores. Hasta ahora el programa ha sido un éxito.

d) New South Wales, Australia

El tema de olores queda regulado bajo el Acta de Protección Ambiental de 1997 y el Plan de Evaluación Ambiental, Acta 1979. La normativa australiana incluye valores permitidos en la emisión de olores, establece un sistema de tres niveles de evaluación de impactos, estrategias de mitigación, negociación entre las partes interesadas, supervisión y administración de la quejas. Sin embargo esa política es todavía un borrador. Se cree que el programa obtenga éxito.

e) South Australia

La principal normativa de olores en el Sur de Australia es el Acta 1993, que tiene como parámetros utilizados, en el sur de Australia, la distancia mínima, las distancias fijas y las variables. Para una evaluación detallada de los impactos provocados por los olores es necesaria la aplicación de modelos de dispersión. Se considera el programa como exitoso.

f) Wellington, Nueva Zelandia

Ha desarrollado una gestión de un plan de la calidad del aire, que incluye el olor presentado en el Acta 1991. La tecnología utilizada es de la “mejor tecnología disponible” para prevenir y minimizar los efectos adversos. La normativa no presenta un criterio de emisión de olores, pero pueden incluir un límite de emisión permitido. Esta normativa también consta de una escala de intensidad, utilizada por inspectores en campo, y un umbral con 10 reclamaciones, antes de ser considerado como un problema oloroso. Se considera el programa como no exitoso.

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

### g) Alemania

Tiene una aproximación para el control de olores que engloba la frecuencia, intensidad, duración, ofensivo e localización (FIDOL). La frecuencia, duración e intensidad son medidas utilizando olor-horas, se establecen diferencial, dependiendo del uso del suelo (residencial, industrial y comercial). Recientemente, se ha desarrollado un sistema para evaluar el “Tono Hedónico”, o cuando es ofensivo. Otras aproximaciones se utilizan para el control de olores en Alemania, incluyendo una ley de reclamación debido a olores, separación mínima, escala de intensidad de olores y padrones de emisión cuantitativa. Se considera el programa como exitoso.

### h) Holanda (Netherlands Emission Guidelines for Air).

Una de las características más interesantes utilizada en Holanda es el padrón de olor en el ambiente, en referencia al grado de ofensa del olor. El padrón es más riguroso para industrias que emiten olores más desagradables. En muchas industrias los factores de emisión se han establecidos para evaluar el impacto oloroso. Las autoridades licenciadoras pueden revisar los permisos existentes, debido a una nueva apreciación, hechos o circunstancia, y la inspección nacional bianual, realizada para evaluar la molestia provocada por los olores. Se considera el programa como exitoso

La actual política holandesa sobre malos olores (Netherlands Emission Guidelines for Air publicado en el año 2000 y revisado en el 2003) se resume en los siguientes puntos:

- No se requieren medidas de minimización de olores, en una instalación generadora, si no existen molestias por malos olores en la población vecina.
- Si existen molestias por malos olores, y se demuestra mediante un estudio olfatométrico que la actividad en cuestión es la causante de los mismos, esta tiene que reducir sus emisiones de olores, aplicando medidas que sean técnico-económicamente razonables.

- Efectivamente, la magnitud de las molestias por malos olores puede determinarse realizando un estudio de olores, que incluya estudios olfato métricos, investigación de campo mediante panelistas, revisión de los registros de quejas recibidas (tanto a nivel propio como en las diferentes administraciones, municipios, diputaciones provinciales, etc.).
- La licencia de funcionamiento de una determinada actividad especifica el nivel de molestia por malos olores, que es aceptable en su entorno particular.

Como se comento anteriormente, la relación “concentración de olor en inmisión-molestias en la población” no es directa ya que depende de diversos factores: la duración a la exposición, tipo de olor, características olfativas de cada persona, entorno social, etc. Como consecuencia, en cada caso particular se establecen los límites de inmisión de olor en la licencia de funcionamiento, los cuales pueden diferir ligeramente con respecto a otros emplazamientos.

Las licencias de funcionamiento, en lo que a actividades que generan malos olores se refiere, tienen en cuenta el tipo de actividad industrial tal como sigue:

- Categoría 1: actividades industriales pertenecientes a sectores homogéneos con similares emisiones de olores en cada sector:
  - Productos derivados de la patata
  - Industrias cárnicas
  - Instalaciones de secado de piensos o forrajes
  - Producción de comidas para animales
  - Producción de galletas
  - Producción de chocolates y cacao
  - Tostado de café
  - Industrias lácteas
  - Panificadoras
  - Producción y embotellado de bebidas
  - Fabricación de aromas, especias y fragancias
  - Fabricación de asfaltos
  - Depuradoras de aguas residuales
  - Plantas de compostaje

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

– Fabricación de cuero

- Categoría 2: actividades industriales de relativa entidad, con emisiones de olores características y diferentes de unas instalaciones a otras dentro de un mismo sector. En estos casos, las licencias de funcionamiento se establecen de forma individualizada para cada empresa, incluyendo medidas de reducción de olores específicos.
- Categoría 3: Complejos y polígonos industriales, con plantas de producción de diferentes sectores de actividad, como pueden ser los complejos químicos. En estos casos se precisan estudios de olores con amplios periodos de toma de muestras y de recogida de datos meteorológicos.

Las competencias reglamentarias, de inspección y sanción recaen directamente en los municipios, al considerarse circunscrita la problemática de olores en el ámbito local. Cada municipio puede determinar el nivel de olor aceptable en una determinada zona en base a:

- Número de quejas de la población por malos olores,
- Técnicas que razonablemente se pueden aplicar (desde el punto de vista técnico-económico) para reducir las emisiones de olores de las actividades clasificadas presentes en la zona.

### i) Japón

En Japón hay límites de emisión estándar que, ejecutadas por una ley, con sanciones significativas, en el caso de no cumplimiento. Se considera el programa como de éxito para grandes industrias, pero no para pequeñas actividades residenciales o pequeños comercios.

### j) Montreal, Canadá

Montreal regula la molestia provocado por los olores desde los año de 1970. Montreal posee normativa de emisión para compuestos tóxicos y determinadas clases de Compuestos Orgánicos Volátiles y también limites para olores en general (Montreal, Regulation 90).

1) Reino Unido

El borrador de la IPPC (Technical Guidance Note IPPC H4) denominado “Horizontal Guidance for Odour” (ultima revisión de junio de 2009), publicado por la Agencia de Medio Ambiente de Inglaterra y Gales en colaboración con la Agencia de Protección Medioambiental de Escocia (SEPA) y el Servicio de Medio Ambiente de Irlanda del Norte, para la regulación y permisos (parte 1). En la tabla 49 se presentan los niveles guía que se establecen en este documento, resultado de estudios de población dosis-efecto que se llevaron a cabo en el Reino Unido. Estos resultados son consistentes con los obtenidos en los estudios de población que se habían realizado anteriormente en Holanda y Alemania. Los niveles guía se relacionan en función del tipo de actividad emisora y la “ofensividad” del olor.

ACTIVIDAD	Relación de “ofensividad” del olor	CRITERIO INDICATIVO DE INMISIÓN (Percentil 98 de las medias horarias a lo largo de un año)
Actividades que involucren basura putrescible Procesos que involucren a restos de animales y pescados Cementerías y cerámicas Procesos lácteos Procesamiento de grasas y aceites Tratamiento de aguas residuales Refinamiento del aceite Fábricas de piensos	ALTA	1,5 uoE/m <sup>3</sup>
Procesos de comida para engorde Procesos de la remolacha Ganadería intensiva	MEDIA	3 uoE/m <sup>3</sup>
Fabricación de chocolate/cacao. Cervecerías. Confiterías. Producción de aromas y fragancias. Tostado de café. Panaderías	BAJA	6 uoE/m <sup>3</sup>

Tabla 49: Criterios indicativos de la exposición del olor para concentraciones en inmisión

En el caso de actividades, que no se encuentren relacionadas con las categorías de la tabla 49, la IPPC establece el criterio indicativo de inmisión de 5 UOE/m<sup>3</sup> percentil 98 como nivel guía general para el resto de actividades.

## **Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales**

m) Cataluña, España – Borrador de anteproyecto de ley contra la contaminación odorífera” de la Generalitat de Catalunya, de junio de 2005 (última revisión de julio de 2009)

En España no existe en la actualidad normativa ni legislación, aunque la entrada en vigor de diversas normativas europeas, así como el desarrollo legislativo medioambiental específico de determinadas comunidades autónomas, obligará a su incorporación en corto espacio de tiempo.

Cataluña es la única de las comunidades autónomas que formuló una ley propia de protección del ambiente atmosférico, Ley 3/1998. En 2005 se presentó un anteproyecto de ley contra la contaminación odorífera, con el objetivo de dar respuesta a la inquietud de los ciudadanos que, en el marco de una sociedad participativa y en ámbito de progresiva conciencia ambiental, reclaman la intervención de las administraciones públicas en la regulación de los olores. Esta ley surge en un momento en que no existe otra normativa específica en el ámbito de la Unión Europea ni en el del Estado que regule la contaminación odorífera.

### *Artículo 1. Objeto:*

Regular las medidas necesarias para prevenir y corregir las molestias por olores generadas por determinadas actividades e infraestructuras en zonas sensibles.

### *Artículo 3. Ámbito de aplicación:*

Quedan sometidas a esta Ley las actividades e infraestructuras con potencial incidencia olfativa en el entorno, relacionadas con el anexo I

Anexo 1 del borrador de ley: Actividades y prácticas incluidas en el ámbito de aplicación de la ley

- Grupo A: Actividades incluidas en los anexos de la Ley 3/1998, de 27 de febrero.
  - Gestores de residuos: Plantas de compostaje, Valorización de residuos orgánicos, Plantas de tratamiento de residuos y fracción resto, etc.
  - Instalaciones ganaderas destinadas a la cría intensiva.
  - Industria Química.
  - Refinerías de petróleo y de gas.

- Agroalimentaria: Aprovechamiento de subproductos de origen animal, Mataderos, Procesamiento de la carne, Cervecerías, Secado de cereales, Hornos industriales de pan, Tueste/procesado de café o cacao, etc.
- Fabricas de pasta de papel
- Otros

El carácter de esta futura regulación será básicamente preventivo sobre las actividades potencialmente generadoras de contaminación odorífera. En este sentido se fijarán valores objetivo de inmisión de olor que deben alcanzar las actividades en las áreas que requieren mayor protección contra el olor, como son las áreas residenciales, mediante el uso de la mejor tecnología disponible y la aplicación de Buenas Prácticas de gestión, o bien mediante la implantación de medidas correctoras.

Corresponde a la Administración, titular de los sistemas de tratamiento de aguas residuales de titularidad pública y otras infraestructuras de titularidad pública, valorar la incidencia de los olores en el entorno, y fijar las medidas preventivas y/o correctoras adecuadas para su incorporación al permiso que se otorgue, en el marco del correspondiente procedimiento de autorización administrativa.

Para determinar la concentración de olores en inmisión de una actividad, la ley señala:

- Se medirán las unidades de olor de las emisiones, asociadas a las fuentes generadoras de olor de la actividad, según la norma UNE-EN-13725, para actividades existentes
- Se obtendrá una estimación de las unidades de olor, mediante la aplicación de factores de emisión según el desarrollo reglamentario correspondiente, para actividades nuevas.

Se realiza la simulación de la dispersión de las unidades de olor con la utilización de modelos matemáticos.

Por otra parte, la planificación urbanística también ha sido usada como una herramienta clave de prevención de los olores por la Generalitat de Catalunya, ya que la urbanización y construcción de viviendas próximas a polígonos industriales es causa general de la existencia de molestias.

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

Una buena estrategia en este sentido es la creación de zonas de “pacificación de olor”, mediante la planificación de los polígonos industriales con áreas destinadas únicamente a empresas o establecimientos no generadores de olor (empresas de servicios, logística, etc.). Estas áreas serían las más cercanas a las zonas habitadas en forma de corona.

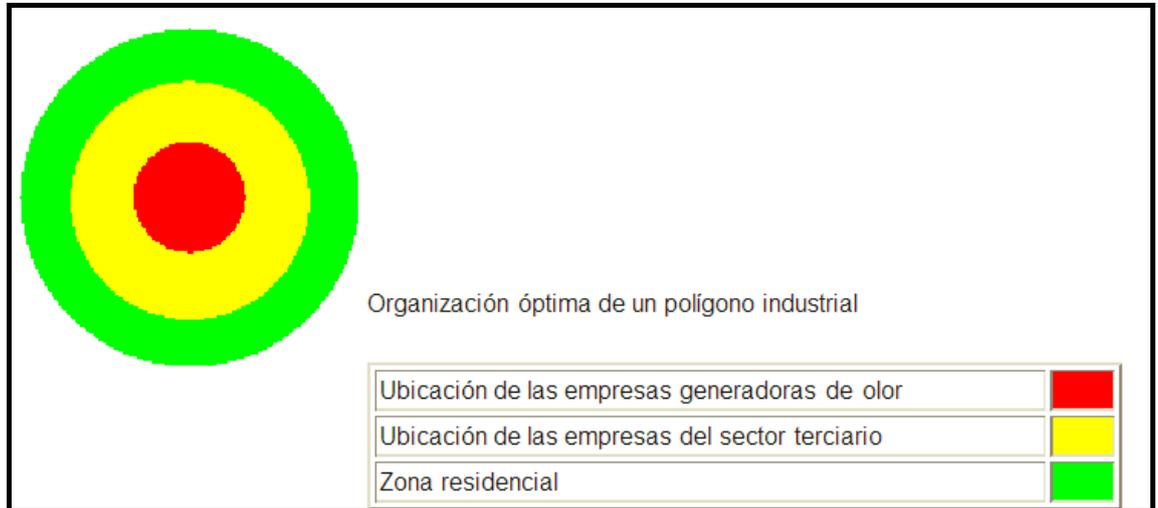


Figura 62: Organización óptima de un polígono industrial (Generalitat de Catalunya)

El resumen de los límites de inmisión de olores en las normativas investigadas se presenta en la tabla 50 (Unidades de olor) y en la 51 (concentración individual).

## E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos de Madrid

Localización	Guía-Standard	Tiempo medio
New South Wales (Australia)	2 OU/m <sup>3</sup> (zona urbana)	1 segundo (99,5% conformidad)
	7 OU/m <sup>3</sup> (zona rural)	1 segundo (99,5% conformidad)
	15 OU/m <sup>3</sup> (fuente)	1 hora (99,5% conformidad)
Queesland (Australia)	10 OU/m <sup>3</sup>	1 hora (99,5% conformidad)
Western Australia	2 OU/m <sup>3</sup>	1 hora (99,5% conformidad)
	7 OU/m <sup>3</sup> (crianza de aves)	3 minutos (99,5% conformidad)
Tasmania (Australia)	1 OU/m <sup>3</sup>	10 minutos
Dinamarca	0,6-1,2 OU/m <sup>3</sup>	1 minuto
Siu Ho Wan (Hong Kong)	5 OU	5 segundos
Holanda	1 OU/m <sup>3</sup>	99,5% conformidad
Derby (UK)	5 OU/m <sup>3</sup>	98 % conformidad
Nueva Zelandia	2 OU/m <sup>3</sup>	1 hora (99,5% conformidad)
Allegheny County (USA)	4 D/T	2 minutos
Colorado	7 D/T	
Connecticut	7 D/T	
New Jersey (USA)	5 D/T*	5 minutos o menos
North Dakota (USA)	2 D/T	
Oregon (USA)	1 - 2 D/T	15 minutos
Oakland, CA (USA)	50 D/T	3 minutos
San Diego (USA)	5 D/T	5 minutos (99,5% conformidad)
Seattle (USA)	5 D/T	5 minutos

Tabla 50: Límites de detección y tiempos medios según su localización

\* Para biosólidos/fangos

\*\*OU/m<sup>3</sup>: Unidades de olor europeas por m<sup>3</sup>; D/T: Dilución hasta el Umbral

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

Localización	Compuesto	Guía Estándar
Victoria (Australia)	Sulfuro de hidrógeno	0,1 ppbv <sup>a</sup> (0,14µg/m <sup>3</sup> )
	Metilmercaptano	0,42 ppbv (0,84µg/m <sup>3</sup> )
	Amonio	830 ppbv (600 µg/m <sup>3</sup> )
	Cloro	33 ppbv (100µg/m <sup>3</sup> )
Alberta (Canadá)	Sulfuro de hidrógeno	10 ppbv (media 1 hora) Guía de calidad del aire
	Amonio	2 ppbv (media 1 hora) Guía de calidad del aire
Quebec (Canadá)	Sulfuro de hidrógeno	10 ppbv (media 1 hora)
WHO (Europa)	Sulfuro de hidrógeno	0,13-1,3 ppbv (0,2-2 µg/m <sup>3</sup> )
Japón	Sulfuro de hidrógeno	20-200 ppbv (depende de la localidad)
	Dióxido de azufre	9-100 ppbv
	Metilmercaptano	2-10 ppb
	Acido Butírico	1-6 ppbv
	Amonio	1.000-5.000 ppbv
Nueva Zelandia	Sulfuro de hidrógeno	7 µg/m <sup>3</sup> (5 ppbv) media 30 minutos
California (USA)	Sulfuro de hidrógeno	30 ppb (media 1 hora) Aire ambiente estándar
Connecticut (USA)	Sulfuro de hidrógeno	6,3 µg/m <sup>3</sup>
	Metilmercaptano	2,2 µg/m <sup>3</sup>
Minnesota (USA)	Sulfuro de hidrógeno	30 ppbv (media 30 minutos) <sup>b</sup>
Nebraska (USA)	Compuestos de azufre	100 ppbv (media 30 minutos)**
Nuevo México (USA)	Sulfuro de hidrógeno	10 ppbv (1 hora) o 30 ppbv (30 minutos) o 100 ppbv (30 minutos) depende de la calidad del aire de la región
Nueva York (estado)	Sulfuro de hidrógeno	10 ppbv (14µg/m <sup>3</sup> ) media 1 hora
Nueva York (ciudad)	Sulfuro de hidrógeno	1 ppbv
North Dakota (USA)	Sulfuro de hidrógeno	50 ppbv (instantáneo)
Pennsylvania (USA)	Sulfuro de hidrógeno	100 ppbv (media 1 hora)
		5 ppbv (media 24 horas)
	Sulfuro de hidrógeno	80 ppbv (media 30 minutos) - residencial/comercial 120 ppbv – Industrial

Tabla 51: Ejemplos de agencias normativa con limites de compuestos causantes de olores

a: partes por billón de volumen

b: no puede exceder más de 2 días en un periodo de 5 días

**4.2.4. En referencia al objetivo inicial 4: Eliminación de compuestos olorosos por solubilización de los ánodos**

Muruganathan et al (2004), han investigado la eficiencia de la electrocoagulación en la eliminación de iones de sulfuro, sulfitos y sulfatos en efluente de tenerías, con una célula de electroflotación (figura 63) y analítica según el standar methods. Los parámetros como pH, densidad y concentración inicial fueran estudiados.

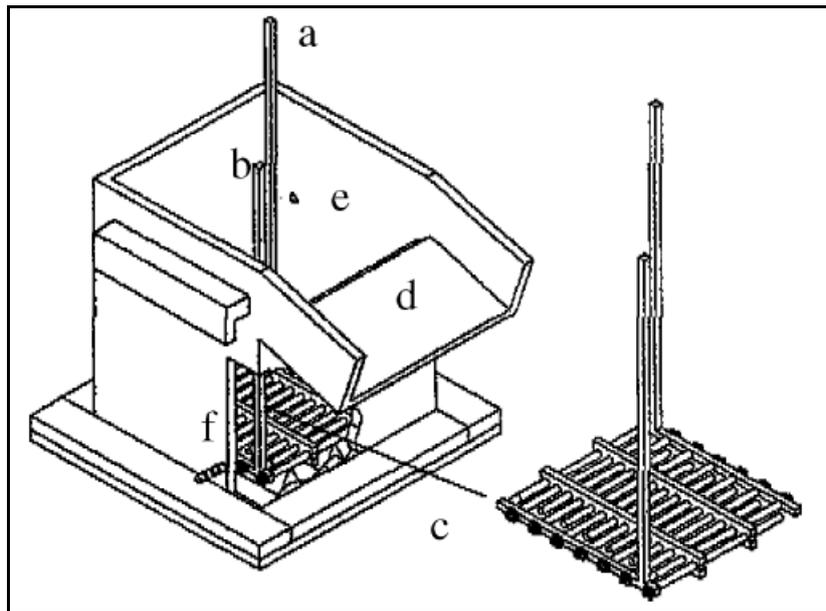


Figura 63: Célula de electroflotación (Muruganathan et al, 2004) (a) ánodo; (b) cátodo; (c) conjunto de electrodos; (d) labio de residuos; (e) entrada y salida (f).

Parámetro	Muestra	Después de la electrocoagulación (ánodo)			
	entrada	Fe	Al	Ti	Fe y Al
pH	11,86	11,78	11,78	11,59	11,52
Conductividad (µmho/cm)	9540	3970	3920	9420	3980
Sulfuro (mg/l)	108	29	34	56	28
Sulfato (mg/l)	54	31	35	93	22
Cloro (mg/l)	30	29	30	21	30
Sólidos en suspensión (mg/l)	1078	270	24	687	24
Sólidos Totales disuelto (mg/l)	3470		1924		1878
DBO (mg/l)	766	55			41
DQO (mg/l)	1314	84	75	1210	67

Tabla 52: Efecto del material del ánodo en la eliminación de contaminantes (Muruganathan et al, 2004)

Densidad: 47 mA/cm<sup>2</sup> y tiempo de electroflotación: 1200 s.

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

Los autores evaluarán el Hierro, alúmina y titanio como ánodos y se ha observado que los ánodos de hierro y alúmina son eficientes en la remoción de sulfuro, sulfitos y sulfatos (tabla 52). Esos iones metálicos provenientes del ánodo pueden precipitar los iones de sulfuro en efluentes como metal sulfuro. El precipitado formado puede ser simultáneamente eliminado por flotación debido las burbujas de hidrogeno regeneradas en el cátodo.

Iones metálicos generados en la oxidación electroquímica en los ánodos, reacciona con los iones de sulfuro.

En relación a los parámetros investigados se ha concluido que:

- Con el aumento de la concentración de contaminantes la eficiencia del proceso disminuye (figura 64 a).
- Que con densidades mayores la remoción de los contaminantes sulfurados también es mayor (figura 64 b).
- Que con el pH ligeramente ácido la remoción de los contaminantes es mejor (tabla 53).

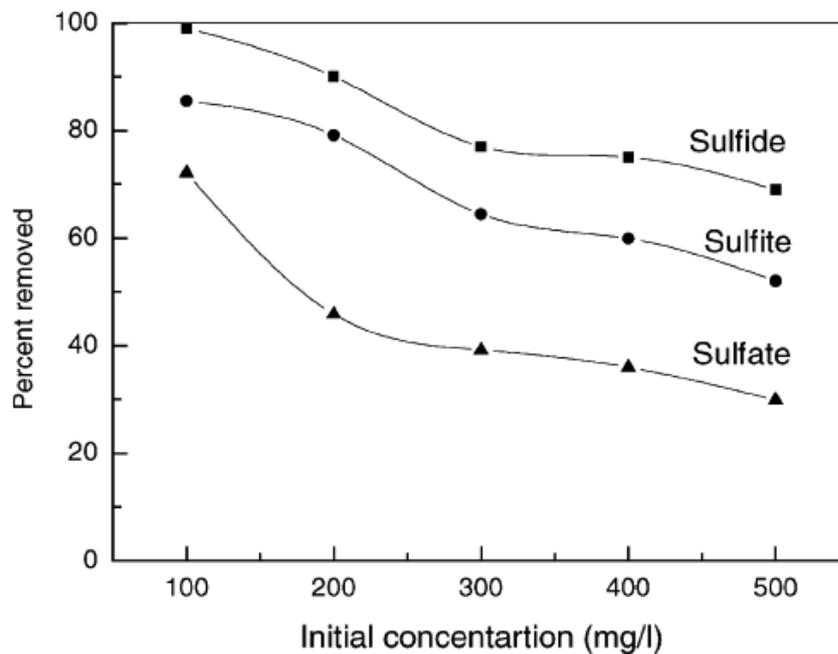


Figura 64 a: Influencia de la concentración inicial de sulfuro, sulfitos y sulfatos inicial vs. Remoción (ánodo: Fe, flotación tiempo: 600 s, pH: 7.0, densidad: 32 mA/cm<sup>2</sup> para sulfuro y 62 mA/cm<sup>2</sup> para el sulfito y sulfato). (Muruganathan et al, 2004)

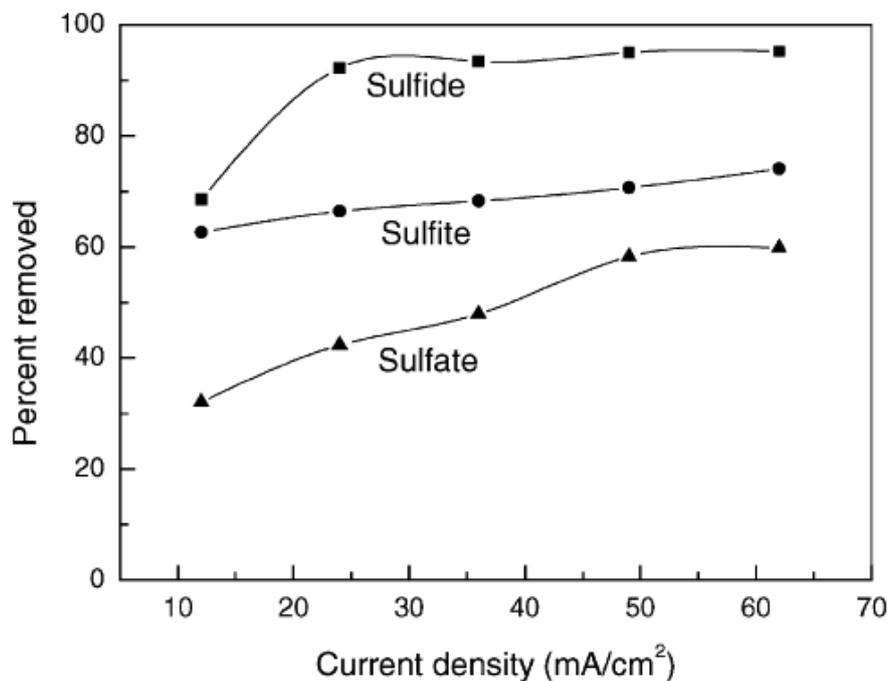


Figura 64 b: Influencia de la densidad en la eliminación de contaminantes sulfurados (ánodo: Fe, flotación tiempo: 600 s, inicial concentración: 100 mg/l). (Muruganathan et al, 2004)

pH	Concentración de SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)		Remoción de SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (%)	
	Después de la electrocoagulación		Ánodo Fe	Ánodo Al
	Ánodo de Fe	Ánodo de Al		
5,5	32	28	68	72
7	35	33	65	67
8,5	41	49	59	41
9,5	59	73	41	27
10,5	78	80	22	20

Tabla 53: influencia del pH en la remoción de Sulfato  
Concentración inicial: 100 mg/l, densidad: 62 mA/cm<sup>2</sup> y tiempo de electro flotación: 600 s. (Muruganathan et al, 2004).

#### 4.2.5. En referencia al objetivo inicial 5: Oxidación directa de los compuestos olorosos utilizando electrodos de hierro, aluminio, titanio y Dióxido de plomo (PbO<sub>2</sub>)

Según Szyrkowicz et al, (1995) el método electroquímico utilizando Ti/Pt y Ti/Pt/Ir electrodos es eficiente en la eliminación de amonio en efluentes de tenerías. En la investigación realizada se ha utilizado efluente de tenería mezclado con agua residual domestica y un equipo electroquímico de banco, con voltaje entre 0-10 V. El equipo electroquímico es presentado en la figura 65.

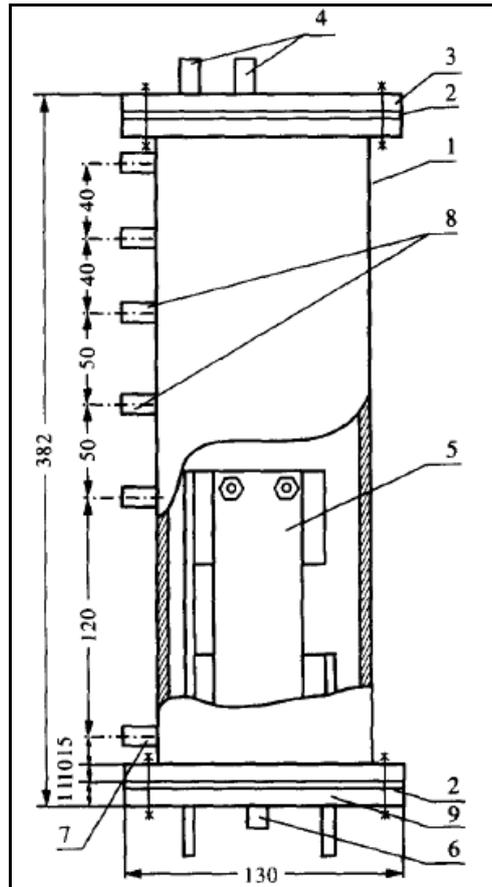


Figura 65: Equipo electroquímico de banco (Szpyrkowicz et al, 1995) 1—Tubo de Plexiglás; 2-- prensaestopas; 3--cobertura; 4—ventosa de gas; 5--electrodos; 6—Entrada de agua residual (condiciones dinámicas); 7—Salida de agua residual 8—Puntos de muestreo; 9—cobertura do residuo.

Para ambos los ánodos y tipos de agua residual utilizados el tratamiento ha sido satisfactorio, presentando la completa remoción de amonio (figura 66 y tabla 54). Se ha observado también que la eliminación de amonio depende de la concentración inicial, de la presencia de otros contaminantes y de la densidad.

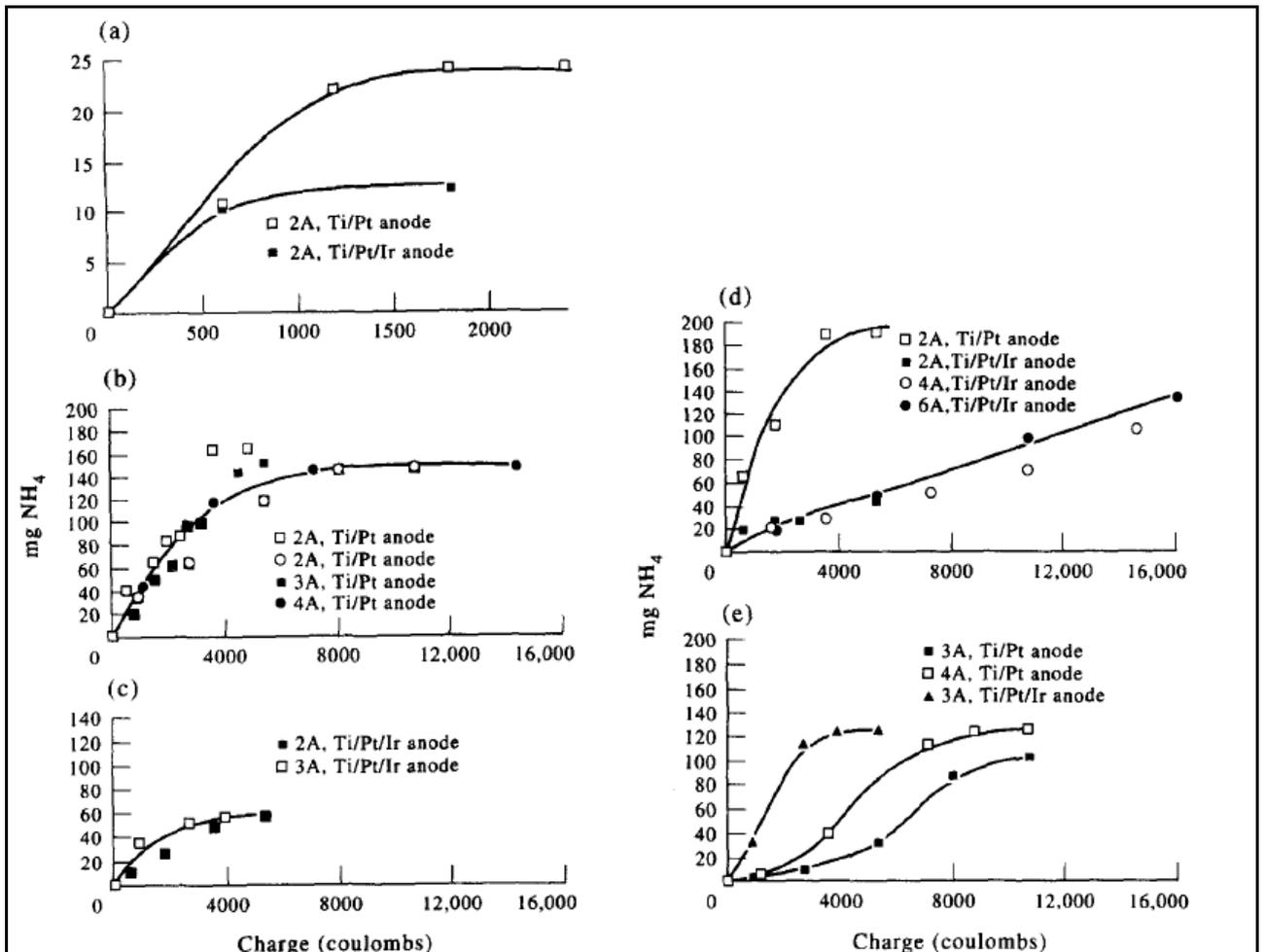


Figura 66: Relación entre la eliminación de amonio y la energía aplicada (Szpyrkowicz et al, 1995) (a) efluente final, (b) agua residual antes del tratamiento aeróbico, (c) agua residual después del tratamiento aeróbico, (d) agua residual mezclada, (e) agua residual cruda.

Debido a la propiedad electro catalítica de los electrodos de Ti/Pt/Ir, la eliminación de amonio en este tipo de agua residual es realizada conjuntamente con el efecto directo y indirecto de la oxidación en el ánodo.

Con los resultados se concluye que el ánodo Ti/Pt/Ir es más eficiente en la eliminación de amonio, debido a la oxidación directa del amonio en los ánodos de Ti/Pt/Ir, sin embargo con el uso del ánodo de Ti/Pt es proceso es más barato y más resistente a las diferencias de potencial.

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

Muestra Nº	Tiempo Electri.	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)		Temperatura (°C)		pH		Cl <sup>-</sup>		DQO	
		Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
1	20	24,2	0,21	25	29	7,49	7,09	1840	1710	93	33
2	30	164	1,25	25	34	7,85	7,18	2560	2230	458	
3	45	146	0,5	25	35	7,61	7	2470	2100	25	90
4	25	151	8,2	27	35	7,66	6,62			458	164
5	30	146	0,4	25	42	7,61	7,54	2470	1690	237	70
6	45	138	0,49	27	37	7,8	6,35	2570	1940	660	165
7	60	125	26	25	39	7,53	6,49	2562	2300	1774	950
8	45	125	1,08	25	45	7,53	6,84	2562	1952	1774	540
9	15	12,2	0,17	26	28	7,56	7,34	1846	1720	146	63
10	45	56	0,36	25	28	7,27	7,29	1935	1860	176	142
11	45	136	86,5	25	28	7,59	7,31			1480	
12	22	56	0,28	25	32	7,27	6,91	1935	1860	176	100
13	30	125	1	22	32	7,53	6,55	2562	2307	1774	1580
14	60	136	23	25	42	7,57	7,13	2414	2360	1250	
15	30	136	35	27	46	7,57	5,97	2414	2307	1250	

Tabla 54: Resultados obtenidos en la parte experimental (Szpyrkowicz et al, 1995)

Se ha concluido también que para aguas residuales con baja concentración de materia orgánica degradable, la mejor densidad para la remoción de amonio utilizando electrodo de Ti/Pt es de 2 A dm<sup>-2</sup>. En densidades más bajas el efecto en la remoción de amonio en altas concentraciones de amonio es malo, debido a la mezcla insuficiente. Con densidades mayores que 2Adm<sup>-2</sup> el consumo de energía aumenta. Para aguas residuales con altas concentraciones de contenido orgánico degradable, la densidad para ambos electrodos debe ser mayor (3Adm<sup>-2</sup> para *Ti/Pt/Ir* y 4 A din<sup>-2</sup> para Ti/Pt).

En una investigación anterior Szpyrkowicz et al, (1994) evaluaron en escala de laboratorio la eficiencia de la electrooxidación en la eliminación de amonio con ánodos de Titanio puro, titanio cubierto con óxidos, grafito y fibras de carbono. Con los resultados obtenidos se llegó a la conclusión de que el grafito se presenta como el mejor ánodo para el tratamiento. En la continuación de la investigación, los autores investigaran la combinación del ánodo de grafito y el cátodo de acero

En la investigación se realizaron experimentos mediante efluente final, agua residual después del tratamiento aerobio y mezcla de efluente final con agua residual después del tratamiento anaerobio. Los ensayos se realizaron en un equipo electroquímico de banco con voltaje entre 0-10 V (figura 65).

Muestra	Tiempo	Temperatura				DQO			
		NH <sub>4</sub> <sup>+4</sup> (mg/l)		(°C)		Densidad			
Nº	Electri.	Inicial	Final	Inicial	Final	(A/dm <sup>2</sup> )	Voltaje (V)	Inicial	Final
1	60	40,2	0,2	25	37	0,73	5,6	162	-
2	30	40,2	2	25	33	1,17	6,1	162	0
3	30	50	0,5	25	25	0,44	4,4	202	49
4	60	50	25,2	25	-	0,23	3,7	202	-
5	30	50	0	25	28	0,42	4,2	202	3
6	45	50	2	25	26	0,12	3,65	202	-
7	60	175	98	25	25	0,44	4,5	315	-
8	60	175	74	25	25	0,73	5,2	315	75*
9	90	175	1	25	28	1,17	5,7	315	0
10	60	175	0,16	25	26	1,11	5,6	315	15**
11	55	63	0,07	25	29	0,55	4,2	186	0
12	60	136	24,5	27	40	1,11	6,0	1250	730

Tabla 55: Resultados obtenidos en la parte experimental (Szpyrkowicz et al, 1994)

(\*):después de 5 min (\*\*): después de 30 min

Muestras 1-6: Efluente final, muestras 7-11: después del tratamiento aerobio, Muestras 12: aguas residuales mezcladas.

Se concluyo la electrooxidación se presenta como una etapa eficiente para el pulido de efluentes de tratamiento biológico y que la mejor eficiencia en la eliminación del amoniaco se presenta después de 30 minutos de tratamiento, mediante densidad de 0,44 A/dm<sup>2</sup> utilizando ánodo de grafito y cátodo de acero.

Ateya et al (2005) ha evaluado el método electroquímico para la remoción de sulfuro de hidrogeno en salmera con la utilización de electrodos porosos (carbón felt). La analítica fue realizada con una célula electroquímica (figura 67) y las mediciones con un espectrofotómetro.

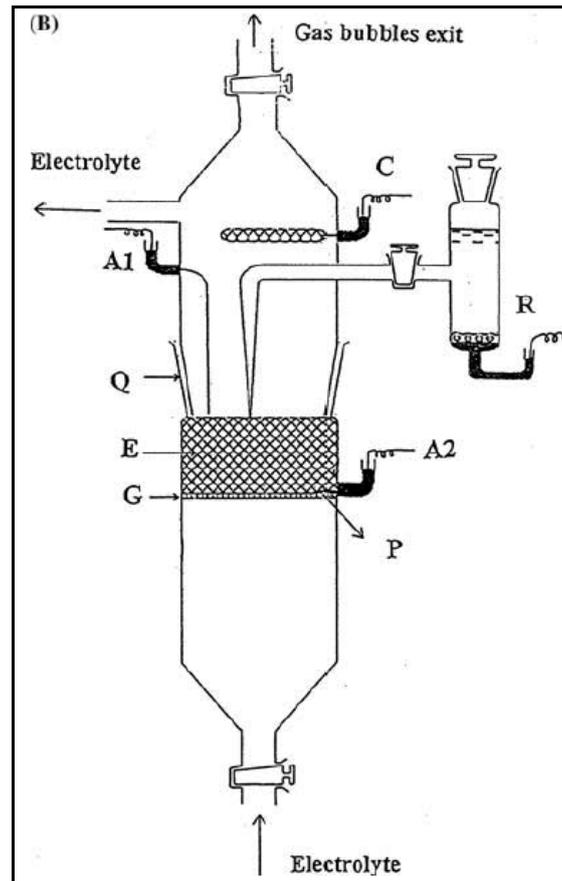


Figura 67: Representación de la célula (Ateya et al, 2005) A1 and A2 contactos con los electrodos porosos (E); C: medidor de electrodo; G:disco de placa porosa; R: electrodo de referencia ;Q: esmerilado; P: Conexión de platino platino para los electrodos porosos.

Se ha concluido en la investigación que:

- Los iones de sulfuro pueden ser oxidados directamente en azufre elemental con electrodos de carbón.
- La tasa del proceso es controlada por la transferencia de la interfase y por la difusión de iones de sulfuros en el poro electrolito.
- El electrodo de carbón posee una capacidad de remoción de iones de sulfuro mayor que los demás electrodos planos, debido su mayor área superficial.
- La velocidad de reacción y consecuentemente la eficiencia de remoción aumentan con la concentración de sulfuro, potencia, temperatura y flujo electrolito.
- La medición de sulfuros es menor que la real, debido los sulfuros que se depositan en los poros del medio.

**4.2.6. En referencia al objetivo inicial 6: Eliminación de compuestos olorosos por electroflotación**

Muruganathan et al (2004), han investigado la eficiencia de la electrocoagulación en la eliminación de iones de sulfuro, sulfitos y sulfatos en efluente de tenerías, con una célula de electroflotación (figura 68) y analítica según el standar methods. Los parámetros como pH, densidad y concentración inicial fueran estudiados.

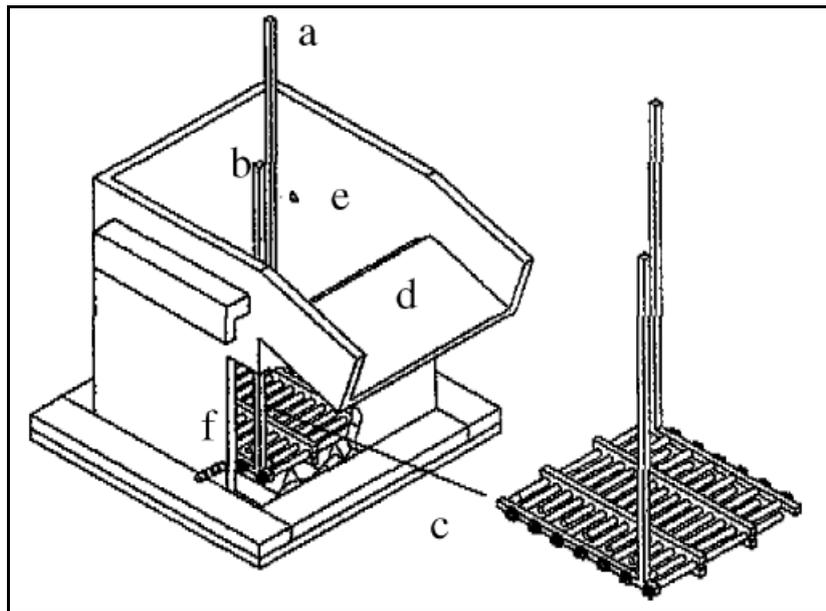


Figura 68: Célula de electroflotación (Muruganathan et al, 2004) (a) ánodo; (b) cátodo; (c) conjunto de electrodos; (d) labio de residuos; (e) entrada y salida (f).

Parámetro	Muestra	Después de la electrocoagulación (ánodo)			
	entrada	Fe	Al	Ti	Fe y Al
pH	11,86	11,78	11,78	11,59	11,52
Conductividad (µmho/cm)	9540	3970	3920	9420	3980
Sulfuro (mg/l)	108	29	34	56	28
Sulfato (mg/l)	54	31	35	93	22
Cloro (mg/l)	30	29	30	21	30
Sólidos en suspensión (mg/l)	1078	270	24	687	24
Sólidos Totales disuelto (mg/l)	3470		1924		1878
DBO (mg/l)	766	55			41
DQO (mg/l)	1314	84	75	1210	67

Tabla 56: Efecto del material del ánodo en la eliminación de contaminantes (Muruganathan et al, 2004)

Densidad: 47 mA/cm<sup>2</sup> y tiempo de electroflotación: 1200 s.

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

Los autores evaluarán el Hierro, alúmina y titanio como ánodos y se ha observado que los ánodos de hierro y alúmina son eficientes en la remoción de sulfuro, sulfitos y sulfatos (tabla 56). Esos iones metálicos provenientes del ánodo pueden precipitar los iones de sulfuro en efluentes como metal sulfuro. El precipitado formado puede ser simultáneamente eliminado por flotación debido a las burbujas de hidrógeno regeneradas en el cátodo.

Iones metálicos generados en la oxidación electroquímica en los ánodos, reaccionan con los iones de sulfuro.

En relación a los parámetros investigados se ha concluido que:

- Con el aumento de la concentración de contaminantes la eficiencia del proceso disminuye (figura 69).
- Que con densidades mayores la remoción de los contaminantes sulfurados también es mayor (figura 70).
- Que con el pH ligeramente ácido la remoción de los contaminantes es mejor (tabla 57).

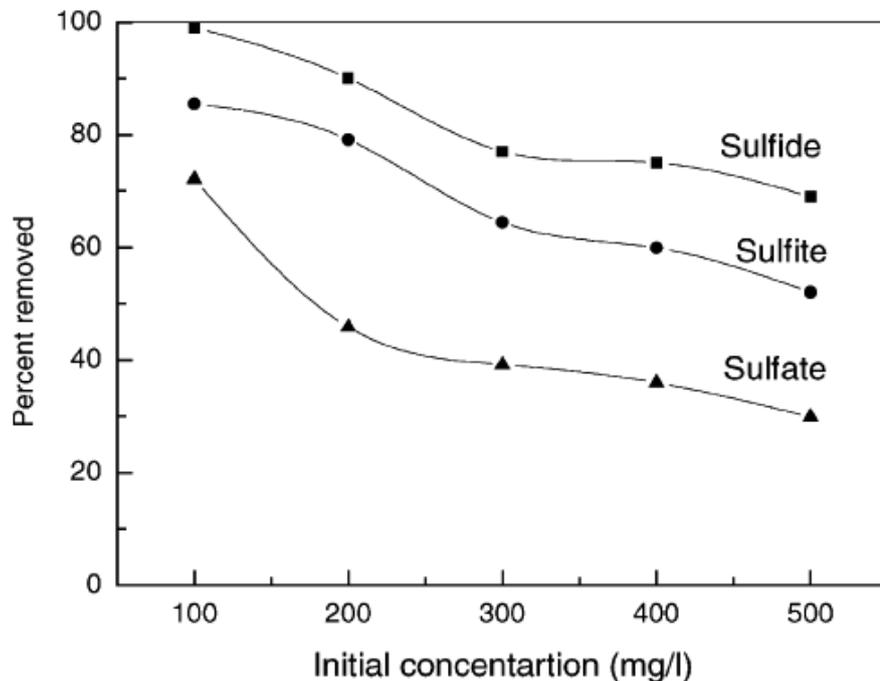


Figura 69: Influencia de la concentración inicial de sulfuro, sulfitos y sulfatos inicial vs. Remoción (ánodo: Fe, flotación tiempo: 600 s, pH: 7.0, densidad: 32 mA/cm<sup>2</sup> para sulfuro y 62 mA/cm<sup>2</sup> para el sulfito y sulfato). (Muruganathan et al, 2004)

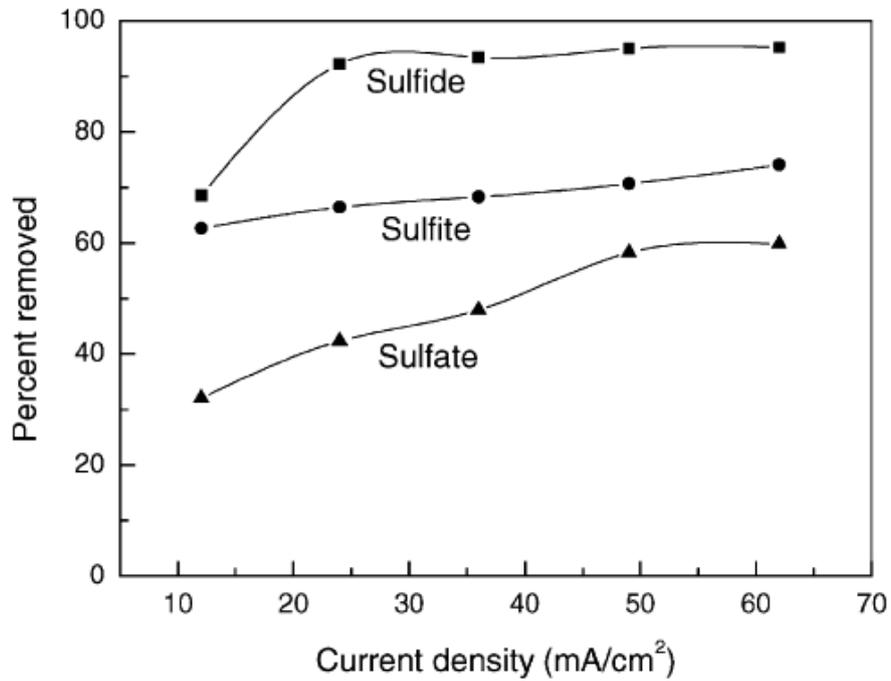


Figura 70: Influencia de la densidad en la eliminación de contaminantes sulfurados (ánodo: Fe, flotación tiempo: 600 s, inicial concentración: 100 mg/l). (Muruganathan et al, 2004).

pH	Concentración de SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)		Remoción de SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (%)	
	Después de la electrocoagulación		Ánodo Fe	Ánodo Al
	Ánodo de Fe	Ánodo de Al		
5,5	32	28	68	72
7	35	33	65	67
8,5	41	49	59	41
9,5	59	73	41	27
10,5	78	80	22	20

Tabla 57: influencia del pH en la remoción de Sulfato Concentración inicial: 100 mg/l, densidad: 62 mA/cm<sup>2</sup> y tiempo de electro flotación: 600 s. (Muruganathan et al, 2004).

### **4.3. Frontera del Conocimiento**

He realizado una investigación bibliográfica, sacada de internet, de textos, revistas, publicaciones variadas, así como de conferencias, seminarios y manuales, y he realizado consultas técnicas con empresas que realizan proyectos de tratamiento de olores.

He encontrado algunas informaciones subjetivas y dispersas en algunos casos, ya que no está sustentada en la base científica y tratamiento estadístico de la información sino en la observación, lo que lleva a concluir, que existe una limitación en la frontera de conocimiento referente al tratamiento de olores en depuradoras, que no han dado respuesta satisfactoria a todos los objetivos iniciales planteados en el capítulo 3.

#### **4.3.1. Clasificación de los productos olorosos**

Con el desarrollo de la investigación bibliográfica fue posible realizar una clasificación adecuada de los compuestos olorosos. Considero, por lo anterior, que el objetivo encuentra respuesta suficiente y satisfactoria.

#### **4.3.2. Sistemas utilizados en la eliminación de olores**

En la extensa bibliografía consultada he encontrado una variedad de técnicas eficientes en la eliminación de olores, por lo tanto considero el objetivo con respuesta satisfactoria para las técnicas expuestas en la siguiente tabla con sus respectivos contaminantes a eliminar.

Compuestos	Formula	Técnicas de Tratamiento
Sulfuro de hidrógeno	H <sub>2</sub> S	Ozonización con peróxido de hidrógeno Fotocatálisis heterogénea Oxidación Química Filtración con Membranas Carbón Activo Filtros Biológicos Fangos Activos Electro oxidación Electrocoagulación
Metilmercaptano	CH <sub>3</sub> SH	Oxidación Química Filtros Biológicos
Sulfuro de carbono	CS <sub>2</sub>	Oxidación Química Filtros Biológicos
Oxosulfuro de Carbono	COS	Oxidación Química Carbón Activo Filtros Biológicos
Sulfuro de dimetilo	CH <sub>3</sub> -S-CH <sub>3</sub>	Plasma no Térmico Oxidación Química Filtros Biológicos
Disulfuro de dimetilo	CH <sub>3</sub> -S-S-CH <sub>3</sub>	Fenton
Dimetilsulfóxido	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> OS	Oxidación Catalítica
Terc-butil mercaptano	(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> C-SH	Filtros Biológicos
Etilmercaptano	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> -SH	Filtros Biológicos
Amoníaco	NH <sub>3</sub>	Filtros Biológicos Electrooxidación
Trimetilamina	(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> N	Filtros Biológicos
Dimetilamina	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> NH	Filtros Biológicos
Metilamina	CH <sub>3</sub> NH <sub>2</sub>	Filtros Biológicos
Indol	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> NH	Fotocatálisis UV/TiO <sub>2</sub>
Piridina	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> N	Biodegradación
Acético	CH <sub>3</sub> COOH	Electrooxidación Filtros Biológicos
Butírico	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> COOH	Filtros Biológicos
Propiónico	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> COOH	Filtros Biológicos
Valérico	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> COOH	Filtros Biológicos

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

Compuestos	Formula	Técnicas de Tratamiento
Formolaldehído	HCOH	Filtros Biológicos Humedales
Xilenos	CH <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> CH <sub>3</sub>	Filtros Biológicos
Toluileno	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	Filtros Biológicos
Estireno	Benceno w/CHCH <sub>2</sub>	Filtros Biológicos
Cloroformo	CHCl <sub>3</sub>	Filtros Biológicos
Diclorometano	CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	Filtros Biológicos
Tetracloroetano	CCl <sub>2</sub> CCl <sub>2</sub>	Filtros Biológicos

Tabla 58: Resumen de las técnicas de tratamiento de olores encontradas en la investigación bibliográfica

Sin embargo no he encontrado investigaciones sobre técnicas de eliminación para algunos compuestos olorosos, por lo que se hace necesario continuar con ese objetivo con el fin de presentar repuesta para la eliminación de los siguientes compuestos olorosos:

### a) Sulfurados

- Mercaptano Alílico CH<sub>2</sub>=C-CH<sub>2</sub>-SH
- Mercaptano de Pentilo CH<sub>3</sub>-(CH<sub>2</sub>)<sub>3</sub>-CH<sub>2</sub>-SH
- Mercaptano Bencílico C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>CH<sub>2</sub>-SH
- Mercaptano de Crotyl CH<sub>3</sub>-CH=CH-CH<sub>2</sub>-SH
- Mercaptano de Propilo CH<sub>3</sub>-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-SH
- Trisulfuro de dimetilo (CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>S<sub>3</sub>
- Tiofenol C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>SH
- Tiocresol CH<sub>3</sub>-C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>-SH

### b) Nitrogenados

- Etilamina C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>NH<sub>2</sub>
- Aminometano (CH<sub>3</sub>)NH<sub>2</sub>
- Escalotes C<sub>9</sub>H<sub>9</sub>N

c) Ácidos

- Carbónico  $C_6H_5OH$
- Fórmico  $HCOOH$
- Isovalérico  $(CH_3)_2CHCH_2CO OH$

d) Aldehídos y Cetonas

- Acetaldehído  $CH_3CHO$
- Butiraldehído  $CH_3(CH_2)_2CHO$
- Isobutiraldehído  $(CH_3)_2CHCHO$
- Valeraldehído  $CH_3(CH_2)_3CHO$
- Acetona  $CH_3COCH_3$
- 2-Pentanona  $CH_3COCH_2CH_2CH_3$
- Butanona  $CH_3(CH_2)_2COCH_3$

e) Benceno

- Benzothiozole

f) Clorados

- Cloroaldimine  $R-CH=NCl$
- 1,1,1-tricloroetano  $CCl_3CH_3$

#### 4.3.3. Consideración de la normativa pertinente

En la investigación bibliográfica hemos encontrado normativas satisfactorias sobre el control de emisiones de olores. De las experiencias investigadas se sacaron las siguientes conclusiones:

- Es importante indicar que el principio de prevención prevalece sobre la implantación de medidas correctoras. La mejor forma de reducir las emisiones de olor no es mediante el uso de ninguna medida correctora, sino mediante la eliminación de lo que las genera.
- La mejor tecnología de control disponible envuelve aproximaciones que requieren el mejor tratamiento de olor con facilidad (económico).

## **Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales**

- Los límites de emisión de olores pueden ser estándar establecidos para todos los tipos de uso del suelo o pueden tener múltiples niveles, distinguiendo entre residencial, comercial y industrial

Considero, por el anterior, que se ha dado una respuesta al objetivo planteado.

### **4.3.4. Eliminación de compuestos olorosos por solubilización de los ánodos**

De los 173 artículos analizados durante el desarrollo de la investigación bibliográfica encontramos solamente el elaborado por Muruganathan et al (2004) [48] con investigaciones sobre el tema. Sin embargo con dicho estudio no se ha obtenido respuesta suficiente en relación a los sulfuros, tampoco para el resto compuestos olorosos.

Tampoco se encontró ningún autor que haya investigado la eliminación de compuestos olorosos por solubilización de los ánodos con adición de dosis reducidas de coagulantes.

En definitiva, este objetivo no encuentra respuesta satisfactoria en la investigación bibliográfica realizada y debe seguir siendo tema de estudio en esta Tesis.

### **4.3.5. Oxidación directa de los compuestos olorosos utilizando electrodos de hierro, aluminio, titanio y Dióxido de plomo (PbO<sub>2</sub>)**

Szpyrkowicz et al, (1994) evaluó el grafito como ánodo y el acero como cátodo en la electrooxidación del Amonio y se observó que la mejor eficiencia en la eliminación del amoniaco se presenta después de 30 minutos de tratamiento, mediante densidad de 0,44 A/dm<sup>2</sup>.

En un investigación posterior Szpyrkowicz et al, (1995) [56] ha utilizado Ti/Pt y Ti/Pt/Ir electrodos en la eliminación de amonio. Para ambos, los ánodos en el tratamiento presentaron resultados satisfactorios, presentando la completa eliminación de amonio.

Sin embargo no se ha investigado sobre la utilización de otros tipos de ánodos, cátodos, tampoco otras combinaciones de electrodos en la eliminación de amonio. Por lo tanto considero la respuesta no satisfactoria para el amonio.

Para los compuestos sulfurados he encontrado la investigación de Ateya et al (2005) [5], que han concluido que los iones de sulfuro pueden ser oxidados directamente en azufre elemental con electrodos de carbón. Sin embargo no hay información suficiente para dar respuesta al objetivo propuesto.

Considero necesario realizar comprobaciones prácticas con el fin de obtener respuestas para todos los compuestos olorosos:

a) Sulfurados

- Sulfuro de hidrogeno  $H_2S$
- Metilmercaptano  $CH_3SH$
- Mercaptano Alílico  $CH_2=C-CH_2-SH$
- Mercaptano de Pentilo  $CH_3-(CH_2)_3-CH_2-SH$
- Mercaptano Bencílico  $C_6H_5CH_2-SH$
- Mercaptano de Crotyl  $CH_3-CH=CH-CH_2-SH$
- Etilmercaptano  $CH_3CH_2-SH$
- Disulfuro de carbono  $CS_2$
- Oxysulfide de Carbono  $COS$
- Mercaptano de Propilo  $CH_3-CH_2-CH_2-SH$
- Sulfuro de dimetilo  $CH_3-S-CH_3$
- Disulfuro de dimetilo  $CH_3-S-S-CH_3$
- Dimetilsulfóxido  $C_2H_6OS$
- Trisulfuro de dimetilo  $(CH_3)_2S_3$
- Tiofenol  $C_6H_5SH$
- Tiocresol  $CH_3-C_6H_4-SH$

b) Nitrogenados

- Amonio  $NH_3$
- Metilamina  $CH_3NH_2$
- Etilamina  $C_2H_5NH_2$
- Dimetilamina  $(CH_3)_2NH$
- Trimetilamina  $(CH_3)_3N$
- Piridinas  $C_6H_5N$
- Aminometano  $(CH_3)NH_2$

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

- Escalotes  $C_9H_9N$

- Indoles  $C_8H_7NH$

c) Ácidos

- Acético  $CH_3COOH$

- Butírico  $CH_3(CH_2)_2COOH$

- Propiónico  $CH_3CH_2COOH$

- Valérico  $CH_3(CH_2)_3COOH$

- Carbólico  $C_6H_5OH$

- Fórmico  $HCOOH$

- Isovalérico  $(CH_3)_2CHCH_2CO OH$

d) Aldehídos y Cetonas

- Acetaldehído  $CH_3CHO$

- Butiraldehído  $CH_3(CH_2)_2CHO$

- Isobutiraldehído  $(CH_3)_2CHCHO$

- Valeraldehyde  $CH_3(CH_2)_3CHO$

- Acetona  $CH_3COCH_3$

- 2-Pentanona  $CH_3COCH_2CH_2CH_3$

- Butanona  $CH_3(CH_2)_2COCH_3$

e) Benceno

- Benzothiozole

- Estireno

- Xilenos

- Toluileno

f) Clorados

- Cloroformo  $\text{CHCl}_3$
- Diclorometano  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$
- Tetracloroetileno  $\text{CCl}_2\text{CCl}_2$
- Cloroaldimine  $\text{R}-\text{CH}=\text{NCl}$
- 1,1,1-tricloroetano  $\text{CCl}_3\text{CH}_3$

#### **4.3.6. Eliminación de compuestos olorosos por electroflotación**

A pesar de la existencia de diversos autores [44, 29, 58, 32 y 24] que han investigado la flotación como método de eliminación de olores, solamente encontramos la investigación de Muruganathan et al (2004) [48] que desarrolló el sistema de la electroflotación. Sin embargo con ello no se ha dado una respuesta al objetivo planteado.

El objetivo sigue siendo tema de estudio en la Tesis.

## 5. OBJETIVOS DEFINITIVOS

### 5.1. Objetivos definitivos posibles

Considerando los objetivos propuestos como iniciales en el capítulo 3 y teniendo en cuenta que en el análisis de la investigación bibliográfica, no se encontraron resultados suficientes o satisfactorios para dar respuesta al estudio propuesto, o sea son temas todavía no investigados y su investigación presenta novedad.

Así pues, se proponen los siguientes objetivos definitivos posibles de esta investigación:

1. Investigar sobre sistemas utilizados en la eliminación de los siguientes compuestos sulfurados olorosos:
  - Mercaptano Alílico  $\text{CH}_2=\text{C}-\text{CH}_2-\text{SH}$
  - Mercaptano de Pentilo  $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_3-\text{CH}_2-\text{SH}$
  - Mercaptano Bencílico  $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2-\text{SH}$
  - Mercaptano de Crotyl  $\text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{SH}$
  - Mercaptano de Propilo  $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{SH}$
  - Trisulfuro de dimetilo  $(\text{CH}_3)_2\text{S}_3$
  - Tiofenol  $\text{C}_6\text{H}_5\text{SH}$
  - Tiocresol  $\text{CH}_3-\text{C}_6\text{H}_4-\text{SH}$
2. Investigar sobre sistemas utilizados en la eliminación de los siguientes compuestos nitrogenados olorosos:
  - Etilamina  $\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2$
  - Aminometano  $(\text{CH}_3)\text{NH}_2$
  - Escalotes  $\text{C}_9\text{H}_9\text{N}$
3. Investigar sobre sistemas utilizados en la eliminación de los siguientes ácidos olorosos:
  - Carbólico  $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$
  - Fórmico  $\text{HCOOH}$
  - Isovalérico  $(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_2\text{CO OH}$

4. Investigar sobre sistemas utilizados en la eliminación de los siguientes aldehídos y cetonas olorosos:
  - Acetaldehído  $\text{CH}_3\text{CHO}$
  - Butiraldehído  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CHO}$
  - Isobutiraldehído  $(\text{CH}_3)_2\text{CHCHO}$
  - Valeraldehído  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{CHO}$
  - Acetona  $\text{CH}_3\text{COCH}_3$
  - 2-Pentanona  $\text{CH}_3\text{COCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$
  - Butanona  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COCH}_3$
  
5. Investigar sobre sistemas utilizados en la eliminación de los siguientes bencenos olorosos:
  - Benzotiozole
  
6. Investigar sobre Sistemas utilizados en la eliminación de los siguientes compuestos clorados olorosos:
  - Cloroaldimine  $\text{R}-\text{CH}=\text{NCl}$
  - 1,1,1-tricloroetano  $\text{CCl}_3\text{CH}_3$
  
7. Eliminación de compuestos de azufre olorosos producidos en depuradoras por solubilización de los ánodos
  
8. Eliminación de compuestos nitrogenados olorosos producidos en depuradoras por solubilización de los ánodos
  
9. Eliminación de ácidos olorosos producidos en depuradoras por solubilización de los ánodos
  
10. Eliminación de aldehídos y cetonas olorosos producidos en depuradoras por solubilización de los ánodos
  
11. Eliminación de bencenos olorosos producidos en depuradoras por solubilización de los ánodos

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

12. Eliminación de compuestos clorados olorosos producidos en depuradoras por solubilización de los ánodos
13. Investigar sobre la oxidación directa de los compuestos de azufre olorosos ( $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CH}_3\text{SH}$ ,  $\text{CH}_2=\text{C}-\text{CH}_2-\text{SH}$ ,  $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_3-\text{CH}_2-\text{SH}$ ,  $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2-\text{SH}$ ,  $\text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{SH}$ ,  $\text{CH}_3\text{CH}_2-\text{SH}$ ,  $\text{CS}_2$ ,  $\text{COS}$ ,  $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{SH}$ ,  $\text{CH}_3-\text{S}-\text{CH}_3$ ,  $\text{CH}_3-\text{S}-\text{S}-\text{CH}_3$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6\text{OS}$ ,  $(\text{CH}_3)_2\text{S}_3$ ,  $\text{C}_6\text{H}_5\text{SH}$ ,  $\text{CH}_3-\text{C}_6\text{H}_4-\text{SH}$ ) utilizando electrodos de hierro, aluminio, titanio y dióxido de plomo ( $\text{PbO}_2$ ).
14. Investigar sobre la oxidación directa de los compuestos nitrogenados olorosos ( $\text{CH}_3\text{NH}_2$ ,  $\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2$ ,  $(\text{CH}_3)_2\text{NH}$ ,  $(\text{CH}_3)_3\text{N}$ ,  $\text{C}_6\text{H}_5\text{N}$ ,  $(\text{CH}_3)\text{NH}_2$ ,  $\text{C}_9\text{H}_9\text{N}$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6\text{NH}$ ) utilizando electrodos de hierro, aluminio, titanio y dióxido de plomo ( $\text{PbO}_2$ ).
15. Investigar sobre la oxidación directa de ácidos olorosos ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ,  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$ ,  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$ ,  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{COOH}$ ,  $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ ,  $\text{HCOOH}$ ,  $(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_2\text{COOH}$ ) utilizando electrodos de hierro, aluminio, titanio y dióxido de plomo ( $\text{PbO}_2$ ).
16. Investigar sobre la oxidación directa de los aldehídos y cetonas olorosos ( $\text{HCHO}$ ,  $\text{CH}_3\text{CHO}$ ,  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CHO}$ ,  $(\text{CH}_3)_2\text{CHCHO}$ ,  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{CHO}$ ,  $\text{CH}_3\text{COCH}_3$ ,  $\text{CH}_3\text{COCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$ ,  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COCH}_3$ ) utilizando electrodos de hierro, aluminio, titanio y dióxido de plomo ( $\text{PbO}_2$ ).
17. Investigar sobre la oxidación directa de bencenos olorosos ( $\text{CH}_6\text{H}_4\text{SCHN}$ ,  $\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{CH}_3$ ,  $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$ ) utilizando electrodos de hierro, aluminio, titanio y dióxido de plomo ( $\text{PbO}_2$ ).
18. Investigar sobre la oxidación directa de compuestos clorados olorosos ( $\text{CHCl}_3$ ,  $\text{CCl}_2\text{CCl}_2$ ,  $\text{R}-\text{CH}=\text{NCl}$ ,  $\text{CCl}_3\text{CH}_3$ ) utilizando electrodos de hierro, aluminio, titanio y dióxido de plomo ( $\text{PbO}_2$ ).
19. Estudiar sobre la eliminación de compuestos sulfurados producidos en depuradoras por electroflotación

20. Estudiar sobre la eliminación de compuestos nitrogenados olorosos producidos en depuradoras por electroflotación
21. Estudiar sobre la eliminación de ácidos olorosos producidos en depuradoras por electroflotación
22. Estudiar sobre la eliminación de aldehídos y cetonas olorosos, producidos en depuradoras por electroflotación
23. Estudiar sobre la eliminación de bencenos olorosos, producidos en depuradoras por electroflotación
24. Estudiar sobre la eliminación de compuestos clorados olorosos producidos en depuradoras por electroflotación
25. En todas las etapas mencionados anteriormente en los objetivos definitivos, estudiar los parámetros que influyen en el proceso: material de electrodos, separación de electrodos, intensidad de corriente, tiempo de retención hidráulico, temperatura, pH y conductividad

### **5.2. Objetivos seleccionados en la presente Tesis**

Todos los indicados en el apartado anterior presentan novedad, lo que se requiere en la Tesis.

De todos los objetivos posibles se ha realizado la selección, en primer lugar, por importancia y, en segundo lugar, considerando las probabilidades de encontrar una solución para dichos problemas.

Para la selección de los objetivos en la presente tesis se ha considerado, la infraestructura del laboratorio de la Cátedra de Ingeniería Sanitaria de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid y el presupuesto disponible para el desarrollo de investigaciones.

Por lo tanto, en la tesis, se consideran los siguientes objetivos definitivos:

1. Investigar sobre la oxidación directa de los compuestos de azufre olorosos en aguas residuales.
2. Investigar sobre la oxidación directa de los compuestos nitrogenados olorosos en aguas residuales.
3. Investigar sobre la oxidación directa de ácidos olorosos en aguas residuales.
4. Investigar sobre la oxidación directa de bencenos olorosos en aguas residuales.
5. Investigar sobre la oxidación directa de compuestos clorados olorosos en aguas residuales

## **6. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **6.1. Metodología aplicada**

Para el desarrollo de la investigación se hace necesario considerar los objetivos definitivos, describiendo, para cada uno de ellos, la metodología a seguir, bien conjunta o particular, que nos lleven a su resolución.

Durante la fase experimental se han desarrollado una serie de trabajos paralelos, que posteriormente han convergido en unos resultados, de los cuales se han extraído las conclusiones de la presente investigación.

La primera parte de la investigación se ha realizado en el laboratorio de Ingeniería Sanitaria de la ETSICCP. Para ello, y después de un estudio a fondo de los procesos de generación de olores en depuradoras, se han simulado los fenómenos y técnicas de tratamiento de estos contaminantes en laboratorio. Además, se ha utilizado una planta piloto, utilizada para otras investigaciones, con el fin de reproducir las condiciones adecuadas. Posteriormente se han realizado las analíticas de laboratorio en las que se ha estudiado la eficiencia de la electrocoagulación en la eliminación de compuestos olorosos, presentes en aguas residuales.

La fase experimental de la presente investigación tiene por objeto profundizar en los conceptos no resueltos, así como en los que se han encontrado datos contradictorios en la investigación bibliográfica.

### **6.2. Selección de los parámetros a analizar**

Los parámetros se han seleccionado, de entre todos los encontrados en la bibliografía y normativas consultadas, en función de su grado de importancia en relación a los estudios de la presente tesis.

Los parámetros de control también fueron seleccionados de acuerdo con la infraestructura del laboratorio de la Cátedra de Ingeniería Sanitaria de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid.

#### **6.2.1. Respecto al objetivo definitivo 1: Investigar sobre la oxidación directa de los compuestos de azufre olorosos.**

Entre los compuestos sulfurados olorosos presentes en depuradoras se ha seleccionado el Sulfuro de Carbono.

Se ha escogido este parámetro debido al déficit de investigación sobre él.

## **Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales**

### **6.2.2. Respecto al objetivo definitivo 2: Investigar sobre la oxidación directa de los compuestos nitrogenados olorosos**

Debido a su importancia y a su riesgo potencial para la salud del operador en concentraciones perceptivas, se ha seleccionado el amoníaco para el desarrollo de los ensayos, estudiándose de forma complementaria todo el ciclo del nitrógeno.

### **6.2.3. Respecto al objetivo definitivo 3: Investigar sobre la oxidación directa de ácidos olorosos**

Entre los ácidos olorosos se ha escogido el acético debido a su olor repulsivo y elevadas concentraciones perceptivas en depuradoras urbanas.

### **6.2.4. Respecto al objetivo definitivo 4: Investigar sobre la oxidación directa de bencenos olorosos**

Tras la consulta de toda la documentación bibliográfica ya mencionada anteriormente se ha concluido que, de entre todos los Bencenos olorosos investigados, el “tolueno” es el más repulsivo. Además, presenta el mayor umbral de percepción de la familia. Por lo tanto, el Tolueno se ha seleccionado como parámetro para desarrollar el objetivo 4.

### **6.2.5. Respecto al objetivo definitivo 5: Investigar sobre la oxidación directa de compuestos clorados olorosos**

El diclorometano es el compuesto clorado que presenta mayor grado de intensidad de olor en las aguas residuales, según la investigación bibliográfica. Por lo tanto, se considera este parámetro para el objetivo 5.

No se abarcarán en la presente investigación más parámetros, debido a la dificultad de obtención de datos fiables para algunos compuestos, la disponibilidad de equipos de laboratorio y presupuesto disponible.

### 6.3. Técnicas Analíticas

Los análisis de los parámetros químicos fueron realizados en el laboratorio de Ingeniería Sanitaria de la ETSICCP y en el laboratorio de Medio Ambiente de la empresa GEOCISA, que obtuvo el certificado AENOR de Registro de Empresa de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 9001 (ER-0234/1995) y que regularmente ha renovado desde el año 1995.

a) Sulfuro de carbono: Para su determinación se utilizó el método 8260B de la EPA. Este método se usa para la identificación de una lista especificada de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV's) mediante GC/MS (Cromatografía de Gases/Espectrometría de Masas) (USEPA, 1996).

b) Tolueno: Se determinó mediante el método 8260B de la EPA. Este método se usa para la identificación de una lista especificada de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV's) mediante GC/MS (Cromatografía de Gases/Espectrometría de Masas) (USEPA, 1996).

d) Diclorometano: Para su determinación se utilizó el método 8260B de la EPA. Este método se usa para la identificación de una lista especificada de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV's) mediante GC/MS (Cromatografía de Gases/Espectrometría de Masas) (USEPA, 1996)

f) Acido Acético: Se realizó mediante la determinación de aniones en muestras líquidas por cromatografía iónica de aniones acetato basado en el Standard Method SM 5560B (Método de separación cromatografía de ácidos orgánicos) (APHA-AWWA-WPCF, 1999).

g) Amoníaco: Se determinó mediante el Standard Method SM 4500-NH<sub>3</sub> (Método de la Nesslerización), para la determinación de amoníaco en agua mediante espectrofotometría (APHA-AWWA-WPCF, 1999).

h) Nitrógeno total: Se determinó mediante el método del test en cubetas Nitrógeno total de Merck. El procedimiento es análogo a EN ISO 11905-1.

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

i) Nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ): Para su determinación se utilizó el método del test en cubetas Nitritos de Merck. El procedimiento es análogo a EPA 354.1, US Estándar Methods 450- $\text{NO}_2$  B e EN 26 777.

j) Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ): Se realizó mediante el método del test en cubetas Nitratos de Merck. El procedimiento es análogo a ISO 7890/1.

En la tabla 59 se presentan los parámetros analizados con sus respectivas técnicas analíticas.

Parámetros	Técnicas Analíticas
Sulfuro de Carbono Diclorometano Tolueno	Método Normalizado 8260B/ Cromatografía de Gases
Acido Acético	Método Normalizado 5560 / Cromatografía Iónica
Amoníaco	Método Normalizado 4500 / Espectrofometría
Nitrógeno Total	Test en cubetas Nitrógeno total (Merck)
Nitrito	Test en cubetas Nitrito (Merck)
Nitrato	Test en cubetas Nitratos (Merck)

Tabla 59: Parámetros a analizar con sus respectivas técnicas analíticas

### 6.3.1. Descripción de los Equipos Utilizados

a) Cromatógrafo de gases

Marca: VARIAN,

Modelo: CP-3800

Con detector de espectrometría de masas VARIAN (modelo SATURN 2200)

b) Espacio en cabeza (HEADSPACE Autosampler)

Marca: TEKMAR.

c) Cromatógrafo iónico

Marca: DIONEX,

Modelo: DX – 120

d) Espectrofotómetro ultravioleta (visible)

Marca: BECKMAN

Modelo: DU – 65

e) Espectrofotómetro

Marca: Miltonroy

Modelo: Spectronic 20D

f) Espectrofotómetro

Marca: Merck

Modelo: Spectroquant nova 60

g) Digestor

Marca: Merck

Modelo: Spectroquant TR 420



Figura 71: Digestor Merck utilizado para los testes en cubetas de nitrógeno total

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

h) Balanza de precisión

Marca: Mettler

Modelo: AE 200.

Es capaz de pesar hasta 200 gramos y tiene precisión de indicación de 0'1 miligramos.

i) Refrigerador Philips/Whirlpool (para la conservación de las muestras)

Modelo: no frost plus



Figura 72: Espectrofotómetro Merck utilizado para los testes en cubetas



Figura 73: Kit Merck de test en cubetas de nitrógeno total



*Figura 74: El autor de la presente Tesis durante los analisis en el laboratorio*

### 6.4. Ensayos de choque

Para definir la técnica analítica a utilizar y el procedimiento a seguir, en cada tipo de determinación, fue necesario realizar una serie de ensayos a nivel de prueba (ensayos de choque) para los parámetros ya mencionados.

Esta etapa ha consistido en chequear las técnicas analíticas y las instalaciones en células de electrocoagulación a escala de laboratorio. Es importante para el seguimiento de la experimentación contrastar las técnicas analíticas más adecuadas para obtener datos fiables en el desarrollo de la investigación, evitando interferencias que puedan dar falsos resultados. Es decir, obtener con exactitud datos representativos de los diferentes parámetros a analizar, indicados anteriormente, con el propósito de cumplir con los objetivos previstos.

También fue útil para perfeccionar la forma en que se llevaban a cabo los análisis.

El agua utilizada para los ensayos se toma de la salida del decantador secundario de una depuradora (Viveros de la Villa). La primera etapa del ensayo choque consiste en evaluar el agua utilizada para verificar la presencia de los parámetros a analizar. Para llevar a cabo esta verificación se tomaron 3 muestras en 3 días distintos y se analizaron en laboratorio. Los resultados se presentan en la tabla 60.

De todos los parámetros se encontró solamente el amoníaco en concentraciones muy bajas. Así pues se hace necesario adicionar artificialmente los parámetros en el agua.

PARÁMETROS	MUESTRAS		
	13/7/2010	14/7/2010	15/7/2010
DICLOROMETANO (mg/l)	<0,01	<0,01	<0,01
SULFURO DE CARBONO (mg/l)	<0,01	<0,01	<0,01
TOLUENO (mg/l)	<0,01	<0,01	<0,01
AMONIACO (mg/l)	2,1	1,31	0,9
ÁCIDO. ACÉTICO (mg/l)	<1,0	<1,0	< 1,0

Tabla 60: Resultados de los parámetros objetos de la Tesis en el agua a analizar

Para determinar las concentraciones a añadir en el agua se tomaron como variables la eficiencia del proceso, el límite de detección de la técnica analítica y el umbral de detección.

Los reactivos fueron suministrados por Panreac optándose por los reactivos con el mayor grado de riqueza. En la tabla siguiente se presentan los reactivos utilizados y sus concentraciones iniciales a adicionar artificialmente. Las especificaciones de los reactivos utilizados se pueden encontrar en el anexo III.

<b>Descripción</b>	<b>Vs (µl/l)</b>
Sulfuro de Carbono PA-ACS	8
Amoníaco 30% (en NH <sub>3</sub> ) PA-ACS	500
Acido Acético glacial (Reag. Ph. Eur.) PA-ACS-ISO	910
Tolueno (Reag. Ph. Eur.) PA-ACS-ISO	12
Diclorometano estabilizado con amileno PA-ACS-ISO	7,5

Tabla 61: Concentraciones iniciales de reactivos a adicionar artificialmente

Los ensayos de choque analíticos se llevaron a cabo en una célula de aluminio (figura 76) con 4 centímetros de distancia entre las placas e intensidades de corrientes entre 2 y 8 Amperios.

Cada análisis consta de 3 muestras: una blanca, una de entrada y una de salida. En todos los ensayos se recogía una muestra blanca para definir las características del agua utilizada, de tal modo que se determinara la existencia o no de ciertas sustancias que pudieran influenciar en los análisis de los parámetros.

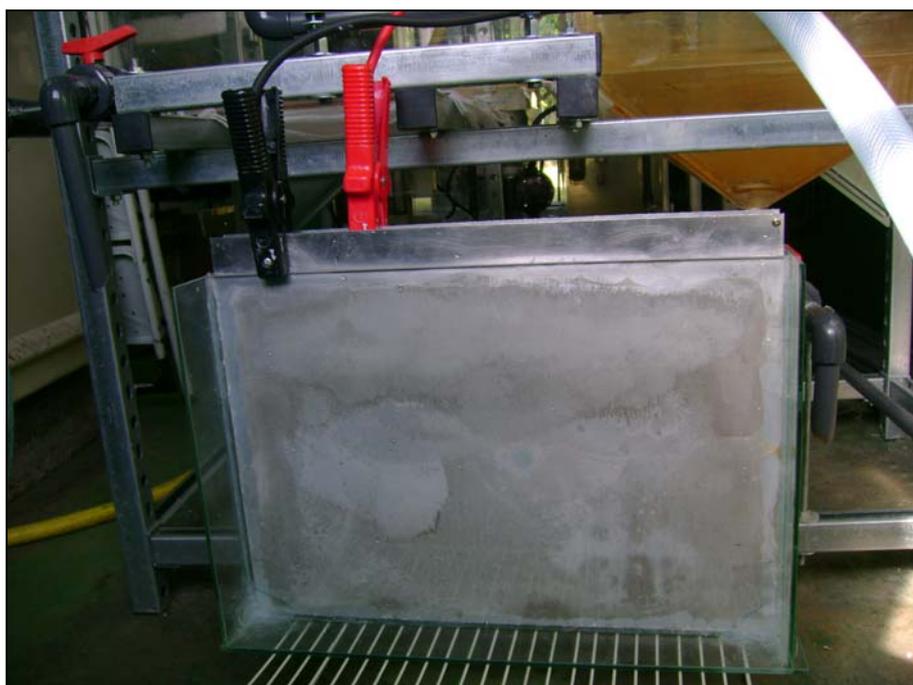
Para llevar a cabo los ensayos de choque se añadía el reactivo inmediatamente después de llenar un Balón con 2 litros de agua. Para adicionar los reactivos se utilizaba una jeringa de 10 µl, para los parámetros con concentraciones más bajas, y una pipeta de 2 ml, para los de concentraciones mayores. Con el reactivo adicionado en el agua se realizaba la homogeneización.

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales



*Figura 75: Jeringas y pipeta, utilizadas para los reactivos*

Después de la homogeneización, un litro de la muestra se separaba en un recipiente de vidrio muy bien cerrado siendo, la muestra de entrada del tratamiento. La otra mitad (1 litro) se echaba en la célula de aluminio para el tratamiento y tras el proceso se ponía en un envase de vidrio. Señalar la importancia de llenar el recipiente hasta el tope y mantenerlo muy bien cerrado. Éste se considera la muestra de salida del tratamiento.



*Figura 76: Célula de electrocoagulación utilizada en los ensayos choque*

### 6.4.1. Resultados de los ensayos de choque

Se ha desarrollado los ensayos de choque para chequear las técnicas analíticas y determinar las concentraciones de los parámetros a adicionar en los ensayos de la investigación.

A continuación se muestran los parámetros analizados con sus respectivos resultados obtenidos en la célula de electrocoagulación en escala de laboratorio.

#### a) Ensayos día 19/07/2010

Configuración de los Ensayos	
Intensidad	2 (A)
Tiempo de retención	1 min
Distancia entre las placas	4 cm

Tabla 62: Configuración de los ensayos día 19/07/2010

RESULTADOS				
PARÁMETROS	M-1 ENTRADA (19/07/10)	M-1 SALIDA (19/07/10)	EFICIENCIA % (19/07/10)	M-1 BLANCA (19/07/10)
DICLOROMETANO (mg/l)	10,8	10,6	1,85	<0,01
SULFURO DE CARBONO (mg/l)	11	10,8	1,82	<0,01
TOLUENO (mg/l)	0,52	0,41	21,15	<0,01
AMONIACO (mg/l)	50	48	4,00	0,89
ÁC. ACÉTICO (mg/l)	1113	1058	4,94	< 1,0

Tabla 63: Resultados de los ensayos día 19/07/2010

#### b) Ensayos día 20/07/2010

Configuración de los Ensayos	
Intensidad	4 (A)
Tiempo de retención	5 min
Distancia entre as placas	4 cm

Tabla 64: Configuración de los ensayos día 20/07/2010

**Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales**

RESULTADOS				
PARÁMETROS	M-2 ENTRADA (20/07/10)	M-2 SALIDA (20/07/10)	EFICIENCIA % (20/07/10)	M-2 BLANCA (20/07/10)
DICLOROMETANO (mg/l)	10,8	9	16,67	<0,01
SULFURO DE CARBONO (mg/l)	0,69	0,51	26,09	<0,01
TOLUENO (mg/l)	0,85	0,68	20,00	<0,01
AMONIACO (mg/l)	56	52	7,14	1,64
ÁC. ACÉTICO (mg/l)	2288	2197	3,98	<1,0

Tabla 65: Resultados de los ensayos día 20/07/2010

c) Ensayos día 23/07/2010

Configuración de los Ensayos	
Intensidad	6 (A)
Tiempo de retención	10 min
Distancia entre las placas	4 cm

Tabla 66: Configuración de los ensayos día 23/07/2010

RESULTADOS				
PARÁMETROS	M-3 ENTRADA (23/07/10)	M-3 SALIDA (23/07/10)	EFICIENCIA % (23/07/10)	M-3 BLANCA (23/07/10)
DICLOROMETANO (mg/l)	33	17,8	46	<0,01
SULFURO DE CARBONO (mg/l)	10,6	2,9	72	<0,01
TOLUENO (mg/l)	0,57	0,33	43	<0,01
AMONIACO (mg/l)	42	24	42	1,78
ÁC. ACÉTICO (mg/l)	864	651	24	<0,01

Tabla 67: Resultados de los ensayos día 23/07/2010

d) Ensayos día 29/07/2010

Configuración de los Ensayos	
Intensidad	8 (A)
Tiempo de retención	15 min
Distancia entre las placas	4 cm

Tabla 68: Configuración de los ensayos día 29/07/2010

RESULTADOS				
PARÁMETROS	M-4 ENTRADA (29/07/10)	M-4 SALIDA (29/07/10)	EFICIENCIA % (23/07/10)	M-4 BLANCA (23/07/10)
DICLOROMETANO (mg/l)	15	8,1	46	<0,01
SULFURO DE CARBONO (mg/l)	13	3,9	70	<0,01
TOLUENO (mg/l)	0,29	0,15	48	<0,01
AMONIACO (mg/l)	88	32	63	2,1
ÁC. ACÉTICO (mg/l)	936	783	16	<0,01

Tabla 69: Resultados de los ensayos día 29/07/2010

Mediante los ensayos de choque se determinó las concentraciones de reactivos a adicionar y las técnicas analíticas adecuadas, que sirven para el desarrollo de los ensayos de la investigación en la planta piloto y para obtener datos fiables en la tesis.

#### 6.4.2. Correcciones introducidas

En la fase de ensayos de choque se detectaron algunos errores en los análisis. Estos errores se debieron a que los compuestos analizados son muy volátiles, además, a esto se le suma la utilización de los mismos equipos para la manipulación de diferentes reactivos. Todo ello llevó a obtener valores sin conformidad. Se tuvo más cuidado en la preparación de los reactivos, se adicionó cada reactivo debajo de la lamina de agua, se realizó la homogeneización en recipientes cerrados y entre cada adición de los reactivos siempre se mantenía la probeta cerrada. Se limpiaron todos los recipientes, los matraces, pipetas, embudos, vasos de precipitados, tapones, cápsulas, jeringas etc., minuciosamente con detergente, se enjuagaron con agua potable y, antes de añadir un reactivo, la jeringa o la pipeta utilizada se limpiaba 5 veces con el propio reactivo.

Las concentraciones del amoníaco y el ácido acético adicionados se presentaron por encima de los rangos óptimos para determinar la eficiencia del proceso, de esta manera sus concentraciones fueron disminuidas. En la tabla 70 se presentan las concentraciones por litro de reactivos a añadir corregidas.

Descripción	Vs ( $\mu$ l/l)
Sulfuro de carbono PA-ACS	8
Amoníaco 30% (en NH <sub>3</sub> ) PA-ACS	45
Ácido Acético glacial (Reag. Ph. Eur.) PA-ACS-ISO	145
Tolueno (Reag. Ph. Eur.) PA-ACS-ISO	12
Diclorometano estabilizado con amileno PA-ACS-ISO	8

Tabla 70: Concentraciones corregidas de reactivos a añadir

### **6.5. Planta piloto**

La investigación se llevo a cabo en una planta piloto de electrocoagulación instalada en la EDAR de Viveros de la Villa, dicha plantase ha utilizado para otras investigaciones empleando como influente el agua residual procedente de la decantación secundaria de depuradora.

#### **6.5.1. Depuradora Viveros de la Villa**

La fase experimental de la investigación se realizó en la Depuradora de Viveros de la Villa (Madrid) que pertenece al Canal Isabel II.

La Planta Depuradora de Viveros de la Villa, desde su entrada en servicio en el año de 1984, trata aguas residuales procedentes de la zona noroeste de Madrid, que cuenta, entre otros, con los barrios de Peñagrande, Ciudad de los Periodistas, Barrio de Pilar, así como los municipios de Majadahonda, El Pardo y Pozuelo de Alarcón.

La planta cuenta con las tres líneas de tratamiento clásicas, agua, fango y gas, más una cuarta, línea de aire, consecuencia de las actuaciones encaminadas a la mejora de las condiciones medioambientales.

En el pretratamiento la depuradora cuenta con los siguientes equipos:

- Un pozo de gruesos, para eliminación de arenas y piedras por sedimentación
- Una reja de gruesos de 105 mm de paso.
- Cuatro bombas de Tornillo de Arquímedes, para la elevación agua bruta.
- Tres líneas de rejillas de finos, de 12 mm de paso.
- Tres líneas de tamices Aquaguard, de 6 mm de paso.
- Tres líneas de desarenadores.

Para conseguir la eliminación de la materia orgánica en suspensión, el tratamiento primario de la depuradora cuenta con seis decantadores primarios de planta rectangular y 2975 m<sup>3</sup> de capacidad unitaria.

Un sistema de rasquetas concentra el fango sedimentado en un extremo desde el cual es extraído para ser enviado al empesador centrífugo.

El tratamiento biológico se efectúa mediante el sistema de fangos activos y consta de:

- Dos balsas de aeración, de 14500 m<sup>3</sup> de volumen unitario, con aporte de oxígeno mediante 19800 difusores cerámicos de burbura fina.
- Tres tubocompresores, de 504 Kw de potencia unitaria
- Seis clarificadores-decantadores, de 38,5 m de diámetro
- Cubierta autoportante con capotas de PRFV.

La planta abarca también un tratamiento biológico para la eliminación de nutrientes mediante:

- Dos balsas de aeración, de 14500 m<sup>3</sup> de volumen unitario, con aporte de oxígeno mediante 11900 difusores cerámicos.
- Siete soplantes, de 195 Kw de potencia unitaria
- Cuatro clarificadores-decantadores, de 42 m de diámetro

El tratamiento terciario consiste en una filtración por arena, desinfección mediante rayos ultravioleta para el agua de uso industrial y desinfección por cloración. Para ello se dispone de:

- Ocho filtros de arena autolimpiantes, con capacidad de tratamiento de 2,2 m<sup>3</sup>/s.
- Un equipo de desinfección mediante UV para agua de riego de la instalación.
- Sistema de cloración en línea, compuesto por bombas dosificadoras y analizador de cloro.

El tratamiento de fangos se realiza en tres digestores anaerobios de 30 m de diámetro y 21 m de altura. Los tratamientos previo y posterior de espesado y deshidratado, respectivamente, se realizan mediante los siguientes equipos:

- Un espesador centrífugo, para espesado de fango primario con capacidad para 120 m<sup>3</sup>/h.
- Dos espesadores por flotación, para espesado de fango biológico, de 15 m de diámetro
- Tres centrifugas, para deshidratación del fango digerido, con capacidad para 120 m<sup>3</sup>/h.
- Dos filtros de bandas, con capacidad unitaria de 1000 Kg/hora de producción de materia seca.

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

Los procesos de desodorización se llevan a cabo mediante:

- Un equipo generador de ozono, con capacidad de producción de 1200 gr/h (bolsas biológicas del tratamiento FAC).
- Un equipo generador de ozono, con capacidad de producción de 250 gr/h (espesadores por flotación y edificio de deshidratación).
- Siete equipos de filtración mediante carbón activo (pozo de gruesos, edificio de desbaste, edificio de tamizado de fango, filtros de banda y centrífugas de deshidratación).

El almacenamiento de gas es realizado mediante una esfera con capacidad para 950 m<sup>3</sup>, a 7 Kg/cm<sup>2</sup> y un gasómetro de doble membrana, con capacidad para 1350 m<sup>3</sup>, a 200 mm.c.a. Y el consumo mediante tres motogeneradores para biogás, de 455 Kw de potencia unitaria y una caldera de vapor.

La estación Depuradora de Viveros de la Villa ocupa una extensión de 5,75 Ha. En la margen izquierda del río Manzanares. Los datos técnicos de la depuradora de viveros de la villa son presentados en la tabla 71.

Caudal total de tratamiento	190.000 m <sup>3</sup> /día	
Habitantes equivalentes	1.029.600	
Producción de fangos	30.145 t/año	
Producción de energía	303.934 Kwh /año	
Datos de agua Residual		
DBO <sub>5</sub>	325 mg/l	
SS	300 mg/l	
N total	50 mg/l	
P total	11 mg/l	
Datos de agua tratada	Sin reactivos	Con reactivos
DBO <sub>5</sub>	8 mg/l	3 mg/l
SS	4 mg/l	2 mg/l
N total		< 10 mg/l
P total		< 1 mg/l

Tabla 71: Datos técnicos de la depuradora Viveros de la Villa (Drace)



*Figura 77: Depuradora Viveros de la Villa*

### **6.5.2. Descripción de la planta piloto**

El agua es tomada del canal de salida de la depuradora que envía el efluente de la misma al río Manzanares, mediante una bomba de membrana marca OBL / TFB, tipo MB-120PP, presión máxima de impulsión de 5 bar y caudal máximo de 120 L/h.

Adicionalmente se ha instalado una válvula de seguridad de 6,5 Kg/cm<sup>2</sup> en la tubería de salida para aliviar la presión cuando se cierra la entrada de agua a la planta piloto. La bomba impulsa el agua por una manguera a unos 5 metros hasta el lugar donde se encuentra instalada la planta piloto.



*Figura 78: Manguera que conduce el agua hasta la planta piloto*

La planta piloto consta de dos líneas de proceso, con sus respectivos equipos, conducciones, válvulas e instrumentación necesarios para asegurar un correcto funcionamiento de la planta piloto. Todas las partes en contacto con el líquido están hechas realizadas en metacrilato y PVC.

Para la operación de la planta se requiere una potencia suministrada de 13 KW, la máxima potencia demandada es de 12,84 KW, La planta dispone de un cuadro eléctrico de ejecución fija, la energía eléctrica se suministra desde el Cuadro General de la planta Depuradora de Viveros de la Villa.

En la figura 79 se presenta el funcional de la planta piloto.

# Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

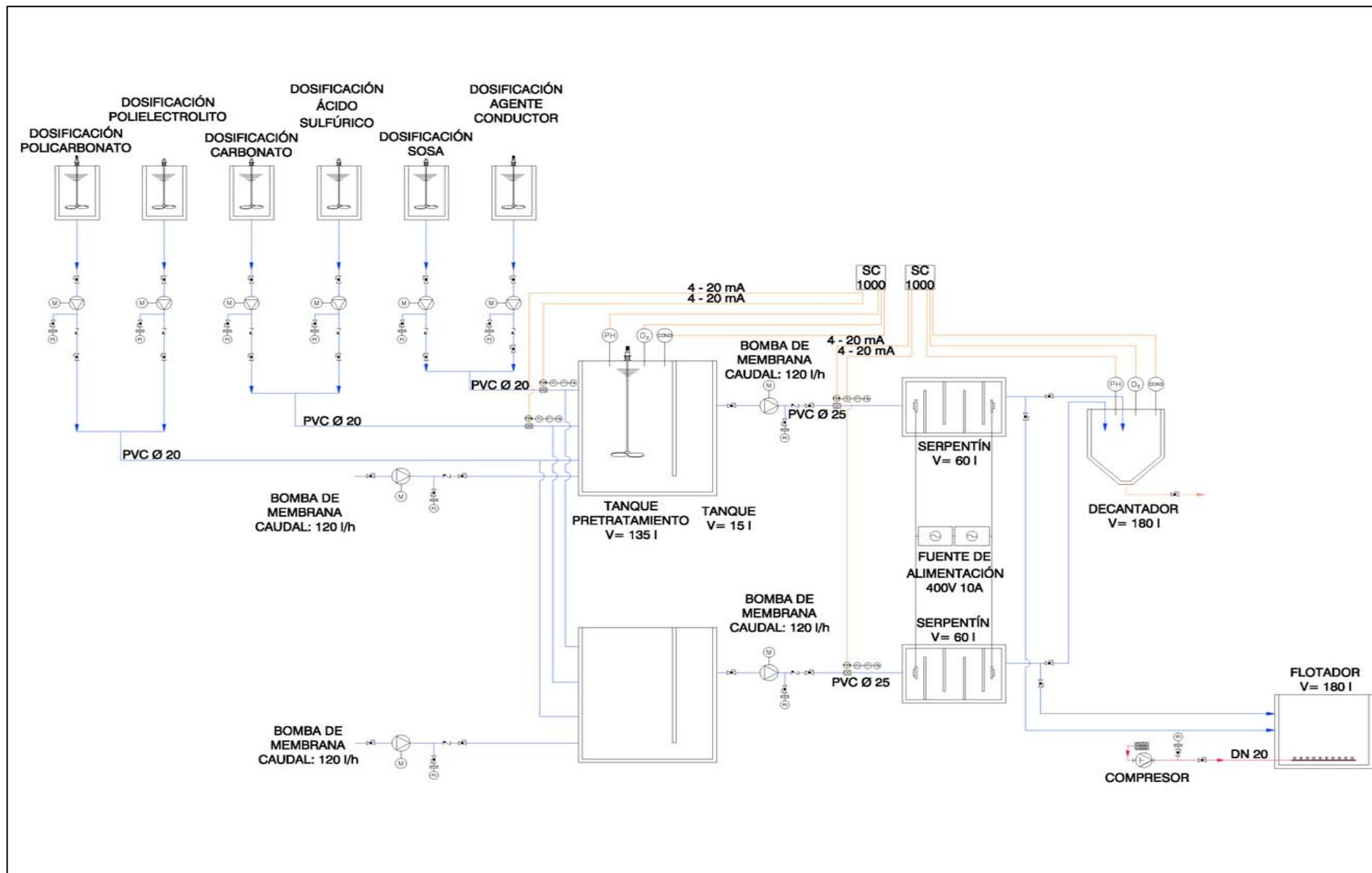


Figura 79: Esquema funcional de la planta piloto

### 6.5.2.1. Descripción de los componentes

#### a) Bombeo de agua

Como anteriormente se ha comentado cada línea del proceso es alimentada por una bomba de membrana marca OBL / TFB, tipo MB-120PP, presión de impulsión 5 bar y caudal máximo de 120 L/h, un depósito de pre-tratamiento de metacrilato.

Las dos líneas de proceso constan de sendos depósitos de 150 l de capacidad dichos tanques son llenados mediante las bombas de membrana de cabecera. Cada cuba tiene instalado un agitador vertical de las siguientes características:

- Marca: Flygt
- Modelo: NAR-0,25-1000BR
- Tipo: eje vertical
- Diámetro eje: 15mm
- Diámetro de la hélice: 400 mm
- Material eje y hélice: AISI 304 revestido polietileno
- Potencia: 0,25 CV.

Las cubas de pretratamiento están realizadas en metacrilato.

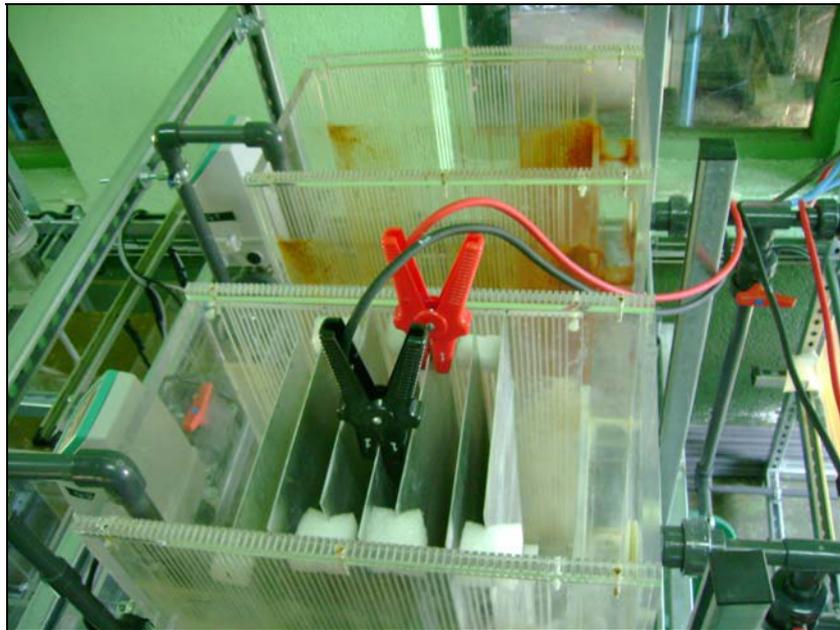


Figura 80: Módulo de Alimentación y pre-tratamiento

b) Proceso de electrocoagulación

Desde del depósito de pretratamiento el agua se bombea hasta la cuba de electrocoagulación mediante una bomba de membrana marca OBL / TFB, tipo MB-120PP, presión de impulsión 5 bar y caudal máximo de 120 L/h.

La cuba de electrocoagulación de 60 l de capacidad, está realizada en metacrilato, el interior de la misma dispone de unas ranuras donde se sitúan los electrodos.



*Figura 81: Proceso de electrocoagulación*

c) Decantación

El agua tratada en la electrocoagulación es conducida mediante tubería de DN 25 de PVC a los decantadores.

Los decantadores tienen una capacidad 180 l, realizados en metacrilato.

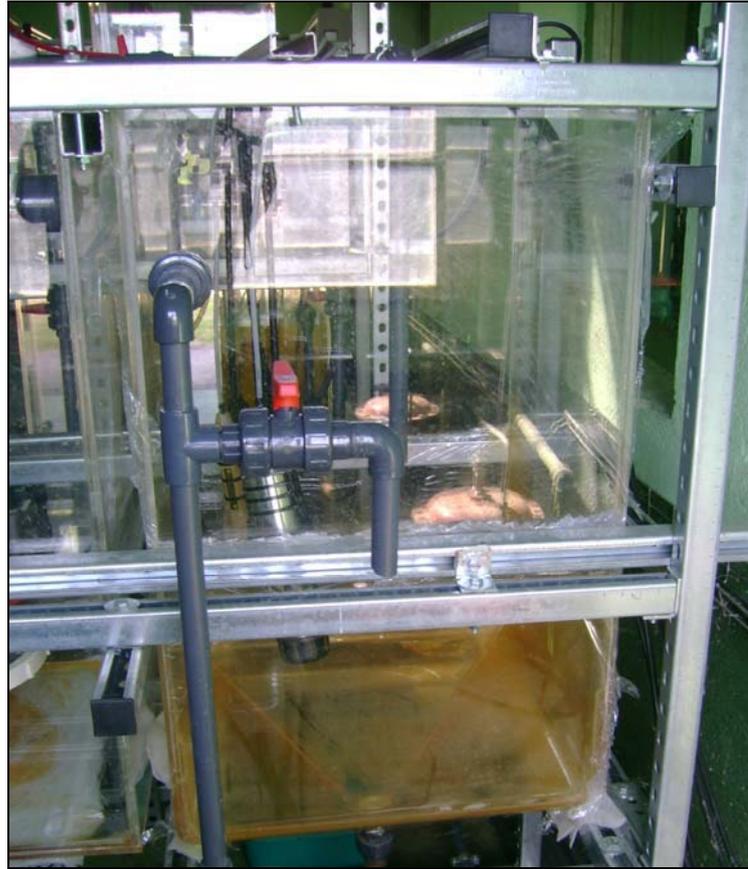


Figura 82: Decantador de la planta piloto

d) Componentes auxiliares

- Un cuadro de control de ejecución fija Potencia suministrada 13 kW, con protección de tierra. Cuenta con botones de parada y arranque de los motores de las bombas.
- Sistema de Instrumentación que dispone de un controlador SC 1000 con pantalla táctil, dos sensores de oxígeno disuelto por luminiscencia, rango 0-20 mg/l, dos sensores inductivos digitales de conductividad con rango 0,2-2000 mS/cm con sensor de temperatura y dos sensores diferenciales de pH, digital con sensor de temperatura. Las medidas de estos parámetros son realizadas en la entrada (deposito de pre-tratamiento) y en la salida del proceso (decantador).
- Dos fuentes de alimentación 0-3000V, 0-10 A y 3000 W, con un adaptador maestro /esclavo.
- Caudalímetros: 2 Caudalímetros 7ME6910-1AA10-1AA0 MAG 5000, IP67 Plastoc 230V (en la entrada del proceso de cada una de las líneas de tratamiento).

- Manómetro bourdon mex5d30b22, esfera 100 mm, rango 10 bar, en inox.



Figura 83: Panel de control y controlador SC 1000 con pantalla táctil



Figura 84: Fuente de alimentación

## **Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales**

### e) Materiales

Las tuberías son de PVC para una presión nominal 16 PN con diámetro de DN 20 o diámetro DN 25.

### **6.6. Planificación en el tiempo**

La adecuada planificación del tiempo de una investigación redonda en los buenos resultados que se puedan obtener. Con esta actividad se puede lograr corregir las desviaciones que se puedan tener en los diferentes trámites como: trámites administrativos inherentes a la presentación del tema de tesis, los permisos para la recolección de muestras involucradas en la investigación, la adquisición de insumo y equipos, la preparación de las técnicas analíticas, etc.

Las actividades de la tesis se han dividido en las siguientes etapas:

#### 1ª etapa: Trámites administrativos

- Revisión bibliográfica y selección del tema de Tesis
- Presentación del tema de Tesis
- Respuesta de aceptación del tema de Tesis
- Comunicación y asignación del director de la Tesis

#### 2ª etapa: Investigación bibliográfica en bancos de información

- Selección de los bancos de información
- Pedido de resúmenes
- Análisis y selección de la investigación bibliográfica

#### 3ª etapa: Determinación de los objetivos definitivos

#### 4ª etapa: Desarrollo metodológico

- Selección de los parámetros
- Selección de las técnicas analíticas

#### 5ª etapa: Selección de la planta piloto

- Puesta en marcha de la planta piloto

6ª etapa: Ensayos

- Calibración de equipos y validación de las técnicas
- Preparación de reactivos
- Ensayos choques
- Toma y análisis de muestras

7ª etapa: Análisis de los resultados

- Evaluación de los resultados experimentales
- Discusión de los mismos

8ª etapa: Conclusiones

- Conclusiones pertinentes
- Cometarios
- Propuestas de investigaciones futuras

9ª etapa: Redacción de la Tesis

- Redacción de la Tesis
- Revisión de la Tesis
- Impresión de la Tesis
- Preparación de la defensa de la Tesis

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

### 6.6.1. Actividades desarrolladas durante la investigación

Actividades	Año 2009/2010											Año 2010/2011										
	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	
1ª Trámites administrativos																						
2ª Pesquisa bibliográfica en bancos de información																						
3ª Determinación de los objetivos definitivos																						
4ª Desarrollo Metodológico																						
5ª Selección de la planta piloto																						
6ª Ensayos																						
7ª Análisis de los resultados																						
8ª Conclusiones																						
9ª Redacción de la Tesis																						

### **7. DESARROLLO DE LOS ENSAYOS DE LA INVESTIGACIÓN**

Después de determinar las condiciones de operación adecuadas durante los ensayos de choque la metodología seguida consta de los siguientes puntos:

#### **7.1. Descripción de los ensayos en planta piloto**

En cada ensayo se tomaban 2 muestras. La primera se tomó después de la dosificación y mezcla del reactivo, esta muestra se llamó de entrada. En este momento se iniciaba el proceso de electrocoagulación y, seguidamente, la decantación, entonces se tomaba una nueva muestra, a esta muestra se le llamó de salida.

La rutina que se sigue en el tiempo es: se llega a la planta piloto a las 7 de la mañana, aproximadamente; se observa que todo esté conforme (las válvulas en posición correcta); se abre la válvula del agua proveniente del decantador secundario de la depuradora y se enciende la bomba de alimentación; este proceso de llenado del tanque de pretratamiento dura 5 minutos; mientras ocurre el llenado se realiza la limpieza de las placas de aluminio y se enciende el sistema de instrumentación de determinación del pH, temperatura, oxígeno disuelto y conductividad. Con el depósito lleno se procede a la dosificación de reactivo, según las concentraciones presentadas en la tabla 70, y a la homogeneización mediante el agitador.

Se enciende la bomba de alimentación del proceso y se inicia la electrocoagulación con el paso de corriente eléctrica suministrada por las fuentes de alimentación. Los primeros 10 minutos se deja pasar el agua sin activar el proceso buscando estabilizar el sistema.

El agua tratada es conducida por gravedad hasta el decantador donde se toma la muestra de salida y donde finaliza el tratamiento.

Posteriormente se apagan todas las bombas, las fuentes de alimentación, se inicia el vaciado de todos los tanques y el proceso de limpieza y, por último, se cierran todas las válvulas.

El pH, la temperatura, oxígeno disuelto y la densidad se mide continuamente en la entrada del proceso.

Como ya se ha explicado anteriormente, para evitar influencia entre cada uno de los parámetros a analizar los ensayos fueron realizados separadamente.

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

Se realizaron varios ensayos con el objetivo de encontrar respuesta para los objetivos definitivos en la presente Tesis y obtener la mejor configuración de la célula de electrocoagulación, el rango óptimo de intensidad de corriente eléctrica para cada uno de los parámetros analizados y la eficiencia energética del proceso.

### 7.1.1. Definición de los ensayos

En el diseño del experimento fue necesario definir los parámetros que regirían cada uno de los ensayos: por un lado la configuración de los electrodos (una fuente de alimentación de corriente eléctrica, dos fuentes seguidas de alimentación de corriente eléctrica y dos fuentes de alimentación de corriente eléctrica separadas por una chapa sin corriente) y, por otro, la intensidad de corriente eléctrica (0,5 A, 2 A, 4 A, 6 A, 8 A y 9,5 A). El esquema de las configuraciones de los electrodos se presenta en la figuras 85, 86 y 87.



Figura 85: Esquema de la configuración de las placas para los ensayos mediante una fuente

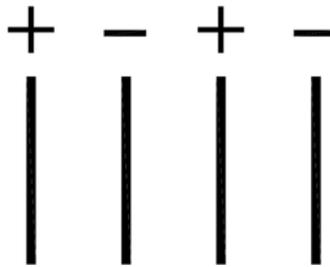


Figura 86: Esquema de la configuración de las placas para los ensayos mediante dos fuentes seguidas



Figura 87: Esquema de la configuración de las placas para los ensayos mediante dos fuentes separadas

Para todos los ensayos de la investigación se han adoptado 2,5 cm de distancia entre el ánodo y el cátodo y un caudal de entrada en el proceso de 95 l/h. Con lo que se tienen los siguientes tiempos de retención:

- Para la configuración de una fuente: 1,81 minutos
- Para la configuración de dos fuentes seguidas: 5,64 minutos
- Para la configuración de dos fuentes separadas: 11,28 minutos

En función de la configuración de los electrodos y de la intensidad de la corriente eléctrica aplicada, el proceso de electrocoagulación se ha evaluado de la siguiente manera para cada uno de los parámetros:

CONFIGURACIÓN DE LAS PLACAS			
ÁNODO Y CÁTODO DE ALUMINIO			
1ª Una fuente	Fuente	Intensidad (A)	Separación entre placas
Muestra 1	1	0,5	2,5 cm
Muestra 2		2	2,5 cm
Muestra 3		4	2,5 cm
Muestra 4		6	2,5 cm
Muestra 5		8	2,5 cm
Muestra 6		9,5	2,5 cm
2ª Dos fuentes seguidas	Fuente	Intensidad (A)	
Muestra 7	2	0,5	2,5 cm
Muestra 8		2	2,5 cm
Muestra 9		4	2,5 cm
Muestra 10		6	2,5 cm
Muestra 11		8	2,5 cm
Muestra 12		9,5	2,5 cm
3ª Dos fuentes separadas	Fuente	Intensidad (A)	
Muestra 13	2	0,5	2,5 cm
Muestra 14		2	2,5 cm
Muestra 15		4	2,5 cm
Muestra 16		6	2,5 cm
Muestra 17		8	2,5 cm
Muestra 18		9,5	2,5 cm

Tabla 72: Ensayos a realizar en referencia a la configuración de las placas

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

La investigación bibliográfica [82] presenta rendimientos importantes en la eliminación de amoníaco sustituyendo el ánodo por grafito y el cátodo por acero. Por tanto, se plantean una serie de ensayos utilizando como ánodo una placa de grafito y como cátodo una placa de aluminio. Para esta configuración además del amoníaco se va a utilizar el ácido acético ya que es un elemento que, al igual que el amoníaco, está presente en cantidades significativas en las aguas residuales domésticas, que son el objeto de los ensayos planteados con esta configuración.

CONFIGURACIÓN DE LAS PLACAS			
ÁNODO Y CÁTODO DE ALUMINIO			
1ª Una fuente	Fuente	Intensidad (A)	Separación entre placas
Muestra 1	1	0,5	2,5 cm
Muestra 2		2	2,5 cm
Muestra 3		4	2,5 cm
Muestra 4		6	2,5 cm
Muestra 5		8	2,5 cm
Muestra 6		9,5	2,5 cm
2ª Dos fuentes seguidas	Fuente	Intensidad (A)	
Muestra 7	2	0,5	2,5 cm
Muestra 8		2	2,5 cm
Muestra 9		4	2,5 cm
Muestra 10		6	2,5 cm
Muestra 11		8	2,5 cm
Muestra 12		9,5	2,5 cm

Tabla 73: Ensayos a realizar en referencia al ánodo de grafito y cátodo de aluminio

## 8. PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

La presentación de resultados en una primera parte se hace de acuerdo a las intensidades aplicadas, indicando el porcentaje de remoción alcanzado para cada sustancia olorosa. Como se puede observar, primero se expone los valores encontrados para cada uno de los objetivos de la Tesis buscando la mejor configuración de los electrodos. Los resultados se presentan en tablas y en gráficos. Los tipos de tablas y gráficos utilizados en la presente tesis se describen a continuación.

### 8.1. Forma de presentación de los resultados común a todos los objetivos definitivos

Tabla tipo 1: En la que se presentan las concentraciones de entrada, salida y rendimiento de los parámetros considerados para cada configuración de ensayos, con ella se puede tener una idea de los resultados y sirve como resumen de los mismos. Para los parámetros volátiles (sulfuro de carbono, tolueno y diclorometano) al intentar ajustar los rendimientos en gráficos para ver la tendencia de rendimiento se alcanzó en todos de los casos coeficientes de correlación muy bajos, los cuales tampoco ayuda en el análisis de los resultados y por lo que no se consideró al efecto.

Grafico tipo 1: En lo cual se muestra los consumos de energía para las 3 configuraciones de electrodos, con él se puede tener una idea de los efectos de la configuración de las placas en relación al consumo de energía. Estos gráficos se realizaron en tipo logarítmico, pues con el fin de poder visualizar mejor las tendencias obtenidas. El consumo de energía fue calculado por la siguiente fórmula:

$$E = P \times T$$

Donde: E es la energía consumida (w/h); P la potencia en w y T el tiempo de retención en horas (de acuerdo con el tipo de configuración adoptado).

$$P = I \times V$$

Donde: I es la intensidad aplicada y V es el promedio de las tensiones suministradas a una misma configuración para alcanzar su respectiva intensidad deseada.

### 8.2. Forma de presentación de los resultados exclusiva para el objetivo definitivo 2

Tabla tipo 2: En la que se presentan las concentraciones de entrada, salida y rendimiento de los compuestos del ciclo del nitrógeno con ella se puede tener una idea de los procesos de oxidación y reducción que se desarrollan en el ciclo del nitrógeno debido a la electrooxidación. El nitrógeno total está constituido por la suma de los nitritos, nitratos, nitrógeno orgánico y nitrógeno amoniacal. El nitrógeno amoniacal se presenta en mg/l N-NH<sub>3</sub> y para su presentación en amoníaco se sigue la siguiente equivalencia:

$$\text{Mg/l NH}_3 = \text{mg/l N-NH}_3 \times 1,22$$

Grafico tipo 2: Es un gráfico lineal en el cual se muestra el rendimiento del proceso en relación al amoníaco mediante ánodo de grafito y cátodo de aluminio según la intensidad de corriente eléctrica aplicada para las configuraciones de 1 fuente y 2 fuentes seguidas. Se utilizó la herramienta de línea suave del excel.

Grafico tipo 3: Se utiliza para relacionar el rendimiento del proceso y el consumo de energía (w/h). Sirve para evaluar la mejor intensidad de tratamiento en función de su rendimiento y consumo de energía. El consumo de energía se muestra de forma lineal y el rendimiento del proceso en barras de color azul. Este gráfico fue utilizado para las dos configuraciones investigadas con ánodo de grafito y cátodo de aluminio (1 fuente y 2 fuentes seguidas). También se utilizó la herramienta de línea suave del excel.

Grafico tipo 4: Es del tipo lineal en el cual se muestra la media ponderada del rendimiento en relación al consumo de energía para cada una de las dos configuraciones estudiadas mediante ánodo de grafito. Se utiliza para comparar las dos configuraciones tanto en términos de rendimiento como de eficiencia energética.

Grafico tipo 5: Es un gráfico de dispersión lineal en el cual se aprecia la correlación entre la eliminación de nitrógeno amoniacal y la formación de nitratos. También muestra una línea de tendencia del tipo lineal en color negro, la ecuación de la línea de tendencia y el coeficiente de correlación R<sup>2</sup>. Se presenta separadamente para los resultados obtenidos mediante 4 amperios y 6 amperios.

Grafico tipo 6: Es un grafico de dispersión lineal presentado separadamente para los resultados obtenidos mediante 4 amperios y 6 amperios. En lo cual se aprecia la correlación entre la eliminación de nitrógeno amoniacal y la eliminación de nitrógeno total. También muestra una línea de tendencia del tipo lineal en color negro, la ecuación de la línea de tendencia y el coeficiente de correlación  $R^2$ .

Grafico tipo 7: Es un gráfico de dispersión lineal utilizado para relacionar la concentración de entrada y la concentración de salida mediante el tratamiento con ánodo de aluminio y cátodo de aluminio. Nos permite evaluar la eficiencia del proceso en relación a las concentraciones de entrada de amoniaco. Se realizó un ajuste lineal para ver la tendencia del proceso. También muestra una línea de tendencia en color negro, la ecuación y el coeficiente de correlación  $R^2$ . Este tipo de grafico se observa 4 veces en la tesis, tratamiento mediante 1 fuente y 4 amperios, mediante 2 fuentes seguidas 4 amperios, mediante 1 fuente y 6 amperios, mediante 2 fuentes seguidas 6 amperios,

Los demás datos observados durante los ensayos en la planta piloto se presentan en el anexo II de la presente Tesis.

## **9. ANÁLISIS Y JUSTIFICACIÓN DE LOS RESULTADOS**

En el capítulo anterior se mostró la forma de presentación de los resultados de la parte experimental de la investigación y es en este apartado donde se analizan y se intentan encontrar correlaciones.

### **9.1. Resultados en referencia al objetivo definitivo 1: Investigar sobre la oxidación directa de los compuestos de azufre olorosos en aguas residuales**

- Con relación a la configuración de las placas de aluminio

En las tablas siguientes se encuentran los datos de las muestras para el sulfuro de carbono, en ellas se puede observar el comportamiento de los datos durante la investigación para las concentraciones entrada y de salida y rendimiento del proceso para las tres configuraciones de los electrodos (1 fuente, 2 fuentes seguidas y 2 fuentes separadas) y para los 6 tipos de intensidades de corriente eléctrica (0,5 A, 2 A, 4 A, 6 A, 8 A, 9,5 A). Se optó por la presentación en tablas, pues se haciendo un ajuste en gráficos se tiene correlaciones a bajo de 0,3 el cual es muy bajo y denotan un grado escaso de relación entre las variables. Esto se debe a la volatilización del sulfuro de carbono.

<b>SULFURO DE CARBONO</b>			
<b>1 fuente</b>			
<b>Intensidad (A)</b>	<b>Entrada (mg/l)</b>	<b>Salida (mg/l)</b>	<b>Rendimiento (%)</b>
0,5	80	40	50,00
2	77	54	29,87
4	85	61	28,24
6	64	37	42,2
8	83	67	19,3
9,5	18	15	16,67

Tabla 74: Resultados de las muestras de sulfuro de carbono mediante la configuración de 1 fuente a diferentes intensidades de corriente eléctrica

SULFURO DE CARBONO			
2 fuentes seguidas			
Intensidad (A)	Entrada (mg/l)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)
0,5	92	63	31,5
2	44	38	13,63
4	105	71	32,4
6	92	68	26,1
8	80	74	7,5
9,5	97	80	17,52

Tabla 75: Resultados de las muestras de sulfuro de carbono mediante la configuración de 2 fuentes seguidas a diferentes intensidades de corriente eléctrica

SULFURO DE CARBONO			
2 fuentes separadas			
Intensidad (A)	Entrada (mg/l)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)
0,5	106	82	22,6
2	75	68	9,3
4	91	70	23,1
6	87	74	14,9
8	92	78	15,2
9,5	92	85	7,6

Tabla 76: Resultados de las muestras de sulfuro de carbono mediante la configuración de 2 fuentes separadas a diferentes intensidades de corriente eléctrica

Se ven comportamientos muy variables debido al grado de volatilización del Sulfuro de Carbono y que como hay un intervalo de tiempo entre la entrada y la salida del proceso hay una grande volatilización de este compuesto, por lo cual no se puede determinar la real eficiencia del proceso. En consecuencia con el anterior la investigación tiene que demostrar se la eficiencia encontrada es debido a la volatilización o tiene alguna eficiencia relacionada con el proceso y para eso se utilizo la siguiente metodología:

- Realizar ensayos sin corriente para verificar la volatilización y comparar los resultados obtenidos con los demás resultados.

PARÁMETRO	Volatilización
Sulfuro de Carbono	15±10

Tabla 77: Resultados de las muestras del Sulfuro de carbono sin tratamiento mediante corriente eléctrica para verificar la volatilización e influencia externas al proceso

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

Con los resultados de los ensayos anteriores, concluimos que en intensidades bajas conseguimos eficiencia mayor que en los ensayos sin corriente eléctrica, o sea tenemos eficiencia debido al proceso para el Sulfuro de Carbono.

Para confirmar la eficiencia de la oxidación directa del Sulfuro de Carbono se repite los ensayos para las intensidades que han presentado eficiencia (0,5, 4 y 6).

SULFURO DE CARBONO			
1 fuente			
Intensidad (A)	Entrada (mg/l)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)
0,5	38	11	71,05
4	60	26	56,67
6	61	19	68,85

Tabla 78: Resultados de las muestras de sulfuro de carbono mediante la configuración de 1 fuente mediante las intensidades (0,5, 4 y 6).

SULFURO DE CARBONO			
2 fuentes seguidas			
Intensidad (A)	Entrada (mg/l)	Salida (mg/l)	Eficiencia (%)
0,5	49	31	36,73
4	69	39	43,48
6	66	35	46,97

Tabla 79: Resultados de las muestras de sulfuro de carbono mediante la configuración de 2 fuentes seguidas mediante las intensidades (0,5, 4 y 6).

SULFURO DE CARBONO			
2 fuentes separadas			
Intensidad (A)	Entrada (mg/l)	Salida (mg/l)	Eficiencia (%)
0,5	106	78	26,41
4	71	50	29,58
6	60	41	31,66

Tabla 80: Resultados de las muestras de sulfuro de carbono mediante la configuración de 2 fuentes separadas mediante las intensidades (0,5, 4 y 6).

Llama la atención que este efecto de reducción no se aprecie de manera uniforme, pero esto se debe a la volatilización.

Como se esperaba el resultado más relevante en cuanto a remoción se da en la configuración de 1 fuente a intensidad muy baja de 0,5, sin embargo se aprecia rendimientos por encima de los alcanzados solamente por la volatilización con intensidad 4 y 6 para la configuración de 1 fuente.

## 9.2. Resultados en referencia al objetivo definitivo 2: Investigar sobre la oxidación directa de los compuestos nitrogenados olorosos en aguas residuales

- Con relación a la configuración de las placas de aluminio

En la tablas siguientes se pueden ver os datos de las muestras para el nitrógeno amoniacal, en ellas se observa el comportamiento de los datos durante la investigación relativas a las concentraciones de entrada y salida y rendimiento del proceso para las tres configuraciones de los electrodos (1 fuente, 2 fuentes seguidas y 2 fuentes separadas) y para los 6 tipos de intensidades de corriente eléctrica (0,5 A, 2 A, 4 A, 6 A, 8 A, 9,5 A).

NITRÓGENO AMONICAL			
1 fuente			
Intensidad (A)	Entrada (mg/l)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)
0,5	19	17,8	6,32
2	18	18	0,0
4	16	15,3	4,38
6	23	21,34	7,22
8	13	13	0,0
9,5	12,5	12,5	0,0

Tabla 81: Resultados de las muestras de nitrógeno amoniacal mediante la configuración de 1 fuente a diferentes intensidades de corriente eléctrica  
Nitrógeno amoniacal (mg/l N-NH<sub>3</sub>); Rendimiento (%)

NITRÓGENO AMONICAL			
2 fuentes seguidas			
Intensidad (A)	Entrada (mg/l)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)
0,5	11,9	11,3	5,0
2	11	11	0,0
4	19	19	0,0
6	20	19	5,0
8	22	22	0,0
9,5	18	18	0,0

Tabla 82: Resultados de las muestras de nitrógeno amoniacal mediante la configuración de 2 fuentes seguidas a diferentes intensidades de corriente eléctrica  
Nitrógeno amoniacal (mg/l N-NH<sub>3</sub>); Rendimiento (%)

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

NITRÓGENO AMONICAL			
2 fuentes separadas			
Intensidad (A)	Entrada (mg/l)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)
0,5	21	20	4,8
2	22	22	0,0
4	18,5	18,5	0,0
6	15	14	6,7
8	16,4	16,3	0,6
9,5	17,4	17	2,3

Tabla 83: Resultados de las muestras de nitrógeno amoniacal mediante la configuración de 2 fuentes separadas a diferentes intensidades de corriente eléctrica. Nitrógeno amoniacal (mg/l N-NH<sub>3</sub>); Rendimiento (%)

Los resultados presentan rendimientos muy bajos (inferior al 10%) para los electrodos de aluminio. De todas las maneras hemos encontrado rendimientos mediante intensidades de 0,5, 4 y 6 amperios.

Por el anterior se procede la repetición de los ensayos para los 3 tipos de configuraciones, mediante las intensidades de 0,5, 4 y 6 amperios. Los próximos ensayos se realizan con la adición artificial del amoniaco para simular el tratamiento en la cabecera de la planta y sin la adición artificial del amoniaco para simular el tratamiento como un afino para depuradoras.

Se supone que el amoniaco está sometido a proceso de oxidación y reducción. La investigación con relación a este punto se hace necesario estudiar el conjunto del ciclo del nitrógeno. De esta manera tenemos que contrastar los demás compuestos del ciclo del nitrógeno (Nitritos, Nitratos y Nitrógeno total).

– Resultados con la adición artificial de amoniaco

1 fuente				
Parámetro	Intensidad (A)	Entrada (mg/l)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)
Nitrógeno Amoniacal	0,5	22,13	21,56	2,59
	4	22,62	21,48	5,07
	6	17,87	17,30	3,21
Amoniaco	0,5	27	26,3	2,59
	4	27,6	26,2	5,07
	6	21,8	21,1	3,21
Nitrógeno total	0,5	30	30	0
	4	30	28	6,67
	6	30	30	0
Nitrito	0,5	0,067	0,064	4,48
	4	0,061	0,051	16,39
	6	0,079	0,07	11,39
Nitrato	0,5	2,1	2,6	-23,81
	4	1,6	2,5	-56,25
	6	2,5	3	-20,00

Tabla 84: Resultados de las muestras mediante la configuración de 1 fuente (ánodo y cátodo de aluminio) a las intensidades de corriente eléctrica 0,5, 4 y 6 A Nitrógeno total (mg/l N), Nitrato (mg/l NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), Nitrito (mg/l de NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, Amoniaco (mg/l NH<sub>3</sub>); Nitrógeno amoniacal (mg/l N-NH<sub>3</sub>); Rendimiento (%)

2 fuentes seguidas				
Parámetro	Intensidad (A)	Entrada (mg/l)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)
Nitrógeno Amoniacal	0,5	19,34	19,34	0,00
	4	19,75	19,51	1,24
	6	20,66	20,49	0,79
Amoniaco	0,5	23,6	23,6	0
	4	24,1	23,8	1,24
	6	25,2	25	0,79
Nitrógeno total	0,5	30	31	-3,33
	4	29	28	3,45
	6	31	29	6,45
Nitrito	0,5	0,095	0,081	14,74
	4	0,096	0,067	30,21
	6	0,073	0,05	31,51
Nitrato	0,5	2,3	2,5	-8,70
	4	2,3	2,7	-17,39
	6	2	2,4	-20,00

Tabla 85: Resultados de las muestras mediante la configuración de 2 fuentes seguidas (ánodo y cátodo de aluminio) a las intensidades de corriente eléctrica 0,5, 4 y 6 A

**Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales**

2 fuentes separadas				
Parámetro	Intensidad (A)	Entrada (mg/l)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)
Nitrógeno Amoniacal	0,5	19,89	19,26	3,13
	4	20,29	19,77	2,55
	6	17,09	16,83	1,53
Amoniaco	0,5	24,26	23,5	3,13
	4	24,75	24,12	2,55
	6	20,85	20,53	1,53
Nitrógeno total	0,5	30	30	0
	4	31	30	3,23
	6	30	24	20
Nitrito	0,5	0,08	0,076	5
	4	0,077	0,045	41,56
	6	0,09	0,051	43,33
Nitrato	0,5	2	2,5	-25,00
	4	2,4	2,7	-12,50
	6	2,5	2,8	-12,00

Tabla 86: Resultados de las muestras mediante la configuración de 2 fuentes separadas (ánodo y cátodo de aluminio) a las intensidades de corriente eléctrica 0,5, 4 y 6 A Nitrógeno total (mg/l N), Nitrato (mg/l  $\text{NO}_3^-$ ), Nitrito (mg/l de  $\text{NO}_2^-$ , Amoniaco (mg/l  $\text{NH}_3$ ); Nitrógeno amoniacal (mg/l N- $\text{NH}_3$ ); Rendimiento (%)

E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos de Madrid

- Resultados sin la adición artificial de amoniaco

1 fuente				
Parámetro	Intensidad (A)	Entrada (mg/l)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)
Nitrógeno Amoniacal	0,5	2,16	2,13	1,14
	4	1,41	1,41	0,00
	6	2,30	2,22	3,21
Amoniaco	0,5	2,63	2,6	1,14
	4	1,72	1,72	0
	6	2,8	2,71	3,21
Nitrógeno total	0,5	8	7	12,5
	4	8	6	25
	6	7	6	14,29
Nitrito	0,5	0,08	0,072	10
	4	0,089	0,069	22,47
	6	0,072	0,069	4,17
Nitrato	0,5	1,4	1,6	-14,29
	4	1,5	1,7	-13,33
	6	1,2	1,4	-16,67

Tabla 87: Resultados de las muestras mediante la configuración de 1 fuente (ánodo y cátodo de aluminio) a las intensidades de corriente eléctrica 0,5, 4 y 6 A  
Nitrógeno total (mg/l N), Nitrato (mg/l NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), Nitrito (mg/l de NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, Amoniaco (mg/l NH<sub>3</sub>); Nitrógeno amoniacal (mg/l N-NH<sub>3</sub>); Rendimiento (%)

2 fuentes seguidas				
Parámetro	Intensidad (A)	Entrada (mg/l)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)
Nitrógeno Amoniacal	0,5	1,15	1,15	0,00
	4	1,16	1,11	4,26
	6	1,31	1,31	0,00
Amoniaco	0,5	1,4	1,4	0
	4	1,41	1,35	4,26
	6	1,6	1,6	0
Nitrógeno total	0,5	6	5	16,67
	4	6	3	50
	6	7	6	14,29
Nitrito	0,5	0,077	0,072	6,49
	4	0,064	0,05	21,88
	6	0,079	0,047	40,51
Nitrato	0,5	1,4	1,9	-35,71
	4	1,5	2,2	-46,67
	6	1,2	1,9	-58,33

Tabla 88: Resultados de las muestras mediante la configuración de 2 fuentes seguidas (ánodo y cátodo de aluminio) a las intensidades de corriente eléctrica 0,5, 4 y 6 A

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

2 fuentes separadas				
Parámetro	Intensidad (A)	Entrada (mg/l)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)
Nitrógeno Amoniacal	0,5	8,93	8,93	0,00
	4	9,43	9,43	0,00
	6	9,51	9,43	0,86
Amoniac	0,5	10,9	10,9	0
	4	11,5	11,5	0
	6	11,6	11,5	0,86
Nitrógeno total	0,5	21	21	0
	4	19	17	10,53
	6	16	13	18,75
Nitrito	0,5	0,09	0,095	-5,56
	4	0,06	0,052	13,33
	6	0,045	0,042	6,67
Nitrato	0,5	2	2,1	-5,00
	4	2,1	2,3	-9,52
	6	1,4	1,9	-35,71

Tabla 89: Resultados de las muestras mediante la configuración de 2 fuentes separadas (ánodo y cátodo de aluminio) a las intensidades de corriente eléctrica 0,5, 4 y 6 A

Nitrógeno total (mg/l N), Nitrato (mg/l  $\text{NO}_3^-$ ), Nitrito (mg/l de  $\text{NO}_2^-$ , Amoniac (mg/l  $\text{NH}_3$ ); Nitrógeno amoniacal (mg/l N- $\text{NH}_3$ ); Rendimiento (%)

Los resultados presentados en las tablas anteriores no aprecian efectos sensibles alcanzando rendimientos inferiores a 5% tanto para concentraciones altas de amoniac como muy bajas, sin embargo se confirma que se desarrolla una oxidación al disminuir las concentraciones de nitrito y aumentar las concentraciones de nitrato, o sea la oxidación que oxida los nitritos a nitratos, pero no es suficiente para oxidar cantidades representativas de nitrógeno amoniacal (los nitritos son más fácilmente oxidados que el amoniac).

Además en las tablas se aprecia una reducción de nitrógeno total, esto ocurre debido a una reducción de nitrógeno orgánico porque la materia celular, que contienen las proteínas, se ve precipitada por el efecto de la electrocoagulación (solubilización en el ánodo de aluminio).

- Con relación a la configuración de ánodo de grafito y cátodo de aluminio

Corresponde a la tabla 90 los resultados referentes al comportamiento del ciclo del nitrógeno mediante el tratamiento aplicado. En figura 88 muestra los datos de amoniaco de la tabla 90 en los que se pueden ver las concentraciones de entrada y salida y rendimiento del proceso.

1 fuente con adición artificial de amoniaco												
Int. (A)	Amoniaco			Nitrato			Nitrito			Nitrógeno Total		
	Entrada	Salida	Rend.	Entrada	Salida	Rend.	Entrada	Salida	Rend.	Entrada	Salida	Rend.
0,5	28,50	28,50	0,00	1,50	1,70	-13,33	0,05	0,05	3,77	38,00	38,00	0,00
2	31,18	31,18	0,00	1,60	1,90	-18,75	0,05	0,04	20,37	36,00	36,00	0,00
4	43,98	39,10	11,10	0,90	2,10	-133,33	0,05	0,04	22,22	41,00	38,00	7,32
6	31,97	30,39	4,94	2,00	2,80	-40,00	0,05	0,04	15,22	38,00	37,00	2,63
8	34,20	34,00	0,58	1,90	2,50	-31,58	0,06	0,04	39,06	38,00	37,00	2,63
9,5	25,73	25,70	0,12	1,60	2,00	-25,00	0,05	0,03	32,65	36,00	35,00	2,78

Tabla 90: Resultados de las muestras de Amoniaco mediante la configuración de 1 fuente (ánodo grafito y cátodo aluminio) a diferentes intensidades de corriente eléctrica Nitrógeno total (mg/l N), Nitrato (mg/l NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), Nitrito (mg/l de NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), Amoniaco (mg/l NH<sub>3</sub>), Rendimiento (%)

Para una confirmación de los resultados encontrados mediante intensidades de 4 amperios y 6 amperios se presenta la tabla 91 donde confirmase que hay rendimientos importantes mediante el tratamiento utilizando estas dos intensidades.

Amoniaco			
1 fuente			
Intensidad (A)	Entrada (mg/l)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)
4	6,7	5,2	22
6	5	4,5	10

Tabla 91: Resultados de las muestras de amoniaco mediante la configuración de 1 fuente mediante intensidades de 4 y 6 amperios Amoniaco (mg/l NH<sub>3</sub>); Rendimiento (%)

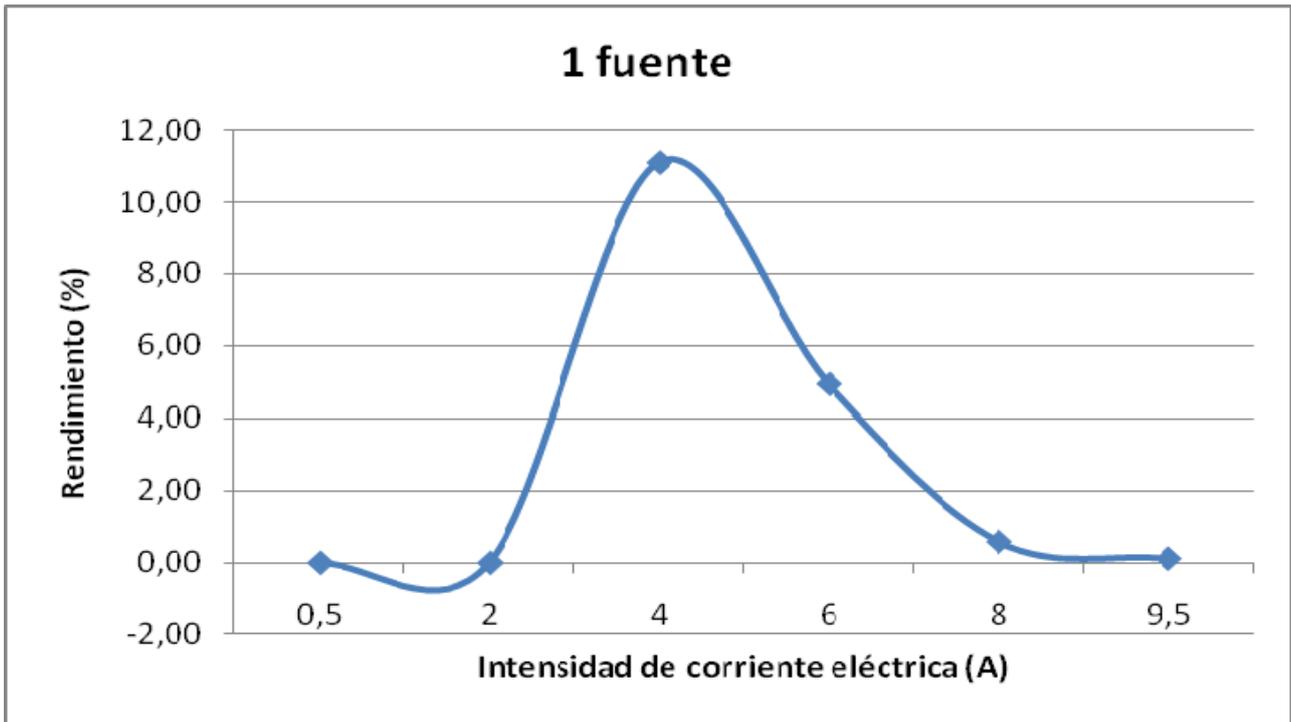
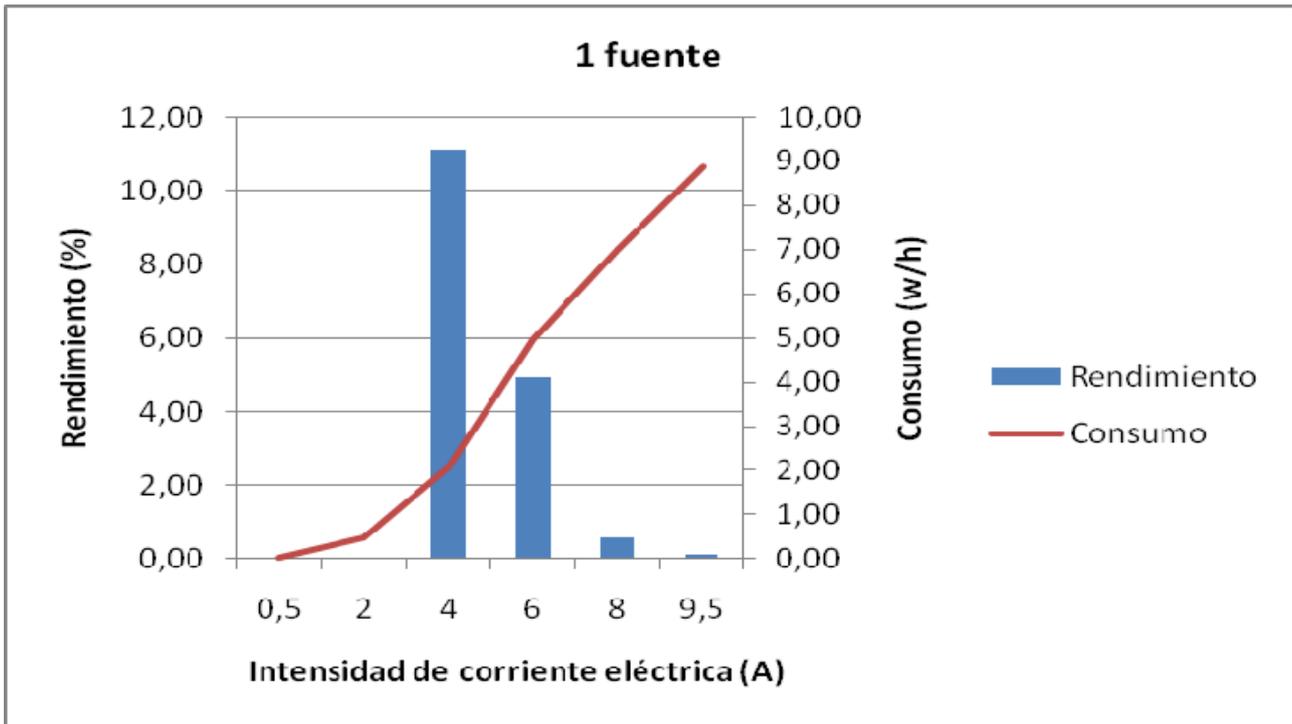


Figura 88: Rendimiento del proceso en referencia al amoníaco (con 1 fuente utilizando ánodo de grafito y cátodo de aluminio) en relación al suministro de corriente eléctrica

En los datos anteriores podemos ver que existe una reducción importante de amoníaco utilizando como ánodo el grafito. Lo primero que se observa es una reducción que se presenta, leve en intensidades muy bajas (0,5 y 4 amperios), más pronunciada en las intensidades de 4 y 6 amperios y leve para intensidades altas (8 y 9 amperios). Esto se explica debido al bajo potencial de generación de oxígeno en el grafito.



*Figura 89: Relación entre rendimiento del proceso en referencia al amoniaco (con 1 fuente con ánodo de grafito y cátodo de aluminio) y el consumo de energía en W/h*

La reducción obtenida tras el suministro de corriente eléctrica como ya comentado se observa de forma más acentuada mediante intensidades de 4 y 6, debido al bajo potencial de generación de oxígeno en el grafito, esto nos permite concluir que el proceso es eficiente. En el gráfico 89 también se observa que además de alcanzar rendimientos mejores en intensidad de 4 amperios el consumo de energía es menos de la mitad que el suministrado a la segunda intensidad más eficiente (6 amperios) para obtener los mismos rendimientos.

Este punto es uno de los donde se obtuvieron resultados más interesantes. Los datos de los muestreos se presentan en las tablas 92 y 93, mientras que en el gráfico 90 se pueden ver gráficamente los mismos.

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

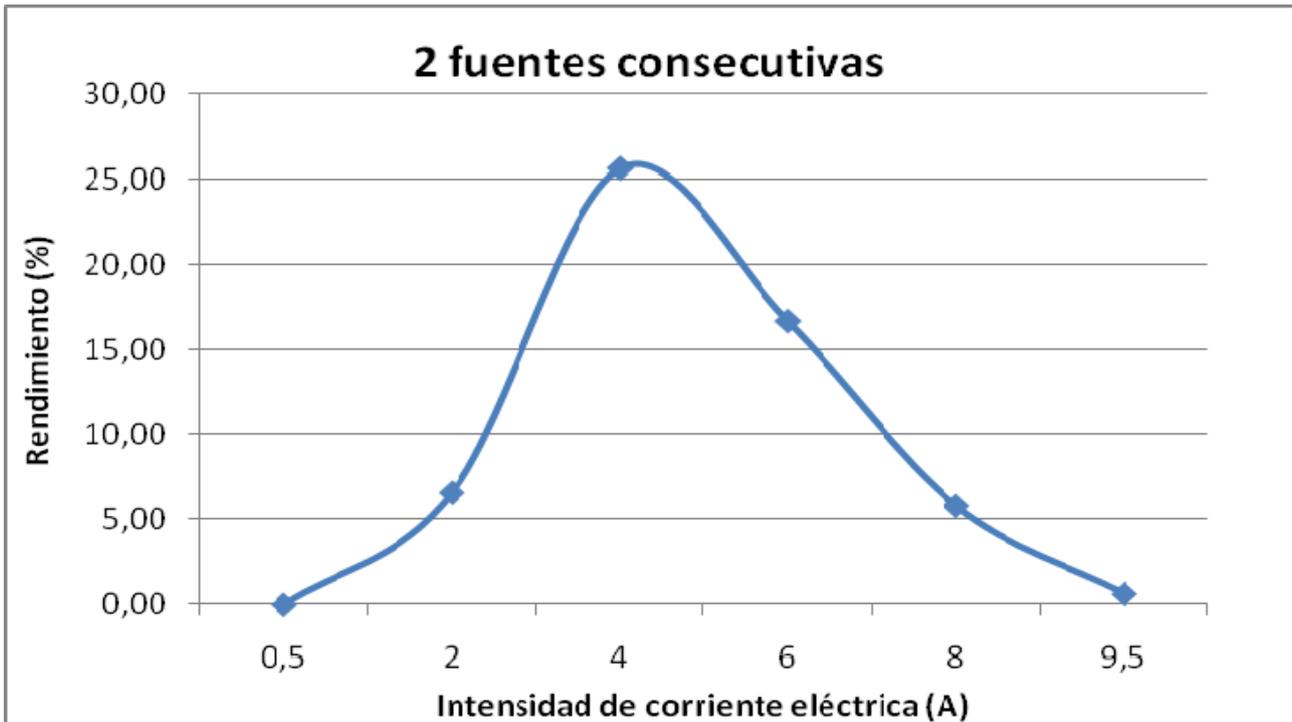
2 fuentes seguidas con adición artificial de amoniaco												
Int. (A)	Amoniaco			Nitrateo			Nitrito			Nitrógeno Total		
	Entrada	Salida	Rend.	Entrada	Salida	Rend.	Entrada	Salida	Rend.	Entrada	Salida	Rend.
0,5	25,00	25,00	0,00	1,90	2,20	-15,79	0,05	0,04	10,42	31,00	30,00	3,23
2	26,98	25,20	6,60	1,40	2,50	-78,57	0,04	0,05	-19,05	34,00	32,00	5,88
4	29,59	22,00	25,65	1,40	4,80	-242,86	0,05	0,06	-21,15	34,00	29,00	14,71
6	31,50	26,24	16,70	1,80	3,90	-116,67	0,06	0,05	21,67	36,00	32,00	11,11
8	29,20	27,50	5,82	2,70	3,50	-29,63	0,06	0,06	5,00	36,00	34,00	5,56
9,5	28,24	28,06	0,64	2,50	2,90	-16,00	0,07	0,06	6,15	34,00	33,00	2,94

Tabla 92: Resultados de las muestras de Amoniaco mediante la configuración de 2 fuentes seguidas (ánodo grafito y cátodo aluminio) a diferentes intensidades de corriente eléctrica  
Nitrógeno total (mg/l N), Nitrateo (mg/l NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), Nitrito (mg/l de NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, Amoniaco (mg/l NH<sub>3</sub>); Rendimiento (%)

Al igual que en el apartado de 1 fuente, en la tabla 93 se observa hay rendimientos importantes mediante el tratamiento utilizando las intensidades de 4 y 6 amperios.

Amoniaco			
2 fuentes seguidas			
Intensidad (A)	Entrada (mg/l)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)
4	8,67	5,11	41
6	7,80	6,10	22

Tabla 93: Resultados de las muestras de Amoniaco mediante la configuración de 2 fuentes seguidas mediante intensidades de 4 y 6 amperios  
Amoniaco (mg/l NH<sub>3</sub>); Rendimiento (%)



*Figura 90: Rendimiento del proceso en referencia al amoníaco (con 2 fuentes seguidas utilizando ánodo de grafito y cátodo de aluminio) en relación al suministro de corriente eléctrica*

En gráfico 90 se muestra los rendimientos del proceso observados en la tabla 92. Como se esperaba podemos ver que existe una reducción importante de amoníaco utilizando esta configuración. De igual manera que en la configuración de 1 fuente se observa una reducción que se presenta, leve en intensidades muy bajas (0,5 y 4 amperios), más pronunciada en las intensidades de 4 y 6 amperios y leve para intensidades altas (8 y 9 amperios). Esto se explica debido al bajo potencial de generación de oxígeno en el grafito.

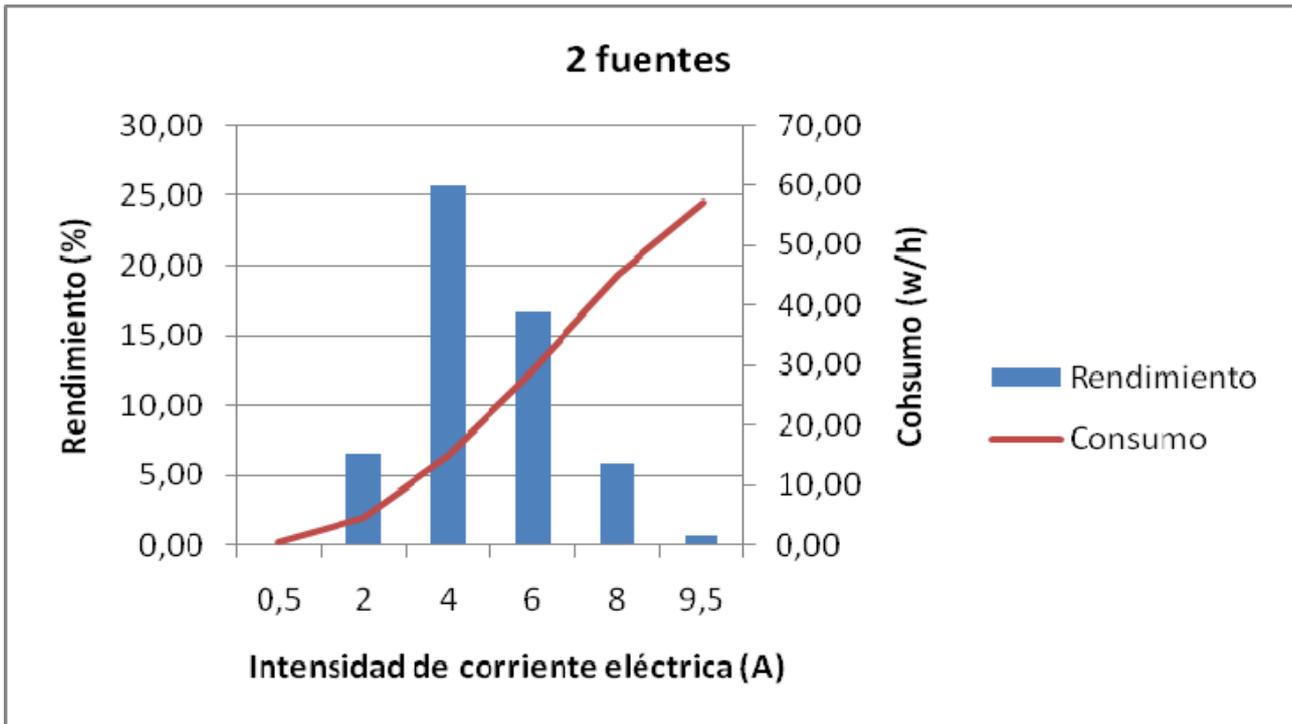


Figura 91: Relación entre rendimiento del proceso en referencia al amoníaco (mediante 2 fuentes consecutivas con ánodo de grafito y cátodo de aluminio) y el consumo de energía en W/h

Al igual que en el gráfico 89 el rendimiento observado tras el suministro de corriente eléctrica se desarrolla de forma más acentuada mediante intensidades de 4 y 6, debido al bajo potencial de generación de oxígeno en el grafito, esto nos permite concluir que el proceso es eficiente. En el gráfico 91 también se observa que además de alcanzar rendimientos mejores en intensidad de 4 amperios el consumo de energía es menos de la mitad que el suministrado a la segunda intensidad más eficiente (6 amperios).

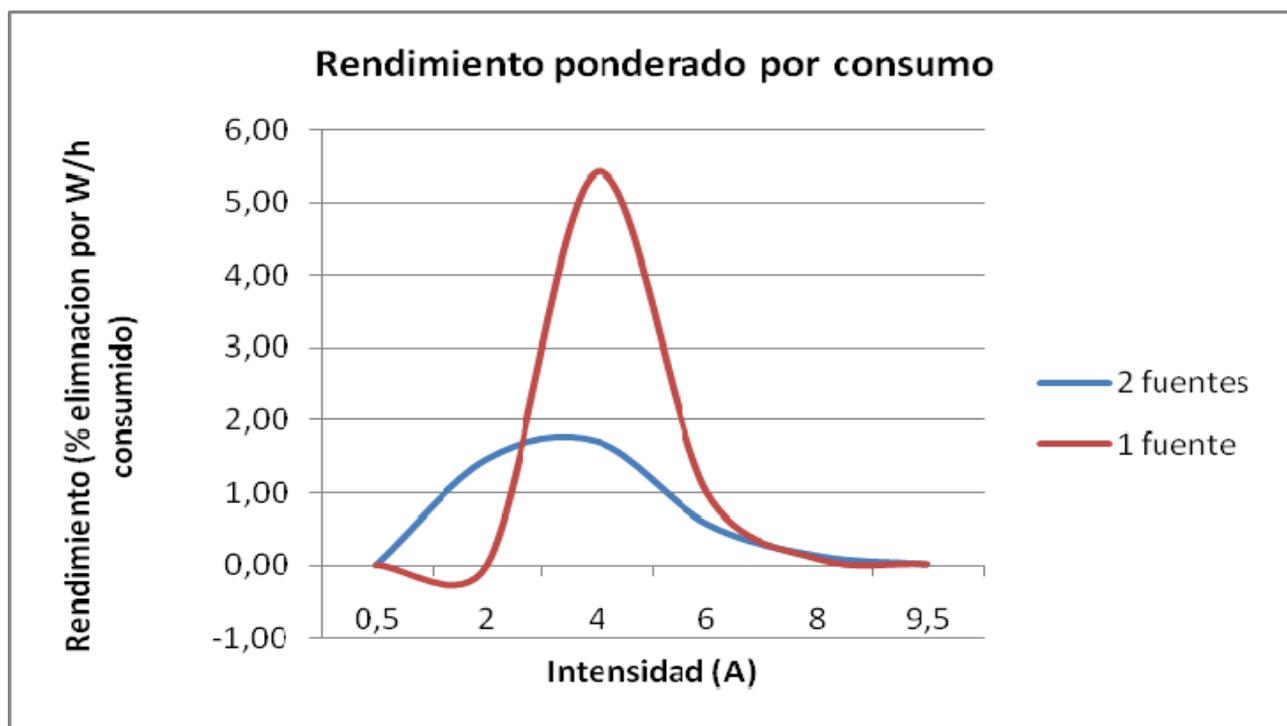


Figura 92: Rendimiento ponderado por consumo mediante las dos configuraciones de electrodos

En el gráfico 92 se puede ver gráficamente la relación entre el consumo de energía y el rendimiento alcanzado por el proceso en cada una de las configuraciones. Con él se puede apreciar que la configuración de 1 fuente es más eficiente, pero no alcanza los rendimientos observados en la configuración de 2 fuentes seguidas. También en este gráfico se obtuvieron buenos resultados en relación al amoníaco utilizando como ánodo el grafito y además se aprecia un efecto sensible tras la configuración de 2 fuentes en relación a una única fuente. Este comportamiento se puede explicar por un mayor tiempo de retención y una mayor generación de oxígeno (se utilizan dos ánodos) mediante la configuración de 2 fuentes.

Por los resultados anteriores se procede la repetición de los ensayos para los 2 tipos de configuraciones posibles (1 fuente y 2 fuentes seguidas), mediante las intensidades de 4 y 6 amperios. Los próximos ensayos se realizan con la adición artificial del amoníaco para simular el tratamiento en la cabecera de la planta y sin la adición artificial del amoníaco para simular el tratamiento como un afino para depuradas.

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

- Resultados con la adición artificial de amoniacó

Los datos referentes a esto apartado se presentan en las próximas tablas.

1 fuente				
Parámetro	Intensidad (A)	Entrada (mg/l)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)
Nitrógeno Amoniacal	4	11,1	9,2	17,12
	6	10,24	9,32	8,98
Amoniacó	4	13,54	11,22	17,12
	6	12,49	11,37	8,98
Nitrógeno total	4	21	20	4,76
	6	18	17	5,56
Nitrito	4	0,08	0,062	22,5
	6	0,075	0,057	24
Nitrato	4	2,1	2,8	-33,33
	6	2,2	2,9	-31,82

Tabla 94: Resultados de las muestras mediante la configuración de 1 fuente (ánodo grafito y cátodo aluminio) a las intensidades de corriente eléctrica 4 y 6 A  
Nitrógeno total (mg/l N), Nitrato (mg/l NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), Nitrito (mg/l de NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, Amoniacó (mg/l NH<sub>3</sub>); Rendimiento (%);  
Nitrógeno amoniacal (mg/l N-NH<sub>3</sub>)

2 fuentes seguidas				
Parámetro	Intensidad (A)	Entrada (mg/l)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)
Nitrógeno Amoniacal	4	10,38	6,39	38,44
	6	11,43	9,11	20,3
Amoniacó	4	12,66	7,80	38,44
	6	13,94	11,11	20,3
Nitrógeno total	4	20	17	15
	6	21	19	9,52
Nitrito	4	0,08	0,07	12,5
	6	0,083	0,069	16,87
Nitrato	4	1,7	3,3	-94,12
	6	1,7	2,8	-64,71

Tabla 95: Resultados de las muestras mediante la configuración de 2 fuentes seguidas (ánodo grafito y cátodo aluminio) a las intensidades de corriente eléctrica 4 y 6 A  
Nitrógeno total (mg/l N), Nitrato (mg/l NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), Nitrito (mg/l de NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, Amoniacó (mg/l NH<sub>3</sub>); Rendimiento (%);  
Nitrógeno amoniacal (mg/l N-NH<sub>3</sub>)

– Resultados sin la adición artificial de amoniaco

1 fuente				
Parámetro	Intensidad (A)	Entrada (mg/l)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)
Nitrógeno Amoniacal	4	3,01	2,7	10,30
	6	3	2,5	16,67
Amoniaco	4	3,67	3,29	10,30
	6	3,66	3,05	16,67
Nitrógeno total	4	8	8	0
	6	8	7	12,5
Nitrito	4	0,079	0,071	10,13
	6	0,075	0,071	5,33
Nitrato	4	0,9	1,4	-55,56
	6	0,9	1,8	-100,00

Tabla 96: Resultados de las muestras mediante la configuración de 1 fuente (ánodo grafito y cátodo aluminio) a las intensidades de corriente eléctrica 4 y 6 A Nitrógeno total (mg/l N), Nitrato (mg/l NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), Nitrito (mg/l de NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, Amoniaco (mg/l NH<sub>3</sub>); Rendimiento (%), Nitrógeno amoniacal (mg/l N-NH<sub>3</sub>)

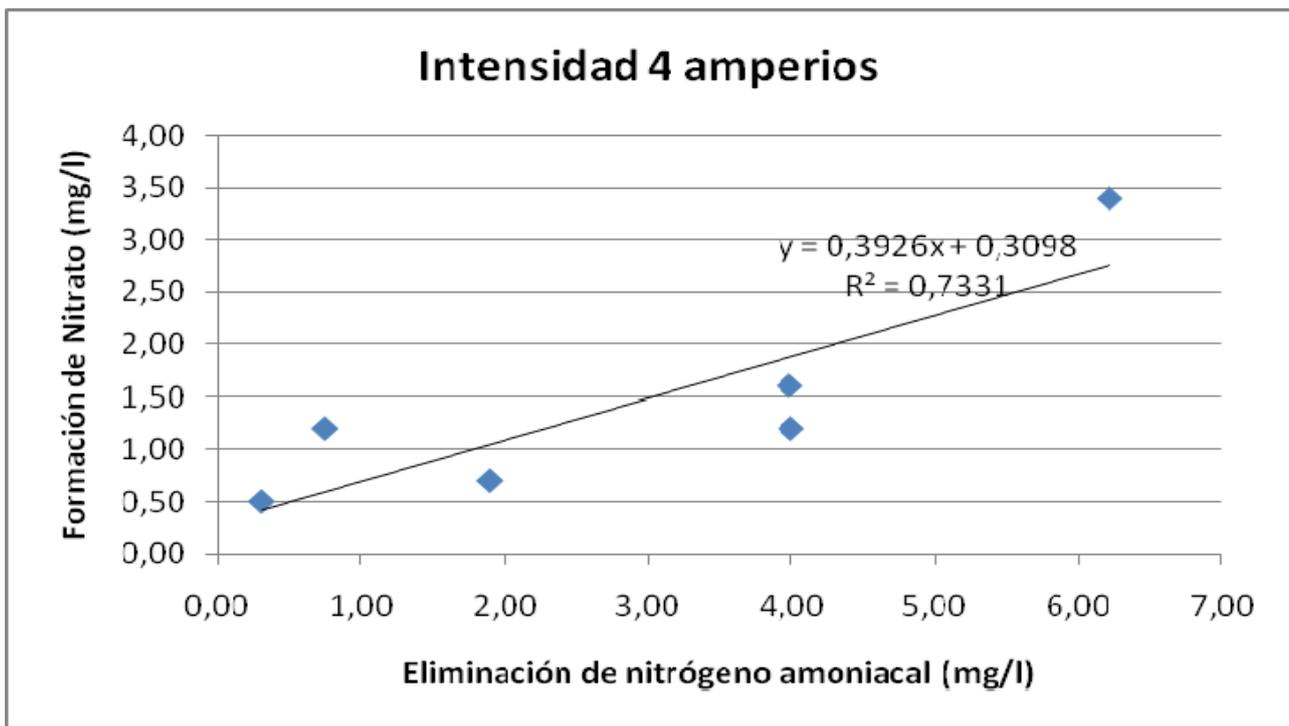
2 fuentes seguidas				
Parámetro	Intensidad (A)	Entrada (mg/l)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)
Nitrógeno Amoniacal	4	1,6	0,85	46,88
	6	1,3	0,9	30,77
Amoniaco	4	1,95	1,04	46,88
	6	1,59	1,10	30,77
Nitrógeno total	4	10	9	10
	6	11	10	15,38
Nitrito	4	0,066	0,034	48,48
	6	0,079	0,05	36,71
Nitrato	4	5,4	6,6	-22,22
	6	5,6	6,1	-8,93

Tabla 97: Resultados de las muestras mediante la configuración de 2 fuentes seguidas (ánodo grafito y cátodo aluminio) a las intensidades de corriente eléctrica 4 y 6 A Nitrógeno total (mg/l N), Nitrato (mg/l NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), Nitrito (mg/l de NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, Amoniaco (mg/l NH<sub>3</sub>); Rendimiento (%); Nitrógeno amoniacal (mg/l N-NH<sub>3</sub>)

Con las repeticiones analizadas, en primer lugar es de resaltar que realmente existen rendimientos importantes mediante las intensidades de 4 y 6 amperios, encontrándose un mejor rendimiento al utilizar 4 amperios. Se puede apreciar claramente mediante las tablas 96 y 97 que la remoción de amoniaco en la configuración de 2 fuentes es superior a la configuración de 1 fuente utilizando ambas intensidades.

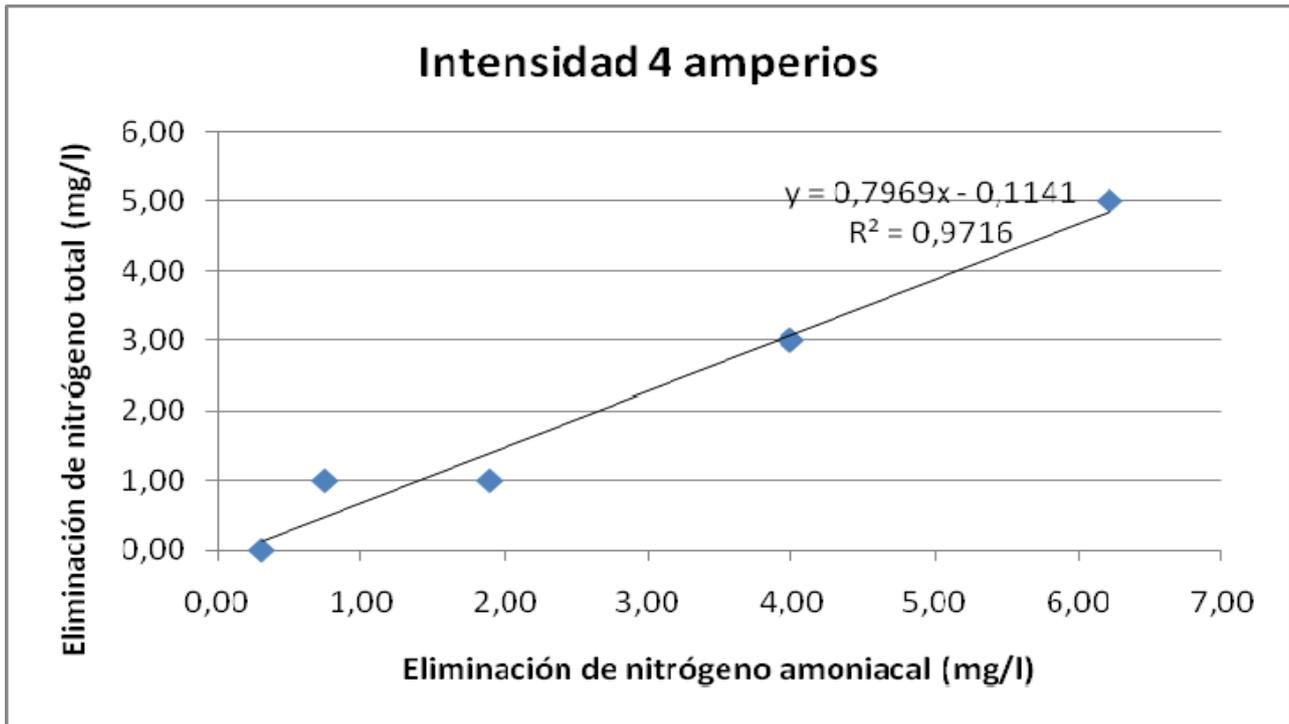
## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

El análisis de la oxidación que se desarrolla en el ciclo del nitrógeno mediante el proceso se realizó en base a los gráficos de dispersión, realizándose un ajuste lineal para ver la tendencia que tienen y el grado de relación entre la eliminación del nitrógeno amoniacal y la formación de nitratos (gráficos 93 y 95) y la relación entre la eliminación de nitrógeno amoniacal y la eliminación de nitrógeno total (gráficos 94 y 96). Ambas correlaciones se realizan con cada una de las intensidades que se aprecian oxidación del nitrógeno amoniacal.



*Figura 93: Correlación entre la eliminación de nitrógeno amoniacal y formación de nitrato mediante tratamiento con 4 amperios.*

El gráfico 93 muestra una línea de tendencia lineal que rige por la siguiente ecuación:  $Y = 0,3926 + 0,3098x$ , donde  $x$  corresponde a la remoción de nitrógeno amoniacal e  $y$  la formación de nitratos. El coeficiente  $R^2$  es igual a 0,7331, permitiendo ver la oxidación del nitrógeno amoniacal a nitritos y luego a nitratos.



*Figura 94: Correlación entre la eliminación de nitrógeno amoniacal y eliminación de nitrógeno total mediante tratamiento con 4 amperios.*

Este anterior gráfico involucra el efecto de la eliminación del nitrógeno amoniacal y la eliminación del nitrógeno total, y la línea de tendencia que lo rige es de forma lineal:  $Y = 0,7969x - 0,1141$

El coeficiente de correlación  $R^2 = 0,9716$ , permitiendo apreciar la clara relación entre la oxidación reducción en el ciclo del nitrógeno generando nitrógeno gas. Diferentemente del tratamiento con ánodo de aluminio, en el tratamiento con ánodo de grafito se produce cantidades casi nulas de precipitado, por eso no podemos considerar que la reducción de nitrógeno total es debido a la reducción de nitrógeno orgánico que se ven retenido en el precipitado que contienen proteínas celulares.

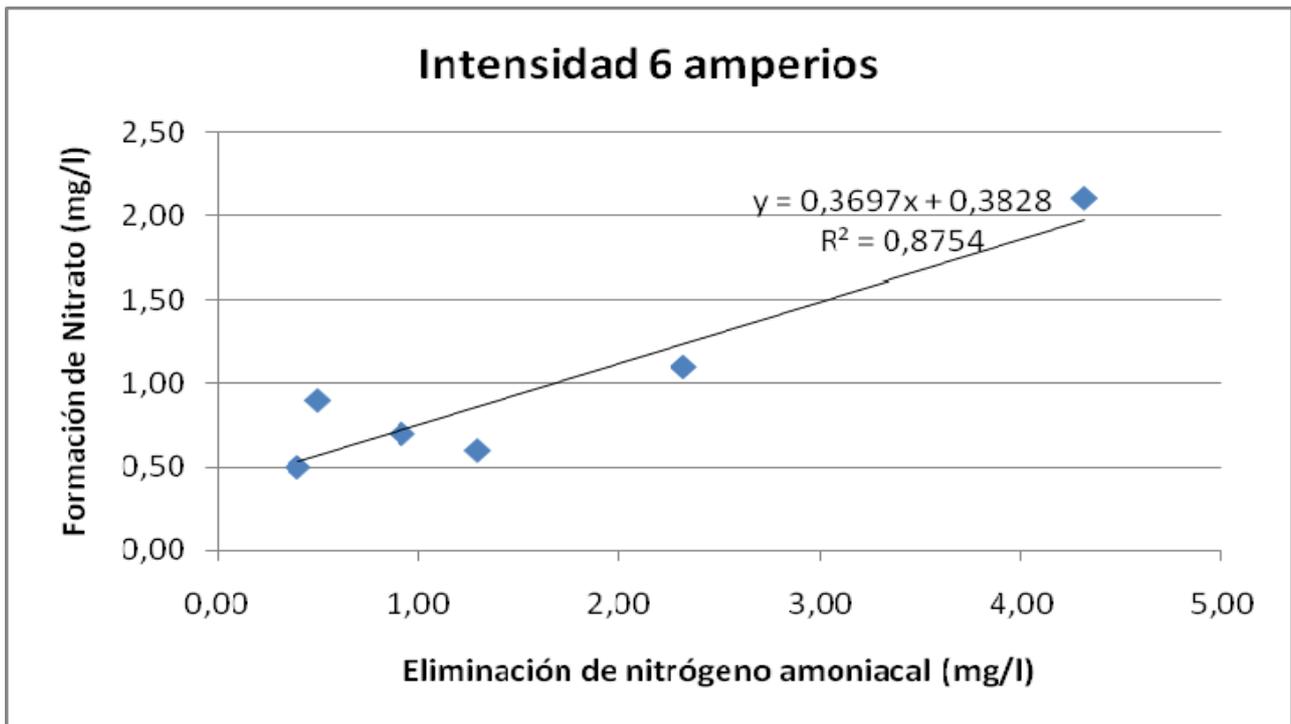


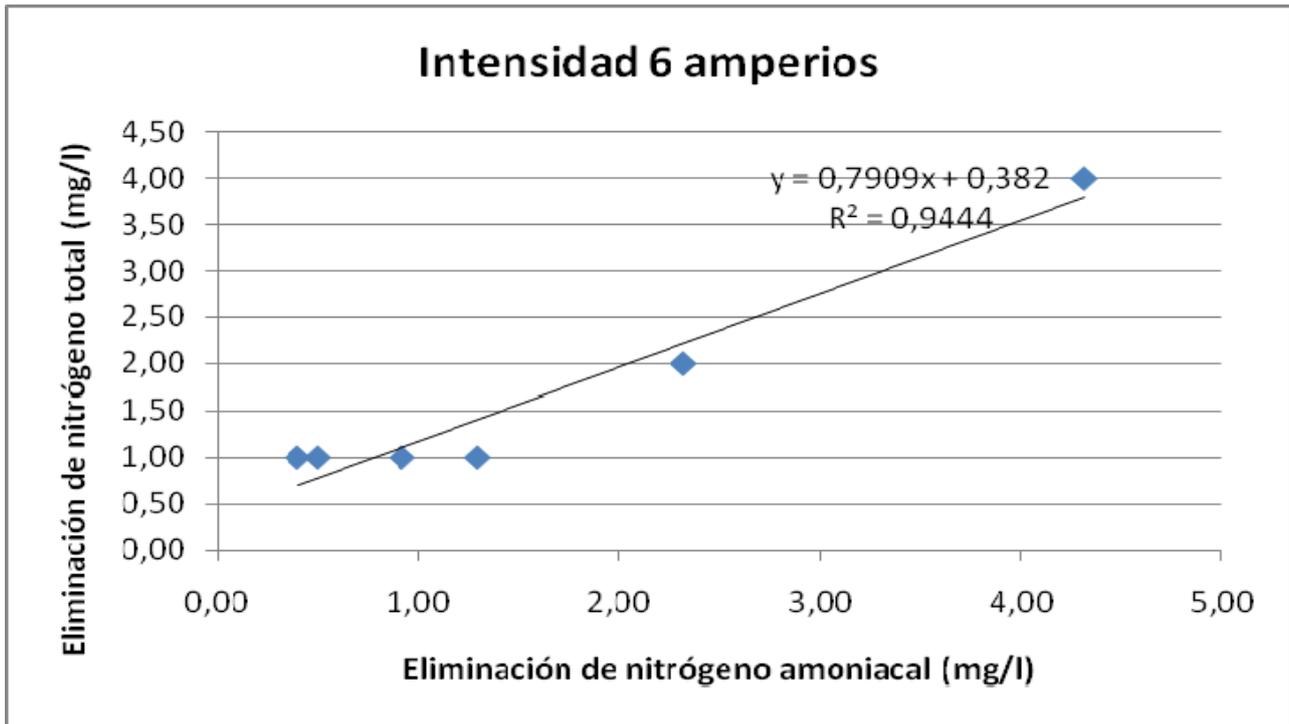
Figura 95: Correlación entre la eliminación de nitrógeno amoniacal y la formación de nitratos mediante tratamiento con 6 amperios.

El gráfico 95 muestra una línea de tendencia lineal que rige por la siguiente ecuación:  $Y = 0,3797x + 0,3828$

El coeficiente de correlación  $R^2 = 0,8754$ , algo superior al obtenido en el gráfico 93, pero inferior al correspondiente a la correlación eliminación nitrógeno amoniacal y eliminación de nitrógeno total.

De la misma forma que con el tratamiento mediante 4 amperios se buscó la relación entre la eliminación de nitrógeno amoniacal y la eliminación de nitrógeno total.

Para analizar este efecto se realizó el gráfico 96. Los resultados son buenos y arrojan una tendencia lineal que responde a la ecuación  $Y = 0,7909x + 0,382$ , con un coeficiente de correlación  $R^2 = 0,9444$ , algo menor que el obtenido con 4 amperios.



*Figura 96: Correlación entre la eliminación de nitrógeno amoniacal y la eliminación de nitrógeno total mediante tratamiento con 6 amperios.*

En los próximos gráficos se aprecia mediante dispersión lineal utilizado las concentraciones de entrada y de salida mediante el tratamiento con ánodo de grafito y cátodo de aluminio presentadas en las tablas anteriores (resultados mediante ánodo de grafito y cátodo de aluminio). Nos permite evaluar las concentraciones de salida del proceso en relación de acuerdo con las concentraciones de entrada de amoniaco. Se realizó un ajuste lineal para ver la tendencia del proceso. También muestra una línea de tendencia en color negro, la ecuación y el coeficiente de correlación  $R^2$ .

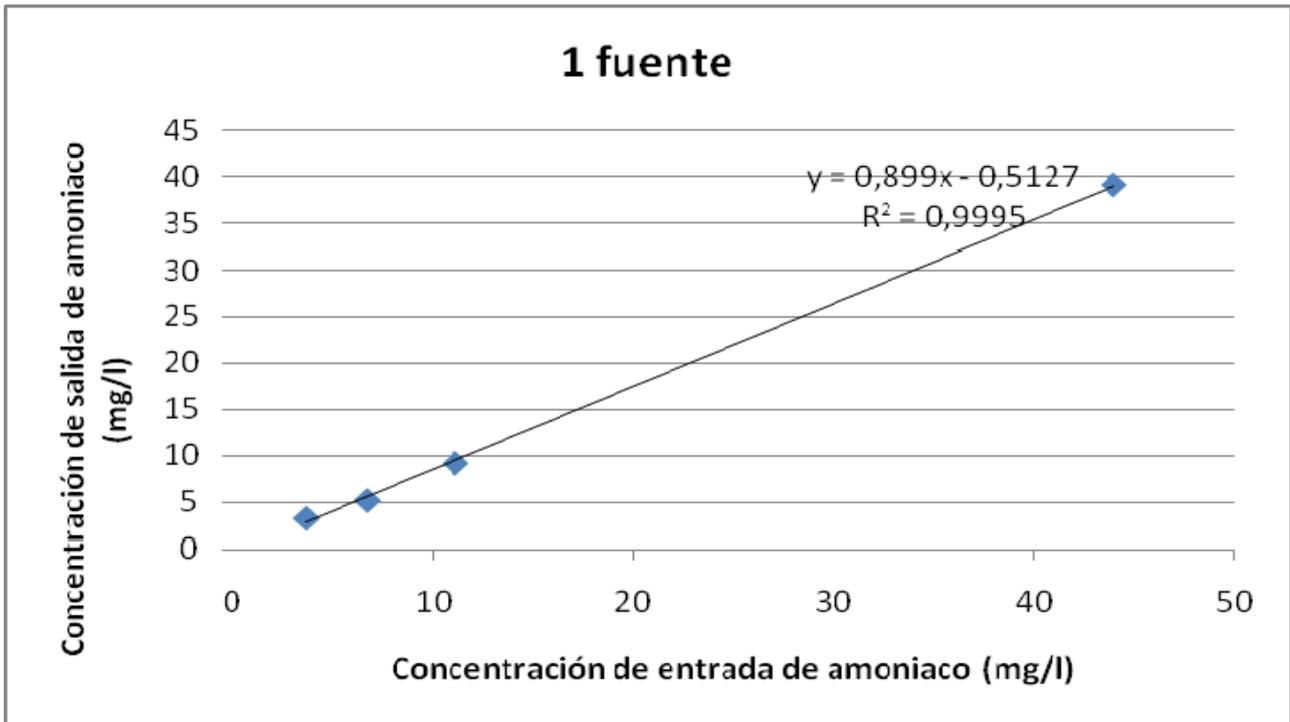


Figura 97: Relación concentración de Amoniaco de entrada y concentración de amoniaco salida mediante la intensidad de 4 amperios

En el de 1 fuente utilizando 4 amperios se obtuvo un coeficiente de correlación de  $R^2 = 0,9995$  para la ecuación lineal  $y = 0,899x - 0,5127$  mientras que en el que relaciona las concentraciones mediante la configuración de 2 fuentes utilizando 4 amperios la ecuación encontrada fue  $y = 0,7715x - 1,2125$  y un coeficiente de correlación de  $R^2 = 0,9943$ .

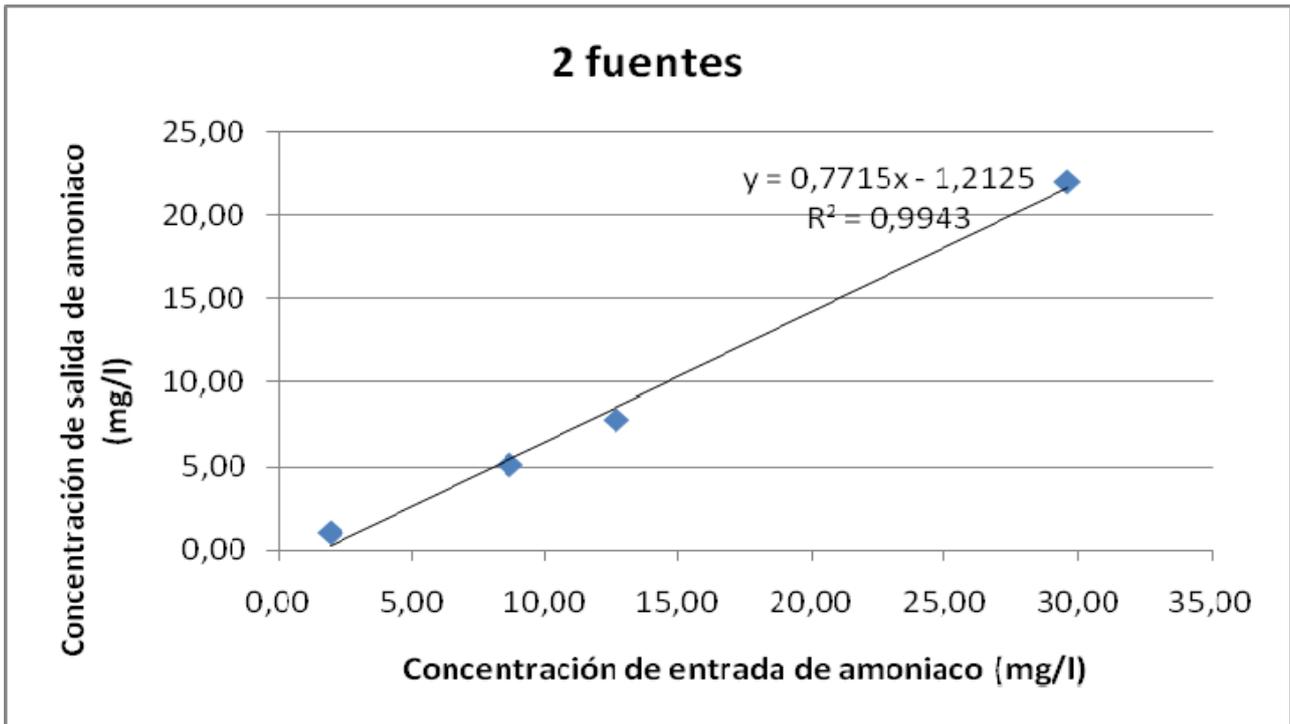


Figura 98: Relación concentración de Amoníaco de entrada y concentración de amoníaco salida mediante la intensidad de 4 amperios

En las siguientes dos gráficas se pueden apreciar la tendencia de la eliminación de amoníaco en función de su concentración inicial, utilizando los datos observados en las tablas 90, 91, 94 y 96 mediante intensidad de 6 A.

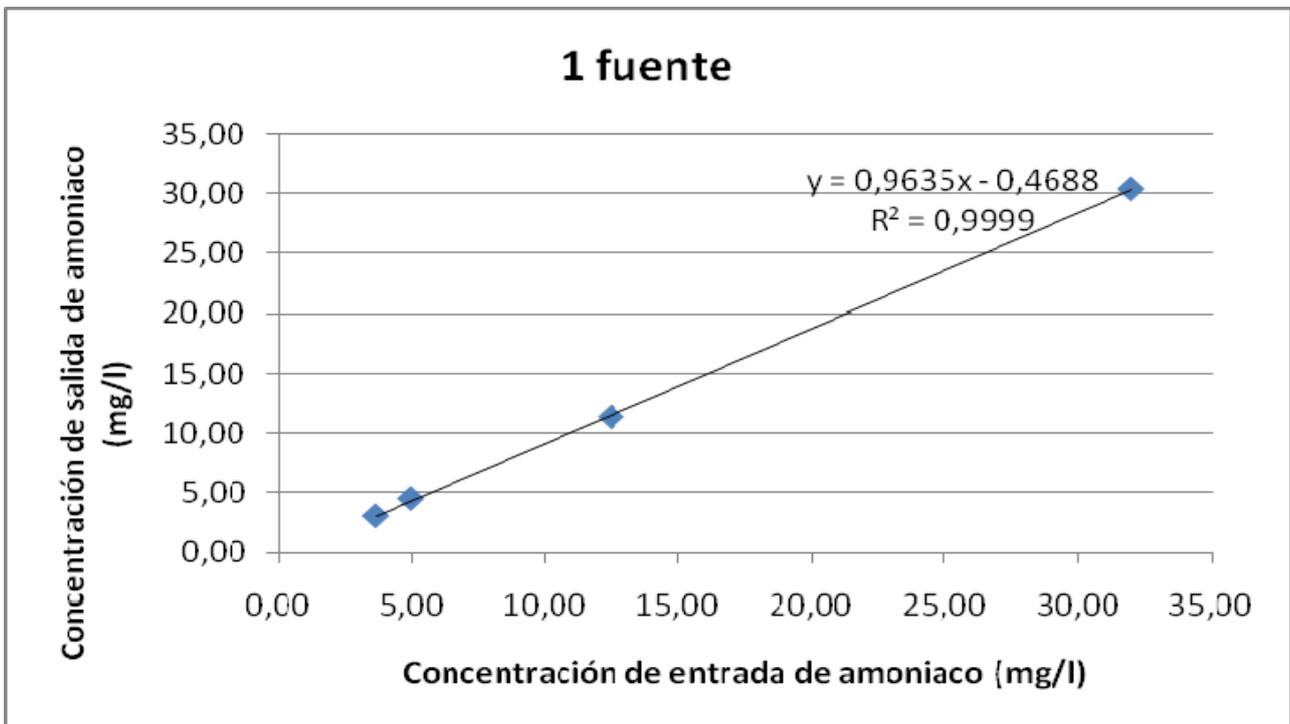


Figura 99: Relación concentración de Amoníaco de entrada y concentración de amoníaco salida mediante la intensidad de 6 amperios

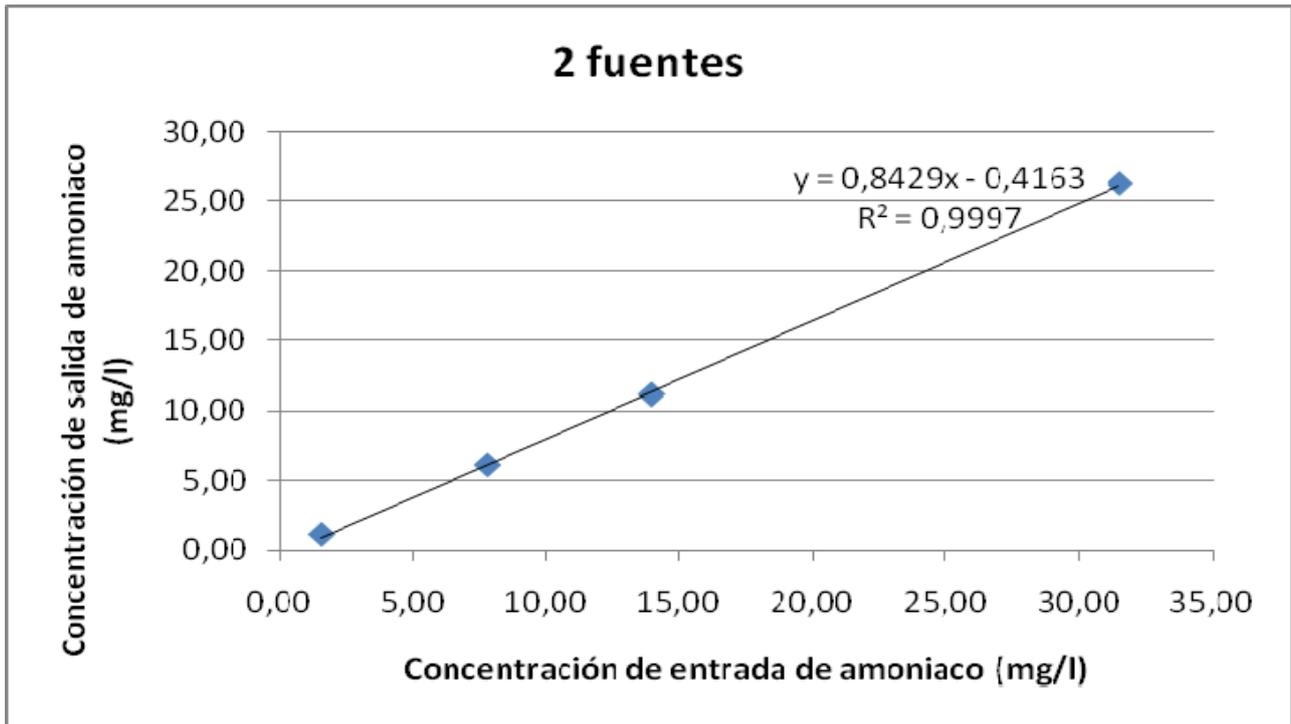


Figura 100: Relación concentración de Amoníaco de entrada y concentración de amoníaco salida mediante la intensidad de 6 amperios

Los gráficos anteriores (97, 98, 99 y 100) se utilizan para buscar una tendencia en los datos en relación a las concentraciones iniciales de amoníaco, y en él se puede apreciar como a medida que aumenta la concentración de amoníaco de entrada de forma lineal la concentración de salida también aumenta o sea el rendimiento en la eliminación disminuí. La correlación entra la concentración de entrada y la concentración de salida segué las siguientes ecuaciones:

- Para configuración de 1 fuente:  $Y = 0,9635x - 0,4688$
- Para configuración de 2 fuentes:  $Y = 0,8429x - 0,4163$

### 9.3. Resultados en referencia al objetivo definitivo 3: Investigar sobre la oxidación directa de ácidos olorosos en aguas residuales

- Con relación a la configuración de las placas de aluminio

En la tablas siguientes se encuentran los datos de las muestras para el Ácido acético, en ellas se puede observar el comportamiento de los datos durante la investigación para las medidas de entrada, salida y eficiencia del proceso para las tres configuraciones de los electrodos (1 fuente, 2 fuentes seguidas y 2 fuentes separadas) y para los 6 tipos de intensidades de corriente eléctrica (0,5 A, 2 A, 4 A, 6 A, 8 A, 9,5 A).

ÁCIDO ACÉTICO			
1 fuente			
Intensidad (A)	Entrada (mg/l)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)
0,5	180	179	0,56
2	177	166	6,21
4	165	163	1,21
6	173	165	4,62
8	173	170	1,7
9,5	180	177	1,7

Tabla 98: Resultados de las muestras de Ácido acético mediante la configuración de 1 fuente a diferentes intensidades de corriente eléctrica

ÁCIDO ACÉTICO			
2 fuentes seguidas			
Intensidad (A)	Entrada (mg/l)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)
0,5	271	268	1,1
2	279	276	1,1
4	282	282	0,0
6	290	278	4,1
8	298	295	1,0
9,5	287	284	1,0

Tabla 99: Resultados de las muestras de Ácido acético mediante la configuración de 2 fuentes seguidas a diferentes intensidades de corriente eléctrica

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

ÁCIDO ACÉTICO			
2 fuentes separadas			
Intensidad (A)	Entrada (mg/l)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)
0,5	166	157	5,4
2	163	162	0,6
4	172	171	0,6
6	181	173	4,4
8	187	182	2,7
9,5	180	173	3,9

Tabla 100: Resultados de las muestras de Ácido acético mediante la configuración de 2 fuentes separadas a diferentes intensidades de corriente eléctrica

No se aprecia rendimientos importantes para el ácido acético en ninguna de las configuraciones investigadas con electrodos de aluminio. Sin embargo para confirmar los resultados se repite los ensayos para las intensidades que han presentado un ligero rendimiento (0,5, 4 y 6).

1 fuente			
Intensidad (A)	Entrada (mg/l)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)
0,5	180	171	5,00
4	177	166	6,21
6	170	170	0,00

Tabla 101: Resultados de las muestras mediante la configuración de 1 fuente (ánodo y cátodo de aluminio) a las intensidades de corriente eléctrica 0,5, 4 y 6 A

2 fuentes seguidas			
Intensidad (A)	Entrada (mg/l)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)
0,5	185	185	0,00
4	180	177	1,67
6	195	195	0,00

Tabla 102: Resultados de las muestras mediante la configuración de 2 fuentes seguidas (ánodo y cátodo de aluminio) a las intensidades de corriente eléctrica 0,5, 4 y 6 A

2 fuentes separadas			
Intensidad (A)	Entrada (mg/l)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)
0,5	126	126	0,00
4	150	150	0,00
6	180	180	0,00

Tabla 103: Resultados de las muestras mediante la configuración de 2 fuentes seguidas (ánodo y cátodo de aluminio) a las intensidades de corriente eléctrica 0,5, 4 y 6 A

De la misma forma que en los primeros ensayos, no se encuentra un efecto sensible sobre el ácido acético utilizando electrodos de aluminio.

- Con relación a la configuración de ánodo de grafito y cátodo de aluminio

1 fuente			
Intensidad (A)	Entrada (mg/l)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)
0,5	181	177	2,21
2	175	175	0,00
4	175	175	0,00
6	181	177	2,21
8	180	171	5,00
9,5	186	179	3,76

Tabla 104: Resultados de las muestras de Ácido acético mediante la configuración de 1 fuente a diferentes intensidades de corriente eléctrica

2 fuentes seguidas			
Intensidad (A)	Entrada (mg/l)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)
0,5	145	144	0,69
2	196	186	5,10
4	164	156	4,88
6	195	175	10,26
8	197	190	3,55
9,5	175	174	0,57

Tabla 105: Resultados de las muestras de Ácido acético mediante la configuración de 2 fuentes seguidas a diferentes intensidades de corriente eléctrica

Mediante el ánodo de grafito encontramos resultados más apreciables que al se utilizar ánodo de aluminio, pero tampoco encontramos resultados buenos, para confirmar los datos con relación al rendimiento de la oxidación directa del ácido acético se repite los ensayos para las intensidades que han presentado un cierto rendimiento. Para la configuración mediante 1 fuente: 0,5, 6, 8 y 9,5 y para la configuración mediante 2 fuentes seguidas: 2, 4, 6 y 8.

1 fuente			
Intensidad (A)	Entrada (mg/l)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)
0,5	170	170	0,00
6	193	192	0,52
8	180	177	1,67
9,5	153	145	5,23

Tabla 106: Resultados de las muestras mediante la configuración de 1 fuente (ánodo de grafito y cátodo de aluminio) a las intensidades de corriente eléctrica 0,5, 6, 8 y 9,5.

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

2 fuentes seguidas			
Intensidad (A)	Entrada (mg/l)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)
2	227	215	5,29
4	203	195	3,94
6	190	177	6,84
8	197	195	1,02

Tabla 107: Resultados de las muestras mediante la configuración de 2 fuentes seguidas (ánodo de grafito y cátodo de aluminio) a las intensidades de corriente eléctrica 2, 4, 6 y 8.

Se aprecia que de igual manera que en la electrooxidación mediante ánodo y cátodo de aluminio el tratamiento mediante grafito tiene un efecto muy bajo. Con valores de entrada y salida muy similares.

### 9.4. Resultados en referencia al objetivo definitivo 4: Investigar sobre la oxidación directa de bencenos olorosos en aguas residuales

- Con relación a la configuración de las placas de aluminio

En la tablas 108, 109 y 110 se encuentran los datos de las muestras para el tolueno, en ellas que se pueden ver las concentraciones de entrada, salida y rendimiento del proceso para las tres configuraciones de los electrodos investigadas (1 fuente, 2 fuentes seguidas y 2 fuentes separadas) y para los 6 tipos de intensidades de corriente eléctrica (0,5 A, 2 A, 4 A, 6 A, 8 A, 9,5 A).

Al intentar ajustar los rendimientos en gráficos lineales para ver la tendencia de rendimiento se comprobó, sin embargo en ninguno de los casos el coeficiente de correlación fue mayor que 0,2, lo cual tampoco ayuda en el análisis y por lo que no se consideró al efecto. Esta no linealidad se debe a lo alto grado de volatilización del tolueno.

TOLUENO			
1 fuente			
Intensidad (A)	Entrada (mg/l)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)
0,5	4,6	2,5	45,65
2	4,3	4,0	6,98
4	2,8	2,3	17,86
6	2,4	0,77	67,92
8	1,7	1,6	5,9
9,5	2,7	2,4	11,1

Tabla 108: Resultados de las muestras de Tolueno mediante la configuración de 1 fuente a diferentes intensidades de corriente eléctrica

TOLUENO			
2 fuentes seguidas			
Intensidad (A)	Entrada (mg/l)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)
0,5	2,3	1,9	17,4
2	1,4	1,3	7,1
4	5,6	5	10,7
6	5,0	4,3	14,0
8	1,9	1,9	0,0
9,5	1,6	1,5	6,3

Tabla 109: Resultados de las muestras de Tolueno mediante la configuración de 2 fuentes seguidas a diferentes intensidades de corriente eléctrica

TOLUENO			
2 fuentes separadas			
Intensidad (A)	Entrada (mg/l)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)
0,5	0,51	0,41	19,6
2	0,41	0,41	0,0
4	0,36	0,29	19,4
6	1,6	1,3	18,8
8	0,40	0,37	7,5
9,5	5,2	4,8	7,7

Tabla 110: Resultados de las muestras de Tolueno mediante la configuración de 2 fuentes separadas a diferentes intensidades de corriente eléctrica

Se ven comportamientos muy variados por el tema de la volatilización pero son de resaltar los rendimientos alcanzados en las intensidades 2, 4 y 6 amperios, en consecuencia con el anterior la investigación tiene que demostrar si la eficiencia encontrada es debido a la volatilización o tiene alguna eficiencia relacionada con el proceso y para eso se utilizo la siguiente metodología:

- Realizar ensayos sin corriente para verificar la volatilización y comparar los resultados obtenidos con los demás resultados. Se aprovecha para realizar ensayos con intensidad cero para el ácido acético y para el amoniaco con el objetivo de verificar si hay alguna influencia externa al proceso para estos parámetros.

PARÁMETRO	Volatilización
Tolueno	23±8

Tabla 111: Resultados de las muestras de Tolueno sin tratamiento mediante corriente eléctrica para verificar la volatilización e influencia externas al proceso

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

Con los resultados de los ensayos anteriores, concluimos que en intensidades de 0,5 amperios, 4 amperios y 6 amperios conseguimos eficiencia mayor que en los ensayos sin corriente eléctrica, o sea tenemos eficiencia debido al proceso en relación al tolueno.

Para confirmar la eficiencia del proceso en relación al tolueno se repite los ensayos para las intensidades que han presentado eficiencia (0,5, 4, 6).

TOLUENO			
1 fuente			
Intensidad (A)	Entrada (mg/l)	Salida (mg/l)	Eficiencia (%)
0,5	10	5,7	43,00
4	4,6	3,6	21,74
6	14	4,4	68,57

Tabla 112: Resultados de las muestras de tolueno mediante la configuración de 1 fuente mediante las intensidades (0,5, 4 y 6).

TOLUENO			
1 fuente			
Intensidad (A)	Entrada (mg/l)	Salida (mg/l)	Eficiencia (%)
0,5	3,5	2,5	28,57
4	3,8	2,9	23,68
6	3,2	2	37,50

Tabla 113: Resultados de las muestras de tolueno mediante la configuración de 2 fuentes seguidas, mediante las intensidades (0,5, 4 y 6).

TOLUENO			
2 fuentes separadas			
Intensidad (A)	Entrada (mg/l)	Salida (mg/l)	Eficiencia (%)
0,5	7,4	6,5	12,16
4	9,8	8,6	12,24
6	8,6	6,6	23,26

Tabla 114: Resultados de las muestras de tolueno mediante la configuración de 2 fuentes separadas, mediante las intensidades (0,5, 4 y 6).

De igual manera observada en el caso del sulfuro de carbono llama la atención que este efecto de reducción no se aprecie de manera uniforme, pero esto se debe a la volatilización.

Como se esperaba el resultado más relevante en cuanto a remoción se da en la configuración de 1 fuente en la cual observamos rendimientos superiores a los alcanzados mediante la volatilización (tabla 113).

### 9.5. Resultados en referencia al objetivo definitivo 5: Investigar sobre la oxidación directa de compuestos clorados olorosos en aguas residuales

- Con relación a la configuración de las placas de aluminio

Haciendo un ajuste de recta lineal se tienen coeficientes de correlación muy bajos, para la configuración de 2 fuentes seguidas coeficiente de correlación menor que 0,1 y para las demás configuraciones no superiores a 0,5.

En la tablas siguientes se encuentran los datos de las muestras para el Diclorometano, en ellas se puede observar el comportamiento de los datos durante la investigación para las medidas de entrada, salida y eficiencia del proceso para las tres configuraciones de los electrodos (1 fuente, 2 fuentes seguidas y 2 fuentes separadas) y para los 6 tipos de intensidades de corriente eléctrica (0,5 A, 2 A, 4 A, 6 A, 8 A, 9,5 A).

DICLOROMETANO			
1 Fuente			
Intensidad (A)	Entrada (mg/l)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)
0,5	56	33	41,07
2	52	52	9,16
4	40	31	22,5
6	8,2	7,3	10,98
8	16	13	18,75
9,5	28	26	7,14

Tabla 115: Resultados de las muestras de Diclorometano mediante la configuración de 1 fuente a diferentes intensidades de corriente eléctrica

DICLOROMETANO			
2 fuentes			
Intensidad (A)	Entrada (mg/l)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)
0,5	40	38	5,0
2	42	38	9,5
4	49	37	24,5
6	56	49	12,5
8	44	39	11,4
9,5	43	40	6,97

Tabla 116: Resultados de las muestras de Diclorometano mediante la configuración de 2 fuentes seguidas a diferentes intensidades de corriente eléctrica

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

DICLOROMETANO			
2 fuentes separadas			
Intensidad (A)	Entrada (mg/l)	Salida (mg/l)	Rendimiento (%)
0,5	42	34	19,0
2	41	38	7,3
4	40	38	5,0
6	43	41	4,65
8	41	40	2,4
9,5	57	53	7,0

Tabla 117: Resultados de las muestras de Diclorometano mediante la configuración de 2 fuentes separadas a diferentes intensidades de corriente eléctrica

Repetimos el mismo procedimiento desarrollado para el sulfuro de carbono y Tolueno para el Diclorometano con el objetivo de demostrar si la eficiencia encontrada es debido a la volatilización o tiene alguna eficiencia relacionada con el proceso.

PARÁMETRO	Volatilización
Diclorometano	15±10

Tabla 118: Resultados de las muestras del Diclorometano sin tratamiento mediante corriente eléctrica para verificar la volatilización e influencia externas al proceso

Con los resultados de los ensayos anteriores, concluimos que en intensidades bajas conseguimos eficiencia mayor que en los ensayos sin corriente eléctrica, o sea tenemos eficiencia debido al proceso.

Para confirmar la eficiencia de la oxidación directa del Tolueno se repite los ensayos para las intensidades que han presentado eficiencia (0,5, 4, 6).

DICLOROMETANO			
1 fuente			
Intensidad (A)	Entrada (mg/l)	Salida (mg/l)	Eficiencia (%)
0,5	28	21	25,00
4	41	34	17,07
6	41	33	19,51

Tabla 119: Resultados de las muestras de diclorometano mediante la configuración de 1 fuente, mediante las intensidades (0,5, 4 y 6).

DICLOROMETANO			
2 fuentes seguidas			
Intensidad (A)	Entrada (mg/l)	Salida (mg/l)	Eficiencia (%)
0,5	45	35	22,22
4	43	34	20,93
6	37	26	29,73

Tabla 120: Resultados de las muestras de diclorometano mediante la configuración de 2 fuentes seguidas, mediante las intensidades (0,5, 4 y 6).

DICLOROMETANO			
2 fuentes separadas			
Intensidad (A)	Entrada (mg/l)	Salida (mg/l)	Eficiencia (%)
0,5	42	38	9,52
4	48	41	14,58
6	43	37	13,95

Tabla 121: Resultados de las muestras de diclorometano mediante la configuración de 2 fuentes separadas, mediante las intensidades (0,5, 4 y 6).

Debido a la volatilización no se observa resultados uniformes, sin embargo al comparar los resultados del proceso mediante el suministro de energía eléctrica y los rendimientos alcanzados por la volatilización no se aprecia rendimientos mediante la electrooxidación del diclorometano.

9.6. Resultados en referencia al consumo de energía

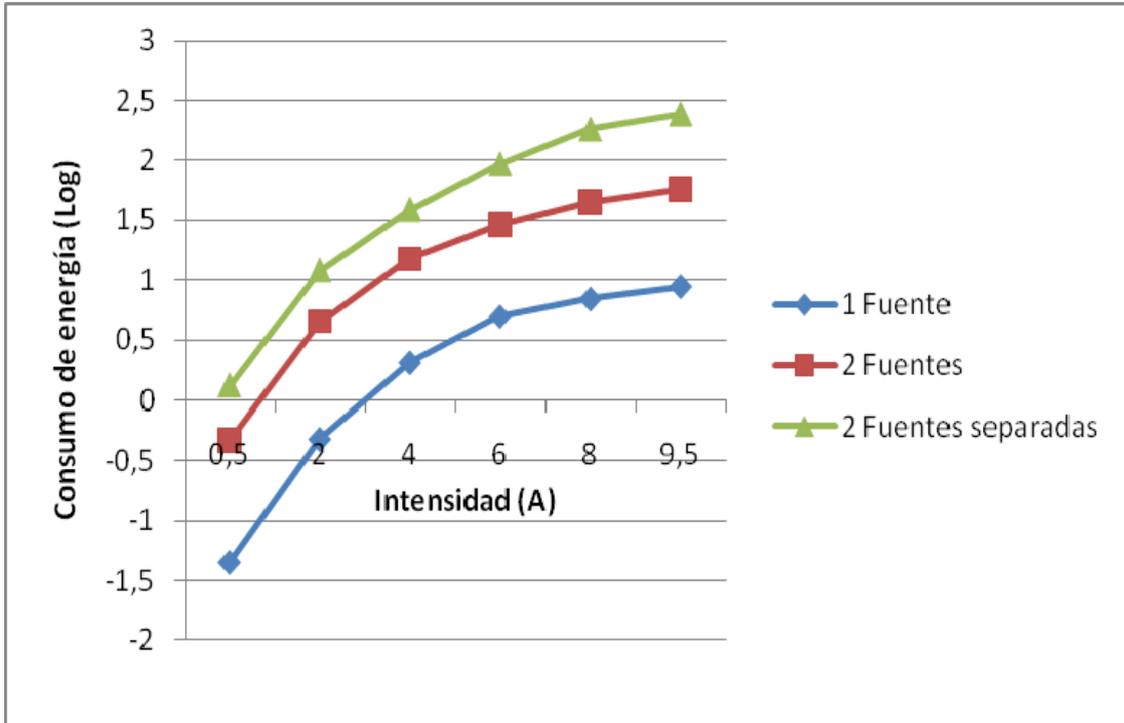


Figura 101: Relación entre la intensidad de corriente eléctrica aplicada y el consumo de energía.

En el gráfico logarítmico, anteriormente presentado, se muestra la tendencia en los datos de acuerdo con el tipo de configuración utilizado. En él se puede apreciar que la configuración de 2 fuentes separadas, a pesar de presentar un tiempo de retención de tratamiento dos veces mayor que en la configuración 2 fuentes seguidas el consumo de energía, no sigue esta tendencia esperada de consumo energético doblado. Esto se explica porque en la configuración de dos fuentes separadas se desarrollan reacciones electroquímicas entre los electrodos y las chapas de aluminio, necesitando de un aporte mayor de energía eléctrica.

Para todas las configuraciones estudiadas se obtuvo apreciables correlaciones entre la configuración adoptada con la energía consumida.

## 10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El tratamiento de olores es una tarea que cada vez cobra más importancia en las plantas de depuración de aguas residuales, por lo que la idea fundamental de la presente tesis es observar la eficiencia de la electrooxidación en la eliminación de compuestos olorosos producidos por el tratamiento de dichas aguas.

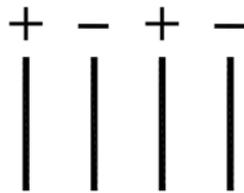
Esta técnica podría constituir importantes avances en el campo de la eliminación de olores en el agua, debido a su versatilidad, reducido tamaño y capacidad de automatización.

Gracias a este proceso, los tiempos de retención en el tratamiento se reducen considerablemente en comparación con los procesos convencionales.

Esto nos permite la posibilidad de tratar los olores de forma continuada, y así conseguir un tiempo de residencia inferior a los obtenidos en la actualidad.

Los parámetros claves que se han fijado para el estudio del proceso de electrocoagulación son:

- El diseño del reactor (figuras 102, 103 y 104)
- La naturaleza de los electrodos
- La intensidad de corriente eléctrica aplicada



*Figura 102: Configuración de electrodos mediante una fuente*

*Figura 103: Configuración de electrodos mediante dos fuentes seguidas*

*Figura 104: Configuración de electrodos mediante dos fuentes separadas*

## **Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales**

De acuerdo con los objetivos definitivos planteados en el capítulo 5 de la presente tesis, se establecen las siguientes conclusiones:

### **10.1. En referencia al objetivo definitivo 1: Investigar sobre la oxidación directa de los compuestos de azufre olorosos en aguas residuales**

A pesar del comportamiento variable del sulfuro de carbono, e independientemente de su alto grado de volatilización, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

1. Existe un rendimiento importante en la reducción del parámetro independiente de la volatilización.
2. Se ha determinado que el rendimiento óptimo se consigue mediante electrodos de aluminio separados entre sí 2,5 cm., utilizando la configuración de 1 fuente (figura 102), y aplicando intensidades muy bajas (0,5 amperios).

### **10.2. En referencia al objetivo definitivo 2: Investigar sobre la oxidación directa de los compuestos nitrogenados olorosos en aguas residuales**

En el objetivo 2 se han evaluado, en los experimentos, el grafito y el aluminio como electrodos. De esta manera las conclusiones en referencia a este definitivo se presentan según el electrodo utilizado.

- Con relación a la configuración de ánodo de aluminio y cátodo de aluminio

En la investigación se emplearon 3 configuraciones de reactor (figuras 102, 103 y 104) combinadas cada una con seis intensidades de corriente eléctrica (0,5, 2, 4, 6, 8 y 9,5).

1. Tras los resultados obtenidos en la investigación, presentados en las tablas 81, 82 y 83 permite concluir que la electrooxidación con ánodo y cátodo de aluminio no presenta rendimientos importantes en el tratamiento del amoníaco, tanto para concentraciones altas como bajas de amoníaco.

2. Se confirma que el proceso aplicado desarrolla una aceleración de la oxidación en el agua muestreada, al disminuir las concentraciones de nitrito y aumentar las concentraciones de nitrato, o sea la oxidación que se desarrolla debido al proceso oxida los nitritos a nitratos, pero esta aceleración no es suficiente para oxidar cantidades representativas de nitrógeno amoniacal.
3. Por último, puede concluirse que, según la investigación, hay rendimientos en la eliminación de nitrógeno total, debido a una reducción de nitrógeno orgánico, porque la materia celular que contienen las proteínas se ve precipitada por el efecto de la electrocoagulación (solubilización en el ánodo de aluminio).

- Con relación a la configuración de ánodo de grafito y cátodo de aluminio

Se realizaron experimentos mediante las configuraciones de 1 fuente (figura 102) y 2 fuentes seguidas (figura 103) combinadas cada una con seis intensidades de corriente eléctrica (0,5, 2, 4, 6, 8 y 9,5).

Según los resultados de la investigación, se pueden extraerse las siguientes conclusiones:

1. El rendimiento óptimo se alcanza utilizando la configuración 2 fuentes seguidas (figura 103) con electrodos separados entre sí 2,5 cm., y aplicando 4 amperios de corriente eléctrica, obteniendo rendimientos medios del 34% y consumiendo 15 w/h (figura 91). El tiempo de retención conseguido por la configuración adoptada fue de 5,64 minutos.
2. Los datos obtenidos en la investigación muestran que los rendimientos encontrados debido al proceso son inversamente proporcionales a las concentraciones de amoniaco en la entrada del tratamiento (figuras 97, 98, 99 y 100). Pueden utilizarse las siguientes ecuaciones para tener una idea de la concentración en la salida del proceso en función de la concentración de entrada:
  - Para la configuración de 1 fuente mediante 4 amperios:
$$y = 0,899x - 0,5127 \quad (R^2 = 0,9995)$$
  - Para la configuración de 1 fuente mediante 6 amperios:

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

$$y = 0,9635x - 0,4688 (R^2 = 0,9999)$$

- Para la configuración de 2 fuentes seguidas mediante 4 amperios:

$$y = 0,7715x - 1,2125 (R^2 = 0,9943)$$

- Para la configuración de 2 fuentes seguidas mediante 6 amperios:

$$y = 0,8429x - 0,4163 (R^2 = 0,9997)$$

3. Con los resultados obtenidos en la presente tesis se puede concluir que la electrooxidación mediante ánodo de grafito es una técnica eficiente para un afino de depuradoras en relación a la eliminación del amoniac y que presenta rendimientos apreciables para el tratamiento de amoniac en la cabecera de depuradoras.
4. Con los resultados presentados en las figuras 94 y 96 se confirmar que la mayor parte del amonio eliminado por electrooxidación mediante ánodo de grafito se va a nitrógeno gas, por lo tanto puede concluirse que se desarrolla un proceso de oxidación y reducción, no obstante, también se ha observado que parte del nitrógeno amoniacal se queda como nitratos. En el tratamiento mediante 4 amperios la tendencia a la oxidación reducción es mayor que en el proceso mediante 6 amperios.
5. Se ha podido comprobar, que durante el desarrollo de los ensayos mediante ánodo de grafito no se produce precipitado (fangos).
6. Desde el punto de vista económico podemos decir que la electrooxidación mediante ánodo de grafito es eficiente por presentar los mayores rendimientos para un aporte de energía bajo. La configuración de 2 fuentes obtiene mayores rendimientos que la configuración de 1 fuente para una misma intensidad aplicada, sin embargo, se deberá tener en cuenta que requiere también un mayor consumo eléctrico, por lo que se tendrá que evaluar cual es la configuración más adecuada en cada caso.

### **10.3. En referencia al objetivo definitivo 3: Investigar sobre la oxidación directa de ácidos olorosos en aguas residuales**

1. Para este parámetro se emplearon 3 configuraciones de reactor (figuras 102, 103 y 104) combinadas cada una con seis intensidades de corriente eléctrica (0,5, 2, 4, 6, 8 y 9,5). Tras el desarrollo de los ensayos se ha observado que el ácido acético no se ve afectado de manera apreciable con ninguno de los procesos, en ninguna de las 3 configuraciones de reactor empleadas, ni con las diferentes intensidades aplicadas. Sin embargo, mediante el ánodo de grafito encontramos resultados más significativos que al utilizar ánodo de aluminio, pero en definitiva resultados no buenos.

### **10.4. En referencia al objetivo definitivo 4: Investigar sobre la oxidación directa de bencenos olorosos en aguas residuales**

Aunque el tolueno es un compuesto muy volátil, tras realizar la electrooxidación con ánodo y cátodo de aluminio se concluye que:

1. Existe un ligero rendimiento en el tratamiento para su disminución
2. Con la configuración de 1 fuente, de tiempo de retención 1,81 minutos, e intensidades de 0,5 amperios y 6 amperios, se obtienen los mejores rendimientos.

### **10.5. En referencia al objetivo definitivo 5: Investigar sobre la oxidación directa de compuestos clorados olorosos en aguas residuales**

La investigación se realizó para 3 configuraciones de reactor combinadas cada una con seis intensidades de corriente eléctrica (0,5, 2, 4, 6, 8 y 9,5).

Según los resultados de la investigación obtenidos en relación al diclorometano se concluye que:

1. Los rendimientos alcanzados para estos compuestos son apreciados debido a la volatilización
2. La reducción del compuesto no se debe al proceso

### **10.6. En referencia al consumo de energía**

Tras todas las investigaciones realizadas, se concluye que el consumo de energía

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

eléctrica está íntimamente relacionado con la configuración que se adopte en el proceso.

- Con relación a la configuración de ánodo de aluminio y cátodo de aluminio

Se ha determinado que la configuración de 1 fuente es la solución energética más óptima, dado que:

1. La configuración de 2 fuentes separadas desarrolla reacciones electroquímicas entre los electrodos y las chapas de aluminio, necesitando así un aporte mayor de energía eléctrica.
  2. La configuración de 1 fuente, además de haber presentado los mejores rendimientos para el sulfuro de carbono y el tolueno, requieren un suministro de energía inferior y menores tiempo de retención.
- Con relación a la configuración de ánodo de grafito y cátodo de aluminio
    1. Esta configuración presenta mayores rendimientos para aportes de energía bajos.
    2. La configuración de 2 fuentes obtiene mayores rendimientos que la configuración de 1 fuente para una misma intensidad aplicada.
    3. Sin embargo, se deberá tener en cuenta que requiere también un mayor consumo eléctrico, por lo que se tendrá que evaluar cual es la configuración más adecuada en cada caso.

## 11. INVESTIGACIONES FUTURAS

Durante la investigación de la presente tesis, se analizaron los rendimientos obtenidos en la reducción de compuestos olorosos presentes en aguas residuales mediante la electrocoagulación. Además, esta tesis ha servido para marcar el inicio a una serie de investigaciones que continuará ampliando el autor durante su carrera académica encaminadas a la resolución de los problemas tratados.

A continuación se expone una serie de puntos a tener en cuenta para dar continuidad a esta tesis y a la hora de realizar futuras investigaciones en relación a este tema:

1. Los problemas a la hora de realizar los ensayos debidos a la volatilización de algunos de los parámetros analizados me llevan a no aconsejar el desarrollo de investigaciones que lleven a cabo una técnica de tratamiento de aguas residuales para eliminación de compuestos volátiles.
2. En el caso del amoniaco se encontraron relaciones entre la eliminación de amoniaco y la eliminación de nitrógeno total y el efecto que tiene la concentración de entrada sobre esta relación. En este orden de ideas propongo llevar a cabo una investigación que extienda el ámbito de la presente a desarrollarse en la cabecera de una planta depuradora de agua residual, analizando la viabilidad del proceso como técnica de eliminación de nutrientes sustituyendo los sistemas biológicos tradicionales y realizando un estudio económico comparativo de los sistemas.
3. También se considera interesante analizar los posibles coadyuvantes a añadir en el proceso, la utilización de otros tiempos de retención y otros tipos de electrodos, como titanio, dióxido de plomo ( $PbO_2$ ) y platino, para mejorar el rendimiento del proceso.
4. Para alcanzar un mejor rendimiento en la eliminación de ácido acético, donde no se alcanzaron resultados buenos en esta investigación, se puede continuar el estudio adicionando oxidante para mejorar el proceso de oxidación.

## **Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales**

5. También se considera que se deberían incluir en los ensayos otros compuestos olorosos (no volátiles y solubles en agua) que no fueron contemplados en la investigación y que se podrían desarrollar trabajos similares al realizado en esta tesis.



## **ANEXOS**

## ANEXO I: BIBLIOGRAFÍA

- [1] Alves, H.B., Mochida, G.A., Gomes, G. J., Duma, M. y Gomes, C.S. (2004). Precipitação química e cloração para combate a maus odores em estações de tratamento de esgoto anaeróbias. Sanare. Revista Técnica da Sanepar, Curitiba, v.21, n.21, p. 19-32, jan./jun..
- [2] Ansari, A., Bagreev, A. y Bandosz, T.J. (2005). Effect of adsorbent composition on H<sub>2</sub>S removal on sewage sludge-based materials enriched with carbonaceous phase. Carbon v. 43, p. 1039-1048
- [3] APHA - American Public Health Association. (1999). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th ed. Washington D.C.
- [4] Arispe, S., Heor, Y., McConnell, L. y Kim, H. (2007). The Oxidation of Odorants from Wastewater Sludge Using Four Different Oxidants. Korean Journal of Odor Research and Engineering v. 6, n.1, p. 28-32
- [5] Ateya, B.G., Al-kharafi, F.M., Abdallah, R.M. y Al-azab, A.S. (2005). Electrochemical removal of hydrogen sulfide from polluted brines using porous flow through electrodes. Journal of Applied Electrochemistry v. 35, p. 297–303
- [6] Bagreev, A. y Bandosz, T.J. (2001) H<sub>2</sub>S Adsorption/oxidation on materials obtained using sulfuric acid activation of sewage sludge-derived fertilizer. Journal of colloid and interface science v. 252 n. 1, p. 188-194
- [7] Bagreev, A., Locke, D.C. y Bandosz, T.J. (2001). H<sub>2</sub>S Adsorption/Oxidation on Absorbents Obtained from Pyrolysis of Sewage-Sludge – Derived Fertilizer using zinc chloride activation. Industrial Engineering and Chemical Research v. 40 p. 3502-3510.
- [8] Belli Filho, P., Lisboa, H. M. (1998). Avaliação de Emissões odorantes. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 3 n. 3, p. 101-106

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

- [9] Cadena, F. y Peters, R.W. (1998). Evaluation of chemical oxidizers for hydrogen sulfide control. *Jornal WPCF*, v. 60.
- [10] California South Coast Air Quality Management District (1993). *California Environmental Quality Act (CEQA) Air Quality Handbook*; Diamond Bar, California.
- [11] Canela, M.C., Alberici, R.M. y Jardim, W.F. (1998). Gas-phase destruction of H<sub>2</sub>S using TiO<sub>2</sub>/UV-VIS. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* v. 1, n. 12, p. 73-80
- [12] Chair, T. M. (2004). *Control of Odors and Emissions from Wastewater Treatment Plants*. Water Environment Federation. Alexandria USA
- [13] Chen Y., Jun Yin, Kai-Xiong Wang y Shi Fang. (2004). Effects of Periods of Nonuse and Fluctuating Ammonia Concentration on Biofilter Performance. *Journal of environmental science and health* v. A39, n. 9, p. 2447–2463.
- [14] Chen, G. (2004). Electrochemical technologies in wastewater treatment. *Separation and Purification Technology*, v. 38, p. 11-41.
- [15] Cheng, X., Wodarczyk, M., Lendzinski, R., Peterkin, E. y Burlingame, G.A. (2009). Control of DMSO in wastewater to prevent DMS nuisance Odors. *water research* v. 43, p. 2989 – 2998.
- [16] Cheremisinoff N.P. (1999). *Handbook of Hazardous Chemical Properties*. Elsevier Butterworth- Heinemann. 1 p. Cherry RS, Thompson DN
- [17] Clarck, J.H. y Van Durme, G.P. (1998). *East Side Interceptor Chemical Injection Facility Feasibility Study*. Unpublished report for King County Department of Natural Resources. Seattle Washigton, D.C.

- [18] Cojocariu, A. M., Mutin, P. H., Dumitriu, E., Vioux, A., Fajula, F. y Hulea, V. (2009). Removal of dimethylsulfoxide from wastewater using mild oxidation with H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> over Ti-based catalysts. *Chemosphere* v. 77, p. 1065–1068.
- [19] Converse, B.M., Schroeder, E.D., Iranpour, R., Cox, H.H.J. y Deshusses, M.A. (2003). Odor and Volatile Organic Compound Removal from Wastewater Treatment Plant Headworks Ventilation Air Using a Biofilter. *Water Environmental Research*, v. 75, n. 5.
- [20] Copley International Corporation (2007). A study of the social and economic impacts of odors. Phase III, final report. Prepared for U.S. Environmental Protection Agency: La Jolla, California
- [21] Cortacanz, J. A. (2004). Fangos Activos. Colegio de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos. Madrid.
- [22] Costaz P; Miquel J y Reinbold M. (1983). Simultaneous electroflotation and disinfection of sewage. *Water research*. v. 17, n. 3, p. 255-262.
- [23] Dalaine, V., Cormier, J. M., Pellerin, S. y Lefauchaux, P. (1998). H<sub>2</sub>S destruction in 50 Hz and 25 KHz gliding arc reactors. *Jornal of Applied Physics*, V. 84, n. 3.
- [24] Devai, I. y Delaune D. (2002). Effectiveness of selected chemical for controlling emission of malodorous sulfur gases in sewage sludge. *Environmental Technology*, v. 23, p. 319-329.
- [25] Duana H., Koea L. C.C., Yanb R. y Chenb X. (2006). Biological treatment of H<sub>2</sub>S using pellet activated carbon as a carrier of microorganisms in a biofilter. *Water Research* v. 40, p. 2629-2636.

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

- [26] Easter C., Quigley C., Burrowesa P., Witherspoon J. y Apgar D. (2005). Odor and air emissions control using biotechnology for both collection and wastewater treatment systems. *Chemical Engineering Journal* v. 113, p. 93-104.
- [27] EPA. CURE electrocoagulation technology. Ohio. (1998). General Environmental Corporation.
- [28] EPA (2003). Toxicological review of Hydrogen sulfide
- [29] EPA - United States Environmental Protection Agency (1996). Volatile organic compounds by gas chromatography/ mass spectrometry
- [30] EPA - United States Environmental Protection Agency (1996). Semivolatile organic compounds by gas chromatography/mass spectrometry
- [31] European Standard BS EM 13725:2003 (2003). Air Quality- Determination of odour concentration by dynamic olfactometry; BSI: London, United Kingdom
- [32] Freuze, I., Brosillon, S., Arlot, J., Laplanche, A., Tozza, D. y Cavard, J. (2006). Impact of UV-irradiation on the formation of odorous chloroaldimines in drinking water. *Chemosphere* v.63, p. 1660-1666.
- [33] Furberg, M., Preston, K. (2005). Final Report Odour Management in British Columbia: Review and Recommendations Consulting Engineers & Scientists, British Columbia
- [34] Generalitat de Catalunya, Departamento de Medio Ambiente y Vivienda. Dirección Generak de Calidad Ambiental. Borrador Del anteproyecto de ley contra La contaminación odorífera. Dinponible en:  
[http://mediambient.gencat.cat/Images/esp/103\\_63929.pdf](http://mediambient.gencat.cat/Images/esp/103_63929.pdf)

- [35] Gorodobykh V E; Obratsov S V; Kaplin A A; Khakhanina T I; Klyueva T B y Mordvinova N M. (1988). Removal of various heavy metals from water by electrocoagulation using asymmetrical alternating current. Soviet journal of water chemistry and technology. v. 10 n. 2, p. 81-84.
- [36] Gutiérrez, M. C. y Droguet, M. (2002). La cromatografía de gases y la espectrometría de masas: identificación de compuestos causantes de mal olor. Boletín intexter. Universidad Politécnica de Cataluña, n. 122
- [37] Gutierrez, O., Mohanakrishnana, J., Sharmaa, K.R., Meyerb, R. L., Kellera, J. y Yuana, Z. (2008). Evaluation of oxygen injection as a means of controlling sulfide production in a sewer system. Water research v. 42, p. 4549-4561,
- [38] Hernández, A. (2001). Depuración y Desinfección de Aguas Residuales. Colegio de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos. Madrid
- [39] Ho, K., Chung, Y., Lin, Y. y Tseng, C. (2008). Biofiltration of trimethylamine, dimethylamine, and methylamine by immobilized *Paracoccus* sp. CP2 and *Arthrobacter* sp. CP1. Chemosphere v. 72 p. 250–256
- [40] Hollowell, M. (1994). Bioxide proves to be solution to odor and Corrosion problem in teh New Hope, PA, Collection System. New Jersey Effluents, Winter
- [41] Huerga, E.P., (2005). Desarrollo de alternativas de tratamiento de aguas residuales industriales mediante El uso de tecnologías limpias dirigidas al reciclaje y/o valoración de contaminantes. Tesis doctoral. Universitat de Valencia
- [42] International Water Association (2001). Odours in Wastewater Treatment: Measuring, Modeling and Control. IWA Publishing, London

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

- [43] Jang, J. H., Hirai, M. y Shoda, M. (2006). Enhancement of Styrene Removal Efficiency in Biofilter by Mixed Cultures of *Pseudomonas* sp. SR-5. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, v. 102, n. 1, p. 53–59.
- [44] Jefferson, B., Nazareno, C., Georgaki, S., Gostelow, P., Stuetz R. M., Longhurst, P., Robinson T. (2005). Membrane Gas Absorbers for H<sub>2</sub>S Removal - Design, Operation and Technology Integration into Existing Odour Treatment Strategies. *Environmental Technology*, v. 26, n. 7, p. 793-804.
- [45] Jeon, E., Hyun-Keun Son, H. y Sa, J. (2009). Emission Characteristics and Factors of Selected Odorous Compounds at a Wastewater Treatment Plant. *Sensors*, v. 9, p. 311-326; doi:10.3390/s90100311
- [46] Jiang, X., Yan, R. y Tay, J.H. (2008). Reusing H<sub>2</sub>S-exhausted carbon as packing material for odor biofiltration. *Chemosphere*, v. 73, p. 698-704.
- [47] Jianwei, L., LIU Junxin, L. y Lin, L. (2008). Performance of two biofilters with neutral and low pH treating off gases. *Journal of Environmental Sciences*, v. 20, p. 1409–1414.
- [48] Kharlamova T A y Gorokhova L T. (1982). The use of electrocoagulation for the purification of phenol containing effluents. *Soviet journal of water chemistry and technology*, v. 4, n. 2, p. 81-84.
- [49] Krach, K. R., Li, B., Burns, B. R., Mangus, J., Butler, H. G. y Cole, C. (2008). Bench and full-scale studies for odor control from lime stabilized biosolids: The effect of mixing on odor generation *Bioresource Technology* v. 99, p. 6446-6455.
- [50] Krüger, R. L., Dallago, R.M. y Luccio, M.D. (2009). Degradation of dimethyl disulfide using homogeneous Fenton's reaction. *Journal of Hazardous Materials* v. 169, p. 443-447.

- [51] Ksibi, M. (2006). Chemical oxidation with hydrogen peroxide for domestic wastewater treatment. *Chemical Engineering Journal* v. 119, p. 161-165.
- [52] Li, X., Brown, D.G. y Zhang, W. (2007). Stabilization of biosolids with nanoscale zero-valent iron (nZVI). *Journal of Nanoparticle Research* v. 9, p. 233-243.
- [53] Lock, E. H., Saveliev, A. V. y Kennedy, L. A. (2006). Methanol and Dimethyl Sulfide Removal by Pulsed Corona Part I: Experiment. *Plasma Chem Plasma Process* v. 26, p. 527-542.
- [54] Lu, G.Q.M. y Lau, D.D. (1996). Characteristics of sewage sludge – derived absorbents for H<sub>2</sub>S removal. Part 2: surface and por structural evolution in chemical activation *Gas separation Purification Technology* v. 38, p. 191-196.
- [55] Maata R y Tabakov D. (1987). Possibilities for purification of effluents from pesticide production using magnetic treatment and electrocoagulation. *Aqua fennica*. v. 17 n. 2, p. 239-244.
- [56] Mahin, T.D. (2001). Comparison of different approaches used to regulate odours around the world. *Water Science and Technology*, v. 44, p. 87-102.
- [57] Matis K A y Backhurst J R. (1984). Laboratory studies of electrolytic flotation as a separation technique, *Solid-Liquid separation*. London. J. Gregory, Ed., Ellis Horwood
- [58] Matsumoto, T., Rossi, C.H. y Alencar, R.M. (2004). Biofiltro aerado submerso utilizado para redução de odores de efluentes de tratamento anaeróbio de curtume In: XXIX Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2004, San Juan - Porto Rico. *Anais do XXIX Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, v. Único. p. 1-6

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

- [59] Meinck, F., Strooff, H. y Kohlschutter, H. (1997). Les eaux résiduaires industrielles. 2<sup>o</sup> edición Mason
- [60] Melián, J.A. H., Méndez, A. O., Araña, J., Díaz, O. G. y Rendón, E. T. (2008). Degradation and detoxification of formalin wastewater with aerated biological filters and wetland reactors Process. Biochemistry, v. 43, p. 1432–1435.
- [61] Merabet, S., Bouzazab, A. y Wolbert, D. (2009). Photocatalytic degradation of indole in a circulating upflow reactor by UV/TiO<sub>2</sub> process—Influence of some operating parameters. Journal of Hazardous Materials, v.166, p. 1244–1249
- [62] Moussavi, G., Naddafi, K., Mesdaghinia, A. y Deshusses, M.A. (2007). The removal of h<sub>2</sub>s from process air by diffusion into activated sludge. Environmental technology, v. 28, p. 987-993.
- [63] Muruganathan, M., Bhaskar G. R. y Prabhakar, S. (2004). Removal of sulfide, sulfate and sulfite ions by electro coagulation. Journal of Hazardous Materials p. 37-44.
- [64] New Jersey Revised Air Pollution Complaint Investigation guidelines Public Notice- Jan 2 (1996).
- [65] Nicell, J. A. (2009). Assessment and regulation of odour impacts. Atmospheric Environment, v. 43, p. 196-206
- [66] Novikova S P; Shkorbatova T L y Sokol E Y. (1982). Purification of effluents from the production of synthetic detergents by electrocoagulation. Soviet Journal of water chemistry and technology. v. 4 n. 4, p. 82-87.
- [67] Ogutveren U B y Koparal S. (1997). Electrocoagulation for oil-water emulsion treatment. Journal of environmental science and health. Part A: Environmental science and engineering.v. A32 (9 & 10), p. 2507-2520.

- [68] Ogutveren U B; Gonen N y Koparal S. (1992). Removal of dye stuffs from waste water: electrocoagulation of acilan blau using soluble anode. Journal of environmental science and health. Part A: Environmental science and engineering. v. A27, p. 1237-1247.
- [69] Pouet M F y Grasmick A. (1995). Urban wastewater treatment by electrocoagulation and flotation. Water science and technology, v. 31, p. 275-283,
- [70] Pozhidaeva E Y; Sinitsyna L; Akul'shina V D y Reznikova S S. (1989). Thorough purification of electroplating plant effluent by electrocoagulation. Soviet Journal of water chemistry and technology. v. 11 n. 7, p. 659-661.
- [71] Prado, Ó.J., Redondo, R.M., Lafuente, J. y Gabriel, D. (2009). Retrofitting of an Industrial Chemical Scrubber into a Biotrickling Filter: Performance at a Gas Contact Time below 1 s. Journal of Environmental Engineering n. 359.
- [72] Rappert, S. y Müller, R. (2005). Microbial degradation of selected odorous substances. Waste Management v. 25, p. 940-954.
- [73] Qiaoa, L. y Wang, J. (2010). Microbial degradation of pyridine by Paracoccus sp. isolated from contaminated soil. Journal of Hazardous Materials, v. 176, p. 220-225.
- [74] Sánchez, B. C., García, P. A., Carrera, A. A. D., Cervantes, M. L. R., Rodríguez, R. P., Franco, R. D., Carneiro, J. C., Suarez, S.G., Gonzáles, M.A.B., Rasmussen, S.B., Gómez-Jareno, N. A., Ruiz, J. M., Martín, M. Y. C., Aranda, R.M.M., Peinado, A. J. L., Gazotti, M.C.C., Stumbo, A.M., Anderson M. A., Tejedor, I., y Llambías, F.J.G. (2008). Desarrollo de un nuevo sistema de eliminación de compuestos tóxicos y corrosivos en aire generados em depuradoras de aguas residuales. Comunicación técnica in: 9º CONAMA Congreso Nacional Del Medio Ambiente Cubre del Desarrollo Sostenible.

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

[75] Sanfan W. (1991). Studies on economic property of pretreatment process of brackish water using electrocoagulation (EC) method. *Desalination*. v. 82 (1 & 3), p. 365-373.

[76] Sans, A.R. (2006). Eliminación de compuestos causantes de olores mediante adsorbentes/catalizadores obtenidos a partir de lodos de depuradora. Tesis Doctoral. Universitat de Girona.

[77] Sattler, M. L. y Rosenberk, R. S. (2006). Removal of Carbonyl Sulfide Using Activated Carbon Adsorption. *Journal Air & Waste Manage*, v. 56 p. 219-224.

[78] Serdobol'skii E N; Anisimova M I y Babkin V A. (1976). Study of the influence of electrocoagulation conditions on the efficiency of pulp and paper mill effluent purification. *Khimiya Drevesiny (Riga)*. n. 6, p. 76-80.

[79] SRF Consulting Group, Inc. (2004). A Review of national and international odor policy, odor measurement technology and public administration SRF N°. 0034734. Minneapolis.

[80] Szyrkarczuk J, Kan J, Hassan T A T y Donini J C. (1994). Electrochemical coagulation of Clay suspensions. *Clays & clay minerals*. V. 42, n. 6, p. 667-673.

[81] Szpyrkowicz, L., Naumczyk J. y Zilio-Grandi, F. (1995). Electrochemical treatment of tannery wastewater using Ti/Pt and Ti/Pt/Ir electrodes. *Water. Research*. v. 29, n. 2, p, 517-524.

[82] Szpyrkowicz, L., Naumczyk J. y Zilio-Grandi, F. (1994). Application of electrochemical processes for tannery wastewater treatment *Toxicological and Environmental Chemistry* v. 44, n. 2, p, 189-202.

- [83] Tsai C T; Lin S T; Shue Y C y Su P L. (1997). Electrolysis of soluble organic matter in leachate from landfills. *Water research*, v. 31 n. 12, p. 3073-3081
- [84] Vicente, A. y Hobson, J. (1998). Odour control. *CIWEN Monographs on Best Practice n. 2*, Terence Dalton, London.
- [85] Water Environment Federation (1979). Odor control for wastewater facilities. *Water Environment Federation*, Alexandria, Virginia.
- [86] Witherspoon, J.R. y Barnes, J.L. Comparison of Methods Used to Measure Odour at Wastewater Treatment Plant Fencelines. *CH2M HILL, Inc.* Bellevue, WA, USA.
- [87] Yan, R., Tee Liang, D., Tsen, L. y Hwa Tay, J. (2002). Kinetics and mechanism of H<sub>2</sub>S adsorption by alkaline activated carbon. *Environmental Science & Technology* v. 36, p. 4460-4466.
- [88] Yun, S. y Ohta, Y. (2005). Removal of volatile fatty acids with immobilized *Rhodococcus* sp. B261. *Bioresource Technology* v. 96, p. 41-46.

Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

**ANEXO II: CUADERNO DE BITÁCORA**

DICLOROMETANO											
1 Fuente (ánodo y cátodo de aluminio)											
Día	Int. (A)	pH entrada	Temp. (°C)	Conductividad (μS/cm)	Oxigenio dis. (mg/l)	pH salida	T. de retención (minutos)	Tensión (V)	Potencia (W)	C. de energía (W/h)	Observaciones
9/8/2010	0,5	6,84	24	773	5,27	7	1,81	3	5,43	0,16	Precipitación de 0,7 mm
9/8/2010	2	6,85	25	750	5,11	7,1	1,81	8	14,48	0,43	Precipitación de 0,7 mm
11/8/2010	4	6,95	25,6	771	5,95	7,2	1,81	17	30,77	0,92	
5/8/2010	6	6,67	23	790	5,63	6,69	1,81	27,5	49,775	1,50	
5/8/2010	8	6,59	26	767	5,76	6,76	1,81	29	52,49	1,58	
11/8/2010	9,5	6,9	28	806	6,06	7	1,81	31	56,11	1,69	

DICLOROMETANO											
2 Fuentes seguidas (ánodo y cátodo de aluminio)											
Día	Int. (A)	pH entrada	Temp. (°C)	Conductividad (μS/cm)	Oxigenio dis. (mg/l)	pH salida	T. de retención (minutos)	Tensión (V)	Potencia (W)	C. de energía (W/h)	Observaciones
16/8/2010	0,5	6,9	19	690	5	7,3	5,64	5	28,2	2,6508	
16/8/2010	2	6,95	24	685	4,92	7,35	5,64	12	67,68	6,36192	
17/8/2010	4	7,03	23	803	6,03	7,13	5,64	20	112,8	10,6032	Precipitación de 12,5 mm
17/8/2010	6	6,87	26	747	5,67	6,96	5,64	26	146,64	13,78416	Precipitación de 12,5 mm
18/8/2010	8	7,04	26,7	850	6,13	6,76	5,64	30	169,2	15,9048	
19/8/2010	9,5	6,9	19,8	806	6,06	7	5,64	32	180,48	16,96512	

DICLOROMETANO											
2 Fuentes separadas (ánodo y cátodo de aluminio)											
Día	Int. (A)	pH entrada	Temp. (°C)	Conductividad (μS/cm)	Oxígeno dis. (mg/l)	pH salida	T. de retención (minutos)	Tensión (V)	Potencia (W)	C. de energía (W/h)	Observaciones
23/8/2010	0,5	7,28	22	817	6,11	7,42	11,28	7	78,96	14,84	
23/8/2010	2	7,2	27	789	5,5	7,29	11,28	16	180,48	33,93	
25/8/2010	4	6,78	21,4	756	4,8	6,9	11,28	25,8	291,024	54,71	
25/8/2010	6	6,5	25,6	760	4,44	6,8	11,28	41,5	468,12	88,00	
26/8/2010	8	6,62	24,1	750	5,96	6,87	11,28	60,66	684,2448	128,63	
31/8/2010	9,5	6,73	21	735	5,62	7,23	11,28	68,5	772,68	145,26	

DICLOROMETANO											
1 Fuente (ánodo y cátodo de aluminio)											
Día	Int. (A)	pH entrada	Temp. (°C)	Conductividad (μS/cm)	Oxígeno dis. (mg/l)	pH salida	T. de retención (minutos)	Tensión (V)	Potencia (W)	C. de energía (W/h)	Observaciones
29/10/2010	0	6,54	19	701	5,56	6,55					
1/11/2010	0,5	6,35	14,8	608	3,62	7,01	1,81	3	5,43	0,164	
2/11/2010	4	6,39	17	642	3,64	6,89	1,81	17	30,77	0,928	Vertido negro
3/11/2010	6	6,32	19,3	641	2,85	6,58	1,81	27,5	49,775	1,502	

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

DICLOROMETANO											
2 Fuentes seguidas (ánodo y cátodo de aluminio)											
Día	Int. (A)	pH entrada	Temp. (°C)	Conductividad (μS/cm)	Oxigenio dis. (mg/l)	pH salida	T. de retención (minutos)	Tensión (V)	Potencia (W)	C. de energía (W/h)	Observaciones
9/11/2010	0,5	6,84	17,3	697	4,59	6,9	5,64	5	28,2	2,6508	
10/11/2010	4	6,7	18,2	710	3,32	6,86	5,64	20	112,8	10,6032	
11/11/2010	6	6,67	18,8	711	3,98	6,91	5,64	26	146,64	13,78416	

DICLOROMETANO											
2 Fuentes separadas (ánodo y cátodo de aluminio)											
Día	Int. (A)	pH entrada	Temp. (°C)	Conductividad (μS/cm)	Oxigenio dis. (mg/l)	pH salida	T. de retención (minutos)	Tensión (V)	Potencia (W)	C. de energía (W/h)	Observaciones
17/11/2010	0,5	6,62	11	742	7,77	7,08	11,28	7	78,96	14,84448	
18/11/2010	4	6,71	18,1	748	3,39	7,17	11,28	25,8	291,024	54,712512	
19/11/2010	6	6,63	18,1	736	2,33	7,24	11,28	41,5	468,12	88,00656	

SULFURO DE CARBONO											
1 Fuente (ánodo y cátodo de aluminio)											
Día	Int. (A)	pH entrada	Temp. (°C)	Conductividad (μS/cm)	Oxigenio dis. (mg/l)	pH salida	T. de retención (minutos)	Tensión (V)	Potencia (W)	C. de energía (W/h)	Observaciones
9/8/2010	0,5	6,92	24,2	770	4,89	7,11	1,81	3	5,43	0,16	Precipitación de 0,7 mm
9/8/2010	2	6,56	25,1	758	5,6	6,87	1,81	8	14,48	0,43	Precipitación de 0,7 mm
11/8/2010	4	6,83	26	770	5,67	6,98	1,81	17	30,77	0,928	
5/8/2010	6	7,2	23,1	798	4,89	7,28	1,81	27,5	49,775	1,50	
5/8/2010	8	6,6	26,3	760	5,52	6,87	1,81	29	52,49	1,58	
11/8/2010	9,5	6,5	28,2	803	5,78	6,73	1,81	31	56,11	1,69	

SULFURO DE CARBONO											
2 Fuentes seguidas (ánodo y cátodo de aluminio)											
Día	Int. (A)	pH entrada	Temp. (°C)	Conductividad (μS/cm)	Oxigenio dis. (mg/l)	pH salida	T. de retención (minutos)	Tensión (V)	Potencia (W)	C. de energia (W/h)	Observaciones
16/8/2010	0,5	6,9	19,3	701	5	6,98	5,64	5	28,2	2,6508	
16/8/2010	2	6,88	24	680	4,01	7,05	5,64	12	67,68	6,36192	
17/8/2010	4	6,74	23,1	830	6,01	7,1	5,64	20	112,8	10,6032	Precipitación de 12,5 mm
17/8/2010	6	7,15	25,8	740	3,89	6,98	5,64	26	146,64	13,78416	Precipitación de 12,5 mm
18/8/2010	8	6,46	26,7	857	4,15	6,57	5,64	30	169,2	15,9048	
19/8/2010	9,5	6,55	20	801	5,34	6,86	5,64	32	180,48	16,96512	

SULFURO DE CARBONO											
2 Fuentes separadas (ánodo y cátodo de aluminio)											
Día	Int. (A)	pH entrada	Temp. (°C)	Conductividad (μS/cm)	Oxigenio dis. (mg/l)	pH salida	T. de retención (minutos)	Tensión (V)	Potencia (W)	C. de energia (W/h)	Observaciones
23/8/2010	0,5	6,78	22,1	813	4,9	7,19	11,28	7	78,96	14,84448	
23/8/2010	2	6,46	26,3	753	5,6	6,76	11,28	16	180,48	33,93024	
25/8/2010	4	6,82	22	760	3,89	7,2	11,28	25,8	291,024	54,712512	
25/8/2010	6	6,46	26	789	4,67	6,6	11,28	41,5	468,12	88,00656	
26/8/2010	8	6,71	23	689	5,42	6,87	11,28	60,66	684,2448	128,6380224	
31/8/2010	9,5	7,04	21,3	707	5,3	7,27	11,28	68,5	772,68	145,26384	

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

SULFURO DE CARBONO											
1 Fuente (ánodo y cátodo de aluminio)											
Día	Int. (A)	pH entrada	Temp. (°C)	Conductividad (µS/cm)	Oxígeno dis. (mg/l)	pH salida	T. de retención (minutos)	Tensión (V)	Potencia (W)	C. de energia (W/h)	Observaciones
29/10/2010	0	6,6	19,3	702	4,38	6,7					
1/11/2010	0,5	6,67	15	619	3,62	6,9	1,81	3	5,43	0,164	
2/11/2010	4	6,79	17,1	619	2,94	6,12	1,81	17	30,77	0,928	
3/11/2010	6	6,21	20	641	3,12	6,37	1,81	27,5	49,775	1,502	

SULFURO DE CARBONO											
2 Fuentes seguidas (ánodo y cátodo de aluminio)											
Día	Int. (A)	pH entrada	Temp. (°C)	Conductividad (µS/cm)	Oxígeno dis. (mg/l)	pH salida	T. de retención (minutos)	Tensión (V)	Potencia (W)	C. de energia (W/h)	Observaciones
9/11/2010	0,5	6,56	17,8	6690	3,92	6,71	5,64	5	28,2	2,6508	
10/11/2010	4	6,7	119	715	4,91	6,81	5,64	20	112,8	10,6032	
11/11/2010	6	6,21	18,8	721	3,81	6,55	5,64	26	146,64	13,78416	

SULFURO DE CARBONO											
2 Fuentes separadas (ánodo y cátodo de aluminio)											
Día	Int. (A)	pH entrada	Temp. (°C)	Conductividad (µS/cm)	Oxígeno dis. (mg/l)	pH salida	T. de retención (minutos)	Tensión (V)	Potencia (W)	C. de energia (W/h)	Observaciones
17/11/2010	0,5	6,41	16	742	7,01	7,08	11,28	7	78,96	14,84448	
18/11/2010	4	6,71	18,4	719	2,6	6,89	11,28	25,8	291,024	54,712512	
19/11/2010	6	6,63	19	732	2,33	7,12	11,28	41,5	468,12	88,00656	

TOLUENO											
1 Fuente (ánodo y cátodo de aluminio)											
Día	Int. (A)	pH entrada	Temp. (°C)	Conductividad (μS/cm)	Oxigenio dis. (mg/l)	pH salida	T. de retención (minutos)	Tensión (V)	Potencia (W)	C. de energía (W/h)	Observaciones
9/8/2010	0,5	6,11	24,2	760	4,82	6,45	1,81	3	5,43	0,163805	Precipitación de 0,7 mm
10/8/2010	2	6,85	23	745	5,1	7,98	1,81	8	14,48	0,436813333	
11/8/2010	4	6,95	26	768	4,23	7,2	1,81	17	30,77	0,928228333	
5/8/2010	6	6,72	23,1	730	5,44	6,76	1,81	27,5	49,775	1,501545833	
6/8/2010	8	6,48	19,8	768	4,74	6,81	1,81	29	52,49	1,583448333	
12/8/2010	9,5	6,87	25	773	5,54	6,9	1,81	31	56,11	1,692651667	

TOLUENO											
2 Fuentes seguidas (ánodo y cátodo de aluminio)											
Día	Int. (A)	pH entrada	Temp. (°C)	Conductividad (μS/cm)	Oxigenio dis. (mg/l)	pH salida	T. de retención (minutos)	Tensión (V)	Potencia (W)	C. de energía (W/h)	Observaciones
16/8/2010	0,5	6,23	21	702	3,78	6,68	5,64	5	28,2	2,6508	
17/8/2010	2	6,58	22,5	636	4,55	6,59	5,64	12	67,68	6,36192	Precipitación de 12,5 mm
17/8/2010	4	6,59	23,7	800	5,86	6,85	5,64	20	112,8	10,6032	Precipitación de 12,5 mm
18/8/2010	6	7,03	24,7	727	5,3	7,32	5,64	26	146,64	13,78416	
19/8/2010	8	7,17	26,5	769	4,94	7,19	5,64	30	169,2	15,9048	
19/8/2010	9,5	6,96	23	781	4,13	7	5,64	32	180,48	16,96512	

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

TOLUENO											
2 Fuentes separadas (ánodo y cátodo de aluminio)											
Día	Int. (A)	pH entrada	Temp. (°C)	Conductividad (µS/cm)	Oxígeno dis. (mg/l)	pH salida	T. de retención (minutos)	Tensión (V)	Potencia (W)	C. de energía (W/h)	Observaciones
23/8/2010	0,5	6,8	22,1	645	5,6	7,11	11,28	7	78,96	14,84448	
24/8/2010	2	7,2	24	789	4,2	7,2	11,28	16	180,48	33,93024	
25/8/2010	4	6,29	21,9	715	4,67	6,9	11,28	25,8	291,024	54,712512	
26/8/2010	6	7,03	23,8	760	4,42	7,17	11,28	41,5	468,12	88,00656	
27/8/2010	8	6,68	23	754	5,2	6,92	11,28	60,66	684,2448	128,6380224	
31/8/2010	9,5	6,77	21,3	682	5,03	7,1	11,28	68,5	772,68	145,26384	

TOLUENO											
1 Fuente											
Día	Int. (A)	pH entrada	Temp. (°C)	Conductividad (µS/cm)	Oxígeno dis. (mg/l)	pH salida	T. de retención (minutos)	Tensión (V)	Potencia (W)	C. de energía (W/h)	Observaciones
29/10/2010	0	6,32	19	715	4,38	6,56					
1/11/2010	0,5	6,78	18	703	4,21	6,87	1,81	3	5,43	0,164	
2/11/2010	4	6,54	17,9	630	3,92	6,73	1,81	17	30,77	0,928	
3/11/2010	6	6,83	21	642	3,84	7,04	1,81	27,5	49,775	1,502	

TOLUENO											
2 Fuentes seguidas											
Día	Int. (A)	pH entrada	Temp. (°C)	Conductividad (µS/cm)	Oxígeno dis. (mg/l)	pH salida	T. de retención (minutos)	Tensión (V)	Potencia (W)	C. de energia (W/h)	Observaciones
9/11/2010	0,5	6,78	17,9	660	4,9	7	5,64	5	28,2	2,6508	
10/11/2010	4	6,56	16	710	4,41	6,81	5,64	20	112,8	10,6032	
11/11/2010	6	6,21	19	698	4,01	6,55	5,64	26	146,64	13,78416	

TOLUENO											
2 Fuentes separadas											
Día	Int. (A)	pH entrada	Temp. (°C)	Conductividad (µS/cm)	Oxígeno dis. (mg/l)	pH salida	T. de retención (minutos)	Tensión (V)	Potencia (W)	C. de energia (W/h)	Observaciones
17/11/2010	0,5	6,4	18	680	6,81	6,87	11,28	7	78,96	14,84448	
18/11/2010	4	6,71	18,9	719	4,12	6,91	11,28	25,8	291,024	54,712512	
19/11/2010	6	6,91	19,1	732	3,81	7,12	11,28	41,5	468,12	88,00656	

ÁCIDO ACÉTICO											
1 Fuente (ánodo y cátodo de aluminio)											
Día	Int. (A)	pH entrada	Temp. (°C)	Conductividad (µS/cm)	Oxígeno dis. (mg/l)	pH salida	T. de retención (minutos)	Tensión (V)	Potencia (W)	C. de energia (W/h)	Observaciones
9/8/2010	0,5	4,72	27	700	3,78	4,8	1,81	3	5,43	0,163805	Precipitación de 0,7 mm
10/8/2010	2	4,46	23,3	709	4,5	4,65	1,81	8	14,48	0,436813333	
11/8/2010	4	5,09	28	764	5,92	5,19	1,81	17	30,77	0,928228333	
5/8/2010	6	4,66	24	793	5,72	5,07	1,81	27,5	49,775	1,501545833	
6/8/2010	8	4,69	20	687	4,78	4,74	1,81	29	52,49	1,583448333	
12/8/2010	9,5	4,88	24	774	3,97	5,12	1,81	31	56,11	1,692651667	

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

ÁCIDO ACÉTICO											
2 Fuentes seguidas (ánodo y cátodo de aluminio)											
Día	Int. (A)	pH entrada	Temp. (°C)	Conductividad (μS/cm)	Oxigenio dis. (mg/l)	pH salida	T. de retención (minutos)	Tensión (V)	Potencia (W)	C. de energía (W/h)	Observaciones
16/8/2010	0,5	4,46	23,2	678	4,67	4,57	5,64	5	28,2	2,6508	
17/8/2010	2	4,55	22,7	656	4,8	4,61	5,64	12	67,68	6,36192	Precipitación de 12,5 mm
17/8/2010	4	4,67	24,9	800	6	5,13	5,64	20	112,8	10,6032	Precipitación de 12,5 mm
18/8/2010	6	4,21	26,4	753	5,67	4,63	5,64	26	146,64	13,78416	
19/8/2010	8	4,69	23,8	756	4,23	4,83	5,64	30	169,2	15,9048	
19/8/2010	9,5	4,33	22	769	5,12	4,45	5,64	32	180,48	16,96512	

ÁCIDO ACÉTICO											
2 Fuentes separadas (ánodo y cátodo de aluminio)											
Día	Int. (A)	pH entrada	Temp. (°C)	Conductividad (μS/cm)	Oxigenio dis. (mg/l)	pH salida	T. de retención (minutos)	Tensión (V)	Potencia (W)	C. de energía (W/h)	Observaciones
23/8/2010	0,5	5,08	24	815	4,65	5,1	11,28	7	78,96	14,84448	
24/8/2010	2	4,48	24,4	767	5,1	4,61	11,28	16	180,48	33,93024	
25/8/2010	4	4,61	22	671	4,3	4,82	11,28	25,8	291,024	54,712512	
26/8/2010	6	4,19	26	747	3,85	4,33	11,28	41,5	468,12	88,00656	
27/8/2010	8	4,66	23,1	756	5,53	4,78	11,28	60,66	684,2448	128,6380224	
31/8/2010	9,5	4,89	24	734	4,78	5,13	11,28	68,5	772,68	145,26384	

ÁCIDO ACÉTICO											
1 Fuente (ánodo y cátodo de aluminio)											
Día	Int. (A)	pH entrada	Temp. (°C)	Conductividad (µS/cm)	Oxígeno dis. (mg/l)	pH salida	T. de retención (minutos)	Tensión (V)	Potencia (W)	C. de energía (W/h)	Observaciones
15/9/2010	0,5	4,72	23	713	5,62	5,1	1,81	3	5,43	0,163805	
15/9/2010	4	4,46	25	747	5,21	4,89	1,81	17	30,77	0,928228333	
16/9/2010	6	4,12	23,2	775	5,77	4,59	1,81	27,5	49,775	1,501545833	

ÁCIDO ACÉTICO											
2 Fuentes seguidas (ánodo y cátodo de aluminio)											
Día	Int. (A)	pH entrada	Temp. (°C)	Conductividad (µS/cm)	Oxígeno dis. (mg/l)	pH salida	T. de retención (minutos)	Tensión (V)	Potencia (W)	C. de energía (W/h)	Observaciones
16/9/2010	0,5	5,09	25	762	6,25	6,11	5,64	5	28,2	2,6508	
17/9/2010	4	4,66	23,2	662	6,47	5,16	5,64	20	112,8	10,6032	Precipitación de 12,5 mm
17/9/2010	6	4,6	24,6	674	6,66	5,13	5,64	26	146,64	13,78416	Precipitación de 12,5 mm

ÁCIDO ACÉTICO											
2 Fuentes separadas (ánodo y cátodo de aluminio)											
Día	Int. (A)	pH entrada	Temp. (°C)	Conductividad (µS/cm)	Oxígeno dis. (mg/l)	pH salida	T. de retención (minutos)	Tensión (V)	Potencia (W)	C. de energía (W/h)	Observaciones
16/9/2010	0,5	5,09	25	762	6,25	6,11	11,28	7	78,96	14,84448	
17/9/2010	4	4,66	23,2	662	6,47	5,16	11,28	25,8	291,024	54,712512	Precipitación de 12,5 mm
17/9/2010	6	4,6	24,6	674	6,66	5,13	11,28	41,5	468,12	88,00656	Precipitación de 12,5 mm

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

ÁCIDO ACÉTICO											
1 Fuente (ánodo de grafito y cátodo de aluminio)											
Día	Int. (A)	pH entrada	Temp. (°C)	Conductividad (μS/cm)	Oxígeno dis. (mg/l)	pH salida	T. de retención (minutos)	Tensión (V)	Potencia (W)	C. de energía (W/h)	Observaciones
22/9/2010	0,5	4,66	21	676	4,6	5,11	1,81	3	5,43	0,163805	
22/9/2010	2	4,54	22,5	684	5	5,46	1,81	8	14,48	0,436813333	
22/9/2010	4	4,52	23,4	705	4,84	5,19	1,81	17	30,77	0,928228333	
22/9/2010	6	4,66	24	793	5,72	5,07	1,81	27,5	49,775	1,501545833	
23/9/2010	8	4,57	21	674	4,44	4,9	1,81	29	52,49	1,583448333	
23/9/2010	9,5	4,5	22	691	4	6,12	1,81	31	56,11	1,692651667	

ÁCIDO ACÉTICO											
2 Fuentes seguidas (ánodo de grafito y cátodo de aluminio)											
Día	Int. (A)	pH entrada	Temp. (°C)	Conductividad (μS/cm)	Oxígeno dis. (mg/l)	pH salida	T. de retención (minutos)	Tensión (V)	Potencia (W)	C. de energía (W/h)	Observaciones
23/9/2010	0,5	4,45	23	702	4,08	6,01	5,64	5	28,2	2,6508	
24/9/2010	2	4,55	22,7	656	4,8	4,61	5,64	12	67,68	6,36192	
24/9/2010	4	4,67	24,9	800	6	5,13	5,64	20	112,8	10,6032	
24/9/2010	6	4,21	26,4	753	5,67	4,63	5,64	26	146,64	13,78416	
27/9/2010	8	4,7	19	686	4,33	5,98	5,64	30	169,2	15,9048	
27/9/2010	9,5	4,33	22	769	5,12	4,45	5,64	32	180,48	16,96512	

ÁCIDO ACÉTICO											
1 Fuente (ánodo de grafito y cátodo de aluminio)											
Día	Int. (A)	pH entrada	Temp. (°C)	Conductividad (μS/cm)	Oxígeno dis. (mg/l)	pH salida	T. de retención (minutos)	Tensión (V)	Potencia (W)	C. de energía (W/h)	Observaciones
28/10/2010	0,5	4,8	18,2	650	4,38	5,11	1,81	3	5,43	0,163805	la bomba 6 se estropeó
28/10/2010	6	4,55	19,8	653	5,78	4,67	1,81	27,5	49,775	1,501545833	
28/10/2010	8	4,67	20	650	6,1	5,11	1,81	29	52,49	1,583448333	
28/10/2010	9,5	4,45	20,3	658	6,61	6,12	1,81	31	56,11	1,692651667	

ÁCIDO ACÉTICO											
2 Fuentes seguidas (ánodo de grafito y cátodo de aluminio)											
Día	Int. (A)	pH entrada	Temp. (°C)	Conductividad (μS/cm)	Oxígeno dis. (mg/l)	pH salida	T. de retención (minutos)	Tensión (V)	Potencia (W)	C. de energía (W/h)	Observaciones
29/10/2010	2	4,5	19	656	4,8	4,61	5,64	12	67,68	6,36192	
29/10/2010	4	4,43	19,3	703	4,83	5,13	5,64	20	112,8	10,6032	
29/10/2010	6	4,59	20	710	3,67	4,78	5,64	26	146,64	13,78416	
29/10/2010	8	4,7	20	711	3,5	4,89	5,64	30	169,2	15,9048	

AMONIACO											
1 Fuente (ánodo y cátodo de aluminio)											
Día	Int. (A)	pH entrada	Temp. (°C)	Conductividad (μS/cm)	Oxígeno dis. (mg/l)	pH salida	T. de retención (minutos)	Tensión (V)	Potencia (W)	C. de energía (W/h)	Observaciones
9/8/2010	0,5	7,21	24	730	4,2	7,26	1,81	3	5,43	0,163805	Precipitación de 0,7 mm
10/8/2010	2	7,35	23	743	3,45	7,42	1,81	8	14,48	0,436813333	
11/8/2010	4	7,11	26,1	727	5,32	7,2	1,81	17	30,77	0,928228333	
5/8/2010	6	7,42	23,5	689	4,03	7,53	1,81	27,5	49,775	1,501545833	
6/8/2010	8	7,13	21,8	783	4,52	7,33	1,81	29	52,49	1,583448333	
12/8/2010	9,5	7,28	23,1	734	5,55	7,46	1,81	31	56,11	1,692651667	

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

AMONIACO											
2 Fuentes seguidas (ánodo y cátodo de aluminio)											
Día	Int. (A)	pH entrada	Temp. (°C)	Conductividad (μS/cm)	Oxigenio dis. (mg/l)	pH salida	T. de retención (minutos)	Tensión (V)	Potencia (W)	C. de energía (W/h)	Observaciones
16/8/2010	0,5	6,98	20,1	693	3,67	7,3	5,64	5	28,2	2,6508	
17/8/2010	2	7,15	22,1	716	4,84	7,39	5,64	12	67,68	6,36192	Precipitación de 12,5 mm
17/8/2010	4	7,37	23	754	5,46	7,45	5,64	20	112,8	10,6032	Precipitación de 12,5 mm
18/8/2010	6	7,21	22,4	713	4,94	7,32	5,64	26	146,64	13,78416	
19/8/2010	8	7,43	24,7	783	5,62	7,58	5,64	30	169,2	15,9048	
20/8/2010	9,5	7,68	23,2	747	5,97	7,73	5,64	32	180,48	16,96512	

AMONIACO											
2 Fuentes separadas (ánodo y cátodo de aluminio)											
Día	Int. (A)	pH entrada	Temp. (°C)	Conductividad (μS/cm)	Oxigenio dis. (mg/l)	pH salida	T. de retención (minutos)	Tensión (V)	Potencia (W)	C. de energía (W/h)	Observaciones
23/8/2010	0,5	7,27	24,2	761	4,34	7,48	11,28	7	78,96	14,84448	
24/8/2010	2	7,42	23,6	726	5,7	7,51	11,28	16	180,48	33,93024	
25/8/2010	4	7,27	21,4	781	3,95	7,33	11,28	25,8	291,024	54,712512	
26/8/2010	6	7,61	23,2	690	4,31	7,69	11,28	41,5	468,12	88,00656	
27/8/2010	8	7,32	24	711	3,95	7,52	11,28	60,66	684,2448	128,6380224	
31/8/2010	9,5	6,91	25,6	790	5,32	7,15	11,28	68,5	772,68	145,26384	

AMONIACO											
1 Fuente (ánodo y cátodo de aluminio)											
Día	Int. (A)	pH entrada	Temp. (°C)	Conductividad (μS/cm)	Oxigenio dis. (mg/l)	pH salida	T. de retención (minutos)	Tensión (V)	Potencia (W)	C. de energia (W/h)	Observaciones
13/10/2010	0,5	6,32	18,8	657	3,13	6,7	1,81	3	5,43	0,163805	
13/10/2010	4	6,35	19,7	656	2,25	6,41	1,81	17	30,77	0,928228333	
13/10/2010	6	6,45	20	689	4,03	6,69	1,81	27,5	49,775	1,501545833	

AMONIACO											
2 Fuentes seguidas (ánodo y cátodo de aluminio)											
Día	Int. (A)	pH entrada	Temp. (°C)	Conductividad (μS/cm)	Oxigenio dis. (mg/l)	pH salida	T. de retención (minutos)	Tensión (V)	Potencia (W)	C. de energia (W/h)	Observaciones
14/10/2010	0,5	6,23	15,5	587	4,81	6,67	5,64	5	28,2	2,6508	Vertido negro
14/10/2010	4	6,29	18	597	3,48	6,68	5,64	20	112,8	10,6032	
14/10/2010	6	6,34	18,4	600	4,94	6,45	5,64	26	146,64	13,78416	

AMONIACO											
2 Fuentes separadas (ánodo y cátodo de aluminio)											
Día	Int. (A)	pH entrada	Temp. (°C)	Conductividad (μS/cm)	Oxigenio dis. (mg/l)	pH salida	T. de retención (minutos)	Tensión (V)	Potencia (W)	C. de energia (W/h)	Observaciones
15/10/2010	0,5	6,48	18,1	686	3,84	6,91	11,28	7	78,96	14,84448	
15/10/2010	4	6,57	19,6	684	3,45	6,94	11,28	25,8	291,024	54,712512	
15/10/2010	6	6,68	18,5	660	4,33	6,68	11,28	41,5	468,12	88,00656	

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

AMONIACO											
1 Fuente (ánodo de grafito y cátodo de aluminio)											
Día	Int. (A)	pH entrada	Temp. (°C)	Conductividad (μS/cm)	Oxigenio dis. (mg/l)	pH salida	T. de retención (minutos)	Tensión (V)	Potencia (W)	C. de energia (W/h)	Observaciones
26/10/2010	0,5	6,45	17,6	702	4,57	6,7	1,81	3	5,43	0,163805	
26/10/2010	2	6,55	19	721	2,94	7,16	1,81	8	14,48	0,436813333	
26/10/2010	4	7,15	19,6	723	2,81	7,18	1,81	17	30,77	0,928228333	
27/10/2010	6	7,08	19,8	727	3,65	7,21	1,81	27,5	49,775	1,501545833	
27/10/2010	8	7,13	21,8	783	4,52	7,33	1,81	29	52,49	1,583448333	
27/10/2010	9,5	7,28	23,1	734	5,55	7,46	1,81	31	56,11	1,692651667	

AMONIACO											
2 Fuentes seguidas (ánodo de grafito y cátodo de aluminio)											
Día	Int. (A)	pH entrada	Temp. (°C)	Conductividad (μS/cm)	Oxigenio dis. (mg/l)	pH salida	T. de retención (minutos)	Tensión (V)	Potencia (W)	C. de energia (W/h)	Observaciones
4/11/2010	0,5	6,18	17	645	4,56	6,45	5,64	5	28,2	2,6508	
4/11/2010	2	6,4	19,7	660	2,47	6,5	5,64	12	67,68	6,36192	
4/11/2010	4	6,32	18,8	657	3,13	6,66	5,64	20	112,8	10,6032	
5/11/2010	6	6,35	19,7	656	2,25	6,41	5,64	26	146,64	13,78416	
5/11/2010	8	6,23	15,5	587	4,81	6,48	5,64	30	169,2	15,9048	
5/11/2010	9,5	6,29	18,7	597	3,48	6,68	5,64	32	180,48	16,96512	

AMONIACO											
1 Fuente (ánodo de grafito y cátodo de aluminio)											
Día	Int. (A)	pH entrada	Temp. (°C)	Conductividad (µS/cm)	Oxigenio dis. (mg/l)	pH salida	T. de retención (minutos)	Tensión (V)	Potencia (W)	C. de energia (W/h)	Observaciones
22/11/2010	4	6,95	16,5	717	4,79	7,12	1,81	17	30,77	0,928228333	
22/11/2010	6	7,15	7,25	718	4,53	7,21	1,81	27,5	49,775	1,501545833	

AMONIACO											
2 Fuentes seguidas (ánodo de grafito y cátodo de aluminio)											
Día	Int. (A)	pH entrada	Temp. (°C)	Conductividad (µS/cm)	Oxigenio dis. (mg/l)	pH salida	T. de retención (minutos)	Tensión (V)	Potencia (W)	C. de energia (W/h)	Observaciones
23/11/2010	4	7,09	13	730	5,1	7,32	5,64	20	112,8	10,6032	
23/11/2010	6	7,28	15	734	4,87	7,52	5,64	26	146,64	13,78416	

**ENCARGO N° 3452 /10/216**  
**ANÁLISIS QUÍMICO EN MUESTRAS DE AGUA**

**Cliente : E.T.S. INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS.**

**2 de diciembre de 2010**

**ENCARGO N° :** 3452/2010  
**PETICIONARIO:** Djalma Medeiros  
**REFERENCIA:** Aguas residuales  
**FECHA RECEPCIÓN:** Del 19/07/2010 al 18/11/2010  
**FECHA ANÁLISIS:** Del 19/07/10 al 25/11/2010  
**MUESTRAS RECIBIDAS:** 146 muestras de agua residual

**ENSAYOS SOLICITADOS:** Determinación de:

- Diclorometano
- Sulfuro de carbono
- Tolueno
- Amonio
- Ácido acético

## **1. PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS**

- Procedimiento interno PA/216/0021: “Determinación de compuestos orgánicos volátiles (COV) por cromatografía de gases con detector de espectrometría de masas en muestras de agua y suelo.( Basado en EPA 8260-B)
- Procedimiento interno PA/216/0023. “Determinación de aniones en muestras líquidas por cromatografía iónica de iones acetato”.
- Standard Method SM 4500-NH<sub>3</sub> (método de la Nesslerización), para la determinación de amoniaco en agua mediante espectrofotometría.

## **2. RELACIÓN DE EQUIPOS MÁS IMPORTANTES UTILIZADOS EN LOS ANÁLISIS**

- Cromatógrafo de gases marca VARIAN, modelo CP-3800 con detector de Espectrometría de masas VARIAN, modelo SATURN 2000. Código 21210
- Espacio en cabeza (HEADSPACE Aurosampler) marca TEKMAR. Código 21211.
- Cromatógrafo iónico marca DIONEX, modelo DX – 120. Código 21217
- Espectrofotómetro UV-VIS marca BECKMAN, modelo DU – 65.Código 21065

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

### 3. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

#### 3.1. Resultados de los análisis en las muestras de agua residual:

Muestra	Referencia	Parámetro	Concentración
5338	BLANCO 19/07	DICLOROMETANO SULFURO DE CARBONO TOLUENO	<0,01 mg/l <0,01 mg/l <0,01 mg/l
5339	M-1 SALIDA 19/07	DICLOROMETANO SULFURO DE CARBONO TOLUENO AMONIO ÁCIDO ACÉTICO	10,6 mg/l 10,8 mg/l 0,41 mg/l 48 mg/l 1058 mg/l
5340	BLANCO 20/07	DICLOROMETANO SULFURO DE CARBONO TOLUENO	<0,01 mg/l <0,01 mg/l <0,01 mg/l
5341	M-2 ENTRADA 20/07	DICLOROMETANO SULFURO DE CARBONO TOLUENO AMONIO ÁCIDO ACÉTICO	10,8 mg/l 0,69 mg/l 0,85 mg/l 56 mg/l 2288 mg/l
4342	M-2 SALIDA 20/07	DICLOROMETANO SULFURO DE CARBONO TOLUENO AMONIO ÁCIDO ACÉTICO	9,0 mg/l 0,51 mg/l 0,68 mg/l 52 mg/l 2197 mg/l

E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos de Madrid

Muestra	Referencia	Parámetro	Concentración
5343	M-3 ENTRADA 23/07	DICLOROMETANO SULFURO DE CARBONO TOLUENO AMONIO ÁCIDO ACÉTICO	33 mg/l 10,6 mg/l 0,57 mg/l 42 mg/l 864 mg/l
5344	M-3 SALIDA 23/07	DICLOROMETANO SULFURO DE CARBONO TOLUENO AMONIO ÁCIDO ACÉTICO	17,8 mg/l 2,9 mg/l 0,33 mg/l 24 mg/l 651 mg/l
5345	BLANCO 29/07	DICLOROMETANO SULFURO DE CARBONO TOLUENO	<0,01 mg/l <0,01 mg/l <0,01 mg/l
5346	M-4 ENTRADA 29/07	DICLOROMETANO SULFURO DE CARBONO TOLUENO AMONIO ÁCIDO ACÉTICO	15 mg/l 13 mg/l 0,29 mg/l 88 mg/l 936 mg/l
5347	M-4 SALIDA 29/07	DICLOROMETANO SULFURO DE CARBONO TOLUENO AMONIO ÁCIDO ACÉTICO	8,1 mg/l 3,9 mg/l 0,15 mg/l 32 mg/l 783 mg/l

**Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales**

<b>Muestra</b>	<b>Referencia</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Concentración</b>
5348	BLANCO 6/08 (5d,5e)	DICLOROMETANO SULFURO DE CARBONO TOLUENO AMONIO ÁCIDO ACÉTICO	<0,01 mg/l <0,01 mg/l <0,01 mg/l 7,1 mg/l <1,0 mg/l
5349	M-5D ENTRADA	DICLOROMETANO SULFURO DE CARBONO TOLUENO AMONIO ÁCIDO ACÉTICO	8,2 mg/l 18 mg/l 24 mg/l 23 mg/l 681 mg/l
5350	M-5D SALIDA	DICLOROMETANO SULFURO DE CARBONO TOLUENO AMONIO ÁCIDO ACÉTICO	7,3 mg/l 15 mg/l 0,77 mg/l 15 mg/l 549 mg/l
5351	M-5E ENTRADA	DICLOROMETANO SULFURO DE CARBONO TOLUENO AMONIO ÁCIDO ACÉTICO	16 mg/l 64 mg/l 1,7 mg/l 16 mg/l 610 mg/l
5352	M-5E SALIDA	DICLOROMETANO SULFURO DE CARBONO TOLUENO AMONIO ÁCIDO ACÉTICO	13 mg/l 37 mg/l 1,6 mg/l 14 mg/l 620 mg/l

E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos de Madrid

Muestra	Referencia	Parámetro	Concentración
5353	BLANCO 10/08 (5a,5b)	DICLOROMETANO SULFURO DE CARBONO TOLUENO AMONIO ÁCIDO ACÉTICO	<0,01 mg/l <0,01 mg/l <0,01 mg/l 8,0 mg/l <1,0 mg/l
5354	M-5A ENTRADA	DICLOROMETANO SULFURO DE CARBONO TOLUENO AMONIO ÁCIDO ACÉTICO	56 mg/l 80 mg/l 4,6 mg/l 19 mg/l 590 mg/l
5355	M-5A SALIDA	DICLOROMETANO SULFURO DE CARBONO TOLUENO AMONIO ÁCIDO ACÉTICO	33 mg/l 40 mg/l 2,5 mg/l 17 mg/l 498 mg/l
5356	M-5B ENTRADA	DICLOROMETANO SULFURO DE CARBONO TOLUENO AMONIO ÁCIDO ACÉTICO	52 mg/l 77 mg/l 4,3 mg/l 18 mg/l 651 mg/l
5357	M-5B SALIDA	DICLOROMETANO SULFURO DE CARBONO TOLUENO AMONIO ÁCIDO ACÉTICO	47 mg/l 54 mg/l 4,0 mg/l 18 mg/l 651 mg/l

Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

Muestra	Referencia	Parámetro	Concentración
5358	BLANCO 12/08 (5c,5f,6a,6b)	DICLOROMETANO SULFURO DE CARBONO TOLUENO AMONIO ÁCIDO ACÉTICO	<0,01 mg/l <0,01 mg/l <0,01 mg/l 4,7 mg/l <1,0 mg/l
5359	M-5C ENTRADA	DICLOROMETANO SULFURO DE CARBONO TOLUENO AMONIO ÁCIDO ACÉTICO	28 mg/l 85 mg/l 2,8 mg/l 11,8 mg/l 276 mg/l
5360	M-5C SALIDA	DICLOROMETANO SULFURO DE CARBONO TOLUENO AMONIO ÁCIDO ACÉTICO	26 mg/l 61 mg/l 2,3 mg/l 11,9 mg/l 269 mg/l
5361	M-5F ENTRADA	DICLOROMETANO SULFURO DE CARBONO TOLUENO AMONIO ÁCIDO ACÉTICO	40 mg/l 83 mg/l 2,7 mg/l 12,4 mg/l 269 mg/l
5362	M-5F SALIDA	DICLOROMETANO SULFURO DE CARBONO TOLUENO AMONIO ÁCIDO ACÉTICO	31 mg/l 67 mg/l 2,4 mg/l 12,8 mg/l 265 mg/l

E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos de Madrid

Muestra	Referencia	Parámetro	Concentración
5363	M-6A ENTRADA	DICLOROMETANO SULFURO DE CARBONO TOLUENO AMONIO ÁCIDO ACÉTICO	40 mg/l 92 mg/l 2,3 mg/l 11,9 mg/l 271 mg/l
5364	M-6A SALIDA	DICLOROMETANO SULFURO DE CARBONO TOLUENO AMONIO ÁCIDO ACÉTICO	38 mg/l 63 mg/l 1,9 mg/l 10,6 mg/l 268 mg/l
5365	M-6B ENTRADA	DICLOROMETANO SULFURO DE CARBONO TOLUENO AMONIO ÁCIDO ACÉTICO	42 mg/l 44 mg/l 1,4 mg/l 11,0 mg/l 279 mg/l
5366	M-6B SALIDA	DICLOROMETANO SULFURO DE CARBONO TOLUENO AMONIO ÁCIDO ACÉTICO	38 mg/l 38 mg/l 1,3 mg/l 11,5 mg/l 276 mg/l

Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

Muestra	Referencia	Parámetro	Concentración
5367	BLANCO 12/08 (6c,6d)	DICLOROMETANO SULFURO DE CARBONO TOLUENO AMONIO ÁCIDO ACÉTICO	<0,01 mg/l <0,01 mg/l <0,01 mg/l 4,8 mg/l <1,0 mg/l
5368	M-6C ENTRADA	DICLOROMETANO SULFURO DE CARBONO TOLUENO AMONIO ÁCIDO ACÉTICO	49 mg/l 97 mg/l 1,9 mg/l 18,8 mg/l 282 mg/l
5369	M-6C SALIDA	DICLOROMETANO SULFURO DE CARBONO TOLUENO AMONIO ÁCIDO ACÉTICO	37 mg/l 80 mg/l 1,9 mg/l 19,2 mg/l 282 mg/l
5370	M-6D ENTRADA	DICLOROMETANO SULFURO DE CARBONO TOLUENO AMONIO ÁCIDO ACÉTICO	43 mg/l 80 mg/l 1,6 mg/l 19,7 mg/l 290 mg/l
5371	M-6D SALIDA	DICLOROMETANO SULFURO DE CARBONO TOLUENO AMONIO ÁCIDO ACÉTICO	40 mg/l 74 mg/l 1,5 mg/l 20,7 mg/l 278 mg/l

Muestra	Referencia	Parámetro	Concentración
5372	BLANCO (6e,6f) 18/08	DICLOROMETANO SULFURO DE CARBONO TOLUENO AMONIO ÁCIDO ACÉTICO	<0,01 mg/l <0,01 mg/l <0,01 mg/l 13,9 mg/l <1,0 mg/l
5373	M-6E ENTRADA	DICLOROMETANO SULFURO DE CARBONO TOLUENO AMONIO ÁCIDO ACÉTICO	43 mg/l 105 mg/l 5,6 mg/l 33 mg/l 298 mg/l
5374	M-6E SALIDA	DICLOROMETANO SULFURO DE CARBONO TOLUENO AMONIO ÁCIDO ACÉTICO	41 mg/l 71 mg/l 5,0 mg/l 33 mg/l 295 mg/l
5375	M-6F ENTRADA	DICLOROMETANO SULFURO DE CARBONO TOLUENO AMONIO ÁCIDO ACÉTICO	56 mg/l 92 mg/l 5,0 mg/l 34 mg/l 287 mg/l
5376	M-6F SALIDA	DICLOROMETANO SULFURO DE CARBONO TOLUENO AMONIO ÁCIDO ACÉTICO	49 mg/l 68 mg/l 4,3 mg/l 36 mg/l 284 mg/l

Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

Muestra	Referencia	Parámetro	Concentración
5377	BLANCO 19/08 (7a,7b,7c,7e)	DICLOROMETANO SULFURO DE CARBONO TOLUENO AMONIO ÁCIDO ACÉTICO	<0,01mg/l <0,01 mg/l <0,01 mg/l 5,8 mg/l <1,0 mg/l
5378	M-7A ENTRADA	DICLOROMETANO SULFURO DE CARBONO TOLUENO AMONIO ÁCIDO ACÉTICO	42 mg/l 106 mg/l 0,51 mg/l 21 mg/l 166 mg/l
5379	M-7A SALIDA	DICLOROMETANO SULFURO DE CARBONO TOLUENO AMONIO ÁCIDO ACÉTICO	34 mg/l 82 mg/l 0,41 mg/l 21 mg/l 157 mg/l
5380	M-7B ENTRADA	DICLOROMETANO SULFURO DE CARBONO TOLUENO AMONIO ÁCIDO ACÉTICO	41 mg/l 75 mg/l 0,41 mg/l 21 mg/l 163 mg/l
5381	M-7B SALIDA	DICLOROMETANO SULFURO DE CARBONO TOLUENO AMONIO ÁCIDO ACÉTICO	38 mg/l 68 mg/l 0,41 mg/l 22 mg/l 162 mg/l

E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos de Madrid

Muestra	Referencia	Parámetro	Concentración
5382	M-7C ENTRADA	DICLOROMETANO SULFURO DE CARBONO TOLUENO AMONIO ÁCIDO ACÉTICO	40 mg/l 91 mg/l 0,36 mg/l 18 mg/l 172 mg/l
5383	M-7C SALIDA	DICLOROMETANO SULFURO DE CARBONO TOLUENO AMONIO ÁCIDO ACÉTICO	38 mg/l 70 mg/l 0,29 mg/l 19 mg/l 170 mg/l
5384	M-7E ENTRADA	DICLOROMETANO SULFURO DE CARBONO TOLUENO AMONIO ÁCIDO ACÉTICO	42 mg/l 92 mg/l 0,40 mg/l 16 mg/l 187 mg/l
5385	M-7E SALIDA	DICLOROMETANO SULFURO DE CARBONO TOLUENO AMONIO ÁCIDO ACÉTICO	38 mg/l 78 mg/l 0,37 mg/l 16 mg/l 182 mg/l

**Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales**

Muestra	Referencia	Parámetro	Concentración
5386	BLANCO 16/09 (8a,8b)	ÁCIDO ACÉTICO	<1,0 mg/l
5387	M-8A ENTRADA	ÁCIDO ACÉTICO	172 mg/l
5388	M-8A SALIDA	ÁCIDO ACÉTICO	181 mg/l
5389	M-8B ENTRADA	ÁCIDO ACÉTICO	177 mg/l
5390	M-8B SALIDA	ÁCIDO ACÉTICO	166 mg/l
5391	BLANCO 16/09 (8c)	ÁCIDO ACÉTICO	<1,0 mg/l
5392	M-8C ENTRADA	ÁCIDO ACÉTICO	<1,0 mg/l
5393	M-8C SALIDA	ÁCIDO ACÉTICO	<1,0 mg/l
5394	BLANCO 17/09 (8d)	ÁCIDO ACÉTICO	<1,0 mg/l
5395	M-8D ENTRADA	ÁCIDO ACÉTICO	165 mg/l
5396	M-8D SALIDA	ÁCIDO ACÉTICO	173 mg/l
5397	BLANCO 18/09	ÁCIDO ACÉTICO	<1,0 mg/l
5398	M-8E ENTRADA	ÁCIDO ACÉTICO	170 mg/l
5399	M-8E SALIDA	ÁCIDO ACÉTICO	173 mg/l
5400	M-8F ENTRADA	ÁCIDO ACÉTICO	180 mg/l
5401	M-8F SALIDA	ÁCIDO ACÉTICO	177 mg/l

Muestra	Referencia	Parámetro	Concentración
5402	BLANCO 28/09	SULFURO DE CARBONO DICLOROMETANO TOLUENO	<0,01 mg/l <0,01 mg/l <0,01 mg/l
5403	TOLUENO ENTRADA	TOLUENO	6,1 mg/l
5404	TOLUENO SALIDA	TOLUENO	4,1 mg/l
5405	DICLOROMETANO ENTRADA	DICLOROMETANO	58 mg/l
5406	DICLOROMETANO SALIDA	DICLOROMETANO	43 mg/l
5407	SULFURO DE CARBONO ENTRADA	SULFURO DE CARBONO	78 mg/l
5408	SULFURO DE CARBONO SALIDA	SULFURO DE CARBONO	45 mg/l

**E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos de Madrid**

<b>Muestra</b>	<b>Referencia</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Concentración</b>
5409	BLANCO 29/09	ÁCIDO ACÉTICO	<1,0 mg/l
5410	M-9A ENTRADA	ÁCIDO ACÉTICO	145 mg/l
5411	M-9A SALIDA	ÁCIDO ACÉTICO	144 mg/l
5412	M-9B ENTRADA	ÁCIDO ACÉTICO	155 mg/l
5413	M-9B SALIDA	ÁCIDO ACÉTICO	154 mg/l
5414	M-9C ENTRADA	ÁCIDO ACÉTICO	164 mg/l
5415	M-9C SALIDA	ÁCIDO ACÉTICO	156 mg/l
5416	BLANCO 1/10/10 (9D,9E,9F)	ÁCIDO ACÉTICO	<1,0 mg/l
5417	M-9D ENTRADA	ÁCIDO ACÉTICO	200 mg/l
5418	M-9D SALIDA	ÁCIDO ACÉTICO	197 mg/l
5419	M-9E ENTRADA	ÁCIDO ACÉTICO	194 mg/l
5420	M-9E SALIDA	ÁCIDO ACÉTICO	175 mg/l
5421	M-9F ENTRADA	ÁCIDO ACÉTICO	196 mg/l
5422	M-9F SALIDA	ÁCIDO ACÉTICO	186 mg/l
5423	BLANCO 2/10/10 (10A,10B,10C)	ÁCIDO ACÉTICO	<1,0 mg/l
5424	M-10A ENTRADA	ÁCIDO ACÉTICO	181 mg/l
5425	M-10A SALIDA	ÁCIDO ACÉTICO	177 mg/l
5426	M-10B ENTRADA	ÁCIDO ACÉTICO	175 mg/l
5427	M-10B SALIDA	ÁCIDO ACÉTICO	180 mg/l
5428	M-10C ENTRADA	ÁCIDO ACÉTICO	175 mg/l
5429	M-10C SALIDA	ÁCIDO ACÉTICO	177 mg/l
5430	BLANCO 5/10/10 (10D,10E,10F)	ÁCIDO ACÉTICO	<1,0 mg/l
5431	M-10D ENTRADA	ÁCIDO ACÉTICO	181 mg/l
5432	M-10D SALIDA	ÁCIDO ACÉTICO	177 mg/l
5433	M-10E ENTRADA	ÁCIDO ACÉTICO	180 mg/l
5434	M-10E SALIDA	ÁCIDO ACÉTICO	171 mg/l
5435	M-10F ENTRADA	ÁCIDO ACÉTICO	186 mg/l
5436	M-10F SALIDA	ÁCIDO ACÉTICO	179 mg/l

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

Muestra	Referencia	Parámetro	Concentración
5437	BLANCO 6/10/10 (11A,11C)	ÁCIDO ACÉTICO	<1 mg/l
5438	M-11A ENTRADA	ÁCIDO ACÉTICO	185 mg/l
5439	M-11A SALIDA	ÁCIDO ACÉTICO	188 mg/l
5440	M-11C ENTRADA	ÁCIDO ACÉTICO	195 mg/l
5441	M-11C SALIDA	ÁCIDO ACÉTICO	200 mg/l
5442	BLANCO 11/10/10 (12A,12B,12C)	ÁCIDO ACÉTICO	<1 mg/l
5443	M-12A ENTRADA	ÁCIDO ACÉTICO	126 mg/l
5444	M-12A SALIDA	ÁCIDO ACÉTICO	126 mg/l
5445	M-12B ENTRADA	ÁCIDO ACÉTICO	145 mg/l
5446	M-12B SALIDA	ÁCIDO ACÉTICO	153 mg/l
5447	M-12C ENTRADA	ÁCIDO ACÉTICO	180 mg/l
5448	M-12C SALIDA	ÁCIDO ACÉTICO	184 mg/l
5449	M-20B ENTRADA	ÁCIDO ACÉTICO	190 mg/l
5450	M-20B SALIDA	ÁCIDO ACÉTICO	177 mg/l
5451	M-20D ENTRADA	ÁCIDO ACÉTICO	203 mg/l
5452	M-20D SALIDA	ÁCIDO ACÉTICO	195 mg/l
5453	M-21C ENTRADA	ÁCIDO ACÉTICO	227 mg/l
5454	M-21C SALIDA	ÁCIDO ACÉTICO	215 mg/l
5455	M-21D ENTRADA	ÁCIDO ACÉTICO	195 mg/l
5456	M-21D SALIDA	ÁCIDO ACÉTICO	197 mg/l

Muestra	Referencia	Parámetro	Concentración
5457	M-Fuente amoniaco ENT	AMONIO	17,4 mg/l
5458	M. Fuente amoniaco SAL	AMONIO	17,9 mg/l
5459	Amoniaco 0,5 ENT	AMONIO	14,0 mg/l
5460	Amoniaco 0,5 SAL	AMONIO	14,6 mg/l
5461	Amoniaco + acético (4a serpentín) ENT	AMONIO	16,6 mg/l
5463	Amoniaco + acético	AMONIO	16,1 mg/l

E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos de Madrid

Muestra	Referencia	Parámetro	Concentración
5465	BLANCO 3/11	SULFURO DE CARBONO DICLOROMETANO TOLUENO	<0,01 mg/l <0,01 mg/l <0,01 mg/l
5466	M-25A ENTRADA	SULFURO DE CARBONO DICLOROMETANO TOLUENO	38 mg/l 28 mg/l 10 mg/l
5467	M-25A SALIDA	SULFURO DE CARBONO DICLOROMETANO TOLUENO	6,9 mg/l 21 mg/l 5,7 mg/l
5468	M-25C ENTRADA	SULFURO DE CARBONO DICLOROMETANO TOLUENO	60 mg/l 41 mg/l 4,6 mg/l
5469	M-25C SALIDA	SULFURO DE CARBONO DICLOROMETANO TOLUENO	26 mg/l 34 mg/l 3,6 mg/l
5470	M-25D ENTRADA	SULFURO DE CARBONO DICLOROMETANO TOLUENO	61 mg/l 41 mg/l 14 mg/l
5471	M-25D SALIDA	SULFURO DE CARBONO DICLOROMETANO TOLUENO	21 mg/l 33 mg/l 4,4 mg/l

**Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales**

<b>Muestra</b>	<b>Referencia</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Concentración</b>
5472	BLANCO 11/11	SULFURO DE CARBONO DICLOROMETANO TOLUENO	<0,01 mg/l <0,01 mg/l <0,01 mg/l
5473	M-30 A ENTRADA	SULFURO DE CARBONO DICLOROMETANO TOLUENO	49 mg/l 45 mg/l 3,5 mg/l
5474	M-30 A SALIDA	SULFURO DE CARBONO DICLOROMETANO TOLUENO	31 mg/l 35 mg/l 2,5 mg/l
5475	M-30 C ENTRADA	SULFURO DE CARBONO DICLOROMETANO TOLUENO	66 mg/l 37 mg/l 3,2 mg/l
5476	M-30 C SALIDA	SULFURO DE CARBONO DICLOROMETANO TOLUENO	35 mg/l 26 mg/l 2,0 mg/l
5477	M-30 D ENTRADA	SULFURO DE CARBONO DICLOROMETANO TOLUENO	69 mg/l 43 mg/l 3,8 mg/l
5478	M-30 D SALIDA	SULFURO DE CARBONO DICLOROMETANO TOLUENO	39 mg/l 34 mg/l 2,9 mg/l

E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos de Madrid

Muestra	Referencia	Parámetro	Concentración
5479	BLANCO 17/11	SULFURO DE CARBONO DICLOROMETANO TOLUENO	<0,01 mg/l <0,01 mg/l <0,01 mg/l
5480	M-33 A ENTRADA	SULFURO DE CARBONO DICLOROMETANO TOLUENO	106 mg/l 42 mg/l 7,4 mg/l
5481	M-33 A SALIDA	SULFURO DE CARBONO DICLOROMETANO TOLUENO	78 mg/l 38 mg/l 6,5 mg/l
5482	M-33 C ENTRADA	SULFURO DE CARBONO DICLOROMETANO TOLUENO	71 mg/l 48 mg/l 9,8 mg/l
5483	M-33 C SALIDA	SULFURO DE CARBONO DICLOROMETANO TOLUENO	50 mg/l 41 mg/l 8,6 mg/l
5484	M-33 D ENTRADA	SULFURO DE CARBONO DICLOROMETANO TOLUENO	60 mg/l 43 mg/l 8,6 mg/l
5485	M-33 D SALIDA	SULFURO DE CARBONO DICLOROMETANO TOLUENO	41 mg/l 37 mg/l 6,6 mg/l

## **Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales**

Este informe consta de veinte hojas numeradas de la número 1 a la 20, y ha sido efectuado por el Laboratorio de Análisis Químicos de la División de Ensayos Medioambientales.

Madrid, 2 de diciembre de  
2010

**ORGANICA:** RESPONSABLE DE

**FLORES** FDO: **ISABEL RODENAS**

Lda. en Ciencias Químicas

Vº Bº

**RESPONSABLE TÉCNICO:**

**FDO: EVA GONZÁLEZ ARCENILLAS**

Lda. en Ciencias Químicas

*Prohibida la reproducción parcial de este documento sin la autorización expresa de GEOCISA.*

*Este informe solo afecta a las muestras sometidas al ensayo.*

**ANEXO III: PROPIEDADES DE LOS REACTIVOS****Acido Acético glacial (Reag. Ph. Eur.) PA-ACS-ISO**CH<sub>3</sub>COOH

M.= 60,05 CAS: 64-19-7 EINECS: 200-580-7 NC: 2915 21 00 UN: 2789

IMDG: 8/II ADR: 8/II IATA: 8/II PAX: 809 CAO: 813

PELIGROSIDAD:

K R: 10-35 S: 23c-26-45 CE: 607-002-00-6

1l~1,052kg 1kg~0,951l

ESPECIFICACIONES:

Riqueza mínima (C.G.)..... 99,7 %

Densidad a 20/20..... 1,050-1,052

Punto de congelación..... ≥16,0°C

## LÍMITE MÁXIMO DE IMPUREZAS

Color APHA.....10

Insoluble en H<sub>2</sub>O.....s/e.

Residuo fijo..... 0,001 %

Residuo de calcinación (en SO<sub>4</sub>)..... 0,0005 %Resistencia al K<sub>2</sub> Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>.....s/e.Resistencia al KMnO<sub>4</sub>.....s/e.

Alcalinidad..... 0,0004 meq/g

Peróxidos (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)..... 0,0002 %Acetaldehído (CH<sub>3</sub>CHO)..... 0,0002 %Agua (H<sub>2</sub>O)..... 0,2 %Anhídrido Acético [(CH<sub>3</sub>CO)<sub>2</sub>O] (C.G.)..... 0,01 %

Cloruro (Cl)..... 0,00004 %

Formiato (HCOO)..... 0,01 %

Nitrato (NO<sub>3</sub>)..... 0,0001 %Fosfato (PO<sub>4</sub>)..... 0,00004 %Sulfato (SO<sub>4</sub>)..... 0,0001 %

Metales pesados (en Pb)..... 0,00005 %

Metales por ICP [en mg/Kg (ppm)]

Ag..... 0,01

Al..... 0,05

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

As.....	0,5	Li.....	0,01
Au.....	0,1	Mg.....	0,1
B.....	0,05	Mn.....	0,01
Ba.....	0,1	Mo.....	0,02
Be.....	0,01	Na.....	0,5
Bi.....	0,05	Ni.....	0,05
Ca.....	0,5	Pb.....	0,5
Cd.....	0,01	Pt.....	0,1
Co.....	0,01	Sb.....	0,02
Cr.....	0,02	Si.....	0,1
Cu.....	0,01	Sn.....	0,05
Fe.....	0,1	Sr.....	0,05
Ga.....	0,05	Ti.....	0,05
Ge.....	0,02	Tl.....	0,02
Hg.....	0,1	V.....	0,02
In.....	0,05	Zn.....	0,05
K.....	0,1	Zr.....	0,05

**Amoníaco 30% (en NH<sub>3</sub>) PA-ACS**

NH<sub>3</sub>

M.= 17,03 CAS: 1336-21-6 EINECS: 215-647-6 NC: 2814 20 00 UN: 2672

IMDG: 8/III ADR: 8/III IATA: 8/III PAX: 819 CAO: 813

PELIGROSIDAD:

KV R: 34-50 S: 26-36/37/39-45-61 CE: 007-001-01-2

1l~0,897kg 1kg~1,115l

ESPECIFICACIONES:

Riqueza (Acidim.)..... 28,0-30,0 %\*

Densidad a 20/4.....0,892-0,898\*

**LÍMITE MÁXIMO DE IMPUREZAS**

Color APHA.....10

Residuo fijo..... 0,002 %

Residuo de calcinación..... 0,002 %

Resistencia al KMnO<sub>4</sub> (en O)..... 0,0008 %

Piridina y homólogos..... 0,0002 %

Carbonato (en CO<sub>2</sub>)..... 0,002 %

Compuestos de S (en SO<sub>4</sub>)..... 0,0002 %

Cloruro (Cl)..... 0,00005 %

Fosfato (PO<sub>4</sub>)..... 0,0001 %

Nitrato (NO<sub>3</sub>)..... 0,0002 %

Sulfuro (S)..... 0,00001 %

Metales pesados (en Pb)..... 0,00005 %

As..... 0,000005 %

**Metales por ICP [en mg/Kg (ppm)]**

Ag.....0,02

Co.....0,1

Al.....0,1

Cr.....0,05

Au.....0,1

Cu.....0,1

B.....0,5

Fe.....0,1

Ba.....0,1

Ga.....0,05

Be.....0,1

Ge.....0,02

Bi.....0,05

Hg.....0,1

Ca.....1

In.....0,05

Cd.....0,1

K.....1

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

Li.....	0,02	Si.....	0,2
Mg.....	0,5	Sn.....	0,05
Mn.....	0,1	Sr.....	1
Mo.....	0,02	Ti.....	0,05
Na.....	2	Tl.....	0,02
Ni.....	0,05	V.....	0,02
Pb.....	0,05	Zn.....	0,1
Pt.....	0,1	Zr.....	0,05
Sb.....	0,02		

**Carbono Disulfuro PA-ACS**

CS<sub>2</sub>

M.= 76,14 CAS: 75-15-0 EINECS: 200-843-6 NC: 2813 10 00 UN: 1131

IMDG: 3/I ADR: 3/I IATA: 3/- PAX: P CAO: P

PELIGROSIDAD:

NP R: 11-36/38-48/23-62-63 S: 16-33-36/37-45 CE: 006-003-00-3

1l~1,264kg 1kg~0,791l

ESPECIFICACIONES:

Riqueza mínima (C.G.)..... 99,9 %

Identidad..... IR s/e.

Densidad a 20/4..... 1,262-1,264

**LÍMITE MÁXIMO DE IMPUREZAS**

Color APHA.....10

Residuo fijo..... 0,002 %

Benceno (C.G.)..... 0,001 %

Agua (H<sub>2</sub>O)..... 0,01 %

Hidrógeno Sulfuro (H<sub>2</sub>S)..... 0,00015 %

Sulfuro Dióxido (SO<sub>2</sub>)..... 0,00025 %

Metales por ICP [en mg/Kg (ppm)]

Ag.....	0,05	Ge.....	0,05
Al.....	0,5	Hg.....	0,05
As.....	0,05	In.....	0,05
Au.....	0,05	K.....	0,1
B.....	0,02	Li.....	0,05
Ba.....	0,1	Mg.....	0,1
Be.....	0,02	Mn.....	0,02
Bi.....	0,05	Mo.....	0,02
Ca.....	0,5	Na.....	0,5
Cd.....	0,05	Ni.....	0,02
Co.....	0,02	P.....	0,2
Cr.....	0,02	Pb.....	0,1
Cu.....	0,02	Pt.....	0,02
Fe.....	0,1	Sb.....	0,02
Ga.....	0,02	Si.....	0,2

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

Sn..... 0,1

V..... 0,02

Sr..... 0,2

Zn..... 0,1

Ti..... 0,02

Zr..... 0,02

Tl..... 0,02

**Diclorometano estabilizado con amileno PA-ACS-ISO**

CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>

M.= 84,93 CAS: 75-09-2 EINECS: 200-838-9 NC: 2903 12 00 UN: 1593

IMDG: 6.1/III ADR: 6.1/III IATA: 6.1/III PAX: 605 CAO: 612

PELIGROSIDAD:

S R: 40 S: 23c-24/25-36/37 CE: 602-004-00-3

1l~1,324kg 1kg~0,755l

ESPECIFICACIONES:

Riqueza mínima (C.G.)..... 99,5 %

Identidad..... IR s/e.

Densidad a 20/4..... 1,323-1,325

**LÍMITE MÁXIMO DE IMPUREZAS**

Color APHA.....10

Residuo fijo..... 0,001 %

Etanol (C.G.)..... 0,05 %

Carbono Tetracloruro (C.G.)..... 0,01 %

Triclorometano (C.G.)..... 0,05 %

Sustancias carbonizables por H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.....s/e.

Acidez..... 0,0003 meq/g

Agua (H<sub>2</sub>O)..... 0,02 %

Cloro (Cl)..... 0,0001 %

Formaldehído (HCHO)..... 0,0001 %

Cloruro (Cl)..... 0,0001 %

**Metales por ICP [en mg/Kg (ppm)]**

Ag.....0,05

Co.....0,02

Al.....0,5

Cr.....0,02

As.....0,05

Cu.....0,02

Au.....0,05

Fe.....0,1

B.....0,02

Ga.....0,02

Ba.....0,1

Ge.....0,05

Be.....0,02

Hg.....0,05

Bi.....0,05

In.....0,05

Ca.....0,5

K.....0,1

Cd.....0,05

Li.....0,05

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

Mg.....0,1	Si.....0,2
Mn.....0,02	Sn.....0,1
Mo.....0,02	Sr.....0,2
Na.....0,5	Ti.....0,02
Ni.....0,02	Tl.....0,02
P.....0,2	V.....0,02
Pb.....0,1	Zn.....0,1
Pt.....0,02	Zr.....0,02
Sb.....0,02	

**Tolueno (Reag. Ph. Eur.) PA-ACS-ISO**



M.= 92,14 CAS: 108-88-3 EINECS: 203-625-9 NC: 2902 30 00 UN: 1294

IMDG: 3/II ADR: 3/II IATA: 3/II PAX: 305 CAO: 307

PELIGROSIDAD:

NS R: 11-38-48/20-63-65-67 S: 36/37-62 CE: 601-021-00-3

1l~0,865kg 1kg~1,156l

ESPECIFICACIONES:

Riqueza mínima (C.G.)..... 99,5 %

Identidad..... IR s/e.

Densidad a 20/20..... 0,865-0,870

LÍMITE MÁXIMO DE IMPUREZAS

Color APHA.....10

Residuo fijo..... 0,001 %

Benceno (C.G.)..... 0,05 %

Etilbenceno (C.G.)..... 0,05 %

m-Xileno (C.G.)..... 0,05 %

o-Xileno (C.G.)..... 0,01 %

p-Xileno (C.G.)..... 0,01 %

Sustancias carbonizables por H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.....s/e.

Compuestos de S (en CS<sub>2</sub>)..... 0,0003 %

Acidez..... 0,0001 meq/g

Alcalinidad..... 0,0002 meq/g

Agua (H<sub>2</sub>O)..... 0,03 %

Tiofeno (C<sub>4</sub>H<sub>4</sub>S)..... 0,0002 %

Metales por ICP [en mg/Kg (ppm)]

Ag..... 0,05	Ca..... 0,1
Al..... 0,5	Cd..... 0,05
As..... 0,05	Co..... 0,02
Au..... 0,05	Cr..... 0,02
B..... 0,02	Cu..... 0,02
Ba..... 0,1	Fe..... 0,1
Be..... 0,02	Ga..... 0,02
Bi..... 0,05	Ge..... 0,05

## Investigación sobre la eliminación de olores en depuradoras de aguas residuales

Hg.....	0,05	Zn.....	0,1
In.....	0,05	Zr.....	0,02
K.....	0,1		
Li.....	0,05		
Mg.....	0,1		
Mn.....	0,02		
Mo.....	0,02		
Na.....	0,5		
Ni.....	0,02		
P.....	0,2		
Pb.....	0,1		
Pt.....	0,02		
S.....	0,5		
Sb.....	0,02		
Si.....	0,2		
Sn.....	0,1		
Sr.....	0,2		
Ti.....	0,02		
Tl.....	0,02		
V.....	0,02		

