

# Índice

<b>I. EJERCICIOS RESUELTOS Y PROPUESTOS</b> .....	17
<b>1. Análisis químico</b> .....	21
Introducción .....	21
Ejercicios resueltos .....	26
<i>Ejercicio 1.1</i> .....	26
<i>Ejercicio 1.2</i> .....	27
<i>Ejercicio 1.3</i> .....	31
<i>Ejercicio 1.4</i> .....	33
<i>Ejercicio 1.5</i> .....	33
<i>Ejercicio 1.6</i> .....	36
<i>Ejercicio 1.7</i> .....	39
Ejercicios propuestos .....	41
<i>Ejercicio 1.8</i> .....	41
<i>Ejercicio 1.9</i> .....	41
Cuadros y datos de referencia .....	42
<b>2. Pre-tratamiento</b> .....	43
Introducción .....	43
<i>Desbaste</i> .....	43
<i>Desarenado</i> .....	44
<i>Caudales de tratamiento</i> .....	45

Ejercicios resueltos .....	46
<i>Ejercicio 2.1</i> .....	46
<i>Ejercicio 2.2</i> .....	47
<i>Ejercicio 2.3</i> .....	48
<i>Ejercicio 2.4</i> .....	48
<i>Ejercicio 2.5</i> .....	49
<i>Ejercicio 2.6</i> .....	50
Ejercicios propuestos .....	51
<i>Ejercicio 2.7</i> .....	51
<i>Ejercicio 2.8</i> .....	52
<i>Ejercicio 2.9</i> .....	52
Cuadros y datos de referencia .....	53
<b>3. Tratamiento primario</b> .....	<b>55</b>
Introducción .....	55
Ejercicios resueltos .....	57
<i>Ejercicio 3.1</i> .....	57
<i>Ejercicio 3.2</i> .....	57
<i>Ejercicio 3.3</i> .....	58
<i>Ejercicio 3.4</i> .....	59
Ejercicios propuestos .....	60
<i>Ejercicio 3.5</i> .....	60
<i>Ejercicio 3.6</i> .....	60
<i>Ejercicio 3.7</i> .....	61
<i>Ejercicio 3.8</i> .....	62
Cuadros y datos de referencia .....	62
<b>4. Coagulación-floculación</b> .....	<b>63</b>
Introducción .....	63
<i>Coagulación-floculación</i> .....	63
<i>Tipos de coagulantes y floculantes más utilizados</i> .....	64
<i>Agitación y mezcla</i> .....	65
Ejercicios resueltos .....	66
<i>Ejercicio 4.1</i> .....	66
<i>Ejercicio 4.2</i> .....	66
<i>Ejercicio 4.3</i> .....	67

<i>Ejercicio 4.4</i> .....	68
<i>Ejercicio 4.5</i> .....	69
Ejercicios propuestos .....	71
<i>Ejercicio 4.6</i> .....	71
<i>Ejercicio 4.7</i> .....	72
<i>Ejercicio 4.8</i> .....	72
<i>Ejercicio 4.9</i> .....	72
<i>Ejercicio 4.10</i> .....	73
<i>Ejercicio 4.11</i> .....	73
Cuadros y datos de referencia .....	74
<b>5. Lodos activos</b> .....	75
Introducción .....	75
<i>Generalidades</i> .....	75
<i>Fundamentos de crecimiento bacteriano</i> .....	76
<i>Distribución de los sólidos biológicos en el tratamiento</i> .....	78
<i>Producción de lodos biológicos</i> .....	78
<i>Requerimientos de oxígeno</i> .....	80
<i>Requerimientos de nitrógeno y fósforo</i> .....	80
<i>Parámetros de operación y variables fundamentales</i> .....	81
<i>Ecuaciones de diseño en sistemas de lodos activos</i> .....	83
Ejercicios resueltos .....	85
<i>Ejercicio 5.1</i> .....	85
<i>Ejercicio 5.2</i> .....	86
<i>Ejercicio 5.3</i> .....	86
<i>Ejercicio 5.4</i> .....	87
<i>Ejercicio 5.6</i> .....	91
<i>Ejercicio 5.7</i> .....	95
<i>Ejercicio 5.8</i> .....	97
<i>Ejercicio 5.9</i> .....	98
<i>Ejercicio 5.10</i> .....	102
<i>Ejercicio 5.11</i> .....	104
<i>Ejercicio 5.12</i> .....	105
Ejercicios propuestos .....	107
<i>Ejercicio 5.13</i> .....	107
<i>Ejercicio 5.14</i> .....	107
<i>Ejercicio 5.15</i> .....	108
Cuadros y datos de referencia .....	108

<b>6. Eliminación biológica de nutrientes</b> .....	113
Introducción .....	113
<i>Eliminación de nitrógeno</i> .....	113
<i>Eliminación de fosfatos</i> .....	117
Ejercicios resueltos .....	118
<i>Ejercicio 6.1</i> .....	118
<i>Ejercicio 6.2</i> .....	120
<i>Ejercicio 6.3</i> .....	122
<i>Ejercicio 6.4</i> .....	123
<i>Ejercicio 6.</i> .....	128
<i>Ejercicio 6.6</i> .....	129
Ejercicios propuestos .....	131
<i>Ejercicio 6.7</i> .....	131
<i>Ejercicio 6.8</i> .....	133
<i>Ejercicio 6.9</i> .....	133
Cuadros y datos de referencia .....	134
<b>7. Filtros percoladores aerobios</b> .....	137
Introducción .....	137
<i>Generalidades</i> .....	137
<i>Criterios de diseño y operación</i> .....	137
<i>Modelos de eliminación de DBO</i> .....	138
<i>Modelos de eliminación simultánea de DBO y materia nitrogenada</i> .....	140
Ejercicios resueltos .....	141
<i>Ejercicio 7.1</i> .....	141
<i>Ejercicio 7.2</i> .....	142
<i>Ejercicio 7.3</i> .....	142
<i>Ejercicio 7.4</i> .....	146
<i>Ejercicio 7.5</i> .....	147
<i>Ejercicio 7.6</i> .....	150
<i>Ejercicio 7.7</i> .....	151
Ejercicios propuestos .....	153
<i>Ejercicio 7.8</i> .....	153
<i>Ejercicio 7.9</i> .....	154
<i>Ejercicio 7.10</i> .....	154
<i>Ejercicio 7.11</i> .....	154
Cuadros y datos de referencia .....	155

<b>8. Contactores biológicos rotativos</b> .....	159
Introducción .....	159
Ejercicios resueltos .....	160
<i>Ejercicio 8.1</i> .....	160
<i>Ejercicio 8.2</i> .....	161
<i>Ejercicio 8.3</i> .....	162
<i>Ejercicio 8.4</i> .....	165
Ejercicios propuestos .....	167
<i>Ejercicio 8.5</i> .....	167
<i>Ejercicio 8.6</i> .....	168
Cuadros y datos de referencia .....	168
<b>9. Tratamientos biológicos anaerobios:     filtros anaerobios y reactores UASB</b> .....	171
Introducción .....	171
<i>Diseño de filtros anaerobios</i> .....	172
<i>Diseño de reactores UASB</i> .....	173
Ejercicios resueltos .....	176
<i>Ejercicio 9.1</i> .....	176
<i>Ejercicio 9.2</i> .....	178
<i>Ejercicio 9.3</i> .....	179
Ejercicios propuestos .....	183
<i>Ejercicio 9.4</i> .....	183
<i>Ejercicio 9.5</i> .....	183
Cuadros y datos de referencia .....	184
<b>10. Precipitación química</b> .....	187
Introducción .....	187
<i>Eliminación de calcio y magnesio: ablandamiento de agua</i> .....	188
<i>Precipitación de fosfatos</i> .....	191
<i>Precipitación de metales pesados</i> .....	192
Ejercicios resueltos .....	193
<i>Ejercicio 10.1</i> .....	193
<i>Ejercicio 10.2</i> .....	195
<i>Ejercicio 10.3</i> .....	199

<i>Ejercicio 10.4</i> .....	201
<i>Ejercicio 10.5</i> .....	203
<i>Ejercicio 10.6</i> .....	204
Ejercicios propuestos .....	207
<i>Ejercicio 10.8</i> .....	207
<i>Ejercicio 10.9</i> .....	208
<i>Ejercicio 10.10</i> .....	208
<b>11. Filtración granular</b> .....	209
Introducción .....	209
<i>Crterios de diseño y variables de operación</i> .....	210
Ejercicios resueltos .....	213
<i>Ejercicio 11.1</i> .....	213
<i>Ejercicio 11.2</i> .....	213
<i>Ejercicio 11.3</i> .....	214
<i>Ejercicio 11.4</i> .....	216
<i>Ejercicio 11.5</i> .....	216
<i>Ejercicio 11.6</i> .....	219
<i>Ejercicio 11.7</i> .....	221
Ejercicios propuestos .....	222
<i>Ejercicio 11.8</i> .....	222
<i>Ejercicio 11.9</i> .....	223
Cuadros y datos de referencia .....	224
<b>12. Adsorción</b> .....	229
Introducción .....	229
<i>Isotermas de adsorción</i> .....	230
<i>Consideraciones de diseño y operación</i> .....	231
<i>Capacidad y tiempo de agotamiento</i> .....	232
<i>Tasa de uso de carbón</i> .....	233
Ejercicios resueltos .....	234
<i>Ejercicio 12.1</i> .....	234
<i>Ejercicio 12.2</i> .....	235
<i>Ejercicio 12.3</i> .....	236
<i>Ejercicio 12.4</i> .....	239
<i>Ejercicio 12.5</i> .....	240
<i>Ejercicio 12.6</i> .....	242

Ejercicios propuestos .....	245
<i>Ejercicio 12.7</i> .....	245
<i>Ejercicio 12.8</i> .....	246
<i>Ejercicio 12.9</i> .....	246
<i>Ejercicio 12.10</i> .....	246
<i>Ejercicio 12.11</i> .....	247
Cuadros y datos de referencia .....	247
<b>13. Filtración con membranas</b> .....	249
Introducción .....	249
<i>Parámetros de operación y de diseño</i> .....	250
Ejercicios resueltos .....	253
<i>Ejercicio 13.1</i> .....	253
<i>Ejercicio 13.2</i> .....	254
<i>Ejercicio 13.3</i> .....	255
<i>Ejercicio 13.4</i> .....	257
Ejercicios propuestos .....	258
<i>Ejercicio 13.5</i> .....	258
<i>Ejercicio 13.6</i> .....	259
<i>Ejercicio 13.7</i> .....	259
Cuadros y datos de referencia .....	260
<b>14. Intercambio iónico</b> .....	261
Introducción .....	262
<i>Capacidad de intercambio y selectividad de las resinas</i> .....	262
<i>Parámetros de diseño y operación</i> .....	263
Ejercicios resueltos .....	265
<i>Ejercicio 14.1</i> .....	265
<i>Ejercicio 14.2</i> .....	265
<i>Ejercicio 14.3</i> .....	267
<i>Ejercicio 14.4</i> .....	268
<i>Ejercicio 14.5</i> .....	271
<i>Ejercicio 14.6</i> .....	272
<i>Ejercicio 14.7</i> .....	274
Ejercicios propuestos .....	275
<i>Ejercicio 14.8</i> .....	275
<i>Ejercicio 14.9</i> .....	276

<i>Ejercicio 14.10</i> .....	276
<i>Ejercicio 14.11</i> .....	276
Cuadros y datos de referencia .....	277
<b>15. Procesos avanzados de oxidación</b> .....	281
Introducción .....	281
<i>Procesos Fenton (<math>Fe^{2+}/H_2O_2</math>)</i> .....	282
<i>UV/Peróxido de hidrógeno</i> .....	282
<i>Ozono/UV</i> .....	282
Ejercicios resueltos .....	283
<i>Ejercicio 15.1</i> .....	283
<i>Ejercicio 15.2</i> .....	284
<i>Ejercicio 15.3</i> .....	284
<i>Ejercicio 15.4</i> .....	286
<i>Ejercicio 15.5</i> .....	288
Ejercicios propuestos .....	290
<i>Ejercicio 15.6</i> .....	290
<i>Ejercicio 15.7</i> .....	290
<b>16. Tratamiento de lodos</b> .....	291
Introducción .....	291
Ejercicios resueltos .....	293
<i>Espesamiento de lodos</i> .....	293
<i>Ejercicio 16.1</i> .....	293
<i>Ejercicio 16.2</i> .....	294
<i>Ejercicio 16.3</i> .....	295
<i>Ejercicio 16.4</i> .....	298
<i>Ejercicio 16.5</i> .....	299
<i>Ejercicio 16.6</i> .....	301
<i>Ejercicio 16.7</i> .....	302
<i>Estabilización de lodos</i> .....	304
<i>Ejercicio 16.8</i> .....	304
<i>Ejercicio 16.9</i> .....	306
<i>Ejercicio 16.10</i> .....	309
<i>Ejercicio 16.11</i> .....	311
<i>Ejercicio 16.12</i> .....	313
<i>Ejercicio 16.13</i> .....	314



<i>Acondicionamiento, deshidratación y secado</i> .....	315
<i>Ejercicio 16.14</i> .....	315
<i>Ejercicio 16.15</i> .....	317
<i>Líneas de tratamiento de lodos completas</i> .....	319
<i>Ejercicio 16.16</i> .....	319
<i>Ejercicio 16.17</i> .....	325
Ejercicios propuestos .....	327
<i>Ejercicio 16.18</i> .....	327
<i>Ejercicio 16.19</i> .....	327
<i>Ejercicio 16.20</i> .....	328
<i>Ejercicio 16.21</i> .....	328
Cuadros y datos de referencia .....	329
<b>II. PRÁCTICAS DE LABORATORIO</b> .....	337
<b>Práctica 1. Determinación de los sólidos totales, en suspensión, disueltos, fijos y volátiles de un agua</b> .....	341
<b>Práctica 2. Determinación de la demanda química de oxígeno de un agua residual</b> .....	347
<b>Práctica 3. Determinación de la alcalinidad de un agua</b> .....	353
<b>Práctica 4. Determinación de cloruros en aguas residuales</b> .....	359
<b>Práctica 5. Determinación de los sulfatos de un agua residual</b> .....	363
<b>Práctica 6. Determinación de cinc en aguas por espectrofotometría de absorción atómica de llama</b> .....	369
<b>Práctica 7. Determinación espectrofotométrica de ortofosfatos en aguas</b> .....	375
<b>Práctica 8. Determinación de nitrógeno amoniacal y orgánico en aguas residuales (método Kjeldhal)</b> .....	381
<b>Práctica ix. Proceso de coagulación-floculación aplicado a la sedimentación de un agua residual</b> .....	387
Bibliografía .....	395