

Contenido

Capítulo 1

Características de las aguas residuales	1
Generalidades. Definición. Origen	1
Olor	4
Apariencia.....	4
Concepto de polución (Contaminación).....	4
Características cualitativas y cuantitativas	5
Características cualitativas	6
Características cuantitativas	13
Contribución <i>per cápita</i> . Relación agua/agua residual	13
Variación del caudal	15
Caudal de diseño	15
Cargas orgánicas de las plantas de tratamiento de aguas residuales	17
Concentración del agua residual	19
Análisis de datos de cargas orgánicas de las aguas residuales	20
Población equivalente	22
Medición de la concentración de contaminantes en aguas residuales	23
Demanda teórica de oxígeno	24
Demanda química de oxígeno	24
Demanda bioquímica de oxígeno	25
Demanda total de oxígeno	25
Carbono orgánico total	26
Carbono orgánico teórico	26
Modelo matemático para la curva de DBO	26
Métodos usados para la determinación de K y L	28
Método de los mínimos cuadrados	29
Método de Thomas	29
Principales etapas del tratamiento de las aguas residuales domésticas	30
Ejemplo 1	35
Solución	36
Ejemplo 2	37
Solución	37
Ejemplo 3	39
Solución	39
Ejemplo 4	39
Solución:	39
Referencias bibliográficas	42

Capítulo 2

Biología de las lagunas de estabilización: algas 44

 Biología de las lagunas de estabilización 44

 Géneros de algas presentes en las lagunas de estabilización 46

 Biomasa de las algas 51

 Variaciones diarias de la calidad del efluente
de las lagunas de estabilización 52

 Estratificación de las algas en lagunas de estabilización 57

 Biología de las lagunas aireadas mecánicamente 58

 Referencias bibliográficas 66

Capítulo 3

Microbiología sanitaria y ambiental 68

 Introducción 68

 Clasificación de las enfermedades relacionadas con el agua 70

 Clase 1 70

 Clase 2 71

 Clase 3 71

 Clase 4 71

 Excretas y riesgos para la salud 74

 Tratamiento de las aguas residuales 74

 Bacterias indicadoras de contaminación fecal 75

 Generalidades 75

 Coliformes 76

 Estreptococos fecales y enterococos 80

Clostridius sulfitor y *Clostridium perfringens* 81

Bifidobacterium spp. 81

Bacteroides fragilis 82

 Bacteriófagos 82

 Otros microorganismos indicadores 84

 Conteo de bacterias heterótrofas (conteo estándar en placa) 84

Pseudomonas aeruginosa 85

Staphylococcus aureus 85

 Relación coliformes fecales/estreptococos fecales (CF/EF) 85

 Microorganismos patógenos 86

 Virus 87

 Enterovirus 88

 Poliovirus 88

 Virus de la hepatitis (HEV, HAV) 89

 Virus causantes de gastroenteritis 89

 Bacterias 89

E. coli patógena 91

Salmonella spp. 92

Shigella spp. 92

<i>Yersinia enterocolitica</i>	93
<i>Vibrio cholerae</i>	93
Protozoarios	94
<i>Giardia lamblia</i>	94
<i>Entamoeba histolytica</i>	95
<i>Balantidium coli</i>	97
<i>Cryptosporidium</i> spp.	97
Patógenos emergentes de transmisión hídrica	97
Cianobacterias	97
Helmintos	98
Barreras múltiples para la protección de las aguas de abastecimiento y del medio ambiente general	101
Referencias bibliográficas	104

Capítulo 4

Eliminación de microorganismos por medio

del tratamiento de las aguas residuales	107
Eliminación de microorganismos indicadores de contaminación fecal y de patógenos, con el tratamiento de las aguas residuales	107
Lagunas aireadas mecánicamente	108
Lagunas de estabilización	112
Variaciones de la concentración de bacterias coliformes en el efluente de las lagunas de estabilización durante el ciclo diario	115
Eficiencias de los sistemas de lagunas de estabilización	115
Técnicas de cuantificación de microorganismos	121
Técnica de tubos múltiples	121
Fundamentos del método, APHA (1995), Mara (1974)	121
Técnica de tubos múltiples para coliformes, APHA (1995)	122
Fundamentos de cada etapa	122
Procedimiento	124
Técnica de membrana filtrante, APHA (1995)	125
Fundamentos del método	125
Ventajas de la técnica de membrana filtrante sobre la técnica de tubos múltiples	127
Desventajas de la técnica de membrana filtrante sobre la técnica de tubos múltiples	127
Técnica de membrana de filtración para coliformes totales y fecales (termotolerantes)	130
Determinación de coliformes totales y <i>E. coli</i> por la prueba de sustrato definido (cromogénico)	130
Tubos múltiples con medios de cultivo con MUG	131
Técnica de membrana filtrante con medios de cultivo con MUG	132
CAI Técnica para la determinación de colifagos	132

VI / Sistemas de lagunas de estabilización

Calidad bacteriológica del agua en Brasil, para diferentes usos	134
Referencias bibliográficas	136

Capítulo 5

Fundamentos del tratamiento biológico aerobio	138
Balance de masa	138
Tasa de remoción del sustrato	140
Cinética del crecimiento biológico	143
Producción de lodo	145
Condiciones óptimas para la sedimentación del lodo	145
Coeficientes de producción de lodo	147
Exceso de lodo	148
Edad del lodo o tiempo medio de detención de los sólidos	149
Influencia de la temperatura	150
Oxígeno necesario	151
Nitrificación	154
Ejercicios	156
1. Determinación de los parámetros de diseño de un sistema de lodos activados	156
2. Se utilizó un equipo portátil para realizar una prueba de DBO en el efluente de una planta de tratamiento de aguas residuales. Las lecturas diarias fueron:	164
Referencias bibliográficas	165

Capítulo 6

Tratamiento preliminar	166
Concepto	166
Rejilla de barras	166
Concepto	166
Espaciamiento entre las barras	168
Dimensiones de las barras	168
Tipo de rejillas	169
Inclinación de las barras	169
Dimensionamiento	169
Pérdida de carga en las rejillas	171
Fórmula de Kirschmer, Jaeger (1956)	171
Fórmula de Metcalf y Eddy (1991)	172
Cantidad de material retenido	172
Naturaleza del material retenido	173
Remoción y disposición del material gradado	174
Detalle de los canales de las rejillas	174
Trituradores	175
Desintegradores	175
Desarenadores	175

Concepto	175
Principios de funcionamiento	176
Tipos de desarenadores	177
Número de unidades y derivación	177
Velocidades en los desarenadores	177
Área de los desarenadores	178
Profundidad de la lámina de agua	178
Largo de los desarenadores	178
Ancho de los desarenadores	180
Velocidad en los canales de sedimentación	180
Vertederos	180
Cálculo del resalto	181
Cantidad de material retenido	181
Depósito de material decantado	182
Remoción de sólidos livianos	182
Dispositivos para la medición del caudal	182
Tipos de medidores	182
Principales ventajas de los medidores de caudal	183
Medidor Parshall	184
Vertedero rectangular	184
Ejemplo 1	186
Vertedero triangular	187
Ejemplo 2	188
Dimensionamiento de un tratamiento preliminar	189
Ejemplo 1	189
Referencias bibliográficas	197

Capítulo 7

Lagunas de estabilización	198
Generalidades. Ventajas y desventajas. Tipos	198
Factores físicos, químicos y microbiológicos que intervienen en el mecanismo de autodependencia de las lagunas	201
Introducción	201
Fenómenos naturales no controlables	202
Acción de los vientos	202
Temperatura	202
Ejemplo	207
Precipitaciones pluviales	207
Radiación solar	207
Ejemplo 1	208
Ejemplo 2	209
Evaporación	209
Factores físicos	210
Área superficial	210

Cargas orgánicas superficiales para lagunas facultativas (kg DBO ₅ /ha-día)	215
Altura de la lámina líquida	215
Cortocircuitos	216
Mezcla	216
Patrones de caudal y mezcla en las lagunas	218
Reactores discontinuos	218
Flujo pistón	218
Mezcla completa	218
Flujo disperso	219
Ejercicio 1	223
Ejercicio 2	225
Factores químicos	227
Valor del pH	227
Materiales tóxicos	228
Oxígeno disuelto	228
Factores microbiológicos	229
Nutrientes	229
Fundamentos técnicos del diseño	229
Modelos empleados en el dimensionamiento	
de las lagunas de estabilización	229
Lagunas anaerobias	231
Métodos de dimensionamiento	232
Método sudafricano	232
Método basado en el periodo de detención	233
Lagunas facultativas	235
Métodos de dimensionamiento	236
Método de Gloyna	236
Método basado en el periodo de detención	237
Método basado en la carga superficial	239
Correlaciones de temperatura	240
Lagunas de maduración	241
Métodos de dimensionamiento	242
Método basado en el periodo de detención	242
Estimación del coeficiente de velocidad de remoción	
de coliformes fecales	242
Dimensionamiento, usando los criterios de flujo disperso	
por el método de Yañez	244
Remoción de nematodos intestinales	244
Ejemplos	246
Ejemplo de dimensionamiento de un sistema	
de lagunas de estabilización	246
Dimensionar un sistema de lagunas de estabilización con los datos	
del ejemplo anterior, alternativa A	251
Referencias bibliográficas	254

Capítulo 8

Lagunas aireadas mecánicamente	257
Generalidades. Tipos	257
Teoría de aireación. Equipos utilizados	260
Introducción	260
Equipos de aireación	261
Aireación por aire difuso	261
Aireación por turbina de aireación	261
Aireación por aireadores superficiales	262
Detalles del proyecto e instalación de aireadores superficiales	264
Transferencia de oxígeno	264
Esquemas de instalación	265
Tipos de montaje	267
Expresiones utilizadas en el dimensionamiento de los aireadores superficiales	268
Proyecto de lagunas aireadas mecánicamente	270
Introducción	271
Nuevos criterios del proyecto	272
Guía para dimensionamiento de una laguna aireada aerobia con mezcla completa	274
Guía para dimensionamiento de un sistema en serie de dos lagunas aireadas, donde la primera es aerobia con mezcla completa, y la segunda, facultativa	276
Lagunas aireadas aerobias con mezcla completa	276
Laguna aireada facultativa	277
Guía para dimensionamiento de un sistema en serie de n lagunas aireadas, donde la primera es aerobia con mezcla completa, y las restantes, facultativas ...	278
Lagunas de sedimentación	279
Ejemplos	282
Ejemplo 1	282
Ejemplo 2	284
Ejemplo 3	292
Referencias bibliográficas	294

Capítulo 9

Partes constitutivas de las lagunas	296
Introducción	296
Dimensionamiento de canales y tuberías de interconexiones	296
Canales abiertos	298
Ejemplo 1	301
Ejemplo 2	301
Ejemplo 3	302
Conductos libres de sección circular	303
Ejemplo 1	306

X / Sistemas de lagunas de estabilización

Ejemplo 2	308
Obras de arte	312
Pretratamiento	312
Dispositivos para la distribución proporcional de caudales entre varias lagunas	313
Dispositivos de entrada	314
Dispositivos de interconexión	316
Dispositivos de salida	316
Dispositivos de reunión	316
Referencias bibliográficas	319

Capítulo 10

Aspectos constructivos	321
Introducción	321
Fases de construcción	321
Localización	321
Disponibilidad del terreno	322
Topografía	322
Localización de la laguna en función de los vientos dominantes	322
Condiciones del suelo	322
Permeabilidad del terreno	323
Construcción propiamente dicha	324
Topografía	325
Desmante	325
Ejemplo	326
Descapote	326
Excavación	326
Escarificación	327
Terraplenes	327
Construcción de diques	327
Impermeabilización del fondo	327
Ejercicio	328
Protección de taludes	330
Geometría de las lagunas	332
Forma	332
Métodos para la estimación con optimización de volúmenes de corte y relleno de los taludes de las lagunas	332
Cortina rompevientos	333
Especificaciones técnicas	334
Lagunas de estabilización y aireadas mecánicamente	334
Limpieza del terreno	334
Excavación	334
Rellenos compactados	334
Enrocamiento, cortinas y filtros	336

Cajas y pasadizos	337
Depósitos	337
Obras complementarias	337
Limpieza final de las obras	338
Catastro de obras	338
Presupuesto	338
Referencias bibliográficas	340

Capítulo 11

Aspectos económicos e institucionales. Operación y mantenimiento	341
Introducción	341
Aspectos económicos	341
Aspectos institucionales y de personal	347
Administración	347
Seguridad	348
Personal	349
Funciones del personal	349
Actividades generales de inspección y mantenimiento	350
Operación y mantenimiento	351
Inicio de operación	351
Control del proceso	353
Cuidado de la obra civil	353
Tratamiento preliminar	353
Limpieza de los medidores de caudal	356
Limpieza de las tuberías de las cajas de paso y de distribución de flujo	356
Mantenimiento de taludes	356
Mantenimiento de caminos, cercas y otros elementos de la planta de tratamiento	357
Retiro del lodo de las lagunas anaerobias	358
Retiro del lodo de las lagunas facultativas	359
Problemas de funcionamiento y soluciones, MOPT (1991)	359
Indicadores de buen funcionamiento de las lagunas anaerobias	359
Problema de funcionamiento de las lagunas anaerobias	359
Surgimiento y control de malos olores	359
Surgimiento de coloraciones rosa o rojo	360
Desarrollo de mosquitos y otros insectos	361
Crecimiento de malezas y plantas acuáticas	361
Indicaciones de buen funcionamiento de las lagunas facultativas y de maduración	361
Problemas de funcionamiento de las lagunas facultativa y de maduración	361
Surgimiento de malos olores	362
Acumulación de materias flotantes	362

XII / Sistemas de lagunas de estabilización

Cortocircuitos o caminos preferenciales	362
Crecimiento de malezas y plantas acuáticas	363
Desarrollo de mosquitos y otros insectos	363
Control analítico, muestreo y determinaciones	363
Referencias bibliográficas	365