

# Índice general

Agradecimientos	III
Prólogo	V
Resumen	VII
Índice general	XVII
1 Introducción	1
1.1 Exposición del problema	3
1.1.1 Substancias no biodegradables y contaminantes de interés reciente.	4
1.2 El Ozono y los Tratamientos de Aguas	14
1.2.1 Introducción Histórica	14
1.2.2 Desinfección y Potabilización de Aguas	15
1.2.3 Tratamiento de aguas residuales	18
1.3 Otras aplicaciones del ozono	25
1.3.1 Utilización en fase gas	25
1.3.2 Utilización en fase líquida	26
1.3.3 Utilización en el sector agroalimentario	27
1.4 Propiedades del Ozono	29
1.4.1 Análisis de la concentración de ozono	31

1.4.2 Solubilidad del ozono . . . . .	34
1.4.3 Reactividad del ozono . . . . .	37
1.5 Introducción a los Reactores Gas-Líquido . . . . .	41
1.5.1 Tipos de reactores gas-líquido . . . . .	41
1.5.2 Hidrodinámica en los reactores de burbujeo . . . . .	44
1.5.3 Modelos de transferencia gas-líquido . . . . .	52
1.5.4 La reacción gas-líquido (Santamaría 1999). . . . .	57
2 Objetivos . . . . .	63
3 Modelización de Reactores de Burbujeo . . . . .	65
3.1 Modelo Macroscópico de Transferencia de Fase . . . . .	67
3.1.1 Fase gas. . . . .	67
3.1.2 Fase líquida . . . . .	68
3.1.3 Cálculo del factor de mejora . . . . .	69
3.2 Modelo Microscópico de Película . . . . .	71
3.2.1 Fase gas. . . . .	73
3.2.2 Película de líquido en la interfase . . . . .	76
3.2.3 Seno de la fase líquida . . . . .	77
3.2.4 Modelo de Reactor con Cámaras . . . . .	78
3.2.5 Resumen modelo reactor real con el modelo microscópico . . . . .	81
4 Mecanismo de Descomposición del Ozono . . . . .	83
4.1 Introducción a la descomposición del ozono. . . . .	84
4.2 Modelos Cinéticos de Descomposición del Ozono . . . . .	89
4.2.1 Modelo MLNvS (Ferre-Aracil, S. Cardona y Navarro-Laboulais 2015b) . . . . .	89
4.2.2 Modelo SBH-TFM Generalizado. . . . .	94
5 Algoritmos de Optimización . . . . .	97
5.1 Análisis de Sensibilidad . . . . .	98
5.2 Metodología de Optimización . . . . .	101
5.3 Introducción a las Redes Neuronales Artificiales. . . . .	104
5.3.1 Tipos de Redes Neuronales . . . . .	104
5.3.2 Métodos de Entrenamiento . . . . .	106
5.3.3 Utilización de las redes neuronales en ingeniería química. . . . .	106

---

5.4 Optimización con Redes Neuronales Artificiales . . . . .	108
6 Experimentación y Técnicas Experimentales . . . . .	115
6.1 Planta Piloto de Ozonización . . . . .	116
6.2 Ensayos cinéticos en fase homogénea . . . . .	121
6.3 Calibración de Instrumentos . . . . .	123
6.3.1 Calibración del espectrofotómetro . . . . .	123
6.3.2 Calibración del medidor de ozono en fase gas . . . . .	124
6.4 Metodologías Analíticas . . . . .	126
6.4.1 Análisis de ozono disuelto . . . . .	126
6.4.2 Análisis de peróxido de hidrógeno . . . . .	129
6.4.3 Preparación de tampones de fuerza iónica constante . . . . .	131
6.5 Descripción de Experimentos Tipo . . . . .	134
6.5.1 Determinación de la fracción de gas . . . . .	134
6.5.2 Determinación del coeficiente de transferencia de materia . . . . .	135
6.5.3 Determinación de la concentración de saturación de ozono . . . . .	135
6.5.4 Descomposición de ozono . . . . .	136
6.5.5 Ozonización . . . . .	137
7 Determinación de la Solubilidad del Ozono . . . . .	141
8 Caracterización Física del Reactor . . . . .	179
9 Estudio Cinético de la Descomposición de Ozono . . . . .	195
10 Redes Neuronales para la Determinación de Constantes Cinéticas . . . . .	229
11 Determinación de Constantes Cinéticas . . . . .	283
12 Eliminación de Citostáticos en Aguas Residuales Hospitalarias . . . . .	315
13 Discusión General de los Resultados . . . . .	351

14 Conclusiones	357
Nomenclatura	359
Bibliografía	365
A Autorización de Reproducción de Publicaciones	391
B Desarrollo del Modelo de Descomposición de Ozono MLNvS	401
C Estudio Comparativo de dos Modelos Matemáticos	405