

SISTEMAS DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES

MARCELO MUÑOZ
MARÍA BELÉN ALDÁS



ESCUELA
POLITÉCNICA
NACIONAL

Ingeniería Civil y Ambiental

Sistemas de depuración de aguas residuales

Marcelo Muñoz, María Belén Aldás

abril 2017

Sistema de Depuración de Aguas Residuales
Marcelo Muñoz - María Belén Aldás

Este libro ha seguido el proceso editorial de la Escuela Politécnica Nacional en el que incluye la revisión por pares anónimos.

Comité Editorial: Marco Calahorrano (Editor en jefe)
Jenny Ruales (Coeditora)
Cecilia Paredes
Víctor Hidalgo
Leonardo Basile

Técnico Operativo: Sebastián Laverde

Diseño de portadas: Dirección de Relaciones Institucionales

ISBN: 978-9978-383-46-9

Publicado bajo el sello EPN Editorial
Vicerrectorado de Docencia
Ladrón de Guevara E11-253
Quito - Ecuador

Primera Edición: 2017

Primera impresión: 2017

© Escuela Politécnica Nacional 2017

Índice general

| | |
|--|----------|
| Índice de figuras | V |
| Índice de cuadros | VII |
| Abreviaturas | IX |
| Prefacio | XIII |
| Introducción | XVII |
| 1. Efecto de las aguas residuales: ambiente y salud pública | 1 |
| 1.1. Composición de las aguas residuales domésticas | 2 |
| 1.1.1. Materia orgánica biodegradable y en suspensión | 3 |
| 1.1.2. Nutrientes | 4 |
| 1.1.3. Patógenos | 6 |
| 2. Características de las aguas residuales domésticas | 7 |
| 2.1. Material sólido | 8 |
| 2.2. Evaluación de la contaminación orgánica | 14 |
| 2.2.1. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) | 15 |
| 2.2.2. Demanda química de oxígeno (DQO) | 21 |
| 2.2.3. Carbono orgánico total | 22 |
| 2.2.4. Determinación de la concentración de microor- ganismos en los reactores biológicos (biomasa) | 23 |
| 2.2.5. Determinación de la concentración de microor- ganismos patógenos | 23 |
| 2.2.6. Determinación de los elementos químicos . . . | 24 |

| | |
|--|------------|
| 3. Caudales | 25 |
| 3.1. Caudales de las aguas residuales domésticas | 25 |
| 4. Pretratamiento. Operaciones unitarias | 29 |
| 4.1. Remoción de sólidos gruesos. Rejas | 29 |
| 4.1.1. Abertura (α) | 30 |
| 4.1.2. Forma y dimensión de las barras | 30 |
| 4.1.3. Tipos de rejas | 31 |
| 4.1.4. Inclinación (α) | 32 |
| 4.1.5. Diseño de la reja | 32 |
| 4.2. Tamizado | 40 |
| 4.2.1. Tasa superficial | 40 |
| 4.2.2. Pérdida de carga | 40 |
| 4.3. Sistemas de flotación | 41 |
| 4.3.1. Trampa de grasa | 41 |
| 4.3.2. Trampa de grasa aireada | 43 |
| 4.3.3. Flotación con aire disuelto | 45 |
| 4.3.4. Dimensionamiento de un sistema de flotación con aire disuelto | 49 |
| 4.4. Desarenador | 54 |
| 4.4.1. Tipos de desarenadores | 54 |
| 4.5. Homogeneizador | 66 |
| 5. Tratamiento primario | 69 |
| 5.1. Teoría de la sedimentación primaria | 69 |
| 5.2. Sedimentador primario | 71 |
| 5.2.1. Dimensionamiento de un sedimentador primario | 71 |
| 5.3. Fosas sépticas | 84 |
| 5.3.1. Fosa séptica de cámara única | 85 |
| 5.3.2. Fosa séptica de cámara en serie | 88 |
| 5.3.3. Fosa séptica de cámaras sobrepuestas | 88 |
| 5.4. Posttratamiento de efluentes de fosa séptica cámara úni- ca y en serie | 95 |
| 5.5. Posttratamiento para tanque Imhoff | 99 |
| 6. Tratamiento biológico (secundario) | 101 |
| 6.1. Fundamentos | 101 |
| 6.1.1. Crecimiento bacteriano en un reactor estático . | 102 |

| | |
|---|------------|
| 6.1.2. Crecimiento bacteriano en un reactor de flujo continuo | 104 |
| 6.2. Tecnología para el tratamiento biológico | 104 |
| 6.2.1. Tipos de reactores | 104 |
| 6.2.2. Sistemas de tratamiento biológico | 107 |
| 6.2.3. Diseño de lagunas de estabilización | 116 |
| 6.2.4. Lodos activados | 146 |
| 6.2.5. Tipos de sistemas de lodos activados | 158 |
| 6.2.6. Sistemas de película biológica (lechos bacterianos) | 168 |
| 6.2.7. Sistema de lecho fijo de flujo libre aerobio-facultativo. Cinética del consumo de sustrato | 169 |
| 6.2.8. Pretratamiento y postratamiento | 176 |
| 6.2.9. Recirculación del efluente | 177 |
| 6.2.10. Carga hidráulica | 178 |
| 6.2.11. Biodisco | 180 |
| 6.2.12. Sistema local alterno | 180 |
| 6.2.13. Carga orgánica volumétrica, L_V | 181 |
| 6.2.14. Pretratamiento y postratamiento | 181 |
| 6.2.15. Sistema con medio de soporte sumergido aerobio-facultativo | 182 |
| 6.2.16. Sistemas de lecho fluidificado | 185 |
| 6.2.17. Sistemas anaerobios | 188 |
| 6.2.18. Sistemas anaerobios para aguas residuales | 192 |
| 6.2.19. Postratamiento del efluente | 208 |
| 7. Aplicación al terreno | 215 |
| 7.1. Sistemas de riego | 216 |
| 7.1.1. Condicionamiento hidráulico | 217 |
| 7.2. Infiltración rápida | 223 |
| 7.3. Escurrimiento superficial | 223 |
| 7.4. Humedales | 226 |
| 7.4.1. Consumo de oxígeno (CO_2) | 226 |
| 7.4.2. Suministro de oxígeno por el cultivo | 226 |
| 8. Desinfección | 229 |
| 8.1. Cloro | 230 |
| 8.2. Dióxido de cloro, ClO_2 | 234 |

| | |
|--|------------|
| 8.3. Ozono, O ₃ | 242 |
| 8.4. Radiación ultravioleta (RUV) | 245 |
| 8.4.1. Lámparas sumergidas en el agua | 245 |
| 8.4.2. Lámparas externas o tubos transparentes | 246 |
| 8.4.3. Lámparas sobre lámina de agua | 246 |
| 9. Gestión de lodos | 251 |
| 9.1. Calidad de los lodos | 251 |
| 9.1.1. Carga orgánica | 251 |
| 9.1.2. Humedad | 254 |
| 9.1.3. Contenido de sólidos | 254 |
| 9.1.4. Peso específico | 254 |
| 9.2. Cantidad | 254 |
| 9.2.1. Producción de lodo en función de datos operacionales | 255 |
| 9.3. Operaciones unitarias para la gestión de lodos | 256 |
| 9.3.1. Espesamiento | 256 |
| 9.3.2. Estabilización | 262 |
| 9.3.3. Acondicionamiento químico | 272 |
| 9.3.4. Deshidratación | 273 |
| Bibliografía | 285 |
| Apéndice | 289 |
| A. Evaluación ambiental de aguas residuales y operaciones de sistemas de depuración | 291 |
| A.1. Introducción | 291 |
| A.1.1. Tipos y características de las aguas residuales | 291 |
| A.1.2. Impacto ambiental de las descargas de las aguas residuales | 298 |
| A.2. Operaciones y procesos unitarios | 299 |
| A.2.1. Remoción de sólidos gruesos | 299 |
| A.2.2. Remoción de sólidos en suspensión | 299 |
| A.2.3. Remoción de sólidos pesados | 300 |
| A.2.4. Remoción de sólidos livianos | 301 |
| A.2.5. Remoción de sólidos disueltos orgánicos | 302 |

| | | |
|--------|---|------------|
| A.2.6. | Remoción de iones disueltos (metales pesados, nitratos, etc.) | 302 |
| A.2.7. | Remoción de material orgánico disuelto por oxidación química | 303 |
| A.2.8. | Remoción de materia orgánica por procesos biológicos | 303 |
| A.2.9. | Parámetros de control | 315 |
| A.3. | Gestión de lodos | 315 |
| A.3.1. | Drenaje y adensamiento | 316 |
| A.3.2. | Estabilización | 317 |
| A.3.3. | Acondicionamiento químico | 320 |
| A.3.4. | Deshidratación | 320 |
| A.3.5. | Destino final | 324 |
| A.3.6. | Sólidos Inorgánicos | 324 |
| | Glosario | 325 |

ÍNDICE GENERAL

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| 1.1. Concentración de oxígeno disuelto | 5 |
| 2.1. Composición de las aguas residuales domésticas | 8 |
| 2.2. Composición de las aguas residuales domésticas | 9 |
| 2.3. Tamaño de las partículas de los sólidos | 11 |
| 2.4. DQO y DBO en función de la concentración de materia orgánica | 15 |
| 2.5. Representación de los modelos de Monod y Michaelis-Menten. | 16 |
| 2.6. Cinética de la DBO. | 18 |
| 2.7. Demanda bioquímica carbonácea y nitrogenácea. . . . | 19 |
| 2.8. Concentración de patógenos en función de la concentración de coliformes fecales. | 23 |
| 3.1. Variación de caudal con el tiempo (Maringá, Brasil) . . | 26 |
| 3.2. Variación de caudal en una industria textil. | 26 |
| 3.3. Efecto del tanque homogeneizador. | 27 |
| 4.1. Formas de las barras | 30 |
| 4.2. Tipos de rejillas | 32 |
| 4.3. Inclinación de las rejillas | 32 |
| 4.4. Sección de una rejilla. | 33 |
| 4.5. Diseño de la transición 1:4. | 39 |
| 4.6. Diseño de la rejilla | 39 |
| 4.7. Tamiz estático SERTIS | 41 |
| 4.8. Dimensiones de una trampa de grasa. | 42 |

| | |
|--|----|
| 4.9. Sistema de flotación. | 44 |
| 4.10. Eficiencia de remoción de grasas y aceites. | 44 |
| 4.11. Concentración de aire disuelto en función de la presión. | 45 |
| 4.12. Flotación con aire disuelto | 46 |
| 4.13. Relación entre A/S y $SS_{efluente}$ | 49 |
| 4.14. Dimensiones del tanque de flotación. | 52 |
| 4.15. Componentes de un desarenador hidráulico. | 55 |
| 4.16. Corte 1-1 sección transversal del canal de fig. 4.15. | 57 |
| 4.17. Sección del desarenador. | 58 |
| 4.18. Sedimentación de partículas discretas. | 58 |
| 4.19. Dimensiones de la sección transversal del desarenador. | 61 |
| 4.20. Desarenador visto en corte y en planta | 62 |
| 4.21. Desarenador con vertedero proporcional (tres vistas) | 63 |
| 4.22. Diseño del vertedero proporcional. | 65 |
| 4.23. Cálculo del caudal medio y volumen del tanque homogeneizador. | 68 |
| | |
| 5.1. Fuerzas implicadas en la sedimentación de una partícula. | 70 |
| 5.2. Tanque de sedimentación. | 72 |
| 5.3. Resultados ensayo en columna de sedimentación. | 73 |
| 5.4. Determinación de los valores de R_T en función de v_s | 74 |
| 5.5. Esquema de un ensayo de sedimentación. | 75 |
| 5.6. Curva C/C_0 frente a v | 76 |
| 5.7. Curva % R_T frente a v | 77 |
| 5.8. Ensayos de laboratorio para eficiencia de remoción por sedimentación. | 78 |
| 5.9. Curva % Eficiencia frente a t_r | 79 |
| 5.10. Curvas de remoción de DQO y DBO ₅ en función del tiempo de retención. | 80 |
| 5.11. Dimensiones del sedimentador. | 81 |
| 5.12. Entrada al sedimentador. | 82 |
| 5.13. Salida del sedimentador (dos vistas) | 83 |
| 5.14. Sistema de tolvas. | 83 |
| 5.15. Fosa séptica de cámara única. | 85 |
| 5.16. Fosa séptica de cámara en serie. | 88 |
| 5.17. Fosa séptica de cámaras sobrepuestas (tres vistas) | 89 |
| 5.18. Diseño del tanque Imhoff modificado (dos vistas) | 94 |

| | |
|--|-----|
| 5.19. Zanja de infiltración. | 95 |
| 5.20. Esquema de tramos de la zanja posteriores a la fosa séptica. | 97 |
| 5.21. Esquema del filtro biológico. | 98 |
| 6.1. Crecimiento bacteriano en un reactor estático. | 103 |
| 6.2. Reactor mezcla completa. | 105 |
| 6.3. Reactor flujo pistón. | 106 |
| 6.4. Esquema de una laguna anaerobia. | 108 |
| 6.5. Reactores anaerobios | 110 |
| 6.6. Esquema de una laguna facultativa. | 110 |
| 6.7. Esquema de la simbiosis algas-bacterias. | 111 |
| 6.8. Esquema de configuración de sistemas de lagunas. | 112 |
| 6.9. Intercepción de la acción del viento. | 113 |
| 6.10. Esquema de una laguna para realizar el balance hídrico. | 114 |
| 6.11. Variación de la L_s máxima en lagunas facultativas con la temperatura media ambiental | 118 |
| 6.12. Carga orgánica superficial removida en función de la carga orgánica superficial entrante | 119 |
| 6.13. Gráfico kt contra t | 126 |
| 6.14. Lagunas aireadas a) Aerobia b) Facultativa | 134 |
| 6.15. Número de aireadores en función de la densidad de potencia | 135 |
| 6.16. Aireador tipo aspirador, Marca AIRE-O2 | 140 |
| 6.17. Esquema del proceso de lodos activados. | 147 |
| 6.18. Balance de masa en el sedimentador secundario. | 155 |
| 6.19. Tasa de sólidos en función de la concentración de sólidos en suspensión espesados | 157 |
| 6.20. Esquema proceso de lodos activados convencionales. | 159 |
| 6.21. Esquema del proceso de lodos activados de aireación prolongada. | 159 |
| 6.22. Esquema de la instalación sistema de lodos activados convencionales. | 164 |
| 6.23. Esquema de la instalación sistema de lodos activados de aireación prolongada. | 167 |
| 6.24. Sistema aerobio-facultativo en medio de soporte y biopelícula. | 168 |

| | |
|---|-----|
| 6.25. Esquema superficie específica. | 169 |
| 6.26. Fases del consumo de sustrato. | 170 |
| 6.27. Esquema de la tasa de transferencia externa. | 171 |
| 6.28. Efecto del área transversal en la altura y el volumen requerido para alcanzar una reducción del 90% en la reducción de sustrato [14]. | 172 |
| 6.29. Espesor de biopelícula y consumo de sustrato. | 172 |
| 6.30. Modelo flujo pistón para reactores de biopelícula. | 174 |
| 6.31. Esquema de instalación de reactor de biopelícula. | 176 |
| 6.32. Recirculación en sistemas de biopelícula. | 177 |
| 6.33. Pérdida de carga en sistemas de lecho fijo y flujo libre. | 179 |
| 6.34. Biodisco a) vista en planta b) corte 1-1 c) corte 2-2. | 179 |
| 6.35. Sistema local alternativo. | 180 |
| 6.36. Esquema para la determinación de la carga orgánica volumétrica. | 181 |
| 6.37. Eficiencia en función de L_V | 182 |
| 6.38. Reactor con medio de soporte sumergido aerobio- facultativo. | 182 |
| 6.39. Esquema de lecho fluidificado. | 185 |
| 6.40. Eficiencia vs Carga orgánica volumétrica expandida. | 188 |
| 6.41. Carga orgánica volumétrica de DQO y DBO de aguas residuales domésticas en función del tiempo de reten- ción hidráulico (se indican las cargas aplicadas, remo- vidas y convertidas) Pedregal, Brasil [15]. | 197 |
| 6.42. a) Evolución de la concentración del lodo en función del tiempo de operación en un reactor UASB que trata aguas residuales domésticas para diferentes alturas y masa de lodo (SST y SSV). b) Concentración de lodo en función de la altura en reactores UASB con tiempos de retención hidráulicos diferentes tratando aguas resi- duales domésticas [15]. | 199 |
| 6.43. Carga específica de lodo y remoción específica del DQO para diferentes tiempos de retención (base SST y SSV) [15]. | 201 |
| 6.44. Esquema del diseño de una caja de distribución [15]. | 204 |
| 6.45. Ejemplos de diseños de separadores de gas en reactores UASB, en a) Pedregal, b) Cali y c) Jeremías, Brasil [15]. | 206 |

| | |
|--|-----|
| 6.46. Canal con vertederos en V para la recolección del efluente en reactores UASB. b) Alternativas de diseño para la recolección del efluente [15]. | 207 |
| 6.47. Esquema de lecho fijo y flujo ascendente. | 211 |
| 6.48. Esquema de lecho fijo y flujo descendente. | 211 |
| 7.1. Riego por surcos. | 217 |
| 7.2. Esquema tasa hidráulica para mantener condición aerobia en el suelo. | 220 |
| 7.3. Esquema de escurrimiento superficial. | 224 |
| 7.4. Esquema de un humedal. | 226 |
| 8.1. Cámara de contacto a) vista en planta b) corte. | 238 |
| 8.2. Lámparas sumergidas [22]. | 246 |
| 8.3. Lámparas externas. | 246 |
| 8.4. Lámparas externas. | 247 |
| 8.5. Esquema de la instalación. | 250 |
| 9.1. Balance de DBO en lodos activados convencionales. | 252 |
| 9.2. Balance de DBO en lodos activados de aireación prolongada. | 252 |
| 9.3. Balance de DBO en un sistema anaerobio. | 253 |
| 9.4. Operaciones unitarias para la gestión de lodos. | 257 |
| 9.5. Adensador a gravedad. | 258 |
| 9.6. Principio de separación en centrífugas de dos y tres fases [23]. | 259 |
| 9.7. Esquema recuperación de sólidos. | 261 |
| 9.8. Digestor de baja tasa. | 264 |
| 9.9. Digestor de alta tasa de una etapa. | 265 |
| 9.10. Digestor de alta tasa de dos etapas. | 266 |
| 9.11. Esquema de la instalación del digestor. | 270 |
| 9.12. Incinerador de lodos. | 273 |
| 9.13. Filtro de vacío [5]. | 275 |
| 9.14. Filtro prensa [5]. | 277 |
| 9.15. Filtro rotativo a presión [25]. | 280 |
| 9.16. Lecho de secado a) vista en planta b) corte 1-1 c) corte 2-2. | 282 |

A.1. Comportamiento del oxígeno disuelto (O.D.) en un río
donde se descargan aguas residuales orgánicas. 298

Índice de cuadros

| | |
|--|-----|
| 2.1. Concentraciones típicas de sólidos en aguas residuales domésticas [2]. | 10 |
| 2.2. Concentración típica de DBO_5 y DQO de aguas residuales domésticas | 22 |
| 2.3. Contribución per cápita de DBO_5 | 22 |
| 4.1. Tasa de retención de material según la abertura de la reja | 36 |
| 4.2. Dimensiones vertedero proporcional | 64 |
| 4.3. Puntos para el dimensionamiento del vertedero proporcional. | 65 |
| 4.4. Datos de registros de caudal. | 67 |
| 5.1. Datos ensayo de sedimentación. | 75 |
| 5.2. Resultados ensayo de sedimentación. | 76 |
| 5.3. Resultados ensayo de eficiencia de remoción SS | 79 |
| 5.4. Resultados ensayo de eficiencia de remoción | 84 |
| 5.5. Parámetros esperados en el efluente de una fosa séptica. | 85 |
| 6.1. Datos de mortalidad de patógenos en lagunas de bajo calado | 125 |
| 6.2. kt en función del tiempo de retención y profundidad. | 126 |
| 6.3. Eficiencia de remoción de DBO_5 y DQO | 141 |
| 6.4. Eficiencia de remoción de SS | 142 |
| 6.5. Superficies específicas en función del diámetro de la partícula y su porcentaje de expansión. | 186 |

| | |
|--|-----|
| 6.6. Coeficiente de uniformidad y diámetro efectivo para varios medios de soporte. | 188 |
| 6.7. Valores de Y y K_d en función del sustrato.[2] | 191 |
| 6.8. Carga orgánica volumétrica recomendada para UASB a 30°C y eficiencia DQO 85 a 95 % [15]. | 196 |
| 6.9. Carga orgánica volumétrica recomendada en función de la temperatura eficacia del 85-95 % (DQO) y concentración media del lodo de 25 g/l [15]. | 197 |
| 6.10. Tiempo de retención hidráulica (t_R) para UASB con aguas residuales domésticas para una altura de 4.00 m [15]. | 198 |
| 6.11. Tasa hidráulica superficial (THS) y alturas h_T recomendadas [15]. | 198 |
| 6.12. Flujo de entrada, concentración promedio y edad del lodo en diferentes reactores UASB como función del tiempo de retención hidráulico tratando aguas residuales domésticas [15]. | 200 |
| 6.13. Carga específica para diferentes reactores UASB para tratamiento de aguas residuales [15]. | 202 |
| 6.14. Área por punto de alimentación en función del tipo de lodo y su carga orgánica volumétrica [2, 15]. | 203 |
| 6.15. Eficiencia del lecho expandido en función de la temperatura y la carga volumétrica [2]. | 212 |
| 6.16. Eficiencia de lecho fluidificado en función de la temperatura, carga orgánica volumétrica y tiempo de retención [2]. | 213 |
| 7.1. Criterios de diseño en los sistemas de aplicación superficial [17]. | 222 |
| 7.2. Calidad en el efluente de los sistemas de aplicación al terreno [17]. | 222 |
| 7.3. ksdfhgkjsdfh | 228 |
| 8.1. Solubilidad del cloro en función de la temperatura [2]. | 233 |
| 8.2. Mortalidad de coliformes en función de la dosis de cloro con tiempo de contacto de 30 minutos [2]. | 234 |
| 8.3. Rangos estimados de concentración en tiempo para niveles de inactivación ($pH = 7, T = 20^\circ C$) [2]. | 236 |

| | | |
|------|--|-----|
| 8.4. | Consumo de energía en un sistema de ozono [2]. . . . | 243 |
| 8.5. | Dosis de ozono y calidad de efluente [2]. | 244 |
| 9.1. | Tiempo de retención en función de la temperatura [2]. | 265 |
| 9.2. | Parámetros cinéticos digestores de dos etapas [2]. . . . | 266 |
| A.1. | Industria alimenticia: diversas, cárnicos, lácteos, y aceites vegetales [5]. | 293 |
| A.2. | Industrias de bebidas y curtiembres [5]. | 294 |
| A.3. | Industrias metalúrgica, galvanoplástica, petroquímica y textil [5]. | 296 |
| A.4. | Fertilizantes nitrogenados, química orgánica, celulosa y papel [5]. | 297 |

ÍNDICE DE CUADROS

Abreviaturas

| | |
|-----------|---|
| A | cantidad de aire liberado, área |
| a | abertura, altura mínima |
| A | área |
| A_B | área del biogás |
| b | base |
| B, x, W | ancho |
| C | concentración de sólidos en suspensión |
| c | coeficiente de retorno como agua residual |
| C_D | coeficiente de rozamiento en función del número de Reynolds |
| C_d | coeficiente de descarga |
| CF | coliformes fecales |
| CMN | cantidad máxima de nitrógeno |
| CO | carga orgánica |
| CO_2 | Consumo de oxígeno |
| COT | carbono orgánico total |
| CS | carga de sólidos |
| DBO | demanda bioquímica de oxígeno |
| DE | diámetro efectivo |
| D_p | densidad de potencia |
| DQO | demanda química de oxígeno |
| e | espesor |
| $E, \%E$ | eficiencia |
| E_F | factor de efectividad |
| E_V | evapotranspiración |

ÍNDICE DE CUADROS

| | |
|--------------|---|
| f | factor de conversión de DBO_5 a DBO_u |
| f | coeficiente de eficiencia de solubilidad |
| F/M | factor de carga |
| FB | factor de biodegradabilidad |
| g | gravedad |
| G | gradiente de velocidad |
| G.E. | grado de estabilización |
| h, H | altura, profundidad, carga hidráulica, humedad |
| I | capacidad de infiltración |
| IVL | índice volumétrico de lodo |
| K, k | coeficiente de biodegradación, constante |
| L | concentración de DBO remanente en el reactor en el tiempo t |
| L | longitud |
| L_{FP} | laguna facultativa primaria |
| L_{FS} | laguna facultativa secundaria |
| L_o, DBO_u | demanda bioquímica de oxígeno última (total) |
| L_s | carga orgánica superficial |
| L_v | longitud necesaria del vertedero, carga orgánica volumétrica |
| M | laguna de maduración |
| MO | materia orgánica |
| n | número de lagunas de maduración en serie |
| N | número de personas servidas, número de habitantes, número de coliformes fecales, nitrógeno, número de ciclos, número de cámaras, número de lámparas |
| N_R | número de Reynolds |
| OP | ocupación per cápita |
| P | presión |
| P | potencia, permeabilidad, concentración de sólidos |
| $P.T.L.P.$ | producción total de lodo en peso |
| $P.U.L.P.$ | producción unitaria de lodo en peso |
| P_A | período de almacenamiento |
| PE | permeabilidad |

| | |
|----------|---|
| P_L | período de limpieza |
| P_r | precipitación pluvial |
| P_s | fracción de sólidos en decimales |
| P_x | cantidad de biomasa que sale del sistema |
| Q | caudal |
| q | caudal unitario |
| r | relación de recirculación |
| R | caudal de recirculación |
| r | peso específico, radio |
| R | tasa de reacción |
| R_A | reactor anaerobio |
| RE | rendimiento de equipo |
| R_H | radio hidráulico |
| RS | eficiencia en la recuperación de sólidos |
| R_T | remoción total |
| S | área, cantidad de sólidos en suspensión en el afluente, concentración de sustrato |
| S | concentración de sustrato, solubilidad |
| s | sumergencia |
| SD | sólidos disueltos filtrables |
| SDF | sólidos disueltos fijos |
| SDT | sólidos disueltos totales |
| SDV | sólidos disueltos volátiles |
| S_E | superficie específica |
| SS | sólidos en suspensión no filtrables |
| SSF | sólidos en suspensión fijos |
| SST | sólidos en suspensión totales |
| SSV | sólidos en suspensión volátiles |
| t | tiempo |
| T | temperatura |
| T_{AL} | tasa de acumulación de lodo |
| TC | producción de lodo a ser procesado |

ÍNDICE DE CUADROS

| | |
|--------------|--|
| TH | tasa hidráulica |
| THS | tasa hidráulica superficial |
| TPL | tasa per cápita de lodo digerido, generalmente |
| TPL | tasa per cápita de lodo |
| TR, t_r | tiempo de retención |
| t_{RH} | tiempo de retención hidráulico |
| T_{rLF} | tiempo de retención de la laguna aireada facultativa |
| TS | tasa superficial |
| TS | tasa de sólidos |
| TT | tasa de transferencia |
| v | velocidad |
| V | volumen |
| w_{rad} | velocidad angular |
| X | concentración de sólidos en suspensión, concentración de biomasa |
| x_s | fracción de sólidos removida |
| y | demanda bioquímica de oxígeno oxidada biológicamente |
| Y | coeficiente de producción de biomasa |
| α | inclinación, coeficiente de proporcionalidad, coeficiente de distribución en área del sustrato |
| γ | viscosidad cinemática |
| Δh_L | pérdida de carga localizada |
| ΔS | concentración de aire liberado |
| Δt | intervalo de tiempo |
| η | porosidad |
| θ_c | tiempo de retención celular |
| μ | velocidad específica de crecimiento celular, viscosidad dinámica |
| ρ | densidad |
| ϕ, d, D | diámetro, dotación de agua, dosis, espesor |

Prefacio

El objetivo de los autores al entregar este texto, es el de ofrecer una fuente de consulta útil para estudiantes, docentes y profesionales del área de la Ingeniería Ambiental y Sanitaria, en el que se abarca la temática de las aguas residuales domésticas y su problemática ambiental; así como los tratamientos a los cuales pueden ser sometidas para su depuración.

El texto, cuyo contenido proviene del conocimiento, investigación y accionar práctico, cubre a detalle los aspectos concernientes a las características de las aguas residuales domésticas y su impacto en el ambiente; posteriormente lo referente a pretratamientos, tratamientos primarios y secundarios, la aplicación del agua tratada al suelo, los procesos de desinfección y finalmente la gestión de los lodos generados en las etapas anteriores.

En cada capítulo se ofrecen los fundamentos teóricos de cada tema y varios ejemplos de aplicación resueltos, dando así, a este texto, el enfoque práctico necesario para comprender los sistemas de depuración existentes.

La transferencia de tecnología, a través de las propuestas planteadas, aplicables sobretodo en el contexto nacional, hacen que este texto se convierta en una herramienta de diseño, tanto el ámbito de la docencia como en el de la ingeniería.

Los autores

Quito, septiembre 2017

ÍNDICE DE CUADROS

Agradecimiento

Los autores agradecen a la Escuela Politécnica Nacional, al Vicerrectorado de Docencia y al personal de la Dirección de Relaciones Institucionales por su apoyo en la edición de este texto.

ÍNDICE DE CUADROS

Introducción

Desde muy temprano en la historia de la humanidad, el agua ha sido el compuesto fundamental para la sustentación de la vida y, en consecuencia, se ha encontrado presente en todas las actividades necesarias para el desarrollo de la sociedad. De ahí que se haya abusado de sus bondades y se la haya cargado de elementos contaminantes, generando lo que se conoce como *aguas residuales*.

Debe destacarse que el agua ha sido usada particularmente como medio de transporte y como disolvente universal. Así, arrastra en su recorrido contaminantes sólidos y elementos solubles que deterioran la calidad y la convierten en agua residual. Si este tipo de agua no es gestionada apropiadamente, terminará generando problemas ambientales y problemas de salud pública.

Dentro de los contaminantes más frecuentes del agua se encuentran la materia orgánica biodegradable, la materia inorgánica, ciertos nutrientes, los compuestos tóxicos, y microorganismos patógenos.

Como se entenderá, estas aguas residuales al ser descargadas sin ningún tipo de tratamiento, degradan los cuerpos receptores y pueden afectar la salud pública.

Con el fin de evitar la contaminación de los recursos hídricos, existen una serie de procesos que permiten mitigar los impactos que el agua residual podría causar en el ambiente. Dentro de estos procesos se encuentran aquellos que permiten remover los contaminantes sólidos de gran tamaño y también grasas y aceites, conocidos como pretratamientos.

Posteriormente se encuentran las operaciones que forman parte de los llamados tratamientos primarios, cuyo objetivo es la eliminación

de sólidos en suspensión sedimentables.

A continuación se hallan los principales conceptos del tratamiento secundario de las aguas residuales, mismo que está basado en la actividad de los microorganismos como degradadores de la materia orgánica y sus diversas formas de aplicación, entre las que aparecen: lagunas de estabilización, lagunas aireadas, procesos de lodos activados, biopelícula, pasando por procesos aerobios y anaerobios.

Es también factible realizar ciertos tratamientos mediante aplicación de las aguas residuales al suelo, que actúa como un reactor biológico, mediante variadas tecnologías.

Luego de atravesar las etapas anteriores, las aguas residuales pueden aún contener altas cargas de agentes patógenos, cuya remoción se realiza mediante procesos de desinfección, que a su vez, puede llevarse a cabo utilizando diferentes sustancias químicas u otros agentes, como radiación ultravioleta.

Es importante considerar que al final de los procesos de tratamiento de las aguas residuales, existirá una generación de lodos, como subproductos de las diferentes etapas. Estos lodos deben someterse a una adecuada gestión para no causar daños al ambiente. Deben ser en primera instancia caracterizados, tanto en su cantidad como en su calidad, y dependiendo de estos parámetros, se definirá cuál es el tratamiento más adecuado para su gestión, aplicando diferentes operaciones unitarias para el efecto.

Es así que en este texto se ofrece la información pertinente y necesaria para el diseño sistemas de depuración de aguas residuales domésticas, con una visión práctica del mismo.

Es de resaltar que este tratado no incluye la eliminación de nutrientes tales como nitrógeno y fósforo, principales responsables del fenómeno de la eutrofización en los recursos hídricos. Los métodos para su eliminación se conoce con el nombre de tratamientos terciarios y se recomienda consultar la bibliografía pertinente.

Nota preliminar

Los cuadros y figuras que aparecen sin fuente en el texto, son de elaboración propia de los autores.

ISBN 978-9978-383-46-9



9 789978 383469

EPN
editorial

**INGENIERÍA CIVIL
Y AMBIENTAL**