

REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO RAS - 2000

SECCION II

TÍTULO E

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES



República de Colombia
Ministerio de Desarrollo Económico
Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico

BOGOTA D.C., NOVIEMBRE DE 2000

ÍNDICE

| | |
|---|-----------|
| E.0. REFERENCIACIÓN GENERAL | 1 |
| E.0.1 SISTEMAS DE UNIDADES | 1 |
| E.0.2 VARIABLES | 1 |
| E.0.3 NORMAS TECNICAS REFERENCIADAS | 4 |
| E.0.3.1 NORMAS TECNICAS COLOMBIANAS | 4 |
| E.0.3.2 NORMAS TECNICAS EN LATINOAMERICA | 4 |
| E.0.4 LEYES, DECRETOS Y LEGISLACION PERTINENTE | 4 |
| E.1. ASPECTOS GENERALES DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES | 5 |
| E.1.1 ALCANCE | 5 |
| E.1.2 DEFINICIONES | 5 |
| E.1.3 CONSIDERACIONES GENERALES | 11 |
| E.1.3.1 PASO 1 - Definición del nivel de complejidad del sistema | 11 |
| E.1.3.2 PASO 2 - Justificación del proyecto y definición del alcance | 11 |
| E.1.3.3 PASO 3 - Conocimiento del marco institucional | 12 |
| E.1.3.4 PASO 4 - Acciones legales | 12 |
| E.1.3.5 PASO 5 - Aspectos ambientales | 12 |
| E.1.3.6 PASO 6 - Ubicación dentro de los planes de ordenamiento territorial y desarrollo urbano previstos | 12 |
| E.1.3.7 PASO 7 - Estudios de factibilidad y estudios previos | 12 |
| E.1.3.8 PASO 8 - Diseño y requerimientos técnicos | 12 |
| E.1.3.9 PASO 9 - Construcción e interventoría | 13 |
| E.1.3.10 PASO 10 - Puesta en marcha, operación y mantenimiento | 13 |
| E.2. CARACTERIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES | 15 |
| E.2.1 ALCANCE | 15 |
| E.2.2 MEDICIÓN DE CAUDALES | 15 |
| E.2.2.1 Estimación del caudal máximo | 15 |
| E.2.2.2 Caudal durante periodos de lluvia | 15 |
| E.2.2.3 Aporte Institucional e industrial | 16 |
| E.2.2.4 Caudal de diseño | 16 |
| E.2.2.5 Conducciones y Rebosaderos de exceso | 16 |
| E.2.3 RECOLECCIÓN Y PRESERVACIÓN DE MUESTRAS | 17 |
| E.2.3.1 Tipos de muestras | 17 |
| E.2.3.2 Metodologías de aforo | 18 |
| E.2.3.3 Cadena de custodia | 19 |
| E.2.3.4 Métodos de muestreo | 23 |
| E.2.3.5 Recipientes para las muestras | 23 |
| E.2.3.6 Número de muestras | 23 |
| E.2.3.7 Cantidad | 23 |

| | | |
|--------------|---|-----------|
| E.2.3.8 | Preservación de muestras | 24 |
| E.2.4 | PARÁMETROS MÍNIMOS DE CALIDAD DEL AGUA QUE DEBEN MEDIRSE | 24 |
| E.2.5 | ESTIMACIÓN DE CARGA UNITARIA | 25 |
| E.2.6 | EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO | 26 |
| E.2.7 | ESTUDIOS DE TRATABILIDAD Y/O TOXICIDAD | 26 |
| E.3. | SISTEMAS DE TRATAMIENTO EN EL SITIO DE ORIGEN | 27 |
| E.3.1 | ALCANCE | 27 |
| E.3.2 | GENERALIDADES | 27 |
| E.3.2.1 | Definición, información necesaria, estudios mínimos | 27 |
| E.3.3 | TRAMPAS DE GRASA | 28 |
| E.3.3.1 | Localización | 28 |
| E.3.3.2 | Parámetros de diseño | 28 |
| E.3.3.3 | Entradas y salidas | 29 |
| E.3.3.4 | Operación y mantenimiento | 29 |
| E.3.4 | TANQUE SÉPTICO | 30 |
| E.3.4.1 | Tipos 30 | |
| E.3.4.2 | Localización | 30 |
| E.3.4.3 | Dimensionamiento | 30 |
| E.3.4.4 | Operación y mantenimiento | 31 |
| E.3.5 | POSTRATAMIENTOS | 32 |
| E.3.5.1 | Campo de infiltración | 32 |
| E.3.5.2 | Filtros intermitentes | 33 |
| E.3.5.3 | Humedales artificiales de flujo sumergido | 35 |
| E.3.5.4 | Filtros sumergidos aireados | 36 |
| E.3.5.5 | Lagunas de Oxidación o de Estabilización | 38 |
| E.3.5.6 | Tanques Imhoff | 38 |
| E.4. | SISTEMAS CENTRALIZADOS | 41 |
| E.4.1 | ALCANCE | 41 |
| E.4.2 | GENERALIDADES | 41 |
| E.4.2.1 | Definición, Información necesaria, Estudios mínimos. | 41 |
| E.4.3 | SELECCIÓN DEL TRATAMIENTO | 42 |
| E.4.3.1 | Estudios de Cobertura y Estado del Sistema de Recolección | 42 |
| E.4.3.2 | Estudios de Calidad de la Fuente Receptora | 42 |
| E.4.3.3 | Selección de Sitios de Ubicación de los Sistemas Centralizados | 43 |
| E.4.3.4 | Modularización y Expansión | 46 |
| E.4.3.5 | Estudios de Análisis de Alternativas | 46 |
| E.4.3.6 | Redundancias | 48 |
| E.4.3.7 | Perfil Hidráulico de la Planta | 49 |
| E.4.3.8 | Aliviaderos de crecidas | 50 |

| | | |
|---------------|---|------------|
| E.4.4 | PRETRATAMIENTOS | 50 |
| E.4.4.1 | Generalidades | 50 |
| E.4.4.2 | Rejillas | 50 |
| E.4.4.3 | Remoción de grasas | 51 |
| E.4.4.4 | Desarenadores | 52 |
| E.4.5 | TRATAMIENTO PRIMARIO | 54 |
| E.4.5.1 | Sedimentadores primarios | 54 |
| E.4.5.2 | Tamices | 55 |
| E.4.6 | TRATAMIENTO SECUNDARIO | 57 |
| E.4.6.1 | Generalidades | 57 |
| E.4.6.2 | Lodos activados | 57 |
| E.4.6.3 | Filtros percoladores | 68 |
| E.4.7 | TRATAMIENTOS ANAEROBIOS | 74 |
| E.4.7.1 | Generalidades | 74 |
| E.4.7.2 | Diagramas de flujo | 74 |
| | Tipos | 77 |
| E.4.7.4 | Manejo de gases | 77 |
| E.4.7.5 | Control de olores | 78 |
| E.4.7.6 | Operación y mantenimiento | 79 |
| E.4.7.7 | Reactores UASB | 79 |
| E.4.7.8 | Reactores RAP | 83 |
| E.4.7.9 | Filtros anaerobios | 85 |
| E.4.7.10 | Postratamientos | 86 |
| E.4.8 | LAGUNAS DE OXIDACIÓN O DE ESTABILIZACIÓN | 87 |
| E.4.8.1 | Generalidades | 87 |
| E.4.8.2 | Tipos | 87 |
| E.4.8.3 | Localización de lagunas y reactores | 87 |
| E.4.8.4 | Diagramas de Flujo | 87 |
| E.4.8.5 | Lagunas anaerobias | 91 |
| E.4.8.6 | Lagunas aireadas | 93 |
| E.4.8.7 | Lagunas facultativas | 95 |
| E.4.8.8 | Lagunas de maduración | 96 |
| E.4.8.9 | Operación y mantenimiento | 97 |
| E.4.9 | DESINFECCIÓN | 101 |
| E.4.9.1 | Generalidades | 101 |
| E.4.9.2 | Tipos | 101 |
| E.4.10 | MANEJO DE LODOS | 105 |
| E.4.10.1 | Generalidades | 105 |
| E.4.10.2 | Caracterización | 105 |
| E.4.10.3 | Generación | 105 |
| E.4.10.4 | Diagramas de flujo | 106 |
| E.4.10.5 | Espesadores por gravedad | 106 |
| E.4.10.6 | Digestión de lodos | 108 |
| E.4.10.7 | Lechos de secado de lodos | 113 |
| E.5. | EMISARIOS SUBMARINOS | 117 |
| E.5.1 | ALCANCE | 117 |

| | | |
|--------------|--|------------|
| E.5.2 | ESTUDIOS PREVIOS | 117 |
| E.5.3 | MEDICIONES NECESARIAS | 117 |
| E.5.3.1 | Medición de corrientes | 117 |
| E.5.3.2 | Medición de t_{90} | 118 |
| E.5.3.3 | Programa de muestreo de calidad de agua | 118 |
| E.5.4 | ESTUDIOS NECESARIOS | 119 |
| E.5.4.1 | ESTUDIOS METEOROLÓGICOS | 119 |
| E.5.4.2 | ESTUDIOS BATIMÉTRICOS Y GEOLÓGICOS | 119 |
| E.5.5 | MODELO DE DISPERSIÓN DE LA EMISIÓN | 119 |
| E.5.6 | DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN | 119 |
| E.5.7 | TRATAMIENTO PRIMARIO PREVIO AL VERTIMIENTO CON EMISARIOS SUBMARINOS | 119 |
| E.6. | OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO | 121 |
| E.6.1 | GENERALIDADES | 121 |
| E.6.2 | PERSONAL | 121 |
| E.6.2.1 | Clase | 121 |
| E.6.2.2 | Capacitación | 122 |
| E.6.2.3 | Funciones | 123 |
| E.6.2.4 | Laboratorio | 125 |
| E.6.2.5 | Reportes | 127 |
| E.6.2.6 | Prevención de accidentes, protección laboral e higiene | 127 |
| E.7. | METODOLOGÍAS DE DISEÑO | 129 |
| E.7.1 | ALCANCE | 129 |
| E.7.2 | SISTEMAS DE TRATAMIENTO EN EL SITIO DE ORIGEN | 129 |
| E.7.2.1 | TANQUE SEPTICO | 129 |
| E.7.2.2 | Dimensionamiento de los filtros sumergidos aireados | 130 |
| E.7.3 | SISTEMAS CENTRALIZADOS | 130 |
| E.7.3.1 | Tratamiento primario | 130 |
| E.7.3.2 | Lodos Activados | 131 |
| E.7.3.3 | Sedimentador secundario | 135 |
| E.7.3.4 | Filtros percoladores | 136 |
| E.7.3.5 | Tratamientos Anaerobios | 140 |
| E.7.4 | DESINFECCION | 142 |
| E.7.4.1 | Operación y mantenimiento de sistemas de cloración | 142 |
| E.7.5 | MANEJO DE LODOS | 142 |
| E.7.5.1 | Operación y mantenimiento para espesadores por gravedad. | 142 |
| E.7.5.2 | Lechos de secado de lodos | 143 |

CAPÍTULO E.O

E.O. REFERENCIACIÓN GENERAL

E.O.1 SISTEMAS DE UNIDADES

| | |
|-----------------|---------------------|
| min. | minuto |
| s | segundo |
| año | año |
| cm ² | centímetro cuadrado |
| cm ³ | centímetro cúbico |
| día | día |
| g | gramo |
| h | hora |
| ha | hectárea |
| hab | habitante |
| kg | kilogramo |
| km | kilómetro |
| kW | kilowattio |
| L | litro |
| m | metro |
| m ² | metro cuadrado |
| m ³ | metro cúbico |
| mg | miligramo |
| min | minuto |
| µm | micra |
| mm | milímetro |
| N | Newton |
| ° | grados |
| °C | grado Celsius |
| Pa | Pascal |
| rad | radián |
| s | segundo |
| t | tonelada |
| W | Wattio |

E.O.2 VARIABLES

| | | |
|----------------|--|--|
| ϕ | = Ángulo de la reja con respecto a la horizontal | -° |
| γ | = Coeficiente estequiométrico de producción de lodos | gSSV/gDQO |
| β | = Factor de la forma de la barra | - |
| θ | = Tiempo de detención hidráulico | dia |
| a | = Factor de corrección que relaciona los coeficientes de transferencia de oxígeno del desecho y el agua. | - |
| θ_2 | = Tiempo espacial de tránsito | |
| θ_c | = Edad de lodos ó tiempo de residencia celular medio basado en el volumen del tanque de aireación | dia |
| θ_{ct} | = Tiempo medio de residencia celular basado en el sistema total | |
| μ_m | = Tasa de crecimiento específica máxima | dia ⁻¹ |
| μ_{max} | = Tasa máxima de utilización de sustrato de As | kgDBO ₅ /d/100 m ² |
| γ_{obs} | = Coeficiente estequiométrico de producción observado | gSSV/ gDQO. |
| ΔT | = Cambio de temperatura en la superficie en cuestión | °C |
| a | = Radio del filtro | m |

| | | |
|----------|--|---|
| A_h | = Área de la sección horizontal | m^2 |
| A_s | = Área superficial | m^2 |
| A_{sm} | = Área superficial media | m^2 |
| A_t | = Área transversal a través de la cual están ocurriendo las pérdidas de calor | m^2 |
| b | = Separación mínima entre barras | m. |
| C | = Contribución de aguas residuales por contribuyente. | L/dia/hab. |
| C_1 | = Nivel de oxígeno en el tanque de aireación | mg/L. |
| C_e | = DBO ₅ efluente | mg/L |
| C_o | = DBO ₅ influente | mg/L |
| C_{sa} | = Carga superficial de DBO ₅ aplicada | kg/ha/d |
| C_{sc} | = Concentración de saturación de oxígeno | mg/L |
| C_{sr} | = Carga superficial de DBO ₅ removida | kg/ha/d. |
| d | = Distancia entre bafles | m |
| d_p | = Factor de dispersión | |
| D | = Profundidad | m |
| E | = Eficiencia del proceso | % |
| E_1 | = Eficiencia de remoción de DBO ₅ | % |
| E_2 | = Eficiencia de remoción de DBO ₅ | % |
| E_a | = Nivel de error aceptable | |
| F | = Número de pasadas de la materia orgánica | |
| F/M | = Relación comida-microorganismos, | gDQO - DBO ₅ /gSSV/d |
| f_m | = Fracción del gas producido que se recoge verdaderamente.. | |
| h | = Altura cinética del flujo | m |
| h_f | = Pérdida de carga | m |
| l_o | = Carga orgánica | g/hab/día |
| K | = Tasa de acumulación de lodo digerido en días equivalente al tiempo de acumulación de lodo fresco | |
| K_{20} | = Constante cinética base | dia ⁻¹ |
| K_b | = Constante de proporcionalidad de As | kg/dia/100m ² |
| k_d | = Coeficiente de decaimiento endógeno | dia ⁻¹ |
| k_s | = Conductividad hidráulica | |
| K_t | = Constante cinética de primer orden | dia ⁻¹ |
| L_l | = Longitud de la laguna | m |
| L | = Carga orgánica | gDBO ₅ /dia |
| L_f | = Contribución de lodo fresco.L/persona. | |
| L_v | = Carga volumétrica | kgDBO ₅ /m ³ /dia |
| L_v | = Carga volumétrica | kgDBO ₅ /m ³ /dia |
| L_{ve} | = F / M = carga orgánica específica | kgDBO ₅ /kg-SSVLM/L |
| m | = Modificación al área superficial. | |
| n | = Porosidad del medio | |
| N | = Nitrógeno den el afluente | mg/L |
| N_{20} | = Oxígeno necesario en condiciones estándar | kgO ₂ /dia |
| N_c | = Número de contribuyentes | |
| N_c | = Oxígeno necesario condiciones de campo | kgO ₂ /dia |
| N_m | = Número de muestras | |
| N_o | = Nitrógeno oxidable en el influente y en el afluente | mg/L |
| P | = Población | hab |
| P | = Presión atmosférica de campo | mm Hg. |
| p | = Presión de vapor del agua | mm Hg. |
| P_m | = Presión parcial del CH ₄ típico ($P_{total} \times 0.8$) | atm |
| PR | = Período de retención | dias |
| PR | = Periodo de retención nominal expresado hora | |
| P_x | = Lodo activado de desecho neto producido | kg/dia |
| Q | = Tasa de carga hidráulica | m ³ /ha-d |

| | | |
|----------|---|-------------------------------|
| $q + r$ | = Tasa hidráulica promedio | |
| q | = Tasa de dosificación hidráulica del efluente primario (excluyen recirculación) | $m^3/m^2 \cdot h$ |
| Q_a | = Caudal de aire requerido en litros por segundo | L/s |
| Q_d | = Caudal de diseño | m^3/s |
| Q_e | = Caudal del efluente tratado | $m^3/día$ |
| Q_n | = Caudal neto por tratar | $m^3/día$ |
| Q_n | = Tasa hidráulica volumétrica | $m^3/m^2 \cdot día$ |
| Q_r | = Caudal de retorno de lodos del sedimentador secundario | $m^3/día$ |
| Q_w | = Pérdida de calor | W |
| R | = Relación de recirculación | R/Q |
| R_n | = Demanda neta de DBO nitrogenada | |
| S | = Concentración de DBO soluble del efluente | mg/L |
| S | = Pendiente de fondo | |
| s | = Desviación estándar del grupo | |
| S_a | = Concentración de DBO total del influente | mg/L |
| S_e | = Concentración de DBO ó DQO en el efluente | g/m^3 |
| S_K | = Intensidad del rociado | mm/pasada de un brazo |
| S_o | = Concentración de DBO_5 ó DQO influente | g/m^3 |
| T | = Periodo de retención por tasa de contribución diaria | |
| t | = Distribución t de Student para un nivel de confianza dado | |
| t | = Tiempo de contacto del líquido | min |
| T | = Temperatura del agua residual | $^{\circ}C$ |
| T_1 | = Temperatura más caliente | $^{\circ}K$ |
| T_2 | = Temperatura más fría | $^{\circ}K$ |
| T_{ai} | = Temperatura ambiental, promedio mensual | $^{\circ}C$ |
| T_c | = Temperatura más fría del periodo, | $^{\circ}K (460 + ^{\circ}F)$ |
| t_d | = Tiempo de detención | h |
| T_h | = Temperatura más caliente periodo, | $^{\circ}K (460 + ^{\circ}F)$ |
| U | = Coeficiente global de transferencia de calor | $W/m^2 \cdot ^{\circ}C$ |
| u | = Velocidad hidráulica | m/s |
| V | = Volumen del primer filtro | $m^2 \cdot m$ |
| V_1 | = Volumen de cada reactor | m^3 |
| V_a | = Volumen del tanque de aireación | m^3 |
| V_b | = Volumen de CH_4 por masa de DBO digerida L / kgDBO | m^3 |
| V_f | = Volumen útil del medio filtrante | m^3 |
| V_r | = Volumen real del filtro | m^3 |
| V_u | = Volumen útil | m^3 |
| V_{ur} | = Volúmenes útiles de las cámaras de reacción | m^3 |
| V_{us} | = Volúmenes de las cámaras de sedimentación | m^3 |
| w | = Ancho máximo transversal de las barras en la dirección de la corriente | m. |
| W_1 | = Carga de DBO_5 del primer filtro, no incluye recirculación | kg/día |
| W_2 | = Carga de DBO_5 en el segundo filtro, no incluye recirculación | kg/día |
| X | = Concentración de sólidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación | $gSSV/m^3$ |
| X_e | = Concentración de sólidos volátiles suspendidos en el efluente tratado | $gSSV/m^3$ |
| X_{ii} | = Sólidos suspendidos influentes no biodegradables de origen orgánico e inorgánico | g/m^3 |
| X_T | = Concentración de sólidos suspendidos totales en el licor mixto | mgSSLM/L |
| X_t | = Masa total de sólidos suspendidos volátiles en el sistema incluyendo los sólidos en el tanque de aireación, en el tanque de sedimentación y en los lodos de retorno | kg. |
| X_v | = Concentración de sólidos en suspensión volátiles | mg/L |

X_w = Concentración de sólidos volátiles suspendidos en los lodos gSSV/m³
 Z = Altura del filtro. m

E.0.3 NORMAS TECNICAS REFERENCIADAS

E.0.3.1 NORMAS TECNICAS COLOMBIANAS

NTC-ISO 5667-10 Calidad de agua. Muestreo. Muestreo de aguas residuales.
GTC 31 Guía para la realización de pruebas de toxicidad.

E.0.3.2 NORMAS TECNICAS EN LATINOAMERICA

CODIGO DE AGUAS RESIDUALES.PUERTO RICO

REGLAMENTO NACIONAL. REGLAMENTOS TECNICOS DE DISEÑO PARA UNIDADES DE TRATAMIENTO NO MECANIZADAS PARA SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y AGUAS RESIDUALES. BOLIVIA.

NB-7229 PROJETO, CONSTRUCAO E OPERACAO DE SISTEMAS DE TANQUES SÉPTICOS.PROJETO DE NORMA.

02 :144.07-002 PROJETO, CONSTRUCAO E OPERACAO DE UNIDADES DE TRATAMIENTO COMPLEMENTAR E DISPOSICAO FINAL DOS EFLUENTES LÍQUIDOS DE TANQUES SÉPTICOS. PROCEDIMIENTO.

E.0.4 LEYES, DECRETOS Y LEGISLACION PERTINENTE

Decreto 1594 de 1984

CAPITULO E.1

E.1. ASPECTOS GENERALES DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

E.1.1 ALCANCE

El propósito del siguiente título es fijar los criterios básicos y requisitos mínimos que deben reunir los diferentes procesos involucrados en la conceptualización, el diseño, la construcción, la supervisión técnica, la puesta en marcha, la operación y el mantenimiento de los **sistemas de tratamiento de aguas residuales** que se desarrollen en la República de Colombia, con el fin de garantizar su seguridad, durabilidad, funcionalidad, calidad, eficiencia, sostenibilidad y redundancia dentro de un nivel de complejidad determinado.

El presente título incluye generalidades, caracterización de las aguas residuales, sistemas de tratamiento en el sitio de origen, sistemas centralizados, emisarios submarinos, aspectos de operación y mantenimiento y un Anexo con metodologías de diseño recomendadas.

TABLA E.1.1
Contenido del presente Título

| Componente | Capítulo |
|---|----------|
| Generalidades | E.1 |
| Caracterización de las aguas residuales | E.2 |
| Sistemas de tratamiento en el sitio de origen | E.3 |
| Sistemas centralizados | E.4 |
| Emisarios submarinos | E.5 |
| Aspectos de operación y mantenimiento | E.6 |
| Anexo E.1- | E.7 |

E.1.2 DEFINICIONES

Para interpretar y aplicar este reglamento se tendrán en cuenta las siguientes definiciones:

Absorción Concentración selectiva de sólidos disueltos en el interior de un material sólido, por difusión.

Abultamiento del lodo Proliferación de organismos filamentosos en el licor mixto que causa un deterioro en la asentabilidad del lodo.

Acetogénesis Etapa básica del proceso anaerobio en la cual los productos de la acidogénesis son convertidos en ácido acético, hidrógeno y gas carbónico.

Acidez Capacidad de una solución acuosa para reaccionar con iones hidroxilo. Se mide cuantitativamente por titulación con una solución alcalina normalizada y se expresa usualmente en términos de mg/l como carbonato de calcio.

Acidogénesis Etapa básica del proceso anaerobio en la cual las moléculas pequeñas, producto de la hidrólisis, se transforman en hidrógeno, gas carbónico y ácidos orgánicos (butírico, propiónico y acético).

Adsorción Transferencia de una masa gaseosa, líquida o de material disuelto a la superficie de un sólido.

Afluente Agua residual u otro líquido que ingrese a un reservorio, o algún proceso de tratamiento.

Aguas crudas Aguas residuales que no han sido tratadas.

Aguas residuales municipales Agua residual de origen doméstico, comercial e institucional que contiene desechos humanos.

Aguas residuales Agua que contiene material disuelto y en suspensión, luego de ser usada por una comunidad o industria.

Aguas servidas Aguas de desecho provenientes de lavamanos, tinas de baño, duchas, lavaplatos, y otros artefactos que no descargan materias fecales.

Aireación Proceso de transferencia de masa, generalmente referido a la transferencia de oxígeno al agua por medios naturales (flujo natural, cascadas, etc.) o artificiales (agitación mecánica o difusión de aire comprimido).

Ambiente aerobio Proceso que requiere o no es destruido por la presencia de oxígeno.

Ambiente anaerobio Proceso desarrollado en ausencia de oxígeno molecular.

Ambiente anóxico Ambiente bioquímico en el cual no existe oxígeno molecular pero existe oxígeno en forma combinada como nitratos y nitritos.

Análisis Examen del agua, agua residual o lodos, efectuado por un laboratorio.

Anemómetros (molinete) Dispositivo para medir la velocidad del agua en conductos de grandes dimensiones. Consta de una hélice pequeña conectada a un cuerpo fuselado que va sujeto a una barra graduada para saber la profundidad del punto en el que se desea hacer la medición.

Bacteria Grupo de organismos microscópicos unicelulares, rígidos carentes de clorofila, que desempeñan una serie de procesos de tratamiento que incluyen oxidación biológica, fermentaciones, digestión, nitrificación y desnitrificación.

Biodegradación Degradación de la materia orgánica por acción de microorganismos sobre el suelo, aire, cuerpos de agua receptores o procesos de tratamiento de aguas residuales.

Biopelícula Película biológica adherida a un medio sólido que lleva a cabo la degradación de la materia orgánica.

Cámara Compartimento con paredes, empleado para un propósito específico.

Carbón activado Forma altamente adsorbente del carbón usado para remover olores y sustancias tóxicas de líquidos o emisiones gaseosas. En el tratamiento del agua este carbón se utiliza para remover materia orgánica disuelta del agua residual.

Carga de diseño Producto del caudal por la concentración de un parámetro específico; se usa para dimensionar un proceso de tratamiento, en condiciones aceptables de operación. Tiene unidades de masa por unidad de tiempo, (M/T).

Carga orgánica Producto de la concentración media de DBO por el caudal medio determinado en el mismo sitio; se expresa en kilogramos por día (kg/d).

Carga superficial Caudal o masa de un parámetro por unidad de área y por unidad de tiempo, que se emplea para dimensionar un proceso de tratamiento ($m^3/(m^2 \text{ día})$, kg DBO/(ha día).

Caudal máximo horario Caudal a la hora de máxima descarga.

Caudal medio Caudal medio anual.

Clarificador Tanque de sedimentación rectangular o circular usado para remover sólidos sedimentables del agua residual.

Cloración Aplicación de cloro, o compuestos de cloro, al agua residual para desinfección; en algunos casos se emplea para oxidación química o control de olores.

Coliformes Bacterias gram negativas de forma alargada capaces de fermentar lactosa con producción de gas a la temperatura de 35 o 37°C (coliformes totales). Aquellas que tienen las mismas propiedades a la

temperatura de 44 o 44.5°C se denominan coliformes fecales. Se utilizan como indicadores de contaminación biológica.

Combinado Sistema de alcantarillado que recibe aguas lluvias y aguas residuales de origen doméstico y/o industrial.

Compensación y homogeneización Operación unitaria usada para evitar las descargas violentas, aplicables a descargas de origen industrial en el cual se almacena el desecho para aplanar el histograma diario de descarga y para homogeneizar la calidad del desecho.

Concentración Denomínase concentración de una sustancia, elemento o compuesto en un líquido, la relación existente entre su peso y el volumen del líquido que lo contiene.

Criterios de diseño 1.Normas o guías de ingeniería que especifican objetivos, resultados o límites que deben cumplirse en el diseño de un proceso, estructura o componente de un sistema. 2.Guías que especifican detalles de construcción y materiales.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) ó Demanda de oxígeno Cantidad de oxígeno usado en la estabilización de la materia orgánica carbonácea y nitrogenada por acción de los microorganismos en condiciones de tiempo y temperatura especificados (generalmente cinco días y 20 °C). Mide indirectamente el contenido de materia orgánica biodegradable.

Demanda Química de Oxígeno (DQO) Medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidantes sales inorgánicas de permanganato o dicromato en un ambiente ácido y a altas temperaturas.

Desarenadores Cámara diseñada para permitir la separación gravitacional de sólidos minerales (arena).

Descomposición anaerobia Degradación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno molecular por efecto de microorganismos. Usualmente va acompañada de la generación de ácidos y gas metano.

Desechos ácidos Contienen una apreciable cantidad de acidez y se caracterizan por tener un pH bajo.

Desechos industriales Desechos líquidos de la manufactura de un producto específico. Usualmente son más concentrados y tienen mayores variaciones de caudal que los desechos domésticos.

Desechos peligrosos Desechos potencialmente dañinos para el ambiente, debido a su toxicidad, alta capacidad de combustión, corrosividad, reactividad química u otra propiedad nociva.

Deshidratación de lodos Proceso de remoción del agua de lodos hasta formar una pasta.

Desinfección Destrucción de bacterias y virus de origen fecal en las aguas residuales, mediante un agente desinfectante.

Digestión aerobia Descomposición biológica de la materia orgánica de un lodo en presencia de oxígeno.

Digestión anaerobia Descomposición biológica de la materia orgánica de un lodo en ausencia de oxígeno.

Digestión de alta tasa Descomposición de lodos que requiere un proceso separado de espesamiento posterior a la digestión.

Digestión de tasa estándar Descomposición de los lodos realizada en un tanque de tres zonas. En la parte alta se forma una capa de espuma y debajo el sobrenadante y la zona de lodos.

Digestión en dos etapas Descomposición de lodos mediante dos procesos independientes de sedimentación y espesamiento.

Digestión Descomposición biológica de la materia orgánica de un lodo en presencia de oxígeno.

Disposición en el suelo Reciclaje de agua residual o lodos parcialmente tratados en el terreno, bajo condiciones controladas.

Disposición final Disposición del efluente de una planta de tratamiento o de los lodos tratados.

Edad de lodo Tiempo medio de residencia celular en el tanque de aireación.

Eficiencia de tratamiento Relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración en el afluente, para un proceso o planta de tratamiento y un parámetro específico; normalmente se expresa en porcentaje.

Efluente final Líquido que sale de una planta de tratamiento de aguas residuales.

Efluente Líquido que sale de un proceso de tratamiento.

Emisario Canal o tubería que recibe las aguas residuales de un sistema de alcantarillado y las lleva a una planta de tratamiento o de una planta de tratamiento y las lleva hasta el punto de disposición final.

Ensayos de infiltración Pruebas realizadas en el suelo con el fin de determinar el área de absorción necesaria para el dimensionamiento de campos de infiltración.

Equipos electrónicos de Aforo Aquellos que sirven para medir el caudal utilizando sensores electrónicos del tipo Efecto Doppler para conductos parcialmente llenos, o sensores ultrasónicos de nivel en el caso de canales abiertos.

Filtración intermitente Aplicación intermitente de agua residual, previamente sedimentada, a un lecho de material granular, que es drenado para recoger y descargar el efluente final.

Filtro Anaerobio Consiste en una columna llenada con varios tipos de medios sólidos usados para el tratamiento de la materia orgánica carbonácea en aguas residuales.

Filtro percolador Tanque que contiene un lecho de material grueso, compuesto en la gran mayoría de los casos de materiales sintéticos o piedras de diversas formas, de alta relación área/volumen, sobre el cual se aplican las aguas residuales por medio de brazos distribuidores fijos o móviles. Este es un sistema de tratamiento aerobio.

Hidrólisis Proceso químico en el cual la materia orgánica se desdobra en partículas más pequeñas por la acción del agua.

Índice volumétrico de lodo Indica las características de sedimentabilidad del lodo.

Laguna aerobia Término a veces utilizado para significar "laguna de alta producción de biomasa". Lagunas de poca profundidad, que mantienen oxígeno disuelto (molecular) en todo el tirante de agua.

Laguna aireada Estanque natural o artificial de tratamiento de aguas residuales en el cual se suple el abastecimiento de oxígeno por aireación mecánica o difusión de aire comprimido. Es una simplificación del proceso de lodos activados y según sus características se distinguen cuatro tipos de lagunas aireadas 1. laguna aireada de mezcla completa, 2. laguna aireada facultativa, 3.laguna facultativa con agitación mecánica y 4. laguna de oxidación aireada.

Laguna anaerobia Laguna con alta carga orgánica en la cual se efectúa el tratamiento en ausencia de oxígeno disuelto (molecular), con la producción de gas metano y otros gases como el sulfuro de hidrógeno (H₂S).

Laguna de alta producción de biomasa Estanque de forma alargada, con un corto período de retención, profundidad reducida y con facilidades de mezcla, que tiene la finalidad de maximizar las condiciones de producción de algas.

Laguna de estabilización Se entiende por lagunas de estabilización los estanques construidos en tierra, de poca profundidad (1-4 m) y períodos de retención considerable (1-40 días). En ellas se realizan de forma espontánea procesos físicos, químicos, bioquímicos y biológicos, conocidos con el nombre de autodepuración o estabilización natural. La finalidad de este proceso es entregar un efluente de características múltiples establecidas (DBO, DQO, OD, SS, algas, nutrientes, parásitos, enterobacterias, coliformes, etc).

Laguna de maduración Laguna de estabilización diseñada para tratar efluente secundario o agua residual previamente tratada por un sistema de lagunas (anaerobia - facultativa, aireada - facultativa o primaria - secundaria). Originalmente concebida para reducir la población bacteriana.

Laguna facultativa Laguna de coloración verdosa cuyo contenido de oxígeno varía de acuerdo con la profundidad y hora del día. En el estrato superior de una laguna facultativa primaria existe una simbiosis entre algas y bacterias, en presencia de oxígeno; en los estratos inferiores se produce una biodegradación anaerobia de los sólidos sedimentables.

Lechos de secado Dispositivos que eliminan una cantidad de agua suficiente de lodos para que puedan ser manejados como material sólido.

Licor Mixto Mezcla de lodo activado y aguas residuales en el tanque de aireación que fluye a un tanque de sedimentación secundario en donde se sedimentan los lodos activados.

Lodo biológico Lodo excedente que se genera en los procesos biológicos de las aguas residuales.

Lodos activados Procesos de tratamiento biológico de aguas residuales en ambiente químico aerobio, donde las aguas residuales son aireadas en un tanque que contiene una alta concentración de microorganismos degradadores. Esta alta concentración de microorganismos se logra con un sedimentador que retiene los flóculos biológicos y los retorna al tanque aireado.

Metales pesados Son elementos tóxicos que tiene un peso molecular relativamente alto. Usualmente tienen una densidad superior a $5,0 \text{ g/cm}^3$ por ejemplo, plomo, plata, mercurio, cadmio, cobalto, cobre, hierro, molibdeno, níquel, zinc.

Metanogénesis Etapa del proceso anaerobio en la cual se genera gas metano y gas carbónico.

Mortalidad de bacterias Medida de descomposición de la población bacteriana. Normalmente se expresa por un coeficiente cinético de primer orden.

Muestra compuesta Mezcla de varias muestras alícuotas instantáneas recolectadas en el mismo punto de muestreo en diferentes tiempos. La mezcla se hace sin tener en cuenta el caudal en el momento de la toma.

Muestra integrada Consiste en el análisis de muestras instantáneas tomadas simultáneamente en diferentes puntos o tan cerca como sea posible. La integración se hace de manera proporcional a los caudales medidos al tomar la muestra.

Muestra puntual Muestra de agua residual tomada al azar en un momento determinado para su análisis. Algunos parámetros deben determinarse in situ y otros en el laboratorio.

Muestreo automático Los muestreadores automáticos pueden eliminar los errores humanos introducidos en el muestreo manual, reducir los costos, proveer un mayor número de muestreos; su uso se incrementa día a día. Debe asegurarse que el muestreador automático no contamine la muestra.

Muestreo manual El que no se realiza con equipos. Puede ser muy costoso y demorado para muestreos a gran escala.

Oxígeno disuelto Concentración de oxígeno medida en un líquido, por debajo de la saturación. Normalmente se expresa en mg/L.

Paso directo (By Pass) Conjunto de tuberías, canales, válvulas y compuertas que permiten desvío del agua residual de un proceso o planta de tratamiento en condiciones de emergencia o de mantenimiento correctivo.

pH Logaritmo, con signo negativo, de la concentración de iones hidrógeno, en moles por litro.

Planta de tratamiento (de agua residual) Conjunto de obras, instalaciones y procesos para tratar las aguas residuales.

Planta piloto Planta de tratamiento a escala de laboratorio o técnica, que sirve para el estudio de la tratabilidad de un desecho líquido o la determinación de las constantes cinéticas y los parámetros de diseño del proceso.

Población equivalente Población estimada al relacionar la carga total o volumen total de un parámetro en un efluente (DBO, sólidos en suspensión, caudal) con el correspondiente aporte per capita (kgDBO/hab/día), L/hab/día.

Pretratamiento Procesos de tratamiento localizados antes del tratamiento primario.

Proceso biológico Proceso en el cual las bacterias y otros microorganismos asimilan la materia orgánica del desecho, para estabilizar el desecho e incrementar la población de microorganismos (lodos activados, filtros percoladores, digestión, etc.).

Procesos anaerobios de contacto Los lodos del digestor de alta tasa son sedimentados en un digestor de segunda etapa. El digestor de segunda etapa opera como un tanque de sedimentación que permite la remoción de microorganismos del efluente. Los organismos, como en un proceso de lodos activados, retornan al digestor y se siembran en agua residual cruda.

Reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB) Proceso continuo de tratamiento anaerobio de aguas residuales en el cual el desecho circula de abajo hacia arriba a través de un manto de lodos o filtro, para estabilizar parcialmente de la materia orgánica. El desecho se retira del proceso en la parte superior ; normalmente se obtiene gas como subproducto del proceso.

Reja gruesa Por lo general, de barras paralelas de separación uniforme (4 a 10 cm), utilizado para remover sólidos flotantes de gran tamaño, aguas arriba de bombas de gran capacidad.

Rejilla media Artefacto de barras paralelas de separación uniforme (2 a 4 cm), utilizado para remover sólidos flotantes y en suspensión. Son las más empleadas en el tratamiento preliminar.

Requisitos de oxígeno Cantidad de oxígeno requerida en la estabilización aerobia de la materia orgánica para reproducción o síntesis celular y metabolismo endógeno.

Sedimentación Proceso físico de clarificación de las aguas residuales por efecto de la gravedad. Junto con los sólidos sedimentables precipita materia orgánica del tipo putrecible.

Selector Tanque que se conecta previamente al tanque de aireación para mejorar el desarrollo de bacterias floculantes y evitar el desarrollo de organismo filamentosos en el tanque de aireación, que causan el desarrollo del lodo abultado.

Sistema no confinado de inyección de gas Sistema para la mezcla de lodos por medio de liberación de burbujas de gas que suben a la superficie y transportan y mueven el lodo.

Sistemas de agitación mecánica Sistemas para mezclar el contenido de digestores por medio de turbinas.

Sólidos activos Parte de los sólidos volátiles en suspensión que representan los microorganismos.

Sólidos no sedimentables Materia sólida que no sedimenta en un período de 1 hora, generalmente.

Sólidos sedimentables Materia sólida que sedimenta en un periodo de 1 hora.

Tanque de aireación Cámara usada para inyectar aire dentro del agua.

Tanque de compensación Tanque utilizado para almacenar y homogeneizar el desecho, eliminando las descargas violentas.

Tanque Imhoff Tanque compuesto de tres cámaras en el cual se realizan los procesos de sedimentación y digestión.

Tanque séptico Sistema individual de disposición de aguas residuales para una vivienda o conjunto de viviendas ; combina la sedimentación y la digestión. Los sólidos sedimentados acumulados se remueven periódicamente y se descargan normalmente en una instalación de tratamiento.

Tasa de carga volumétrica Corresponde a los kilogramos de sólidos volátiles adicionados por día y por metro cúbico de capacidad de digestor.

Tiempo de retención hidráulica Tiempo medio teórico que se demoran las partículas de agua en un proceso de tratamiento. Usualmente se expresa como la razón entre el caudal y el volumen útil.

Trampa de llamas o atrapallamas Sistema detenedor de llamas en las conducciones de gas en los sistemas anaerobios de digestores de lodos.

Tratamiento anaerobio Estabilización de un desecho por acción de microorganismos en ausencia de oxígeno.

Tratamiento avanzado Proceso de tratamiento fisicoquímico o biológico usado para alcanzar un grado de tratamiento superior al de tratamiento secundario. Puede implicar la remoción de varios parámetros, como remoción de sólidos en suspensión, complejos orgánicos disueltos, compuestos inorgánicos disueltos o nutrientes.

Tratamiento biológico Procesos de tratamiento en los cuales se intensifican la acción natural de los microorganismos para estabilizar la materia orgánica presente. Usualmente se utilizan para la remoción de material orgánico disuelto.

Tratamiento convencional Procesos de tratamiento bien conocidos y utilizados en la práctica. Generalmente se refiere a procesos de tratamiento primario o secundario. Se excluyen los procesos de tratamiento terciario o avanzado.

Tratamiento preparatorio 1.Acondicionamiento de un desecho antes de ser descargado en el sistema de alcantarillado. 2.Procesos de tratamiento localizados antes del tratamiento primario (desmenuzado, cribas, desarenadores, etc.). Preparan el agua para el tratamiento posterior.

Tratamiento primario Tratamiento en el que se remueve una porción de los sólidos suspendidos y de la materia orgánica del agua residual. Esta remoción normalmente es realizada por operaciones físicas como la sedimentación. El efluente del tratamiento primario usualmente contiene alto contenido de materia orgánica y una relativamente alta DBO.

Tratamiento secundario Es aquel directamente encargado de la remoción de la materia orgánica y los sólidos suspendidos.

Tubo pitot Tubo doblado de forma especial, que al igual que el molinete es útil para medir velocidades en una tubería.

UASB (Ver reactor anaerobio de flujo ascendente).

Vertederos Son dispositivos que permiten determinar el caudal. Poseen una ecuación general que depende de la gravedad, de su geometría, de su espesor de pared. La variable independiente será siempre la altura de la lámina de agua sobre el nivel de referencia. De esta forma cualquier vertedero puede calibrarse mediante una curva de calibración del mismo con base en diferentes alturas de la lamina de agua de los diferentes caudales.

Volumétrico El aforo volumétrico consiste en recoger en un tiempo específico una cantidad de material que se esta aforando o recoger un volumen específico midiendo el tiempo utilizado en la recolección de este. Es útil para el aforo de vertimientos puntuales de pequeño tamaño.

E.1.3 CONSIDERACIONES GENERALES

E.1.3.1 PASO 1 - Definición del nivel de complejidad del sistema

Debe definirse el **nivel de complejidad del sistema**, según se establece en el capítulo A.3 para cada uno de los componentes del sistema.

E.1.3.2 PASO 2 - Justificación del proyecto y definición del alcance

Todo componente de un sistema de tratamiento de agua residual debe justificarse con la identificación de un problema de salud pública, del medio ambiente o de bienestar social, el cual tiene solución con la ejecución del sistema propuesto, ya sea mediante la ampliación de cobertura de un servicio o mejoramiento de su calidad y eficiencia. (Véase capítulo A.7)

Además, el proyecto debe cumplir los criterios de priorización establecidos en el Título A.

E.1.3.3 PASO 3 - Conocimiento del marco institucional

El diseñador del sistema debe conocer las diferentes entidades relacionadas con la prestación del servicio público de suministro de agua potable, estableciendo responsabilidades y las funciones de cada una. Las entidades y aspectos que deben identificarse son :

1. Entidad responsable del proyecto.
2. Diseñador.
3. Constructor.
4. Rol del municipio, ya sea como prestador del servicio o como administrador del sistema.
5. Empresa de Servicios Públicos y su carácter. (Oficial, mixto o privado)
6. Entidades territoriales competentes.
7. Entidades de planeación. (DNP, DSPD, Ministerio del Medio Ambiente, etc)
8. Entidad reguladora. (CRA u otra)
9. Entidad de vigilancia y control. (SSPD u otra)
10. Operador.
11. Interventor.
12. Acciones proyectadas de la comunidad en el sistema.
13. Autoridad ambiental competente. (Ministerio del Medio Ambiente, corporaciones autónomas regionales, etc)
14. Fuentes de financiación.

E.1.3.4 PASO 4 - Acciones legales

El diseñador debe conocer todas la leyes, decretos, reglamentos y normas técnicas relacionadas con la conceptualización, diseño, operación, construcción, mantenimiento, supervisión técnica y operación de un sistema de acueducto o cada uno de sus componentes en particular.

Además, deben tomarse todas las medidas legales necesarias para garantizar el adecuado desarrollo de los proyectos de alcantarillado y del tratamiento de las aguas residuales o todos sus componentes.

E.1.3.5 PASO 5 - Aspectos ambientales

Debe presentarse un estudio sobre el impacto ambiental generado durante las etapas de construcción y/o operación del proyecto, ya sea negativo o positivo en el cual se incluyan una descripción de las obras y acciones de mitigación de los efectos en el medio ambiente propios del proyecto, siguiendo todo lo establecido en el capítulo A.1

Adicionalmente debe preverse un plan de manejo ambiental durante la operación y mantenimiento del sistema.

E.1.3.6 PASO 6 - Ubicación dentro de los planes de ordenamiento territorial y desarrollo urbano previstos

El diseñador debe conocer los planes de desarrollo y de ordenamiento territorial planteados dentro del marco de la Ley 388 de 1997 o la que la reemplace y establecer las implicaciones que el sistema de tratamiento de agua residual tendría dentro de la dinámica del desarrollo urbano.

E.1.3.7 PASO 7 - Estudios de factibilidad y estudios previos

Todo proyecto de tratamiento de agua residual debe llevar a cabo los estudios factibilidad y los estudios previos mencionados en el capítulo A.8

E.1.3.8 PASO 8 - Diseño y requerimientos técnicos

El diseño de cualquier componente de una planta de tratamiento de agua residual debe cumplir con los requisitos mínimos establecidos en el presente Título, según los literales establecidos en la tabla E.1.1.

El diseño de cualquier sistema de una planta de tratamiento de agua residual debe someterse a una evaluación socioeconómica y estar sujeto a un plan de construcción, operación, mantenimiento y expansión de costo mínimo, siguiendo lo establecido en el capítulo A.8

E.1.3.9 PASO 9 - Construcción e interventoría

Los procesos de construcción e interventoría se ajustarán a los requisitos mínimos establecidos en el Título G - Aspectos Complementarios.

E.1.3.10 PASO 10 - Puesta en marcha, operación y mantenimiento

Los procedimientos y medidas pertinentes a la puesta en marcha, la operación y el mantenimiento de los diferentes componentes de una planta de tratamiento de agua residual deben seguir los requerimientos establecidos para cada componente en particular, según la tabla E.1.1

NOTA IMPORTANTE : En caso de utilizar otros valores distintos a los mostrados a lo largo del Reglamento, el diseñador debe demostrar ante la Comisión Reguladora de Agua Potable y Saneamiento Básico la veracidad de dichos datos mediante el uso de plantas piloto u otro tipo de investigación, según lo establecido en el literal A.1.2.4.

La Junta Técnica Asesora del Reglamento podrá incorporar a este documento nuevas tecnologías, según lo dispuesto en el literal A.1.2.6.

CAPITULO E.2

E.2. CARACTERIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES

E.2.1 ALCANCE

En este capítulo se establece el procedimiento que debe seguirse para la caracterización de las aguas residuales.

Las prescripciones establecidas en el presente capítulo deben aplicarse a los cuatro **niveles de complejidad del sistema** a menos que se especifique lo contrario.

Si ya existen alcantarillados debe medirse el caudal y debe determinarse la concentración de las aguas residuales mediante análisis de laboratorio de muestras tomadas del agua por tratar. Los análisis de laboratorio deben realizarse de acuerdo con la normatividad colombiana vigente o, en su ausencia, de acuerdo con el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater de la APHA, AWWA y WEF en su última edición.

E.2.2 MEDICIÓN DE CAUDALES

Para la determinación del caudal de las descargas deben efectuarse por lo menos 3 jornadas de medición horaria durante las 24 horas del día y en cada uno de los emisarios que se consideren representativos. Con estos datos deben determinarse los caudales medio y máximo horario representativos de cada descarga (véase D.3.2.2) y el factor de mayoración correspondiente, según lo establecido en el literal D.3.2.4.

Los caudales deben relacionarse con la población de aporte de cada descarga para determinar los correspondientes aportes de agua residual per cápita. En caso de existir descargas industriales dentro del sistema de alcantarillado, deben calcularse por separado los caudales domésticos e industriales. Los aportes antes mencionados deben estimarse siguiendo lo establecido en el literal D.3.2.2.

Deben efectuarse mediciones para determinar la cantidad de agua de infiltración y otros caudales afluentes asociados a conexiones erradas al sistema de alcantarillado. Deben encontrarse factores para caudales de infiltración (en términos de área o de longitud de la red L/s/ha ó L/s/km) de modo que se pueda proyectar el caudal esperado. Así mismo deben tenerse en cuenta los periodos de sequía y de lluvia.

E.2.2.1 Estimación del caudal máximo

Al mismo tiempo que se efectúan las mediciones de caudales máximos en los colectores, debe estimarse el caudal máximo horario con base en los factores de mayoración presentados en los literales D.3.2.3 y D.3.2.4

E.2.2.2 Caudal durante periodos de lluvia

Los aportes asociados a periodos de lluvia deben ser tomados en consideración al determinar el caudal de diseño, para lo cual debe hacerse un estudio de infiltración y afluentes. Es altamente recomendable que antes de construir la planta de tratamiento se realicen campañas de minimización de caudales de infiltración, afluentes y conexiones erradas al sistema, pues estos aumentan innecesariamente el tamaño de la planta y por ende los costos.

La tasa de infiltración permisible será la estipulada en el literal D.3.2.2.7 y en la tabla D.3.7.

Para alcantarillados existentes, la infiltración permisible puede ser diez o más veces más alta, antes de pensar en una rehabilitación o en un reemplazo. Para cada caso específico se recomienda hacer una

evaluación económica. El porcentaje de recolección debe estar entre 5 y 20 % del caudal de aguas negras. o debe usarse el siguiente criterio : para zonas residenciales se admitirá entre 25 y 50 L/h/d, y para zonas industriales y comerciales un caudal de 0.2 L/s/ha.

E.2.2.3 Aporte Institucional e industrial

Para los desechos industriales debe efectuarse una encuesta sobre las industrias existentes y luego se seleccionan los tipos de industrias más relevantes. Deben efectuarse campañas de muestreo en las descargas de los procesos hasta completar el ciclo total de producción en la industria. En los procesos con descargas continuas, deben efectuarse mediciones de caudal, temperatura y pH, y deben tomarse muestras integradas. En los procesos con descargas cíclicas deben tomarse muestras representativas. Deben efectuarse los análisis indicados en el numeral E.2.3 y otros que se consideren pertinentes en cada tipo de industria. La caracterización final de los desechos industriales debe efectuarse sumando la masa de aporte de contaminantes en cada uno de los procesos industriales. Los resultados deben reportarse en términos de concentraciones, volumen y masa de los contaminantes por masa o unidad de producto de cada una de las industrias consideradas.

E.2.2.4 Caudal de diseño

El diseño de proceso de las unidades de tratamiento debe basarse en el caudal máximo semanal para el periodo de diseño, excepto en casos especiales. El diseño hidráulico de la planta debe hacerse para el caudal máximo horario. Los caudales industriales deben calcularse para los periodos críticos de producción. La modularización de caudales para la expansión futura de la planta de tratamiento debe asociarse a estudios de costo mínimo de acuerdo a lo indicado en el capítulo A.8, con excepción del **nivel bajo de complejidad**.

Para comunidades sin alcantarillado debe determinarse el caudal medio de diseño con base en la dotación de agua potable multiplicada por la población y un factor de retorno entre 0.70 y 0.80, más los caudales de infiltración, conexiones erradas y aportes institucionales comerciales e industriales. Para el calculo de la dotación se deben seguir las recomendaciones contempladas en el capítulo B.2, sobre población, dotación y demanda.

E.2.2.5 Conducciones y Rebosaderos de exceso

Toda tubería o canal debe diseñarse para llevar el flujo máximo horario esperado. La tubería del influente debe diseñarse para que se descargue libremente. Cuando se tengan vertederos de excesos a la entrada de la planta se deben hacer estudios de modelación de la calidad del agua del cuerpo receptor bajo condiciones de rebose, tanto de alcantarillado como del vertedero en el cuerpo receptor para garantizar que se cumpla con las normas de calidad de la corriente fijadas por la entidad correspondiente para el uso deseado.

Los estudios de calidad de la fuente receptora debe incluir los reboses de los vertederos de excesos del alcantarillado, los cuales se deben hacer teniendo en cuenta lo estipulado en el literal D.6.6.

La planta de tratamiento y el sistema de alcantarillado debe estudiarse de forma conjunta de tal forma que su funcionamiento garantice la calidad del agua en los cuerpos receptores. Los parámetros de calidad del agua a cumplir serán los fijados por la entidad reguladora de acuerdo a los distintos usos que se le de al cuerpo de agua, y que están contemplados en el Decreto 1594 de 1984 o aquel que lo sustituya o modifique.

E.2.3 RECOLECCIÓN Y PRESERVACIÓN DE MUESTRAS

E.2.3.1 Tipos de muestras

E.2.3.1.1 Muestra simple

Sólo representa la composición del agua para ese tiempo y lugar específicos. Dicha muestra puede ser representativa de espacios y tiempos mayores si se sabe con anterioridad que la composición es constante en el tiempo y que no existen gradientes de concentración espaciales.

Las muestras instantáneas se usan para:

1. Determinar las características de descargas instantáneas, transientes y para identificar la fuente y evaluar los efectos potenciales en los procesos de tratamiento. Estas descargas son frecuentemente detectadas visualmente por el operador de la planta en sus rutinas diarias ; la duración típica es desconocida.
2. Estudiar variaciones y extremos en un flujo de desechos en determinado periodo.
3. Evaluar la descarga si esta ocurre intermitentemente durante periodos cortos.
4. Determinar si la composición de la corriente para hacer el muestreo es razonablemente constante.
5. Determinar si los componentes por analizar son inestables o no pueden ser preservados.

Los parámetros que deben medirse para caracterizar el agua residual mediante muestras instantáneas para cada nivel de servicio aparecen en la tabla E.2.2 :

TABLA E.2.2
Parámetros que deben medirse para cada nivel de complejidad del sistema en muestreos instantáneos

| Nivel | Parámetro |
|------------|---|
| Bajo | Oxígeno disuelto, temperatura, pH. |
| Medio | Oxígeno disuelto, temperatura, pH. |
| Medio Alto | Oxígeno disuelto, temperatura, pH. |
| Alto | Oxígeno disuelto, temperatura, pH, alcalinidad, acidez. |

E.2.3.1.2 Muestra compuesta

Las muestras compuestas son la mezcla de varias muestras instantáneas recolectadas en el mismo punto de muestreo en diferentes tiempos. La mezcla se hace sin tener en cuenta el caudal en el momento de la toma.

TABLA E.2.3
Parámetros que deben medirse para cada nivel de complejidad del sistema en muestras compuestas

| Nivel | Parámetro |
|------------|---|
| Bajo | DBO ₅ total y soluble, sólidos suspendidos, disueltos y sedimentables, DQO soluble y total, nitrógeno total Kjeldahl, fósforo (soluble y particulado). |
| Medio | DBO ₅ total y soluble, sólidos suspendidos, disueltos y sedimentables, DQO soluble y total, nitrógeno total Kjeldahl, fósforo (soluble y particulado). |
| Medio alto | DBO ₅ total y soluble, sólidos suspendidos, disueltos y sedimentables, DQO soluble y total, fósforo (soluble y particulado), aceites, detergentes, grasas y nitrógeno total Kjeldahl. |
| Alto | DBO ₅ total y soluble, sólidos suspendidos, disueltos y sedimentables, DQO soluble y total, nitrógeno total Kjeldahl, fósforo (soluble y particulado), aceites y grasas, fósforo, metales pesados : Cd, Pb, Cr, Ni, Zn, Hg, Cu, Ag, y sustancias orgánicas volátiles, cloruros, detergentes. |

E.2.3.1.3 Muestra integrada

Consisten en el análisis de muestras instantáneas tomadas en diferentes puntos simultáneamente o tan cerca como sea posible. La integración debe hacerse de manera proporcional a los caudales medidos al tomar la muestra.

Las muestras integradas deben usarse en alguno o varios de los siguientes casos:

1. Caracterizar el caudal de un río, el cual varía su composición a lo largo de su trayecto y su ancho. Se toman varias muestras para diferentes puntos de sección transversal y se mezclan en proporción a los flujos relativos para cada sección.
2. Tratamientos combinados para diferentes corrientes de aguas residuales separadas.
3. Cálculo de las cargas (kg/d) de las sustancias contaminantes en la corriente de agua.

E.2.3.2 Metodologías de aforo

Se recomiendan las siguientes metodologías de aforo para la elaboración de muestreos compuestos.

E.2.3.2.1 Anemómetros (molinete)

Este dispositivo es de gran utilidad para el aforo de conductos forzados de gran diámetro o en corrientes naturales. Del conocimiento de la distribución de velocidades en la sección se puede determinar la velocidad media, el caudal y algunos coeficientes de corrección.

E.2.3.2.2 Vertederos

Los vertederos pueden usarse en corrientes naturales de pequeña magnitud, en cuyo cauce pueda instalarse el vertedero. En corrientes de mayor magnitud, el vertedero puede ser una estructura hidráulica permanente para medición continua de caudales. Los vertederos deben calibrarse antes de utilizarlos.

E.2.3.2.3 Tubo Pitot

Ver glosario

E.2.3.2.4 Volumétrico

Ver glosario

E.2.3.4.5 Equipos electrónicos de aforo

Ver glosario

E.2.3.3 Cadena de custodia

Debe seguirse una cadena de custodia para los muestreos que se realicen porque para asegurar la integridad de la muestra desde su recolección hasta el reporte de datos.

Los procedimientos de una cadena de custodia son:

- Rótulos de muestras
- Sellos de muestras
- Libro de registro de muestras
- Registro de la carta de custodia
- Hoja de remisión de muestras
- Transporte de las muestras al laboratorio
- Recepción y registro de muestras
- Análisis de las muestras

E.2.3.3.1 Rótulos de muestras

Deben usarse etiquetas para evitar la confusión de muestras. La cinta de enmascarar es adecuada para este propósito. En la etiqueta debe incluirse la siguiente información:

- Número de la muestra
- Nombre del colector
- Fecha y hora del muestreo

Los rótulos deben colocarse antes del período de muestreo. Deben escribirse con tinta indeleble a la hora del muestreo.

E.2.3.3.2 Sellos de muestras

Deben sellarse las muestras para impedir pérdidas y evitar la falsificación. La cinta de enmascarar se puede utilizar para este propósito. Debe colocarse la misma información del rótulo.

E.2.3.3.3 Libro de registro

Toda la información pertinente al trabajo de campo o muestreo debe consignarse en un libro de registro. Como mínimo debe incluir la siguiente información:

- Propósito del muestreo
- Localización del punto de muestreo
- Nombre y dirección del contacto en el campo
- Propietario de la muestra
- Tipo de muestra

Debe identificarse el proceso que produce el vertimiento. También debe proveerse la composición de la muestra, incluidas concentraciones, número y volúmenes de muestras tomadas, descripción del punto y método de muestreo, fecha y hora de la recolección, nombre del colector, número de identificación del colector, método de transporte, referencias -mapas o fotografías del sitio de muestreo-, observaciones y medidas de campo y firmas del personal responsable. Debido a que las situaciones de muestreo varían ampliamente, en general no es necesario incluir toda esta información en el libro de registro. Es deseable anotar suficiente información que permita la reconstrucción del muestreo sin apelar a la memoria del responsable de la recolección. El libro de registro debe protegerse y mantenerse en sitio seguro.

E.2.3.3.4 Carta de custodia

Su objetivo es determinar un punto del proceso en el que se pudo cometer un error. Debe llenarse la carta de custodia que acompaña a cada muestra o grupo de muestra. Esta incluye la siguiente información.

- Número de la muestra
- Nombre del responsable de la recolección
- Firma del responsable del muestreo
- Fecha, hora y dirección del sitio de muestreo
- Tipo de muestra
- Fecha de envío al laboratorio y recepción
- Forma de envío
- Firmas de las personas involucradas en el manejo de la muestra, incluida la fecha de su manipulación

E.2.3.3.5 Hoja de remisión de muestras

La muestra se le asigna una hoja de remisión. La persona responsable del muestreo debe llenar su parte correspondiente. El personal de laboratorio debe completar la siguiente información:

- Nombre de la persona que recibe la muestra
- Número de la muestra
- Fecha de recibo de la muestra
- Ensayos por realizar

E.2.3.3.6 Transporte de la muestra al laboratorio

La muestra debe ser transportada al laboratorio lo más pronto posible y debe ir acompañada con la carta de custodia y la hoja de remisión de la muestra.

E.2.3.3.7 Recepción y registro de la muestra

En el laboratorio se recibe la muestra y debe inspeccionarse sus condiciones de seguridad; deben revisarse los sellos y rótulos y deben compararse con lo consignado en la carta de custodia. Posteriormente se le debe asignar un número interno, se inscribe en el libro de registro de muestras del laboratorio, y debe almacenarse en un lugar seguro.

E.2.3.3.8 Análisis de la muestra

El supervisor del laboratorio debe asignar la muestra para su análisis. El supervisor o el analista son responsables por el cuidado y custodia de la muestra.

TABLA E.2.4
Resumen de muestreos especiales o requerimientos para el manejo de preservación y almacenamiento de muestras

| Determinación | Recipiente | Tamaño mínimo de la muestra mL | Preservación | Almacenamiento máximo (Recomendado / Regulatorio) |
|---|--------------------------|--------------------------------|--|---|
| Acidez | P, V (B) | 100 | Refrigerada | 24 h/14 días |
| Alcalinidad | P, V | 200 | Refrigerada | 24 h /14 días |
| DBO | P, V | 1000 | Refrigerada | 6 h / 48 h |
| Boro | P | 100 | No requiere | 28 d / 6 meses |
| Bromo | P,V | | | 28d / 28días |
| Carbón, orgánico, total | V | 100 | Analizar inmediatamente, o refrigerar y adicionar HCl a pH<2 | 7 d / 28 días |
| Dióxido de carbón | P,V | 100 | Analizar inmediatamente | stat/N.S |
| DQO | P, V | 100 | Analizar tan pronto como sea posible o adicionar H ₂ SO ₄ a pH < 2 ; refrigerar | 7 d / 28días |
| Cloro residual | P, V | 500 | Analizar inmediatamente | 0.5 h / stat |
| Dióxido de cloro | P, V | 500 | Analizar inmediatamente | 0.5 h / N.S |
| Clorofila | P, V | 500 | 30 días en la oscuridad | 30 d / N.S |
| Color | P, V | 500 | Refrigerar | 48 h / 48 h |
| Conductividad | P, V | 500 | Refrigerar | 28 d / 28 días |
| Cianuros 1)Totales 2)Factibles de ser tratados por cloración (Amenable to chlorination) | P, V P, V | 500 500 | Adicionar NaOH a pH>12 ; refrigerar en la oscuridad. Adicionar 100mg de Na ₂ S ₂ O ₃ /L | 24 h / 14 días ; 24 h si hay sulfuro presente stat/14 días 24 h si hay sulfuro presente |
| Fluoruros | P | 300 | No requiere | 28 d/ 28días |
| Dureza | P, V | 100 | Adicionar HNO ₃ a pH< 2 | 6 meses/ 6 meses |
| Yodo | P, V | 500 | Analizar inmediatamente | 0.5 h / N.S |
| Metales | P(A),V(A) | 300 | Para metales disueltos filtrar inmediatamente ; adicionar HNO ₃ a pH < 2 Refrigerar | 6 meses / 6 meses |
| 1)Cromo +6 2)Cobre por colorimetría 3)Mercurio | P(A), V(A) P(A), V(A) | 500 | Adicionar HNO ₃ a pH<2, refrigerar a 4°C | 24 h/ 24 h 28 d / 28 días |

TABLA E.2.4 (CONTINUACIÓN)
Resumen de muestreos especiales o requerimientos para el manejo de preservación y almacenamiento de muestras

| Determinación | Recipiente | Tamaño mínimo de la muestra mL | Preservación | Almacenamiento máximo (Recomendado / Regulatorio) |
|--|--|--------------------------------|--|--|
| Nitrógeno <i>Amonio</i> | P,V | 500 | Analizar tan pronto como sea posible o adicionar H ₂ SO ₄ a pH< 2 ; refrigerar | 7 d / 28 días |
| <i>Nitratos</i> | P, V | 100 | Analizar tan pronto como sea posible o refrigerar | 48 h / 48 h (28 días para muestras cloradas ninguna / 28 días |
| <i>Nitratos +Nitritos</i> | P, V | 200 | Adicionar H ₂ SO ₄ ; refrigerar | ninguno/ 48 días |
| <i>Nitrito</i> | P, V | 100 | Analizar tan pronto como sea posible, refrigerar | |
| <i>Nitrógeno total Kjeldahl (Orgánico)</i> | P, V | 500 | Refrigerar, adicionar H ₂ SO ₄ a pH<2 | 7 / 28 días |
| Olores | V | 500 | Analizar tan pronto como sea posible ; refrigerar | 6 h/ N.S |
| Aceites y grasas | V, Boquilla amplia calibrada | 1000 | Adicionar H ₂ SO ₄ , refrigerar | 28 d/ 28 días |
| Compuestos orgánicos 1) <i>Pesticidas</i> 2) <i>Fenoles</i> 3) <i>Purgables por purga y trampa (purgeable for purge and trap)</i> | V(S), tapas de ploidetrafluo etileno)TFE lined cap P, V V, TFE lined cap | 500 50 | Refrigerar ; adicionar 1000 mg de ácido ascórbico/ L, si hay cloro residual presente | Hasta la extracción ; 40 días después de la extracción -/ 28 días 7 d/ 14 días |
| Oxígeno disuelto : <i>Método de electrodo</i> <i>Método de Winkler</i> | V, botella de DBO | 300 | Analizar inmediatamente. La titulación puede ser retrasada después de la acidificación | h / stat 8h / 8 h |
| Ozono | V | 1000 | Analizar inmediatamente. | 0.5 h / N.S |
| pH | P, V | | Analizar inmediatamente. | 2 h / N.S |
| Fosfatos | V(A) | 100 | Para fosfatos disueltos, filtrar inmediatamente; refrigerar | 48 h /N.S |

TABLA E.2.4 (CONTINUACIÓN)
Resumen de muestreos especiales o requerimientos para el manejo de preservación y almacenamiento de muestras

| Determinación | Recipiente | Tamaño mínimo de la muestra mL | Preservación | Almacenamiento máximo (Recomendado / Regulatorio) |
|------------------------|-------------------|--------------------------------|--|---|
| Salinidad | V, sello de cera | 240 | Analizar inmediatamente o usar sello de cera | 6 meses / N.S |
| Sílice | P | | | 28 d / 28 días |
| Gas de lodos digeridos | V, botella de gas | | Refrigerar, no congelar | N.S |
| Sólidos | P, V | | Refrigerar | 7 d/2 - 7 días |
| Sulfatos | P, V | | | 28 d / 28 días |
| Sulfuros | P, V | 100 | Refrigerar, adicionar 4 gotas Zinc 2N acetato/100 ml ; adicionar NaOH a pH>9 | 28 d 7 días |
| Sabor | V | 500 | Analizar tan pronto como sea posible ; refrigerar | 24 h / N.S |
| Temperatura | P, V | | Analizar inmediatamente | stat / stat |
| Turbidez | P, V | | Analizar el mismo día | 24 h / 48 h |

Para determinaciones que no aparecen en la lista, use recipientes de vidrio o plástico; preferiblemente refrigeradas durante el almacenaje y análisis tan pronto como sea posible.

Refrigerada = almacenada a 4°C en la oscuridad. P = plástico (polietileno o equivalente). G = vidrio; G(A) o P(A) = enjuagadas con 1+1 HNO₃ ácido nítrico; G (B) = vidrio, borosilicate; G(s) = vidrio, enjuagado con solventes orgánicos; N.S = No está en la referencia citada; stat = El almacenamiento no está permitido; analizar inmediatamente.

E.2.3.4 Métodos de muestreo

- Muestreo manual

Ver glosario

- Muestreo automático

Ver glosario

E.2.3.5 Recipientes para las muestras

El tipo de recipiente usado para tomar la muestra es de vital importancia porque pueden existir intercambios iónicos con las paredes del recipiente o producirse una adsorción sobre estas. Los recipientes por lo general están hechos de plástico y de vidrio, teniendo cada uno un uso específico. Ver tabla E.2.4.

E.2.3.6 Número de muestras

Debido a las variaciones aleatorias en los procedimientos analíticos, una sola muestra puede ser insuficiente cuando se desea un cierto nivel de confianza. Si se conoce la desviación estándar del grupo, el número de muestras requeridas debe ser establecida por la siguiente relación :

$$N_m \geq (t \cdot s / E_a)^2 \quad \text{(E.2.1)}$$

Para la correcta aplicación de la expresión anterior, es necesaria definir los límites de toda el área de estudio.

E.2.3.7 Cantidad

Deben recogerse dos litros de muestra para la mayoría de los análisis fisicoquímicos. Ciertos ensayos necesitan volúmenes mas grandes. La tabla E.2.4 muestra los volúmenes requeridos para los análisis. No debe utilizarse la misma muestra para ensayos químicos (orgánicos o inorgánicos), bacteriológicos y microscópicos debido a que los métodos de muestreo y manipulación son diferentes.

E.2.3.8 Preservación de muestras

Las muestras obtenidas en campo deben constituirse en una representación precisa del material del que se está haciendo el muestreo; por tal razón deben ser obtenidas, conservadas, transportadas y almacenadas de manera que cuando lleguen al laboratorio todavía sean representativas del material existente en el campo.

E.2.3.8.1 Necesidad de preservación de las muestras

Deben preservarse las muestras porque:

Las concentraciones de la mayoría de los constituyentes de la muestra pueden estar en concentraciones muy bajas; por tanto, los procedimientos de muestreo y preservación deben seguirse cuidadosamente.

Las técnicas de preservación de muestras retardan los cambios químicos y biológicos que inevitablemente se dan después de colectada la muestra.

Las muestras se preservan para minimizar el potencial de volatilización o biodegradación entre el muestreo y el análisis de la muestra, retardar la acción biológica, retardar la hidrólisis de compuestos y complejos químicos, y para retardar la volatilización de los constituyentes.

E.2.3.8.2 Métodos de preservación

1. Control de pH
2. Adición de reactivos. Dependiendo de la naturaleza de los cambios que se den en la muestra colectada, los reactivos que se pueden agregar son: ácido nítrico. Algunos cationes pueden perderse por absorción o intercambio iónico con las paredes de los recipientes de vidrio. Entre estos se encuentran el aluminio, cadmio, cromo, cobre, hierro, plomo, manganeso, plata y zinc. En este caso, el ácido nítrico debe acidificar la muestra hasta un pH inferior a 2 para minimizar la precipitación y adsorción sobre las paredes del recipiente. Acido clorhídrico : para llevar hasta un pH inferior a 2. Acido sulfúrico : Para llevar hasta un pH menor de 2. Hidróxido de sodio . Para llevar a un pH mayor de 12.
3. Al emplear reactivos es importante tener en cuenta que estos no deben interferir los análisis deseados.
4. Uso de envases opacos o de color ámbar
5. Refrigeración
6. Filtración
7. Congelamiento

En la tabla E.2.4 se recomiendan los métodos de preservación según el análisis que debe efectuarse.

E.2.4 PARÁMETROS MÍNIMOS DE CALIDAD DEL AGUA QUE DEBEN MEDIRSE

Para la caracterización de aguas residuales debe procederse, para cada descarga importante, a realizar por lo menos cinco jornadas de medición y muestreo horario de 24 horas de duración, con determinaciones de caudal y temperatura en el campo. Las campañas deben efectuarse en días diferentes. En las muestras preservadas e integradas debe procederse a la determinación de, por lo menos, los parámetros que se especifican en la tabla E.2.5 para cada nivel de confiabilidad.

En la tabla E.2.5 se especifican los parámetros mínimos que deben medirse para cada nivel de confiabilidad

TABLA E.2.5
Parámetros mínimos que deben medirse para cada nivel de complejidad

| Parámetro | Bajo | Medio | Medio alto | Alto |
|--------------------|-------------|--------------|-------------------|-------------|
| Oxígeno disuelto | X | X | X | X |
| DBO ₅ | | | | |
| <i>Soluble</i> | X | X | X | X |
| <i>Total</i> | X | X | X | X |
| SS | | | | |
| SST | X | X | X | X |
| SSV | X | X | X | X |
| DQO | | | | |
| <i>Soluble</i> | X | X | X | X |
| <i>Total</i> | X | X | X | X |
| NITROGENO | | | | |
| <i>Total</i> | X | X | | |
| <i>Orgánico</i> | | | | X |
| <i>Soluble</i> | | | | X |
| <i>Particulado</i> | | | | |
| <i>Amoniaco</i> | | | | X |
| <i>Soluble</i> | | | | X |
| <i>Particulada</i> | | | | X |
| <i>Nitritos</i> | | | | X |
| <i>Nitratos</i> | | | | |
| FOSFORO TOTAL | | | | |
| <i>Soluble</i> | X | X | X | X |
| <i>Particulado</i> | X | X | X | X |
| CLORUROS | | | X | X |
| ALCALINIDAD | | | | X |
| ACEITES Y GRASAS | | | X | X |
| COLIFORMES | | | | |
| <i>Fecales</i> | | | X | X |
| <i>Totales</i> | | | X | X |
| PH | X | X | X | X |
| ACIDEZ | X | X | X | X |
| DETERGENTES | | | X | X |

E.2.5 ESTIMACIÓN DE CARGA UNITARIA

Deben hacerse estimativos de carga unitaria de origen doméstico con base en las jornadas de mediciones de caudales y concentraciones de sustancias contaminantes. En caso de no contar con mediciones, porque no existen sistemas de alcantarillado, deben utilizarse los valores de la tabla E.2.6. Si existe información relevante de comunidades cercanas y semejantes, se puede usar esta.

TABLA E.2.6
Aportes per cápita para aguas residuales domésticas

| Parámetro | Intervalo | Valor sugerido |
|--------------------------------------|--|---------------------|
| DBO 5 días, 20°C, g/hab/día | 25 – 80 | 50 |
| Sólidos en suspensión, g/hab/día | 30 – 100 | 50 |
| NH ₃ -N como N, g/hab/día | 7.4 – 11 | 8.4 |
| N Kjeldahl total como N, g/hab/día | 9.3 - 13.7 | 12.0 |
| Coliformes totales, #/hab/día | 2x10 ⁸ - 2x10 ¹¹ | 2 x10 ¹¹ |
| Salmonella Sp., #/hab/día | | 1 x10 ¹¹ |
| Nematodos intes., #/hab/día | | 4 x10 ¹¹ |

E.2.6 EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO

Debe seguirse lo establecido en el Título D del Reglamento.

E.2.7 ESTUDIOS DE TRATABILIDAD Y/O TOXICIDAD

Se debe hacer un estudio de tratabilidad para el nivel de complejidad alto.

Deben efectuarse estudios de toxicidad a los microorganismos aerobios y anaerobios en plantas de tratamiento biológico en el **nivel alto de complejidad del sistema**. Otros niveles los pueden hacer de considerarse necesario. Deben medirse metales pesados, ya que en altas concentraciones son tóxicos para los organismos degradadores y para el cuerpo de agua receptor. Estos son cromo (Cr), plomo (Pb), níquel (Ni), arsénico (As), mercurio (Hg), cadmio (Cd), cobre (Cu), zinc (Zn). Para el tratamiento biológico se considera tóxico una concentración total acumulada de metales pesados mayor de 2 mg/L. También deben medirse VOC (Compuestos orgánicos volátiles). En aguas residuales domésticas, el contenido de VOC es comúnmente menor de 400 mg/L

Las pruebas de toxicidad deben realizarse según la norma GTC 31, "GUIA PARA LA REALIZACIÓN DE PRUEBAS DE TOXICIDAD", del Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.

Al finalizar la caracterización debe efectuarse un análisis estadístico de los datos generados ; en caso de resultar no representativos, debe procederse a ampliar las campañas de caracterización.

CAPITULO E.3

E.3. SISTEMAS DE TRATAMIENTO EN EL SITIO DE ORIGEN

E.3.1 ALCANCE

En este capítulo se establece el procedimiento que debe seguirse y los criterios básicos que deben tenerse en cuenta para la implantación de un sistema de tratamiento de aguas residuales en el sitio de origen.

Las prescripciones establecidas en el presente capítulo deben aplicarse a los cuatro **niveles de complejidad del sistema** a menos que se especifique lo contrario.

E.3.2 GENERALIDADES

E.3.2.1 Definición, información necesaria, estudios mínimos

E.3.2.1.1 Definición

Los sistemas de tratamiento en el sitio son aquellos que se utilizan en lugares aislados, donde no existen redes de alcantarillado, o donde se requiere remover la cantidad de sólidos suspendidos antes de verter el agua residual al sistema de alcantarillado. Para comunidades de más de 200 habitantes se deben hacer estudios y recopilar información necesaria.

E.3.2.1.2 Información necesaria

Antes de proceder a diseñar un sistema de tratamiento en el sitio, es necesario obtener la siguiente información:

1. Cantidad y calidad del agua residual.
2. Tipo de suelo y permeabilidad
3. Temperatura (media mensual y anual)
4. Uso de la tierra
5. Zonificación
6. Prácticas agrícolas
7. Requerimientos de calidad para descargas superficiales y subsuperficiales
8. Nivel freático
9. Información de los cuerpos de agua de la zona

E.3.2.1.3 Estudios mínimos

Antes de proceder a implantar un sistema de tratamiento en el sitio, deben realizarse los siguientes estudios:

1. Inspección visual
2. Estudio de suelos: humedad, permeabilidad, granulometría, conductividad hidráulica saturada
3. Topográficos: pendiente del terreno
4. Hidrológicos: precipitación (promedio máximo mensual), evapotranspiración y evaporación (promedio mensual)

5. Revisión de estudios previos hechos en la zona.
6. Vulnerabilidad sísmica.
7. Inundaciones.

E.3.3 TRAMPAS DE GRASA

Son tanques pequeños de flotación donde la grasa sale a la superficie, y es retenida mientras el agua aclarada sale por una descarga inferior. No lleva partes mecánicas y el diseño es parecido al de un tanque séptico. Recibe nombres específicos según al tipo de material flotante que vaya a removerse.

1. Domiciliar : Normalmente recibe residuos de cocinas y está situada en la propia instalación predial del alcantarillado.
2. Colectiva : Son unidades de gran tamaño y pueden atender conjuntos de residencias e industrias
3. En Sedimentadores : Son unidades adaptadas en los sedimentadores (primarios en general), las cuales permiten recoger el material flotante en dispositivos convenientemente proyectados, para encaminarlo posteriormente a las unidades de tratamiento de lodos.

E.3.3.1 Localización

Deben localizarse lo más cerca posible de la fuente de agua residual (generalmente la cocina) y aguas arriba del tanque séptico, sedimentador primario o de cualquier otra unidad que requiera este dispositivo para prevenir problemas de obstrucción, adherencia a piezas especiales, acumulación en las unidades de tratamiento y malos olores. Debe tenerse en cuenta, que independientemente de su localización, deben existir condiciones favorables para la retención y remoción de las grasas.

E.3.3.2 Parámetros de diseño

El diseño debe realizarse de acuerdo con las características propias y el caudal del agua residual a tratar, teniendo en cuenta que la capacidad de almacenamiento mínimo expresada en kg. de grasa debe ser de por lo menos una cuarta parte del caudal de diseño (caudal máximo horario) expresado en litros por minuto.

El tanque debe tener 0.25m^2 de área por cada litro por segundo, una relación ancho/longitud de 1:4 hasta 1:18, una velocidad ascendente mínima de 4mm/s. En las tablas E.3.1y E.3.2 se pueden ver los caudales y capacidades de retención y los tiempos de retención hidráulica típicos que se deben usar para trampas de grasa respectivamente.

TABLA E.3.1
Capacidades de retención de grasa

| Tipo de afluente | Caudal (L/min) | Capacidad de retención de grasa (kg) | Capacidad máxima recomendada (L) |
|--|----------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| Cocina de restaurante | 56 | 14 | 190 |
| Habitación sencilla | 72 | 18 | 190 |
| Habitación doble | 92 | 23 | 240 |
| Dos habitaciones sencillas | 92 | 23 | 240 |
| Dos habitaciones dobles | 128 | 32 | 330 |
| Lavaplatos para restaurantes | | | |
| <i>Volumen de agua mayor de 115 litros</i> | 56 | 14 | 115 |
| <i>Volumen de agua mayor de 190 litros</i> | 92 | 23 | 240 |
| <i>Volumen entre 190 y 378 litros</i> | 144 | 36 | 378 |

E.3.3.3 Entradas y salidas

Deben colocarse elementos controladores de flujo en las entradas para protección contra sobrecargas o alimentaciones repentinas. El diámetro de la entrada debe ser de un diámetro mínimo de 50 mm y el de la salida de por lo menos 100 mm. El extremo final del tubo de entrada debe tener una sumergencia de por lo menos 150 mm. El tubo de salida haga la recolección debe localizarse por lo menos a 150 mm del fondo del tanque y con una sumergencia de por lo menos 0.9m.

TABLA E.3.2
Tiempos de retención hidráulicos

| Tiempo de retención (minutos) | Caudal de entrada (L/s) |
|-------------------------------|-------------------------|
| 3 | 2 - 9 |
| 4 | 10 - 19 |
| 5 | 20 o más |

E.3.3.4 Operación y mantenimiento

Las trampas de grasa deben operarse y limpiarse regularmente para prevenir el escape de cantidades apreciables de grasa y la generación de malos olores. La frecuencia de limpieza debe determinarse con base en la observación. Generalmente, la limpieza debe hacerse cada vez que se alcance el 75% de la capacidad de retención de grasa como mínimo. Para restaurantes, la frecuencia de bombeo varía desde una vez cada semana hasta una vez cada dos o tres meses. Estas unidades deben ser dotadas de las siguientes características:

1. Capacidad suficiente de acumulación de grasa entre cada operación de limpieza
2. Condiciones de turbulencia mínima suficiente para permitir la flotación del material.
3. Dispositivos de entrada y salida convenientemente proyectados para permitir una circulación normal del afluente y el efluente.
4. Distancia entre los dispositivos de entrada y salida, suficiente para retener la grasa y evitar que este material sea arrastrado con el efluente.
5. Debe evitarse el contacto con insectos, roedores, etc.

E.3.4 TANQUE SÉPTICO

Son tanques generalmente subterráneos, sellados, diseñados y construidos para el saneamiento rural. Deben llevar un sistema de postratamiento. Se recomiendan solamente para:

- Áreas desprovistas de redes públicas de alcantarillados.
- Alternativa de tratamiento de aguas residuales en áreas que cuentan con redes de alcantarillado locales.
- Retención previa de los sólidos sedimentables, cuando la red de alcantarillado presenta diámetros reducidos.
- No está permitido que les entre:
- Aguas lluvias ni desechos capaces de causar interferencia negativa en cualquier fase del proceso de tratamiento.
- Los efluentes a tanques sépticos no deben ser dispuestos directamente en un cuerpo de agua superficial. Deben ser tratados adicionalmente para mejorar la calidad del vertimiento.

E.3.4.1 Tipos

Se permiten los siguientes tipos de pozos sépticos :

- Tanques convencionales de dos compartimentos.
- Equipados con un filtro anaerobio.
- Según el material: de concreto o de fibra de vidrio o de otros materiales apropiados.
- Según la geometría: rectangulares o cilíndricos

E.3.4.2 Localización

Deben conservarse las siguientes distancias mínimas:

- 1.50 m distantes de construcciones, límites de terrenos, sumideros y campos de infiltración.
- 3.0 m distantes de arboles y cualquier punto de redes públicas de abastecimiento de agua.
- 15.0 m distantes de pozos subterráneos y cuerpos de agua de cualquier naturaleza.

E.3.4.3 Dimensionamiento

E.3.4.3.1 Volumen útil

El diseñador debe seleccionar una metodología de diseño que garantice el correcto funcionamiento del sistema teniendo en cuenta los siguientes criterios :

- Rendimiento del proceso de tratamiento.
- Almacenamiento de lodos.
- Amortiguamiento de caudales pico.

En el anexo E se tiene una metodología de cálculo usual.

E.3.4.3.2 Geometría

Los tanques pueden ser cilíndricos o prismáticos rectangulares. Los cilíndricos se utilizan cuando se quiere minimizar el área útil aumentando la profundidad, y los prismáticos rectangulares en los casos en que se requiera mayor área horizontal o mayor profundidad.

E.3.4.3.3 Medidas internas mínimas recomendadas

- Profundidad útil. debe estar entre los valores mínimos y máximos dados en la Tabla E.3.3, de acuerdo con el volumen útil obtenido mediante la ecuación E.7.1.
- Diámetro interno mínimo de 1.10 m, el largo interno mínimo de 0.80 m y la relación ancho / largo mínima para tanques prismáticos rectangulares de 2 : 1 y máxima de 4 : 1

TABLA E.3.3
Valores de profundidad útil

| Volumen útil (m ³) | Profundidad útil mínima (m) | Profundidad útil máxima (m) |
|--------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Hasta 6 | 1.2 | 2.2 |
| De 6 a 10 | 1.5 | 2.5 |
| Más de 10 | 1.8 | 2.8 |

E.3.4.3.4 Número de cámaras

Se recomiendan cámaras múltiples, en serie para tanques de volúmenes pequeños a medianos, que sirvan hasta 30 personas. Para otros tipos de tanques, se recomienda lo siguiente:

- Tanques cilíndricos: tres cámaras en serie.
- Tanques prismáticos rectangulares: dos cámaras en serie.

E.3.4.3.5 Filtro de grava

Se recomienda para el dimensionamiento utilizar la siguiente metodología :

E.3.4.3.5.1 Volumen útil del medio filtrante

El diseñador debe seleccionar una metodología de diseño que garantice el correcto funcionamiento del sistema teniendo en cuenta los siguientes criterios :

- Atascamiento.
- Area específica.
- Tiempo de contacto.
- Granulometría.

En el anexo E se tiene una metodología de cálculo usual

E.3.4.3.5.2 Área

$$Ah = \frac{Vu}{1.80} \quad \text{horizontal} \quad \text{(E.3.1)}$$

E.3.4.3.5.3 Además, se recomiendan los siguientes detalles constructivos :

El medio filtrante debe tener una granulometría uniforme; la profundidad (h) útil es 1.80 m para cualquier volumen de dimensionamiento ; el diámetro (d) mínimo se recomienda de 0.95 m ; el diámetro máximo y el largo (L) no deben exceder tres veces la profundidad útil y el volumen útil mínimo será 1,250 L.

E.3.4.4 Operación y mantenimiento

Los lodos y las espumas acumuladas deben ser removidos en intervalos equivalentes al periodo de limpieza del proyecto (Ver tabla E.7.3, Anexo E).

Estos intervalos se pueden ampliar o disminuir, siempre que estas alteraciones sean justificadas y no afecten los rendimientos de operación ni se presenten olores indeseables.

Debe realizarse una remoción periódica de lodos por personal capacitado que disponga del equipo adecuado para garantizar que no haya contacto entre el lodo y las personas

Antes de cualquier operación en el interior del tanque, la cubierta debe mantenerse abierta durante un tiempo suficiente (>15 min.) para la remoción de gases tóxicos o explosivos.

En ningún caso los lodos removidos, pueden arrojarse a cuerpos de agua.

En zonas aisladas, los lodos pueden disponerse en lechos de secado.

Los lodos secos pueden disponerse en rellenos sanitarios o en campos agrícolas ; cuando estos últimos no estén dedicados al cultivo de hortalizas, frutas o legumbres que se consumen crudas.

E.3.5 POSTRATAMIENTOS

E.3.5.1 Campo de infiltración

Consiste en una serie de trincheras angostas y relativamente superficiales rellenas con un medio poroso (normalmente grava).

E.3.5.1.1 Localización

Deben localizarse aguas abajo de los tanques sépticos y deben ubicarse en suelos cuyas características permitan una absorción del agua residual que sale de los tanques sépticos a fin de no contaminar las aguas subterráneas. Los canales de infiltración deben localizarse en un lecho de piedras limpias cuyo diámetro debe estar comprendido entre 10 y 60 mm. Debe evitarse la proximidad de arboles, para evitar la entrada de raíces.

E.3.5.1.2 Dimensionamiento

En la tabla E.3.4 aparecen las dimensiones que se deben usar.

TABLA E.3.4
Dimensiones

| Parámetro | Dimensión |
|---------------------|---------------|
| Diámetro de canales | 0.10 - 0.15 m |
| Pendiente | 0.3 - 0.5% |
| Largo máximo | 30 m |
| Ancho del fondo | 0.45 a 0.75 m |

El área de absorción necesaria debe obtenerse con base en las características del suelo, que se determinan en los ensayos de infiltración. En la tabla E.3.5 aparecen valores típicos que se deben usar para el diseño.

TABLA E.3.5
Áreas de absorción

| Tiempo de infiltración | Área de absorción necesaria en el fondo del campo (m ²) | |
|------------------------|---|-----------|
| | Habitaciones | Escuelas |
| Minutos | Por cuarto | Por salón |
| 2 | 4.50 | 0.8 |
| 3 | 5.50 | 1.0 |
| 4 | 6.50 | 1.1 |
| 5 | 7.50 | 1.2 |
| 10 | 9.0 | 1.7 |
| 15 | 12.0 | 2.0 |
| 30 | 16.5 | 2.8 |
| 60 | 22.0 | 3.5 |

Por encima de 60 minutos, no se recomienda esta solución.

E.3.5.1.3 Parámetros de diseño

Se recomienda utilizar una tasa de aplicación menor que o igual a 100 L/día/m² para los efluentes de tanques sépticos, y periodos de aplicación no mayores de 6 horas.

E.3.5.1.4 Operación y mantenimiento

Deben operarse en condiciones aerobias. Para esto, deben proveerse tubos de ventilación protegidos contra el ingreso de insectos. Además, el funcionamiento del campo debe ser intermitente por gravedad o por dosificación periódica; debe emplearse bombeo o un sifón dosificador. Para favorecer la vida útil del sistema se recomienda lo siguiente: 1) todos los canales deberían tener el mismo largo, 2) en terrenos planos, las líneas deben ubicarse paralelas a las curvas de nivel, 3) para permitir una buena ventilación las líneas pueden terminar en pequeños pozos de 90 cm de diámetro, preferiblemente hechos con cascajo, 4) se recomienda sembrar grama en el campo para ayudar a la absorción del líquido efluente, 5) se recomienda el uso de cámaras dosificadoras con sifones para tener una buena distribución del agua residual en el tanque de infiltración.

E.3.5.2 Filtros intermitentes

La filtración intermitente puede definirse como la aplicación intermitente de agua residual previamente sedimentada, como el efluente de un pozo séptico, en un lecho de material granular (arena, grava, etc) que es drenado para recoger y descargar el efluente final.

E.3.5.2.1 Localización

Los filtros deben localizarse aguas abajo del tanque séptico y aguas arriba de la desinfección (si se requiere). Se recomienda usarlos en lugares con escasa cobertura vegetal y de tasas de percolación rápidas. Se recomienda usarlos en lotes de área limitada pero apropiada para tratamientos de disposición en sitio, y donde el efluente pueda ser dispuesto para un tratamiento con un filtro de arena luego de un pretratamiento de sedimentación que puede ser un tanque séptico o el equivalente. Deben aislarse de la casa para evitar problemas de olores.

E.3.5.2.2 Dimensionamiento

Se recomienda utilizar un medio de material granular de lavado durable, que tenga las siguientes características: tamaño efectivo de 0.25 a 0.5 mm para filtros intermitentes, y de 1.0 a 5.0 mm para medio granular recirculante.

TABLA E.3.6
Parámetros para el dimensionamiento de medios de filtros intermitentes

| Parámetro | Unidad | Intermitente | Recirculante |
|-----------------------------|--------|--------------|--------------|
| Tamaño efectivo | mm | 0.25 - 0.5 | 1.0 - 5.0 |
| Coefficiente de uniformidad | CU | <4 | <2.5 |
| Profundidad | cm | 45 - 92 | 45 - 92 |

Para el drenaje se recomienda utilizar un lecho de grava lavada durable o piedra triturada de un tamaño efectivo de 9.5 a 19.0 mm y una tubería de drenaje perforada de 76 a 102 mm para filtros intermitentes y de 76 a 152 mm para recirculante con una inclinación del 0 a 1.0% para los dos casos.

Se recomienda colocar la ventilación aguas arriba para todos los filtros.

Para la distribución de presión se recomiendan utilizar el tipo de bombas apropiado para el caso. Se recomienda utilizar tuberías entre 25.4 y 50.8 mm, con tamaño de orificio entre 3.2 a 6.35 mm, y una cabeza en el orificio entre 0.91 y 1.52 m de columna de agua. Se recomienda un rango de espaciamientos laterales y entre orificios de 0.46 a 1.22 m.

E.3.5.2.3 Parámetros de diseño

Para los filtros intermitentes de arena se recomiendan los parámetros de diseño que aparecen en la tabla E.3.7

TABLA E.3.7
Parámetros de diseño para filtros intermitentes de arena

| Parámetro | Unidad | Rango |
|------------------------------------|-----------------|---------------|
| Carga hidráulica | $m^3/m^2/d$ | 0.3 - 0.6 |
| Carga orgánica | $kgDBO_5/m^2/d$ | 0.002 - 0.010 |
| Frecuencia de dosificación | veces/día | 3 - 6 |
| Volumen del tanque de dosificación | caudal día | 0.5 - 1.0 |
| Pasos a través del filtro | No. | 1 |
| Temperatura del medio filtrante | °C | >15 |

Para los filtros de medio granular recirculante se deben usar los parámetros de diseño de la tabla E.3.8

TABLA E.3.8
Parámetros de diseño para filtros de medio granular recirculante

| Parámetro | Unidad | Rango |
|------------------------------------|-----------------|---------------|
| Carga hidráulica | $m^3/m^2/d$ | 0.13 - 0.2 |
| Carga orgánica | $kgDBO_5/m^2/d$ | 0.010 - 0.040 |
| Tasa de recirculación | | 3 :1 - 5 :1 |
| Frecuencia de dosificación | min/30min | 1 - 10 |
| Volumen del tanque de dosificación | caudal día | 0.5 - 1.0 |
| Pasos a través del filtro | No. | 2 - 8 |
| Temperatura del medio filtrante | °C | >15 |

E.3.5.2.4 Operación y mantenimiento

Para realizar el mantenimiento es necesario: 1) suspender la operación por un tiempo, 2) realizar el rastillado de la superficie para remover la costra que se forma y actúa como inhibidora del proceso y 3) reemplazar la capa superior con material limpio.

En el momento en que el nivel de encharcamiento por encima de la superficie exceda 30 cm, debe pararse la aplicación de agua residual. Para filtros que reciben efluentes de tanques sépticos, se recomienda rastillar o cambiar la capa superior en intervalos de 30 y 150 días, para tamaños efectivos de

0.2 mm y 0.6 mm, respectivamente. Para filtros recirculantes, con medio grueso (1.0 a 1.5 mm), se recomiendan periodos de hasta un año.

E.3.5.3 Humedales artificiales de flujo sumergido

E.3.5.3.1 Localización

Los humedales deben localizarse aguas abajo de un tanque séptico. Para esto, debe hacerse una evaluación de las características del suelo, localización de cuerpos de agua, topografía, localización geográfica, líneas de propiedad y vegetación existente para localizar adecuadamente el humedal.

E.3.5.3.2 Parámetros de diseño.

El diseñador debe seleccionar una metodología de diseño que garantice el correcto funcionamiento del sistema teniendo en cuenta los siguientes criterios :

- Conductividad hidráulica.
- Granulometría.
- Flujo sumergido para todas las condiciones de caudales.

Además, se recomiendan los siguientes parámetros, para el caso de humedales de flujo subsuperficial:

E.3.5.3.2.1 Área superficial.

Para la determinación del área superficial del humedal se recomiendan dos alternativas:

- a) Usar los siguientes valores de carga hidráulica: 0.032 m²/L/día (para zonas frías o donde haya restricciones de espacio), y 0.021m²/L/día (para zonas donde haya restricciones de espacio)
- b) Metodo incluyendo la cinética del proceso

$$A_s = Qd \cdot (\ln C_o - \ln C_e) / (K_t \cdot D \cdot n) \quad (\text{E.3.2})$$

E.3.5.3.2.2 Sección transversal

Para determinar el área de la sección transversal se recomienda el uso de la ley de Darcy

$$A_{st} = \frac{Q}{(K_s \cdot S)} \quad (\text{E.3.3})$$

La conductividad utilizada para el diseño nunca puede ser mayor que la del medio de soporte. Se debe reducir dicha conductividad en un orden de magnitud para tener en cuenta los efectos de atascamiento asociados a la retención de sólidos en los humedales.

3. Pendiente de fondo. se recomienda no usar la pendiente de fondo para ganar cabeza pues se corre el riesgo de dejar la entrada seca cuando hayan condiciones de bajo caudal. = 1%
4. Usar piedra entre 50 y 100 mm para una longitud de 0.6 m alrededor del influente distribuidor y las tuberías colectoras del efluente para reducir el taponamiento
5. Usar solo sustrato lavado para eliminar los granos finos que puedan taponar los poros del sustrato y, posiblemente, causen flujo superficial.
6. Construir la berma al menos 150 mm por encima del sustrato y al menos 150 mm por encima de la superficie de la tierra.
7. Pendiente exterior 3H:1V
8. Pendiente interior 2H:1V

9. Ancho mínimo de la berma = 0.60 m
10. Carga orgánica máxima = 4 m²/kg. de DBO₅/día
11. Tiempo de llenado del lecho con agua = 1 - 2 días
12. Profundidad. Se recomienda que la profundidad media del lecho sea 0.6 m y que la profundidad en la entrada no debe ser menor de 0.3 m. Con profundidades mayores a 0.6 m, las raíces más profundas y los rizomas empiezan a debilitarse. Se recomienda que los lechos se construyan con al menos 0.5 m de cabeza sobre la superficie del lecho. Para lechos pequeños, esta puede reducirse.
13. Medio. Cuando se utilice grava como medio que carece de nutrientes, se recomienda que las semillas se planten en un medio fértil con el fin de evitar problemas posteriores.

E.3.5.3.3 Operación y mantenimiento

Se recomienda que la superficie del humedal se cubra con vegetación. La elección de la vegetación depende del tipo de residuos, de la radiación solar, la temperatura, la estética, la vida silvestre deseada, las especies nativas y la profundidad del humedal. Se deben usar dos celdas en serie. Las celdas deben ser impermeabilizadas para evitar la infiltración. Es esencial que las raíces tengan siempre acceso a agua en el nivel de los rizomas en todas las condiciones de operación. Para medios muy permeables con alta conductividad hidráulica (tales como la grava), se recomienda que el nivel de agua se mantenga alrededor de 2 a 5 cm por debajo de la superficie del lecho.

E.3.5.4 Filtros sumergidos aireados

Proceso de tratamiento de aguas residuales que utiliza un medio sumergido en el reactor para la fijación de los microorganismos; el aire se suministra a través de un equipo de aireación. Se caracteriza por la capacidad de fijar grandes cantidades de microorganismos en la superficie del medio y reducir el volumen del reactor biológico, permitiendo una depuración avanzada de las aguas residuales sin necesidad de recircular los lodos, como sucede en el proceso de lodos activados.

E.3.5.4.1 Localización

Deben colocarse aguas abajo del tanque séptico que sirve como sedimentador.

E.3.5.4.2 Dimensionamiento

E.3.5.4.2.1 Cámara de reacción

El diseñador debe seleccionar una metodología de diseño que garantice el correcto funcionamiento del sistema teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- Tiempo de retención hidráulica que garantice las eficiencias de remoción esperadas.
- Cargas orgánicas compatibles con la capacidad máxima de transferencia de oxígeno de los equipos de aireación utilizados.
- Tiempo de contacto.
- Granulometría.

En el anexo E se tiene una metodología de cálculo usual.

E.3.5.4.2.2 Cámara de sedimentación

El diseñador debe seleccionar una metodología de diseño que garantice la acumulación de biomasa en el reactor y produzcan un efluente con concentraciones de sólidos suspendidos compatibles con el nivel de tratamiento exigido por el diseño.

En el anexo E se tiene una metodología de cálculo usual

E.3.5.4.2.3 División de la cámara de reacción.

Puede optarse por la división de la cámara de reacción en dos o más partes, para obtener mejor remoción de los contaminantes. Al dividirla en dos cámaras, la primera debe ser aerobia y la segunda anaerobia, sin aireación. La proporción de volúmenes debe ser de 3:1. Para la división en tres cámaras, la secuencia debe ser aerobia - anaerobia - aerobia, y la proporción de volúmenes debe ser de 2:1:1

E.3.5.4.2.4 Área superficial de la cámara de sedimentación

Debe permitir el acceso para limpieza y ser compatible con los requisitos de tratamiento de las aguas a tratar.

En el anexo E se tiene una metodología de cálculo usual.

E.3.5.4.2.5 Empleo de dispositivos aceleradores de la sedimentación.

Se debe permitir el empleo de este tipo de mecanismos para la reducción del área superficial de la cámara de sedimentación y amortiguamiento del choque hidráulico.

E.3.5.4.2.6 Dispositivo de sedimentación.

Para el dimensionamiento de los dispositivos de sedimentación se recomienda el siguiente procedimiento :

Los aceleradores de sedimentación pueden ser de tubo circular o cuadrado, placas paralelas o de otro formato, previa comprobación de su eficiencia para remoción de partículas en el decantador. También puede utilizarse material similar al empleado como medio filtrante en la cámara de reacción, pero con un área específica mayor.

El ángulo de inclinación del dispositivo no debe ser superior a 40° con relación a la horizontal.

La disposición de los sedimentadores debe ser de tal forma que facilite su lavado periódico.

Como se dijo anteriormente, el dispositivo de sedimentación puede sustituirse por un material filtrante similar al utilizado en el reactor, pero el medio debe tener un área específica de por lo menos 150 m²/m³. El espesor del lecho filtrante debe ser por lo menos 0.50 m para que pueda lavarse con facilidad.

E.3.5.4.2.7 Paso del agua residual desde la cámara de reacción hasta la cámara de sedimentación.

El agua residual proveniente de la cámara de reacción debe introducirse en la cámara de sedimentación por medio de un conducto de no más de 0.05 m de largo. No debe utilizarse la abertura inferior de la cámara de sedimentación para tal fin.

E.3.5.4.2.8 Características del lecho filtrante.

El lecho filtrante de la cámara de reacción debe ser llenado con material que permita el crecimiento de los microorganismos en su superficie. Debe evitarse el empleo de materiales de diámetro muy pequeño y con elevado valor de área específica, que causen obstrucción temprana del lecho o que dificulten la limpieza del lecho filtrante.

E.3.5.4.2.9 Altura del lecho filtrante

La altura del lecho filtrante debe tener una distancia de 40 mm como mínimo, entre el fondo de la cámara y la parte inferior del lecho.

E.3.5.4.2.10 Equipo de aireación

El oxígeno necesario para el tratamiento aerobio se suministra a través de equipos de aireación de modo continuo e ininterrumpido. Por tanto, los equipos de aireación deben satisfacer las siguientes condiciones :

$$Q_a = 30 \frac{N_c \cdot C}{1440} \quad (\text{E.3.4})$$

Para casos en que el sistema recibe aguas residuales de origen no exclusivamente doméstico (tales como de bares, restaurantes, etc.), el caudal debe calcularse considerando un valor de 80 m³ de aire/día por kg. de DBO removido. debe preverse una concentración mínima de oxígeno disuelto de 1.0 mg / L en el efluente del reactor aireado

La potencia requerida para el compresor puede calcularse considerando todas las pérdidas relativas a la tubería, los accesorios, medidores, etc., para la situación más desfavorable del sistema de aireación. De usarse otro método, es necesario comprobar su efectividad previamente.

E.3.5.4.3 Operación y mantenimiento

Para mantener un funcionamiento adecuado es necesario tener en cuenta lo siguiente:

1. Inspeccionar periódicamente el sistema de filtro aerobio sumergido.
2. Remover periódicamente el lodo acumulado en el fondo del reactor conforme a las instrucciones del fabricante.
3. Lavar con un chorro de agua el medio filtrante, y el sedimentador, después de drenar el líquido del filtro.
4. El fabricante del filtro aerobio sumergido debe suministrar un manual de operación del sistema para el correcto funcionamiento del mismo.
5. El lodo acumulado en el filtro, que se retira periódicamente, debe ir de nuevo al tanque séptico instalado adelante del filtro ; en caso que exista un lecho de secado, el lodo puede ser dispuesto directamente en el mismo.
6. La limpieza del sistema debe efectuarse con materiales y equipos adecuados, para impedir el contacto directo del agua residual y el lodo con el operador.

E.3.5.5 Lagunas de Oxidación o de Estabilización

Ver literales E.4.8.

E.3.5.6 Tanques Imhoff

Se conocen también como tanques de doble acción. Se dividen en tres cámaras que son:

1. La sección superior, que se conoce como cámara de sedimentación.
2. La sección inferior, que se conoce como cámara de digestión de lodos
3. El respiradero y cámara de natas o área de ventilación del gas.

El tanque Imhoff generalmente se utiliza para poblaciones tributarias de 5,000 personas o menos.

E.3.5.6.1 Tipos

Pueden ser rectangulares o circulares.

E.3.5.6.2 Localización

Deben mantenerse las mismas distancias mínimas de los tanques sépticos. Ver literal E.3.4.2.

E.3.5.6.3 Dimensionamiento

Para el dimensionamiento de los tanques Imhoff, se recomiendan los siguientes valores:

E.3.5.6.3.1 Compartimento de sedimentación

Relación longitud a ancho, 2:1 a 5:1

Pendiente, 1.25:1 a 1.75:1

Abertura de las ranuras, 15 a 30 cm

Proyección de las ranuras, 15 a 30 cm

Bafle de espumas: encima de la superficie (45 a 60 cm), debajo de la superficie (15 cm)

E.3.5.6.3.2 Área de ventilación del gas

Área superficial (% del total) = 15 - 30

Ancho de la abertura = 45 a 75 cm

E.3.5.6.3.3 Cámara de digestión de lodos

Volumen (litros / cápita) = 55 a 100

Tubería de recolección de lodos (mm) = 200 a 300

Profundidad debajo de la ranura hasta la superficie superior del lecho de lodos = 30 a 90 cm

Profundidad del tanque (desde la superficie del agua hasta el fondo del tanque) (m) = 7 a 10

E.3.5.6.4 Parámetros de diseño

E.3.5.6.4.1 Compartimento de sedimentación

Tasa de desbordamiento superficial ($m^3/m^2/d$) = 25 a 40

Tiempo de retención (horas), 2 a 4

E.3.5.6.4.2 Cámara de digestión

Capacidad de almacenamiento de lodo = 6 meses de lodo

E.3.5.6.5 Operación y mantenimiento

Puesto que no existen partes mecánicas en un tanque Imhoff, debe prestarse atención a lo siguiente:

1. Eliminar diariamente las grasas, natas y sólidos flotantes, del compartimento de sedimentación.
2. Raspar semanalmente los lados y fondos inclinados del compartimento de sedimentación, con un cepillo de goma, para quitar los sólidos que se hayan adherido y que pueden descomponerse.
3. Limpiar semanalmente la ranura del compartimento de sedimentación. Puede emplearse un rastrillo de cadena.
4. Cambiar el sentido del flujo por lo menos una vez al mes, cuando así esté previsto en el diseño del tanque.
5. Controlar la nata en la cámara de natas, rompiéndola por medio de chorros de mangueras a presión, manteniéndola húmeda con aguas negras del compartimento de sedimentación y quitándola cuando su espesor llegue a unos 60 a 90 cm.

6. La descarga de lodos debe hacerse antes que su nivel llegue a estar cerca de 45 cm de distancia de la ranura del compartimiento de sedimentación. Es mejor descargar pequeñas cantidades con frecuencia, que grandes cantidades en mucho tiempo. Los lodos deben descargarse a una velocidad moderada y regular para que no se forme un canal a través de los lodos, que deje descargar lodos parcialmente digeridos y parte del líquido que haya sobre los lodos digeridos. La descarga no debe ser total sino que debe dejarse la cantidad necesaria para el inculo. Cuando menos una vez al mes, debe determinarse el nivel a que lleguen los lodos en su compartimiento. Lo mejor y más recomendable es emplear para ello una bomba.
7. Después de cada descarga de lodos, las líneas de descarga deben escurrirse y llenarse con agua o con aguas negras, para impedir que los lodos se endurezcan y obturen la tubería.
8. Prevención de la formación de "espumas". Debe hacerse todo lo posible para impedir la formación de espumas, debido a que a veces es muy difícil corregir esta situación una vez que se ha presentado. La formación de espumas va asociada generalmente con una condición de acidez en los lodos y puede prevenirse en tales casos, o corregirse mediante un tratamiento con cal, para contrarrestar la acidez de los lodos. Cuando se formen espumas es recomendable solicitar la colaboración de un ingeniero sanitario experimentado. Sin embargo, hay unas cuantas medidas sencillas que, en ciertas circunstancias, remedian o mejoran esta situación.

CAPITULO E.4

E.4. SISTEMAS CENTRALIZADOS

E.4.1 ALCANCE

En este capítulo se establece el procedimiento que debe seguirse y los criterios básicos que deben tenerse en cuenta para la implantación de un sistema centralizado de tratamiento de aguas residuales. Se establecen los estudios previos, las condiciones generales, los parámetros de diseño, los aspectos de la puesta en marcha, los aspectos de la operación y los aspectos de mantenimiento que deben ser atendidos por los consultores que estén realizando el diseño y/o la construcción de este tipo de obras.

Las prescripciones establecidas en el presente capítulo deben aplicarse a los cuatro **niveles de complejidad del sistema** a menos que se especifique lo contrario.

E.4.2 GENERALIDADES

E.4.2.1 Definición, Información necesaria, Estudios mínimos.

En los casos que no sea factible la utilización de sistemas de tratamiento en el sitio de origen, debido a la magnitud del volumen de las aguas residuales a tratar, se deben utilizar sistemas adecuados con mayor capacidad. Su selección queda al criterio del diseñador y se debe regir por lo establecido en el presente numeral.

Como información necesaria para realizar el diseño se debe tener lo siguiente:

- Población a servir.
- Cantidad y calidad del agua residual.
- Temperatura (media mensual y anual).
- Uso de la tierra.
- Zonificación.
- Prácticas agrícolas.
- Requerimientos de calidad para descargas superficiales y subsuperficiales.
- Información de los cuerpos de agua de la zona.
- Caudal promedio diario, caudal máximo diario, caudal pico horario, caudal mínimo horario, caudal mínimo diario y caudal sostenido.
- Los estudios mínimos que se deben tener son los siguientes:
 - Inspección visual
 - Estudio de suelos: humedad, permeabilidad, granulometría, conductividad hidráulica saturada, nivel freático.
 - Topográficos: Curvas de nivel.
 - Hidrogeológicos: Por ejemplo, precipitación (promedio máximo mensual), evapotranspiración y evaporación (promedio mensual).
 - Revisión de estudios previos hechos en la zona.

- Vulnerabilidad sísmica.
- Inundaciones.
- Dirección de los vientos.

E.4.3 SELECCIÓN DEL TRATAMIENTO

E.4.3.1 Estudios de Cobertura y Estado del Sistema de Recolección

Se deben evaluar los siguientes parámetros de la red de alcantarillado de tal manera que se asegure la integración entre la planta de tratamiento y el sistema de recolección de aguas servidas :

1. Cobertura poblacional del sistema de alcantarillado.
2. Proyección de expansión de cobertura para el periodo de diseño de la planta.
3. Porcentaje de infiltración y afluentes.
4. Porcentaje de conexiones erradas.
5. Porcentaje de recolección real de aguas residuales producidas por la población.
6. Aporte industrial de caudales y cargas.
7. Ubicación y cuantificación de reboses de excesos.

E.4.3.2 Estudios de Calidad de la Fuente Receptora

No se debe perder de vista que el objetivo final del tratamiento de las aguas residuales municipales es asegurar que el cuerpo de agua receptor tenga una calidad de agua tal que pueda sustentar los usos que se le dé a dicho cuerpo de agua, aguas abajo de la descarga. Estos usos existen de hecho por la comunidad, o son establecidos por la entidad responsable de manejar el recurso. Las características de calidad del agua que garantizan el uso deseado o actual están definidas en Colombia por el Decreto 1594 de 1984 o aquel que lo sustituya, y se debe hacer un tratamiento tal, al agua residual antes de verter, que se logren los criterios allí estipulados para situaciones hidrológicas críticas de bajos caudales y descargas máximas de diseño del vertimiento y en los tramos aguas abajo en la corriente. Se debe diseñar para el caudal medio semanal mas bajo con un período de retorno de 10 años, 7Q10.

Deben tenerse en cuenta igualmente las interacciones entre la planta de tratamiento, el sistema de alcantarillado y el cuerpo de agua receptor, reconociendo que todos forman una unidad íntimamente relacionada. Los análisis de calidad de agua del cuerpo receptor deben considerar los vertimientos que se realizan por reboses del alcantarillado, o alcantarillados en caso de que existan sistemas independientes, junto con los vertimientos directos antes y después del tratamiento.

Los parámetros a modelar en el cuerpo de agua receptor serán aquellos que afecten las calidades de agua estipuladas en los usos definidos en el Decreto 1594 de 1984 o aquel que los sustituya.

Como mínimo, se deben realizar los siguientes estudios de calidad de la fuente receptora:

- Oxígeno Disuelto (OD).
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅).
- Coliformes Totales y Fecales.
- Nutrientes (Nitrógeno y Fósforo)
- Sólidos Suspendidos.

E.4.3.3 Selección de Sitios de Ubicación de los Sistemas Centralizados

La selección del sitio o sitios de ubicación de los sistemas debe basarse en la información mínima y en los estudios previos desarrollados en la zona, dirección de los vientos prevalecientes, audiencias públicas para el caso del **nivel alto de complejidad del sistema**, así como también en el valor de adquisición de los predios, aspectos políticos y legales, requerimientos de tamaño, facilidad de acceso al sitio, servicios disponibles (electricidad, agua potable, teléfono, gas) y el potencial de reuso del efluente. En caso de que la planta se encuentre cerca a zonas residenciales se deben tomar medidas como la minimización de ruidos, olores, material particulado en el aire, cloro y otros químicos peligrosos, aerosoles e insectos.

Se deben considerar de manera específica los siguientes aspectos :

- Puntos de emisión de olores y cantidad de emisión en cada uno de ellos
- Modelación de la dispersión atmosférica.
- Evaluación de concentraciones de H₂S y/o otras sustancias olorosas en las zonas aledañas considerando concentraciones pico con frecuencias inferiores a 15 minutos.
- Medidas de mitigación.

Se deben considerar los requerimientos por la demanda actual y futura en el momento de la selección del sitio. El área requerida para una planta de una capacidad depende de las siguientes consideraciones :

- Grado de tratamiento requerido
- Proceso a ser usado
- Grado de redundancia requerido
- Requerimientos de espacio para instalaciones secundarias y de soporte, y
- Requerimientos de espacio para acceso, circulación y mantenimiento.

La distancia mínima de amortiguamiento para zonas residenciales debe ser de 75m. Para sistemas particulares pueden exigirse aislamientos superiores. En las zonas susceptibles a inundación, se debe proveer una protección adecuada por medio de diques de tierra u otro método, alrededor del perímetro de la planta. Como mínimo la planta debe permanecer operacional para una creciente con un periodo de retorno de 25 años.

Para **cualquier nivel de complejidad del sistema**, la selección del sitio debe considerar la posibilidad de actividad sísmica en la zona. Se debe revisar las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-98 (Ley 400 de 1997, Decreto 33 de 1998) para determinar en que zona de amenaza sísmica se encuentra el proyecto para de esta manera tomar los controles que sean necesarios.

No se permite la localización de plantas cerca a hábitats especiales como humedales naturales u otro tipo de ecosistemas críticos, así como tampoco cerca a zonas de recreación a menos que se pueda garantizar la ausencia de impactos. En los casos que se considere necesario, se recomienda evaluar la presencia de recursos culturales, históricos o arqueológicos del sitio.

Se recomienda la utilización de la siguiente matriz para la selección del sitio :

Tabla E.4.1
Matriz de análisis para la ubicación de una nueva Planta de Tratamiento de Aguas Residuales cerca a áreas residenciales.

| Sitio | Aspectos Ambientales | CONSIDERACIONES DE OLORES | | | Distancia entre los vientos principales y la zona residencial mas cercana | Zonificación y propiedad privada adyacente | Disponibilidad de tierras | Trazado de planicies de inundación | Estimativos de costos | Consideraciones de ingeniería | Comentarios |
|-------|----------------------|---|--|---|---|--|---------------------------|------------------------------------|-----------------------|-------------------------------|-------------|
| | | Distancia del sitio a la zona residencial mas cercana | Dirección del viento hacia la zona residencial mas cercana | Frecuencia de la dirección del viento a la zona residencial mas cercana | | | | | | | |
| X | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| Y | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| Z | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |

E.4.3.4 Modularización y Expansión

Se deben tener por lo menos dos trenes paralelos de tratamiento. Se deben hacer estudios de modularización de los trenes de tratamiento y de expansión del sistema, los cuales deben estar en concordancia. Para los **niveles medio alto y alto de complejidad** se deben hacer estudios de costo mínimo para definir el plan de expansión y la modularización del proceso. Los estudios de costo mínimo deben seguir los lineamientos contenidos en el Título A.

E.4.3.5 Estudios de Análisis de Alternativas

De acuerdo al nivel de tratamiento deseado existen diferentes alternativas para lograr el objetivo. La tabla E.4.2 presenta un resumen de los rendimientos típicos que se logran con las diferentes etapas y procesos de tratamiento, la tabla E.4.3 presenta una matriz con las ubicaciones mas probables de generación de olores, así como su agente generador, en la tabla E.4.4 se presenta una lista de los parámetros que deben ser regulados para prevenir la generación de olores. Todas estas tablas deben ser usadas por el diseñador de forma que sirva de guía en la selección del proceso.

TABLA E.4.2
Eficiencias típicas de remoción

| Unidades de tratamiento | Eficiencia en la remoción de constituyentes, porcentaje | | | | | | |
|--------------------------------|---|-------|-------|-------|-------|--------------------|-----------|
| | DBO | DQO | SS | P | N Org | NH ₃ -N | Patógenos |
| Rejillas | desp. ¹ | desp. | desp. | Desp. | desp. | desp. | Desp. |
| Desarenadores | 0-5 | 0-5 | 0-10 | Desp. | desp. | desp. | Desp. |
| Sedimentación primaria | 30-40 | 30-40 | 50-65 | 10-20 | 10-20 | 0 | desp. |
| Lodos activados (convencional) | 80-95 | 80-95 | 80-90 | 10-25 | 15-20 | 8-15 | desp. |
| Filtros percoladores | | | | | | | desp. |
| Alta tasa, roca | 65-80 | 60-80 | 60-85 | 8-12 | 15-50 | 8-15 | |
| Super tasa, plástico | 65-85 | 65-85 | 65-85 | 8-12 | 15-50 | 8-15 | |
| Cloración | desp. | desp. | desp. | Desp. | desp. | desp. | 100 |
| Reactores UASB | 65-80 | 60-80 | 60-70 | 30-40 | --- | --- | desp. |
| Reactores RAP | 65-80 | 60-80 | 60-70 | 30-40 | --- | --- | desp. |
| Filtros anaerobios | 65-80 | 60-80 | 60-70 | 30-40 | --- | --- | desp. |
| Lagunas de oxidación | | | | | | | |
| Lagunas anaerobias | 50-70 | --- | 20-60 | --- | --- | --- | 90-99.99 |
| Lagunas aireadas | 80-95 | --- | 85-95 | --- | --- | --- | 90-99.99 |
| Lagunas facultativas | 80-90 | --- | 63-75 | 30 | --- | --- | 90-99.99 |
| Lagunas de maduración | 60-80 | --- | 85-95 | --- | --- | --- | 90-99.99 |
| Ultravioleta | desp. | desp. | desp. | Desp. | desp. | desp. | 100 |

¹ despreciable

TABLA E.4.3
Localizaciones en sistemas de tratamiento de aguas residuales donde se pueden generar problemas de olores

| Agente generador de olores Instalación | Aguas residuales | Arenas | Material cernido | Espumas | Lodos | Desechos orgánicos sobre la superficie | Areas de corto circuito |
|---|------------------|--------|------------------|---------|-------|--|-------------------------|
| Alcantarillados | X | | | | | | |
| Estaciones de bombeo | X | | | X | | X | X |
| Desarenadores | X | X | | X | X | X | |
| Rejillas | X | | X | | | X | |
| Manejo de arenas, grasas y material cernido | X | X | X | X | X | X | |
| Tanques de homogeneización | X | | | X | X | X | |
| Tanques de sedimentación primaria | X | | | X | X | X | X |
| Adición química | | | | | | | |
| Tanques de aireación | X | | | | | | X |
| Filtros percoladores | X | | | X | | X | X |
| Lagunas | X | | | X | | X | |
| Biodiscos | X | | | | | X | |
| Tanques de sedimentación final | X | | | X | X | X | X |
| Filtros de medio granular | X | | | | | X | |
| Bombeo de lodos | | | | | X | X | |
| Espesamiento de lodos | | | | X | X | X | |
| Almacenamiento de lodos | | | | X | X | X | |
| Acondicionamiento de lodos | | | | X | X | X | |
| Secado de lodos | X | | | X | X | X | |
| Digestión de lodos | | | | | X | X | |
| Canales para drenaje | X | | | X | | X | X |
| Tanques de contacto químico | | | | | | X | X |
| Incineración de lodos | | | | | X | X | |
| Compostaje de lodos | | | | | X | X | |

TABLA E.4.4

Parámetros que deben ser regulados para que no contribuyan a los problemas de olores en sistemas de tratamiento de aguas residuales

| Parámetros | Problema |
|--------------------|---|
| Limitaciones de pH | A pHs por debajo de 8.0, el sulfuro cambia a sulfuro de hidrógeno gaseoso. |
| Temperatura | Altas temperaturas incrementan la acción microbial de bacterias anaerobias. Altas temperaturas incrementan la liberación de componentes orgánicos volátiles del líquido a la fase gaseosa. |
| Descargas tóxicas | Inhibe o mata microorganismos involucrados en sistemas de tratamiento biológico. |
| Aceites y grasas | Se pueden degradar anaerobiamente. |
| Descargas químicas | Gases olorosos. |

Además se deben tener en cuenta los siguientes aspectos de operación y mantenimiento para prevenir la generación de sulfuro de hidrógeno :

- Suministro de la suficiente turbulencia para prevenir la deposición de sólidos y para asegurar una mezcla completa (excesiva turbulencia liberará olores siempre generados pero que se mantienen en la fase líquida).
- Mantener al menos 1 mg/L de oxígeno disuelto.
- Mantener los lodos sedimentados frescos a través de unas tasas de retorno adecuadas.
- Asegurar unos tiempos de retención hidráulica y de sólidos apropiados en todos los tanques.
- Desarrollar un programa agresivo de pretratamiento industrial.

E.4.3.6 Redundancias

En toda planta de tratamiento de aguas residuales los trenes de tratamiento restantes deben tener la suficiente capacidad para poder recibir el caudal correspondiente a otro tren que por algún motivo salga de funcionamiento temporalmente.

Para los **niveles de complejidad medio alto y alto**, además se debe seguir lo indicado por la siguiente tabla de acuerdo a las siguientes clases de confiabilidad :

Definición de las clases :

CLASE I : Plantas que descargan su efluente en cuerpos de agua susceptibles a cambios importantes en el corto plazo (horas). Estos son utilizados como fuentes de agua para suministro, rutas navegables, zonas de recreación y de deportes de contacto.

CLASE II : Plantas que descargan sus efluentes a cuerpos de agua susceptibles a cambios en el largo plazo (días). Estos son utilizados para la recreación pasiva.

CLASE III : Otras plantas no reseñadas en las clases I y II.

TABLA E.4.5

| Componente | CLASIFICACION DE CONFIABILIDAD | | | | | |
|---------------------------|--|--------------------------|---------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|--------------------------|
| | I | | II | | III | |
| | Tratamiento | Fuente de energía propia | Tratamiento | Fuente de energía propia | Tratamiento | Fuente de energía propia |
| Tanque de homogeneización | Capacidad adecuada para todos los caudales | | No aplicable | | No aplicable | |
| Desarenador | | Opcional | | No | | No |
| Sedimentación primaria | Unidades múltiples ^a | si | Igual para la clase I | | Dos mínimo ^a | si |
| Filtros percoladores | Unidades múltiples ^b | si | Igual para la clase I | Opcional | | No |
| Tanques de aireación | Mínimo dos de igual volumen | si | Igual para la clase I | Opcional | Una unidad sencilla es permisible | No |
| Aireadores mecánicos | Unidades múltiples ^c | si | Igual para la clase I | Opcional | Dos mínimo ^c | No |
| Difusores | Secciones múltiples ^d | | Igual para la clase I | | Igual para la clase I | |
| Sedimentación final | Unidades múltiples ^b | si | Unidades múltiples ^a | Opcional | Dos mínimo ^a | No |
| Mezcladores de químicos | Dos mínimo | Opcional | | Opcional | Igual para la clase II | No |
| Sedimentación química | Unidades múltiples | Opcional | | Opcional | Igual para la clase II | No |
| Floculación | Dos mínimo | Opcional | | Opcional | Igual para la clase II | No |
| Tanques de desinfección | Unidades múltiples ^b | si | Unidades múltiples ^a | Si | Igual para la clase II | |

^a La capacidad remanente con la mayoría de las unidades fuera de servicio debe ser de al menos el 50% del caudal máximo de diseño

^b La capacidad remanente con la mayoría de las unidades fuera de servicio debe ser de al menos el 75% del caudal máximo de diseño.

^c La capacidad remanente con la mayoría de las unidades fuera de servicio debe ser capaz de lograr la máxima transferencia de oxígeno

^d La capacidad de transferencia máxima de oxígeno no debe verse muy afectada con la mayor parte de la sección fuera de servicio.

E.4.3.7 Perfil Hidráulico de la Planta

El diseñador debe realizar un perfil hidráulico de la planta de tratamiento en donde indique claramente las cotas de la lámina de agua en cada uno de los procesos, referenciadas éstas a las cotas del terreno natural indicando en el plano las zonas de excavación y relleno. Se debe verificar que la cota de entrega del efluente final permita el flujo al receptor bajo condiciones hidrológicas de una creciente con período de retorno de 25 años.

E.4.3.8 Aliviaderos de crecidas

Una vez establecido el caudal de diseño del sistema centralizado escogido, se hace necesaria la construcción de aliviaderos de crecidas calculados para alcanzar un grado de dilución deseado. Ese grado de dilución se expresa de la siguiente manera:

$$\frac{Q_{\text{medio}}}{Q_{\text{medio}} + Q_{\text{lluvia}}} = \frac{1}{X}$$

donde Q_{medio} = Caudal promedio diario de agua residual, Q_{lluvia} = caudal de lluvia y $1/X$ es el grado de dilución.

El coeficiente de dilución estará en función directa de las características de la red de alcantarillado y sus valores normales oscilan entre 3 y 5. De acuerdo con el tamaño de la planta se pueden utilizar varios aliviaderos, por ejemplo, antes del pretratamiento, antes del tratamiento primario y antes del tratamiento biológico.

E.4.4 PRETRATAMIENTOS

E.4.4.1 Generalidades

Debe realizarse por medio de procesos físicos y/o mecánicos, como rejillas, desarenadores y trampas de grasa, dispuestos convencionalmente de modo que permitan la retención y remoción del material extraño presente en las aguas negras y que pueda interferir los procesos de tratamiento.

E.4.4.2 Rejillas

El diseñador es libre de escoger el tipo de rejillas, siempre y cuando se cumplan las recomendaciones mínimas de diseño que se estipulan mas adelante.

E.4.4.2.1 Tipos

- Limpiadas manualmente.
- Limpiadas mecánicamente.
- En forma de canasta.
- Retenedoras de fibra.

E.4.4.2.2 Localización

Las rejillas deben colocarse aguas arriba de las estaciones de bombeo o de cualquier dispositivo de tratamiento subsecuente que sea susceptible de obstruirse por el material grueso que trae el agua residual sin tratar. El *canal* de aproximación a la rejilla debe ser diseñado para prevenir la acumulación de arena u otro material pesado aguas arriba de está. Además, debe tener preferiblemente una dirección perpendicular a las barras de la rejilla. El sitio en que se encuentren las rejillas debe ser provisto con escaleras de acceso, iluminación y ventilación adecuada.

E.4.4.2.3 Espaciamiento

Se recomienda un espaciamiento entre las barras de la rejilla de 15 a 50 mm para rejillas limpiadas manualmente, y entre 3 y 77 mm para rejillas limpiadas mecánicamente.

E.4.4.2.4 Velocidad mínima de aproximación

Para garantizar un área de acumulación adecuada, la velocidad de aproximación a las rejillas debe estar entre 0.3 y 0.6 m/s para rejillas limpiadas manualmente, entre 0.3 y 0.9 m/s para rejillas limpiadas mecánicamente.

E.4.4.2.5 Velocidad mínima entre barras

Se debe usar un rango de velocidades entre 0.3 y 0.6 m/s y entre 0.6 y 1.2 m/s para rejillas limpiadas manualmente y mecánicamente respectivamente.

E.4.4.2.6 Cálculo de pérdida de carga

Para el cálculo de la pérdida de carga se recomienda usar la siguiente ecuación:

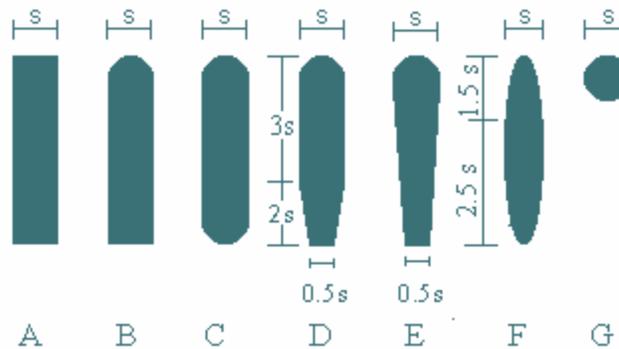
$$K = \beta \cdot \left(\frac{S}{b}\right)^{1.33} \cdot \text{Sen}\alpha \quad (\text{E.4.1})$$

donde β debe obtenerse de la tabla E.4.6, en conjunto con la figura E.4.1.

TABLA E.4.6
Coeficiente de pérdida para rejillas

| Sección transversal | | | | | | | |
|---------------------|------|------|------|-------|------|------|------|
| Forma | A | B | C | D | E | F | G |
| β | 2.42 | 1.83 | 1.67 | 1.035 | 0.92 | 0.76 | 1.79 |

FIGURA E.4.1
Diferentes formas de rejillas



Este procedimiento para calcular h_f es válido solo cuando la rejilla está limpia. En ninguno de los dos casos se permitirá una pérdida de cabeza mayor a 75 cm.

E.4.4.2.7 Sistemas de control para rejillas mecánicas

Para los **niveles medio alto y alto de complejidad** se recomienda el uso de los dispositivos de tiempo como sistemas de control. Todas las unidades mecánicas operadas por dispositivos de tiempo deben estar provistas de controles automáticos auxiliares que pongan en marcha el mecanismo de limpieza cuando el nivel de agua llegue al máximo predeterminado.

E.4.4.3 Remoción de grasas

Los sedimentadores primarios pueden usarse como sistemas de remoción de grasas, en dicho caso debe asegurarse que exista la capacidad de almacenamiento y los dispositivos mecánicos que permitan la evacuación del sobrenadante de forma segura y oportuna para evitar interferencias en los procesos posteriores y generación de malos olores por acumulación prolongada. En caso de considerarse necesario la utilización de trampas de grasa ver literal E.3.2.

E.4.4.4 Desarenadores

En los **cuatro niveles de complejidad** deben emplearse desarenadores cuando sea necesario cumplir con lo siguiente :

- Protección de equipos mecánicos contra la abrasión
- Reducción de la formación de depósitos pesados en tuberías, conductos y canales
- Reducción la frecuencia de limpieza de la arena acumulada en tanques de sedimentación primaria y digestores de lodos.
- Minimización de pérdida de volumen en tanques de tratamiento biológico.
- Antes de las centrífugas, intercambiadores de calor y bombas de diafragma de alta presión.

E.4.4.4.1 Geometría

En la tabla E.4.7 aparecen las características geométricas y recomendadas dependiendo del tipo de desarenador que se diseñe.

TABLA E.4.7
Geometría recomendada para desarenadores de diferente tipo

| Parámetro | Desarenador de flujo horizontal | Desarenador aireado | Desarenador tipo vórtice |
|------------------------------|---------------------------------|---------------------|--------------------------|
| Profundidad (m) | 2 - 5 | 2 - 5 | 2.5 - 5 |
| Longitud (m) | ----- | 8 - 20 | ----- |
| Ancho (m) | ----- | 2.5 - 7 | ----- |
| Relación Largo : Ancho | 2.5 : 1 - 5 : 1 | 3 : 1 - 5 : 1 | ----- |
| Relación Ancho : Profundidad | 1 : 1 - 5 : 1 | 1 : 1 - 5 : 1 | ----- |
| Diámetro (m) | | | |
| Cámara superior | ----- | ----- | 1 - 7 |
| Cámara inferior | | | 1 - 2 |

E.4.4.4.2 Localización

Deben localizarse después de rejillas y antes de tanques de sedimentación primaria y estaciones de bombeo.

E.4.4.4.3 Velocidad mínima del agua

Los desarenadores deben diseñarse de manera tal que la velocidad pueda controlarse. La variación debe estar únicamente en un rango entre 0.2 m/s y 0.4 m/s.

E.4.4.4.4 Número

El número de desarenadores es característico a cada diseño. Se recomienda un mínimo de dos unidades en cualquiera de los **niveles de complejidad**. Cada unidad debe tener la capacidad para operar con los caudales de diseño cuando la otra unidad está en limpieza.

E.4.4.4.5 Tasa de desbordamiento superficial

Se recomienda un rango entre 700 y 1600 m³/m²/día. Estos valores pueden ser expresados en términos de velocidad de sedimentación, variando aproximadamente entre 30 m/h y 65 m/h.

E.4.4.4.6 Tiempo de retención hidráulico

El tiempo de retención debe basarse en el tamaño de las partículas que deben separarse ; se recomienda un tiempo entre 20 segundos y 3 minutos. Esto se logra mediante dispositivos que permitan regular la velocidad del flujo.

E.4.4.4.7 Estructuras de control de caudal

Se recomienda controlar la velocidad en el desarenador mediante vertederos tipo Sutro o proporcional, o con secciones transversales que garanticen los rangos de velocidad especificados para diferentes alturas de la lamina de agua.

E.4.4.4.8 Operación y mantenimiento

Se recomienda que los desarenadores con un caudal inferior a 50 L/s sean limpiados manualmente ; para caudales mayores de 150 L/s se recomienda una limpieza mecánica. Para caudales intermedios debe justificarse la selección realizada.

En desarenadores de limpieza manual que se usen con aguas negras combinadas debe llevarse a cabo lo siguiente :

1. Medición periódica del lecho de arena acumulado.
2. Aislamiento del desarenador en el momento en que la arena ocupe 2/3 del volumen.
3. Drenaje del agua residual en la cámara. Este se puede realizar, en algunas instalaciones, por medio de canalizaciones que devuelven el líquido drenado al afluente o a una unidad del sistema de tratamiento adoptado.
4. Remoción de la arena.
5. Estimación de la cantidad de arena removida para los registros en las fichas de operación.
6. Transporte del el material removido hacia el sitio de disposición.
7. Lavado del desarenador para ser utilizado nuevamente.
8. Analizar una muestra de la arena removida en términos de sólidos volátiles. Adopción de medidas de corrección para las muestras que presenten alto contenido de estos.
9. Verificación de la cantidad de arena en las unidades subsecuentes.
10. Remoción de la arena, si fuera el caso, retenida en las demás unidades de tratamiento.

Para los desarenadores de limpieza mecánica, la operación debe ser similar a los de limpieza manual, cumpliendo además con lo siguiente:

1. Mantenimiento los equipos de acuerdo con el manual de instrucciones del fabricante.
2. Mantenimiento del movimiento del equipo libre de obstrucciones.
3. Lavado diario, con chorros de agua, de las paredes y los raspadores.
4. Vaciado y revisión, por lo menos una vez por año, de las unidades. Debe ensayarse el equipo que se encuentre inmerso así como la condición de la estructura.

Con el fin de evitar excesos de materia orgánica en el material removido se recomienda lo siguiente:

1. Aumentar la velocidad.
2. Disminuir el tiempo de retención. Para lograr esto puede reducirse el área de la sección transversal. Para evitar el arrastre de arena en el efluente se recomienda:
 - a) Remover con mayor frecuencia la arena acumulada.
 - b) Colocar en funcionamiento otro vertedero.
 - c) Aumentar el área de la sección transversal de la cámara. Se recomienda además que el desarenador cuente con un sistema de desvío del flujo o paso directo.

E.4.4.4.9 Producción y almacenamiento de arenas

La producción de arenas varía de acuerdo a la localidad el tipo de sistema de alcantarillado, las características del área de drenaje la condición del alcantarillado y la cantidad de material arenoso en el área. Cuando no sea posible removerla por la carga hidráulica, debe observarse que la canaleta tenga por lo menos espacio suficiente para la evacuación de arena por medio de palas u otro tipo de herramientas usadas para este fin. Se recomienda una entrada media de arena de 0.5 m³/min. y una máxima 0.6m³/min. por metro del desarenador. Las áreas donde se manejen las arenas, deben tener superficies

impermeables y antideslizantes, y drenajes adecuados. Los medios para el acarreo de las arenas deben tener protección para evitar pérdidas del material.

E.4.5 TRATAMIENTO PRIMARIO

E.4.5.1 Sedimentadores primarios

El objeto de este tratamiento es básicamente la remoción de los sólidos suspendidos y DBO en las aguas residuales, mediante el proceso físico de asentamiento en tanques de sedimentación. Se recomienda utilizar el método de laboratorio por tandas para estimar la tasa de desbordamiento superficial necesaria, el tiempo de retención o profundidad del tanque y el porcentaje de remoción de sólidos suspendidos. Este método puede encontrarse en la norma colombiana o internacional vigente. Deben utilizarse las gráficas de porcentaje de remoción de DBO y sólidos suspendidos como función de la tasa de desbordamiento superficial y del tipo de clarificador que se tenga (circular o rectangular). En los casos que el ingeniero considere necesario, se pueden adicionar coagulantes para incrementar la eficiencia de remoción de fósforo, sólidos suspendidos y DBO.

E.4.5.1.1 Geometría

Las dimensiones del tanque están determinadas por la cantidad de aguas negras que se requiera tratar y debe diseñarse para el caudal máximo horario esperado. Para el caso de tanques rectangulares la relación longitud:ancho debe estar entre 1.5:1 y 15:1. Para el caso de tanques circulares se recomienda un diámetro entre 3 y 60 m, una pendiente de fondo entre 6 y 17%. Los tanques cuadrados no se recomiendan y los de forma hexagonal y ortogonal son considerados como si fueran a los circulares debido a que estos están dotados de un equipo rotatorio para remoción de los sólidos. Debe escogerse la mayor de las áreas calculadas, de acuerdo a las siguientes tasas de desbordamiento superficial mínimas recomendadas:

- 1) Para caudal medio utilizar $33\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$,
- 2) Para caudal pico sostenido por tres horas utilizar $57\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$, y
- 3) Para caudal pico utilizar $65\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$.

E.4.5.1.2 Tiempo de retención

Debe basarse en el caudal de aguas negras y en el volumen del tanque. Se recomienda un período de retención mínimo de 1.0 hora tanto para los sedimentadores circulares como para los rectangulares.

E.4.5.1.3 Profundidad

Para los tanques de sedimentación circulares se recomienda un rango de profundidades de 2.5 a 4 m. En el caso de tanques rectangulares se recomienda un rango de profundidades entre 2 y 5 m.

E.4.5.1.4 Tasa de desbordamiento superficial

En el caso que se planee o exista un tratamiento secundario seguido del tanque de sedimentación primaria se recomienda una TDS para flujo medio de 32 a $48\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$ y para flujo horario pico de 80 a $120\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$. En caso de que se planee o exista un sistema de retorno de lodos activados de desecho, se recomienda una TDS de 25 a $32\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$ y para flujo horario pico de 50 a $70\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$. Sin embargo, el diseñador debe escoger una TDS según el tipo de suspensión que va a separarse y siempre y cuando se demuestre que es apropiada para lograr una eficiencia acorde con el nivel de confiabilidad de servicio en que se encuentre la planta.

E.4.5.1.5 Profundidad de almacenamiento de lodos

La profundidad depende del tipo de limpieza de lodos que se practique en la planta. Se recomienda una capa de lodos de 30 a 45 cm por motivos operacionales.

E.4.5.1.6 Entradas y salidas

Las entradas deben diseñarse para dispersar la corriente de alimentación, difundir homogéneamente el flujo por todo el tanque y evitar los cortocircuitos. Las entradas pueden ser similares a vertederos, pero lo que más se usa es un canal de compuertas espaciadas. Se recomienda una distancia mínima de 3.0 m entre la entrada y la salida y una velocidad de entrada de 0.3 m/s. Además, se recomiendan situar las estructuras de disipación a una distancia entre 0.6 y 0.9 m de la entrada y sumergidos unos 0.45 a 0.60 m según la profundidad del tanque.

Deben usarse deflectores de espuma y materiales flotantes en la salida del tanque en caso de que no se cuente con un equipo de limpieza mecánico. El diseño de los vertederos en la salida depende del caso específico y del criterio del diseñador, pero teniendo en cuenta que la carga del vertedero para plantas con capacidad menor de 4,000 m³/día no debe ser mayor de 133 m³/m/día. Para plantas mayores puede ser hasta de 500 m³/m/día.

E.4.5.1.7 Rebosaderos

Para el caso de tanques rectangulares, la localización de los rebosaderos debe tenerse muy en cuenta en el diseño con el fin de evitar que cantidades considerables de partículas resuspendidas salgan del sedimentador por estos orificios. Con este propósito se recomienda colocar éstos dispositivos fuera de la región de influencia de las corrientes de densidad o instalar pantallas especiales para evitar el impacto de dichas corrientes. También se recomienda reducir la velocidad horizontal a 2 mm/s a lo largo de los clarificadores.

E.4.5.1.8 Colocación de pantallas

Para el caso de tanques circulares se recomienda: colocar pantallas circulares y horizontales debajo de la estructura de alimentación de los tanques alimentados por el centro. Se recomienda que el radio de las pantallas esté entre 10 y 20 % por encima del radio de la estructura de alimentación. Para el caso de tanques rectangulares, se recomienda la colocación de pantallas con una extensión entre 150 y 300 mm por debajo de los puntos de entrada que se hallan debajo de la superficie del agua.

E.4.5.1.9 Control de olores

Debe mantenerse una distancia mínima de amortiguamiento de 120 m. Además, debe evitarse una acumulación excesiva de lodos ya que estos pueden descomponerse y crear gases y olores indeseables. Se debe quitar la capa de natas que se forma en la superficie del agua, por lo menos dos veces al día, y remover de inmediato el lodo flotante. En caso que un tanque se ponga fuera de servicio por uno o dos días, se debe drenar el contenido del tanque, y limpiar luego el interior. Si el tanque sale del servicio de modo permanente, se debe llenar el tanque con agua químicamente tratada (típicamente con cloro) para prevenir el crecimiento de algas o bacterias. De acuerdo con los resultados del estudio de impacto ambiental debe cubrirse el tanque, recoger los olores y tratarlos, para evitar los efectos sobre la comunidad adyacente, si así lo exigen.

E.4.5.1.10 Operación y mantenimiento

Se debe tener un manual de operación y mantenimiento que contemple los siguientes aspectos :

- Plan de limpieza.
- Control de olores.
- Operación en condiciones de caudal mínimo y máximo.
- Manejo de lodos.
- Prevención de cortocircuitos.
- Arranque.
- Control de lodos flotantes.

En el Anexo E, se recomienda una metodología para la operación y mantenimiento de los tanques de sedimentación primaria.

E.4.5.2 Tamices

No se recomienda su uso para los **niveles bajo y medio de complejidad**.

E.4.5.2.1 Tipos

Se recomienda el uso de los siguientes tipos de microtamices: en forma de discos, rotativos de bandejas, rotativos cilíndricos y estáticos. En caso de que el diseñador planifique otro tipo de tamiz, debe comprobarse que la eficiencia es igual o superior a la de los antes mencionados.

E.4.5.2.2 Capacidad hidráulica

Para el diseño de estos dispositivos se recomienda los siguientes rangos de capacidad hidráulica, en m³/m²/d, que aparecen en la tabla siguiente.

TABLA E.4.9
Capacidad hidráulica de tamices

| Rotativos de bandeja | Rotativos cilíndricos | Disco |
|----------------------|-----------------------|--------------|
| 0.6 - 2.5 | 0.005 - 0.04 | 0.004 - 0.04 |

E.4.5.2.3 Eficiencia

Debe obtenerse una remoción de sólidos suspendidos mínima de 15 a 30% para los microtamices rotativos de bandeja y rotativos cilíndricos y de 40 a 50 % para los de disco. Los microtamices rotativos cilíndricos deben remover 55% de sólidos sedimentables, 37% de remoción de grasas y 95% de sólidos flotantes.

E.4.5.2.4 Características típicas

1. Los tamices en forma de disco. Pueden instalarse después del decantador y antes de los distribuidores rotatorios, donde los orificios de salida para las aguas negras se obstruyen fácilmente. En estos casos, el tamiz es una malla, generalmente de acero inoxidable, con abertura que puede estar seleccionada entre 2 y 60 mallas por pulgada.
2. Los tamices rotativos de bandeja, consisten en una serie de bandejas inclinadas, con tamices rectangulares, sobrepuestos y conectados a dos hileras de cadenas tipo pines-bocina-rodillo operado sobre ruedas dentadas, con un par en la sección superior y otro en la inferior y soportadas por una estructura de acero.
3. Los tamices rotativos cilíndricos, van rotando lentamente, a velocidad constante, retirando las partículas del líquido que los atraviesa. Se recomiendan tamices con aberturas entre 0,50 y 1,50 mm. La remoción de los sólidos con un tamaño mayor que la abertura de las ranuras se recomienda mecánica y continua.

E.4.5.2.5 Operación y Mantenimiento

La operación de un sistema de tamices no requiere de personal especializado. La operación puede efectuarse manualmente o en forma automatizada. Se recomienda que mínimo se coloquen dos tamices, alternándolos cada 24 horas. En caso de que durante la operación se observe la obstrucción significativa de las aberturas de algunos de los microtamices, este debe lavarse con un chorro de agua a presión. Se recomienda el uso de sistemas de desvío o paso directo. En caso que la velocidad de operación sea menor a la velocidad con la que se diseñó el tamiz, se recomienda instalar sistemas de aireación, dentro del canal para mantener todo el material en suspensión.

E.4.5.2.6 Control de olores

Se recomienda, en los casos que el estudio de impacto ambiental así lo requiera o cuando existan efectos sobre la comunidad adyacente, cubrir y recoger los gases malolientes generados y tratarlos antes de ser dispuestos en el medio ambiente.

E.4.5.2.7 Remoción del material cernido

Las características del material que se retira varían de lugar a lugar, debido a que dependen por una parte, de los hábitos alimenticios de la población, y por el otro, de la presencia eventual de industrias con

efluentes directamente conectados a la red de alcantarillado doméstico, que contribuyen substancialmente con fibras, partículas de grasa u otros materiales gruesos. El destino que se dé a estos materiales depende de la localidad en que se encuentre. Bajo ningún motivo se pueden descartar los sólidos retenidos en corrientes de agua. El diseñador debe escoger entre una de las siguientes opciones, o en caso contrario demostrar ante la autoridad competente la eficiencia del método seleccionado: 1) secado y posterior incineración; y 2) disposición en un relleno sanitario, junto con los residuos sólidos de la ciudad. En caso de escogerse este último, debe garantizarse que los contenedores en los que se transporte este material desde el sitio de recolección hasta el relleno sanitario, se encuentren adecuadamente sellados.

E.4.6 TRATAMIENTO SECUNDARIO

Los procesos biológicos, o secundarios, se emplean para convertir la materia orgánica fina coloidal y disuelta en el agua residual en floc biológico sedimentable y sólidos inorgánicos que pueden ser removidos en tanques de sedimentación. Estos procesos se emplean junto con procesos físicos y químicos para el tratamiento preliminar y primario del agua residual.

E.4.6.1 Generalidades

E.4.6.1.1 Objeto

El objetivo de un tratamiento secundario es remover la DBO soluble que escapa de un tratamiento primario, además de remover cantidades adicionales de sólidos suspendidos. Estas remociones se efectúan fundamentalmente por medio de procesos biológicos

E.4.6.1.2 Rendimientos

Los procesos biológicos son eficientes en remoción de sustancias orgánicas que presentan tamaño coloidal e inferior. Un tratamiento secundario típico remueve aproximadamente 85% de la DBO y los SS, aunque no remueve cantidades significativas de nitrógeno, fósforo, metales pesados ni organismos patógenos.

E.4.6.1.3 Tipos

Los procesos biológicos más comúnmente usados son:

- Procesos de lodos activados
- Lagunas aireadas
- Filtros percoladores
- Biodiscos
- Lagunas de estabilización

E.4.6.2 Lodos activados

E.4.6.2.1 Generalidades

El proceso de lodos activados y sus varias modificaciones pueden ser usados cuando las aguas residuales puedan responder a un tratamiento biológico. Este proceso requiere atención cuidadosa y una operación de supervisión competente, incluido un control rutinario de laboratorio. Los siguientes requisitos deben ser considerados cuando se proponga este tipo de tratamiento.

1. Requisitos de energía

Deben considerarse cuidadosamente los costos de la energía pública, al igual que los efectos sobre la calidad del agua asociados a las fallas en el suministro eléctrico. La capacidad para mantener la viabilidad del proceso, en casos de fallas o reducción en el suministro de energía, como bajo condiciones de emergencia, debe incluirse en el diseño del proceso de lodos activados. Para los

niveles medio alto y alto de complejidad deben tenerse varias (2 o 3) alternativas de suministro eléctrico en casos de falla del servicio público.

2. Selección específica del proceso

El proceso de lodos activados y sus varias modificaciones pueden ser empleados para conseguir varios grados de remoción de sólidos suspendidos y reducción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno de cinco días (DBO_5). La selección del proceso de lodos activados más adecuado depende del tamaño de la planta propuesta, los tipos de aguas residuales por tratar, el grado anticipado de operación y mantenimiento, y los costos de operación. Todo diseño debe proveer flexibilidad en la operación. Para los **niveles medio alto y alto de complejidad** los procesos deben diseñarse con posibilidades de fácil conversión a otras modalidades de tratamiento.

3. Pretratamiento

Deben removerse las arenas, los sólidos gruesos, las grasas y los aceites excesivos antes de comenzar el proceso de lodos activados.

4. Tanque de aireación

La purificación de las aguas residuales según el proceso de lodos activados exige ciertos requisitos del tanque de aireación, en cuanto a técnica de procesos, operación y eficiencia que se mencionan a continuación.

- a) Suficiente concentración de biomasa, medida en forma simplificada como contenido de la materia seca del licor mixto.
- b) Homogeneización intensiva de la mezcla de aguas residuales y lodo biológico.
- c) Adición suficiente de oxígeno para cubrir la demanda y la capacidad de ajuste con el fin de adaptarla a las diferentes condiciones de operación y de carga.
- d) Suficientes velocidades de corriente sobre el fondo del tanque ; por lo menos 15 cm/s en el caso de lodos livianos y hasta 30 cm/s para lodos pesados, con el fin de evitar la formación de depósitos en el fondo.
- e) Funcionamiento adecuado de los dispositivos de aireación en condiciones de operación, posibilidad de operación a intervalos en el caso de desnitrificación.
- f) Suficiente capacidad de ajuste a las oscilaciones de afluencia de aguas residuales y características de la misma.
- g) Optimización del consumo de energía para la adición de oxígeno, circulación y homogeneización.
- h) Costos de construcción y operación reducidos.
- i) Ningún tipo de molestias debidas a olores, aerosoles, ruido o vibraciones.
- j) Gran seguridad de operación.

Estos requisitos deben cumplirse mediante diferentes tipos de construcción, formas de operación y sistemas de aireación, suministro de energía.

Deben garantizarse las condiciones requeridas (anaerobia, anóxica, aerobia) y las condiciones de paso (corriente de paso longitudinal, formación de cascadas, tanque de circulación) para la operación elegida.

5. Tanque de sedimentación secundaria

El tanque de aireación y el tanque de sedimentación secundaria forman una unidad operativa y se influyen entre sí. Los tanques de sedimentación secundaria tienen por objeto separar el lodo activado de las aguas residuales depuradas biológicamente.

El dimensionamiento, diseño y dotación de los tanques de sedimentación secundaria deben hacerse de tal forma que satisfagan los siguientes requisitos:

- a) Separar el lodo activado de las aguas residuales por medio de sedimentación.
- b) Concentrar y remover el lodo activado sedimentado para su retorno al tanque de aireación
- c) Almacenar temporalmente el lodo activado que, como consecuencia de un mayor caudal, especialmente durante épocas de lluvia, es desplazado del tanque de aireación. Por lo tanto, se requiere un espacio de almacenamiento adecuado para tal objeto.
- d) Evitar condiciones de velocidades de corriente que puedan producir el arrastre de lodos.

E.4.6.2.2 Consideraciones en el diseño

Las consideraciones que deben tenerse en cuenta en el diseño de los procesos de lodos activados son:

E.4.6.2.2.1 Selección del tipo de reactor

Los factores operacionales que están envueltos en la selección del tipo de reactor son:

- Las reacciones cinéticas que gobiernan el proceso de tratamiento.
- Los requerimientos de transferencia de oxígeno.
- Naturaleza del agua residual que va a tratarse: Cuando existan problemas de sustancias tóxicas para los microorganismos se recomienda el uso de un reactor completamente mezclado en lugar de uno de flujo pistón.
- Condiciones ambientales locales: Las condiciones ambientales más importantes son: la temperatura, el pH y la alcalinidad. Los cambios de temperatura en el agua residual pueden afectar las tasas de reacción biológicas. La alcalinidad y el pH son muy importantes en la operación de procesos de nitrificación.
- Costos de construcción, operación y mantenimiento

E.4.6.2.2.2 Carga orgánica

En el Anexo E, se presenta una metodología típica para determinar la carga orgánica. La tabla E.4.11 muestra los rangos de cargas orgánicas que deben cumplirse.

E.4.6.2.2.3 Producción de lodos

En el Anexo E, se presenta una metodología típica para determinar la producción de lodos.

E.4.6.2.2.4 Requerimientos y transferencia de oxígeno

Debe calcularse de acuerdo a lo especificado en el literal E.4.5.2.9

E.4.6.2.2.5 Requerimientos de nutrientes

Los principales nutrientes son el nitrógeno y el fósforo. Debe como mínimo cumplirse la siguiente relación entre las concentraciones en el agua residual por tratar

$$\text{DBO} : \text{N} : \text{P}$$
$$100 : 5 : 1$$

E.4.6.2.2.6 Control de organismos filamentosos

En los **niveles medio alto y alto de complejidad**, se debe evaluar la necesidad de tener sistemas de control de organismos filamentosos. Los manuales de operación deben incluir metodologías de control de organismos filamentosos.

E.4.6.2.2.7 Características del efluente

El contenido orgánico del efluente de un proceso de tratamiento biológico está compuesto usualmente por:

- Constituyentes orgánicos biodegradables (que escapan el tratamiento biológico y que se forman como productos intermedios en la degradación biológica del desecho). DBO soluble efluente.
- Material orgánico suspendido (sólidos biológicos producidos durante el tratamiento que escapan en la separación en el tanque de sedimentación final y sólidos orgánicos coloidales en la planta influente, que escapan del tratamiento y separación).
- Constituyentes orgánicos no biodegradables (presentes originalmente en el influente y los productos de la degradación biológica).

E.4.6.2.2.8 Tipos y modificaciones

El diseñador está en libertad de seleccionar la modificación al proceso de lodos activados que considere conveniente siempre y cuando se garantice la eficiencia operacional, minimización de impactos por ruidos y olores, adecuado manejo de lodos y eficiencia económica.

En la tabla E.4.10 se resumen la características de operación típicas de los procesos de lodos activados.

TABLA E.4.10
Características de operación de los procesos de lodos activados

| Modificación al proceso | Modelo de flujo | Sistema de aireación | Eficiencia en remoción de DBO, % |
|-----------------------------|--|---|----------------------------------|
| Convencional | Flujo pistón | Aire difuso, aireadores mecánicos | 85 - 95 |
| Completamente mezclado | Flujo continuo reactor agitado | Aire difuso, aireadores mecánicos | 85 - 95 |
| Aireación escalonada | Flujo pistón | Aire difuso | 85 - 95 |
| Aireación modificada | Flujo pistón | Aire difuso | 60 - 75 |
| Estabilización por contacto | Flujo pistón | Aire difuso, aireadores mecánicos | 80 - 90 |
| Aireación extendida | Flujo pistón | Aire difuso, aireadores mecánicos | 75 - 95 |
| Aireación de alta tasa | Flujo continuo reactor agitado | Aireadores mecánicos | 85 - 95 |
| Oxígeno puro | Flujo continuo reactores en serie agitados | Aireadores mecánicos | 85 - 95 |
| Zanjón de oxidación | Flujo pistón | Aireador mecánico (tipo eje horizontal) | 75 - 95 |
| Reactor SBR | Flujo intermitente reactor agitado | Aire difuso | 85 - 95 |

E.4.6.2.2.9 Rendimientos

Las eficiencias en remoción de DBO se seguirán según las indicadas en la tabla E.4.10

E.4.6.2.3 Tanque de aireación

En cualquier adaptación particular del proceso, el tamaño del tanque de aireación debe ser determinado por cálculos racionales basados en factores como caudal a tratar, grado de tratamiento deseado, concentración de sólidos suspendidos en el licor mixto, carga de D.B.O., y la razón de sólidos en licor mixto a la carga de D.B.O. Deben hacerse cálculos para justificar las bases de diseño de la capacidad del tanque de aireación.

E.4.6.2.3.1 Profundidades del líquido

En general las profundidades del líquido no deben ser menores de 3.05 m ni mayores de 4.57 m, excepto en casos de diseños especiales.

E.4.6.2.3.2 Control de cortos circuitos:

Deben preverse la forma del tanque y la instalación del equipo de aireación para llevar a cabo el control positivo de cortocircuitos a través del tanque.

E.4.6.2.3.3 Entradas y salidas

Las entradas y salidas para cada unidad de aireación deben estar adecuadamente equipadas con válvulas, compuertas, placas de retención, vertederos, u otros aparatos que permitan controlar el caudal a cualquier unidad y mantener un nivel líquido razonablemente constante. Las propiedades hidráulicas del sistema deben permitir el manejo de caudal máximo instantáneo con cualquier unidad del tanque de aireación fuera de servicio.

E.4.6.2.3.4 Conductos

Los canales y tuberías que lleven líquidos con sólidos en suspensión deben ser diseñados para que mantengan velocidades que permitan su propia limpieza, o deben ser agitados para que mantengan los sólidos en suspensión en todas las velocidades de flujo dentro de los límites de diseño.

E.4.6.2.3.5 Aparatos medidores

Deben instalarse aparatos para indicar los caudales de las aguas residuales sin tratar, del efluente primario, el lodo de retorno y el aire a cada unidad del tanque. En plantas diseñadas para caudales de 60 L/s o mayores, estos aparatos deben totalizar y registrar, a la vez que indicar los caudales. Donde el diseño provea para que todo el lodo de retorno se mezcle con el agua residual sin tratar (o efluente primario) en un punto, debe medirse el caudal del licor mezclado a cada unidad de aireación.

E.4.6.2.3.6 Borde libre

Normalmente todos los tanques de aireación deben tener un borde libre no menor de 40 cm. Son deseables alturas mayores. Deben proveerse sistemas aprobados para el control de la espuma.

E.4.6.2.3.7 Parámetros empíricos en el diseño del tanque de aireación

Los diseños deben cumplir con los parámetros presentados en la tabla E.4.11.

En caso de no hacerlo el diseñador debe mostrar con base en estudios piloto con las aguas a tratar que se cumple con los rendimientos deseados bajo las condiciones de diseño presentadas.

TABLA E.4.11
Parámetros empíricos de diseño para el proceso de lodos activados

| Tipo de Proceso | Carga orgánica kgDBO ₅ / KgSSVLM/d (f/m) | Carga Volumétrica KgDBO ₅ /m ³ /d (fq/v) | Tiempo de detención (horas) (t _d) | Edad de lodos (días) (θ _c) | SSLM mg/L (x _t) | Retorno Fracción (r) |
|--------------------------------|--|---|--|---|---------------------------------------|--------------------------------|
| Convencional | 0.2 - 0.5 | 0.3 - 1.0 | 4 - 8 | 5 - 15 | 1500 - 3000 | 0.25 - 0.5 |
| Completamente mezclado | 0.2 - 0.6 | 0.8 - 2.0 | 4 - 8 | 5 - 15 | 3000 - 6000 | 0.25 - 1.0 |
| Aireación escalonada | 0.2 - 0.5 | 0.6 - 1.0 | 3 - 5 | 5 - 15 | 2000 - 3500 | 0.25 - 0.7 |
| Alta tasa | 0.4 - 1.5 | 0.6 - 2.4 | 0.25 - 3 | 1 - 3 | 4000 - 5000 | 1.0 - 5.0 |
| Aireación modificada | 1.5 - 5.0 | 1.2 - 2.4 | 1.5 - 3 | 0.2 - 0.5 | 200 - 1000 | 0.05 - 0.25 |
| Estabilización por contacto | | | | | | |
| Contacto Estabilizado | 0.2 - 0.5 - | 1.0 - 1.2 incluido ya | 0.5 - 1.0 3 - 6 | 5 - 15 - | 1000 - 3000 4000 - 10000 | 0.2 - 1.0 - |
| Aireación extendida | 0.05 - 0.25 | <0.4 | 18 - 36 | 15 - 30 | 3000 - 6000 | 0.75 - 1.5 |
| Oxígeno puro | 0.4 - 1.0 | 2.4 - 4.0 | 1 - 3 | 8 - 20 | 6000 - 8000 | 0.25 - 1.5 |
| Zanjón de oxidación | 0.05 - 0.30 | 0.1 - 0.5 | 8 - 36 | 10 - 30 | 3000 - 6000 | 0.75 - 1.5 |
| Reactor SBR | 0.05 - 0.30 | 0.1 - 0.2 | 12 - 50 | No aplica | 1500 - 5000 | No aplica |

E.4.6.2.4 Equipo de retorno de lodos

La razón de retorno de lodos se fijará según el caso o estudio piloto. La experiencia ha demostrado que esta razón varía generalmente entre 10 y 200%. La razón de lodo de retorno debe poder ser variada.

E.4.6.2.5 Bombas para el retorno del lodo

Si se usan bombas impulsadas por motor para el retorno del lodo, la capacidad máxima de retorno de los lodos debe ser alcanzada con la bomba mayor fuera de servicio. Debe proveerse una carga positiva en la entrada de la bomba.

Las bombas deben tener abertura de succión y descarga de 7.6 cm por lo menos. Si se usan por arrastre con aire (Air lifts) para regresar el lodo desde cada tanque de sedimentación, no se requerirá unidad de reserva, siempre que el diseño de los mismos sea tal que facilite su limpieza y siempre se provean otras medidas de reserva.

E.4.6.2.6 Tubería de retorno de lodo

Las tuberías de succión y descarga deben ser de, por lo menos 10 cm de diámetro y diseñadas para mantener una velocidad no menor de 0.61m por segundo cuando las instalaciones de retorno de lodo estén operando a razón normal. Deben proveerse aparatos adecuados para observación, muestra y control del caudal de retorno del lodo activado desde cada tanque de sedimentación.

E.4.6.2.7 Operación y mantenimiento

Se debe tener un manual de operación y mantenimiento que contemple los siguientes aspectos :

- Control de olores
- Operación en condiciones de caudal mínimo y máximo.
- Arranque.
- Control del sistema de aireación y del oxígeno disuelto.

- Programa de mantenimiento preventivo.
- Ensayos de laboratorio adecuadamente programados.
- Control de lodos.
- Control de la recirculación.
- Control del abultamiento
- Control de espumas.
- Operación bajo condiciones de caudal mínimo y caudal máximo.

En el Anexo E se presenta una metodología para la operación y el mantenimiento de un sistema de lodos activados.

E.4.6.2.8 Sistema de aireación

E.4.6.2.8.1 Generalidades

Los requerimientos de oxígeno en sistemas biológicos son el resultado de tres demandas principales:

- DBO carbonácea
- DBO nitrogenada
- DBO inorgánica

El diseñador debe estimar no solo la demanda de oxígeno total causada por estas fuentes sino también las variaciones temporales y espaciales de las demandas en el sistema de reactores a ser aireados. En especial deben calcularse las demandas máximas que se generan por los cambios de caudal y concentración en la planta. El diseñador debe seleccionar el tipo de aireador que necesite de acuerdo a las características propias de su diseño. Ver tabla E.4.12 con tipos de aireadores recomendados :

TABLA E.4.12
Tipos de aireadores

| Difusores porosos | Características típicas recomendadas |
|--------------------------------------|--|
| <i>Difusores de placa</i> | Cuadrados. Lado = 30 cm, espesor = 2.5 a 3.8 cm |
| <i>Difusores con forma de domo</i> | Diámetro = 18 cm, altura = 3.8 cm, espesor del medio = 15 mm (bordes) y 19 mm (parte superior) |
| <i>Difusores con forma de disco</i> | Diámetro = 18 - 24 cm, espesor = 13 a 19 mm |
| <i>Difusores de tubo</i> | Longitud del medio poroso = 50 a 60 cm, diámetro externo = 6.4 a 7.6 cm |
| Difusores no porosos | |
| <i>Tuberías perforadas</i> | |
| <i>Burbujeadores</i> | Diámetro del orificio = 0.3 a 0.8 cm |
| Difusores con válvula en el orificio | |
| Aireadores de tubo estático | |
| Mangueras perforadas | |
| Aireación por chorro | |
| Mecanismos aspiradores | |
| Aireación con tubo U | |

E.4.6.2.8.2 Metodología de cálculo

Deben determinarse los requerimientos de oxígeno para las tres demandas presentadas con anterioridad. Para el cálculo de la DBO carbonácea se recomiendan los siguientes rangos típicos encontrados en la practica:

- a) 94 a 125 m³ de oxígeno/kg de DBO₅ aplicada.
- b) 1.1 kg de oxígeno transferido / kg de DBO₅ pico aplicada al tanque de aireación convencional.
- c) 3.7 a 15 m³ de oxígeno / m³ de agua residual a tratar y d) 31 a 56 m³ de oxígeno / kg de DBO₅ removida.
- d) Para la DBO nitrogenada se recomienda utilizar la siguiente ecuación :

$$R_n = 4.57 Q(N_o - N) - 2.86 Q(N_o - N - NO_3) \quad (\text{E.4.2})$$

Para encontrar la DQO se recomienda hacer un cálculo estequiométrico para la reacción dada. En caso de adoptar una metodología distinta de las recomendadas aquí, el diseñador debe soportar técnicamente su diseño.

E.4.6.2.8.3 Potencia típica de compresores

En la tabla E.4.13 aparecen rangos de potencias típicas de compresores que se deben usar.

TABLA E.4.13
Rangos típicos de potencia

| Clase | Tipo | Potencia (hp) |
|---|-------------------------|---------------|
| Reciprocante de desplazamiento positivo | Pistón - etapa sencilla | 25-200 |
| | Pistón multi etapas | 10-10000 |
| Rotatoria de desplazamiento positivo | lobe | 10-3000 |
| | sliding vane | 10-500 |
| | helical screw | 10-500 |
| Compresor dinámico | Centrifuga | 50-20000 |
| | axial | 1000-10000 |

E.4.6.2.8.4 Transferencias de oxígeno típicas de aireadores

En la tabla E.4.14 aparecen las tasas de transferencia típicas de oxígeno recomendadas.

TABLA E.4.14
Rangos típicos de transferencia de oxígeno

| Tipo de aireador | Estándar | Campo |
|--|--------------------------|--------------------------|
| Aireadores mecánicos | kg O ₂ / kW h | kg O ₂ / kW h |
| <i>Centrífuga superficial (baja velocidad)</i> | 1.2 - 3.0 | 0.7 - 1.4 |
| <i>Centrífuga superficial con tubo succionador</i> | 1.2 - 2.8 | 0.7 - 1.3 |
| <i>Axial superficial (Alta velocidad)</i> | 1.2 - 2.2 | 0.7 - 1.2 |
| <i>Turbina abierta con succión hacia abajo</i> | 1.2 - 2.4 | 0.6 - 1.2 |
| <i>Turbina cerrada con succión hacia abajo</i> | 1.2 - 2.4 | 0.7 - 1.3 |
| <i>Turbina sumergida con tubo burbujeador</i> | 1.2 - 2.0 | 0.7 - 1.1 |
| <i>Impeler superficial</i> | 1.2 - 2.4 | 0.7 - 1.1 |
| <i>Cepillo superficial y pala</i> | 0.9 - 2.2 | 0.5 - 1.1 |
| Difusores de aire | L / segundo | Pérdidas en cm |
| <i>Domo de ceramica</i> | 0.24 - 1.2 | 15 - 63 |
| <i>Disco de cerámica (8.5 " diámetro)</i> | 0.3 - 1.4 | 13 - 48 |
| <i>Tubo de medio poroso</i> | 1 - 2.8 | |
| <i>Tubo con funda flexible</i> | 1 - 2.8 | |
| <i>Funda flexible tipo disco I(8.5" diámetro)</i> | 1 - 2.8 | 23 - 58 |
| <i>Funda flexible tipo disco II(9" diámetro)</i> | 1 - 2.8 | |
| <i>Funda flexible tipo disco III(29" diámetro)</i> | 1 - 9.4 | 23 - 61 |
| <i>Burbujeador</i> | 3.8 - 5.6 | 15 - 23 |
| <i>Tubo perforado</i> | 4.7 - 11.3 | 7.6 - 33 |
| <i>Orificio con válvula</i> | 2.8 - 5.6 | 13 - 30 |

E.4.6.2.8.5 Operación y mantenimiento

La operación efectiva de un equipo de aireación puede minimizar el consumo de energía y maximizar el rendimiento. La operación y mantenimiento debe enfocarse en :

- El control de la concentración de oxígeno en el líquido que va a airearse.
- Suministro de por lo menos la mínima intensidad de mezclado requerida
- Inspección y servicio del equipo de aireación para garantizar una operación ininterrumpida.

E.4.6.2.9 Sedimentador secundario

E.4.6.2.9.1 Geometría

Se recomienda el uso de sedimentadores secundarios circulares y rectangulares. El empleo de otro tipo de sedimentadores debe ser sustentado técnicamente. Para los circulares se recomienda usar diámetros entre 3 y 60 m y que el radio no exceda cinco veces la profundidad del agua. Para diámetros mayores o iguales a 27 m se recomienda utilizar profundidades entre 4.9 y 6 m. Se recomienda la colocación de pantallas verticales desde el fondo e inclinados desde las paredes con el fin de prevenir la salida de sólidos del tanque por corrientes de densidad o térmicas. Para los tanques rectangulares se recomienda que la longitud no exceda de 10 a 15 veces la profundidad. Si el ancho del tanque es

mayor a 6 m, se recomienda usar un mecanismo colector de lodos múltiple. Independientemente de la forma del tanque, el colector de lodos debe cumplir con las siguientes características operacionales:

- a) Debe tener una alta capacidad para que, cuando se desee una alta tasa de recirculación de lodos, no se formen canales en la capa superior del líquido a través del lodo.
- b) El mecanismo debe ser suficientemente resistente para transportar y remover los lodos densos que pueden acumularse en el tanque de sedimentación durante períodos de fallas mecánicas o en el suministro de energía.

El área superficial debe calcularse como la mayor entre las áreas calculadas con la tasa de desbordamiento superficial y la tasa másica de carga. El criterio hidráulico recomendado para determinar el área requerida es el siguiente: para sedimentadores secundarios siguiendo un proceso de filtros percoladores o un proceso de lodos activados, escoger la mayor área calculada con el caudal pico y el caudal promedio. Con respecto a la carga por el rebosadero se recomienda un rango entre 124 y 375 m³/m/día. Para tanques circulares alimentados por el centro, se recomienda una colocación del rebosadero a dos tercios o tres cuartos de la distancia radial.

E.4.6.2.9.2 Tasa de desbordamiento superficial

En los casos en que no es posible realizar ensayos de sedimentación para determinar la tasa de desbordamiento superficial, se recomiendan los siguientes valores según el tipo de tratamiento que la preceda y para caudales medio diario y máximo horario.

TABLA E.4.15
Valores de TDS recomendadas

| Tipo de tratamiento | Tasa de desbordamiento superficial (m ³ /m ² /d) | |
|--|--|-------------|
| | Caudal promedio | Caudal pico |
| Sedimentación siguiendo un proceso de lodos activados (excluyendo aireación extendida) | 16-32 | 40-48 |
| Sedimentación siguiendo un proceso de lodos activados con oxígeno | 16-32 | 40-48 |
| Sedimentación siguiendo un proceso de aireación extendida | 8-16 | 24-32 |
| Sedimentación seguida por filtros percoladores | 16-24 | 40-48 |
| Sedimentación seguida por biodiscos | | |
| <i>Efluente secundario</i> | 16-32 | 40-48 |
| <i>Efluente nitrificado</i> | 16-24 | 32-40 |

E.4.6.2.9.3 Tasa másica de carga

La tasa másica de carga debe calcularse dividiendo la tasa de sólidos totales aplicados, (kg/día), entre el área superficial del tanque. Se deben usar los siguientes valores de TMC para condiciones de caudal promedio y pico:

TABLA E.4.16
Tasas de carga másica

| Tipo de tratamiento | Carga másica (kg/m ² /día) | |
|--|---------------------------------------|-------------|
| | Caudal promedio | Caudal pico |
| Sedimentación siguiendo un proceso de lodos activados (excluyendo aireación extendida) | 98-147 | 245 |
| Sedimentación siguiendo un proceso de lodos activados con oxígeno | 123-172 | 245 |
| Sedimentación siguiendo un proceso de aireación extendida | 25 -123 | 168 |
| Sedimentación seguida por filtros percoladores | 72-123 | 192 |
| Sedimentación seguida por biodiscos | | |
| <i>Efluente secundario</i> | 100 - 144 | 245 |
| <i>Efluente nitrificado</i> | 72 - 123 | 192 |

E.4.6.2.9.4 Profundidad del tanque

Se recomiendan los siguientes valores de profundidad de agua en el tanque de sedimentación secundaria :

TABLA E.4.17
Valores de profundidad de agua

| Tipo de tratamiento | Profundidad (m) |
|--|-----------------|
| Sedimentación siguiendo un proceso de lodos activados (excluyendo aireación extendida) | 3.6-4.6 |
| Sedimentación siguiendo un proceso de lodos activados con oxígeno | 3.6-4.6 |
| Sedimentación siguiendo un proceso de aireación extendida | 3.6-4.6 |
| Sedimentación siguiendo un proceso de filtros percoladores | 3.0-3.6 |
| Sedimentación siguiendo un proceso de biodiscos | |
| <i>Efluente secundario</i> | 3.0-3.6 |
| <i>Efluente nitrificado</i> | 3.0-3.6 |

5. Espesor del manto de lodos

La profundidad de la sección de espesamiento del tanque de sedimentación debe ser adecuada para:

- Asegurar el mantenimiento de una profundidad adecuada del manto de lodos para que no recirculen los sólidos que aún no se han espesado.
- Almacenar temporalmente los sólidos que se aplican periódicamente, cuando haya exceso de la capacidad de transmisión de la suspensión dada.

E.4.6.2.9.5 Evaluación de valores experimentales de tasa másica de carga.

En caso de que el diseñador utilice diferentes valores de tasa másica de carga a los que aparecen en la tabla E.4.16 para obtener el área del sedimentador, éste, debe obtener dichos valores a partir de un análisis de flujo de sólidos en el laboratorio y demostrar ante la autoridad competente la veracidad de los resultados obtenidos así como la metodología utilizada para realizar dicho ensayo. En caso de utilizar un procedimiento distinto, también debe sustentar la calidad de los datos obtenidos.

E.4.6.2.9.6 Control de olores

Para prevenir la formación de olores en los tanques de sedimentación secundaria, debe evitarse la acumulación de espumas en la superficie, la acumulación de lodos en las paredes de los tanques y materia orgánica en los vertederos efluentes. Aunque debe mantenerse una concentración de lodos de retorno, los olores pueden minimizarse si el licor mezclado sedimentado se remueve del piso del tanque tan rápido como sea posible y se devuelve a los tanques de aireación. El operador debe controlar el tiempo de retención de los sólidos en el clarificador secundario para prevenir la generación de gas sulfhídrico.

E.4.6.2.9.7 Operación y mantenimiento

Se debe tener un manual de operación y mantenimiento que contemple los siguientes aspectos :

- Control de olores
- Control de lodos flotantes
- Control de abultamiento
- Operación en condiciones de caudal mínimo y máximo
- Arranque

En el Anexo E se presenta una metodología para la operación y el mantenimiento de los sedimentadores secundarios.

E.4.6.3 Filtros percoladores

Un filtro percolador consiste en un tanque que contiene un lecho de material grueso, compuesto en la gran mayoría de los casos de materiales sintéticos ó piedras de diversas formas, de alta relación área/volumen, sobre el cual son aplicadas las aguas residuales por medio de brazos distribuidores fijos o móviles. Alrededor de este lecho se encuentra adherida una población bacteriana que descompone las aguas residuales a medida que éstas percolan hacia el fondo del tanque. Después de cierto tiempo, la capa bacteriana adquiere un gran espesor y se desprende hidráulicamente del lecho de piedras para pasar luego a un clarificador secundario en donde se efectúa la separación de los lodos formados.

E.4.6.3.1 Generalidades

Los filtros percoladores pueden ser utilizados en casos donde no se necesite una eficiencia muy alta en la remoción de DBO.

E.4.6.3.2 Geometría

El reactor o filtro consta de un recipiente cilíndrico o rectangular con diámetros variables, hasta de 60 m y con profundidades entre 1.50 y 12 m.

E.4.6.3.3 Medios de soporte

El medio filtrante puede ser piedra triturada o un medio plástico manufacturado especialmente para tal fin. El medio debe ser durable, resistente al resquebrajamiento, insoluble, y no debe aportar sustancias indeseables al agua tratada.

E.4.6.3.3.1 Características físicas y geométricas

Rocas y medios similares. La escoria de roca o cualquier medio filtrante no debe contener más de un 5% por peso de materia cuya dimensión mayor sea tres veces su dimensión menor. No contendrá material delgado alargado y achatado, polvo, barro, arena o material fino. Deben estar conforme a los tamaños y granulometría presentados en la tabla E.4.18 cuando se clasifiquen mecánicamente a través de tamices vibratorios con aberturas cuadradas.

TABLA E.4.18
Granulometrías de los medios de roca o similares

| Tamiz | Porcentaje por peso |
|-----------------------------------|---------------------|
| Pasando tamiz de 11.4cm (4 ½") | 100% por peso |
| Retenido en tamiz de 7.62 cm (3") | 95 – 100% por peso |
| Pasando por tamiz de 5.08cm (2") | 0 - 2% por peso |
| Pasando por tamiz de 2.54 cm (1") | 0 - 1% por peso |

Piedra colocada a mano. Las dimensiones máxima de la piedra serán 12.7 cm (5") y las dimensiones mínimas de piedra, 7.62 cm (3").

Medio plástico manufacturado: La suficiencia de este medio se evalúa con base en la experiencia previa con instalaciones que traten aguas y cargas similares.

TABLA E.4.19
Comparación de propiedades físicas de medios de filtros percoladores .

| Tipo de medio | Tamaño nominal, mm-mm | Densidad, kg/m ³ | Area superficial relativa, m ² /m ³ | Relación de vacíos, % |
|------------------------|-----------------------|-----------------------------|---|-----------------------|
| Empaquetado (Bundle) | 610-610-1220 | 32.04 - 80.10 | 88.59 - 104.99 | >95 |
| | 610-610-1220 | 64.08 - 96.12 | 137.80 - 147.65 | >94 |
| Roca | 25.4 - 76.2 | 1441.8 | 62.3 | 50 |
| Roca | 50.8 - 101.6 | 1602 | 46 | 60 |
| Desordenado (plástico) | Varios | 32.04-64.08 | 82-115 | >95 |
| | Varios | 48.06-80.10 | 138-164 | >94 |
| Madera | 1219.2-1219.2-47.6 | 165 | 46 | |

E.4.6.3.3.2 Manejo y colocación del medio

El material entregado en la obra debe almacenarse sobre superficies de madera u otras áreas duras y limpias. Ningún material similar debe ser pasado por tamices nuevamente en el lugar de la obra. Este material se coloca a mano cuidadosamente hasta una profundidad de 30cm (12") sobre los desagües de manera que no causen daños a éstos.

El material restante puede ser colocado por medio de correas conductoras o cualquier otro medio aprobado por el interventor. Camiones, tractores o cualquier otro equipo no pueden ser manejados sobre el filtro durante o después de la construcción.

E.4.6.3.4 Profundidad del filtro

El medio filtrante, en el caso de la piedra debe tener una profundidad mínima de 90 cm y máxima de 180 cm sobre los desagües, excepto cuando los estudios justifiquen una construcción especial. En el caso del medio plástico, la profundidad debe determinarse por medio de estudios pilotos o experiencias previas debidamente sustentadas ante la autoridad competente. En la tabla E.4.19 se encuentran los rangos de profundidades típicos para los diversos tipos de filtros.

Debe proveerse un espacio libre mínimo de 15 cm entre los brazos distribuidores y el medio filtrante.

E.4.6.3.5 Tipos

Los filtros se clasifican según su carga.

1. Filtros de baja carga

Filtros lentos en los cuales el agua hace un solo paso a través del filtro, con cargas volumétricas bajas, permitiendo además una nitrificación relativamente completa. Este tipo de filtro es seguro y simple de

operar. Producen una composición del efluente bastante estable, pero crean problemas de olores y moscas.

2. Filtros de alta carga

Emplean la recirculación para crear una carga hidráulica más homogénea, diluyendo por otra parte la DBO₅ influente. El porcentaje de recirculación puede llegar a 400%. Este sistema de filtración tiene una eficiencia tan buena como la de los filtros de baja tasa, y evita en gran medida el problema de moscas y de olores.

E.4.6.3.6 Tasa de carga orgánica volumétrica

Los filtros percoladores operan con cargas volumétricas entre 0.1 y 8.0 kg DBO₅/m³/día. En la tabla E.4.16 se presentan los valores que se deben usar para cada tipo de filtro. En caso de usar valores diferentes se debe sustentar adecuadamente con base en estudios piloto o experiencias anteriores adecuadamente evaluadas por la parte de la autoridad competente.

E.4.6.3.7 Tasa de carga hidráulica

Los valores de tasa de carga hidráulica que se deben usar para cada tipo de filtro se encuentran en la tabla E.4.20. En caso de usar valores diferentes se debe sustentar adecuadamente con base en estudios piloto o experiencias anteriores adecuadamente evaluadas por la parte de la autoridad competente.

E.4.6.3.8 Recirculación

Cuando se efectúa la recirculación, es importante determinar si es antes o después del clarificador primario, pues esto afecta significativamente en el diseño. Igual consideración debe tenerse con los sedimentadores secundarios.

El diseñador debe sustentar claramente el tipo de recirculación a usar, su objeto, sus ventajas y las implicaciones operacionales, de diseño y económicas que se tienen en cada caso.

TABLA E.4.20
Características de diseño para los diferentes tipos de filtros percoladores

| | Tasa baja | Tasa intermedia | Tasa alta | Super alta tasa | Rugoso | Dos etapas |
|---|------------------|--------------------------|--------------------|--------------------|---|---------------------------------------|
| Medio filtrante | Roca, escoria | Roca, escoria | Roca | Plástico | Plástico, madera roja | Roca, plástico |
| Carga hidráulica, m ³ /(m ² ·d) | 0.9 - 3.7 | 3.7 - 9.4 | 9.4 - 37.4 | 14.0 - 84.2 | 46.8 - 187.1 (no incluye recirculación) | 9.4 - 37.4 (no incluye recirculación) |
| Carga orgánica, kgDBO ₅ /(m ³ ·d) | 0.1 - 0.4 | 0.2 - 0.5 | 0.5 - 1.0 | 0.5 - 1.6 | 1.6 - 8.0 | 1.0 - 1.9 |
| Profundidad, m | 1.8 - 2.4 | 1.8 - 2.4 | 0.9 - 1.8 | 3.0 - 12.2 | 4.6 - 12.2 | 1.8 - 2.4 |
| Tasa de recirculación | 0 | 0 - 1 | 1 - 2 | 1 - 2 | 1 - 4 | 0.5 - 2 |
| Eficiencia de remoción de DBO ₅ , % | 80 - 90 | 50 - 70 | 65 - 85 | 65 - 80 | 40 - 65 | 85 - 95 |
| Efluente | Bien nitrificado | Parcialmente nitrificado | Poca nitrificación | Poca nitrificación | No nitrificación | Bien nitrificado |
| Desprendimiento | Intermitente | Intermitente | Continuo | Continuo | Continuo | Continuo |

E.4.6.3.8.1 Bombas de recirculación

La recirculación de cada bomba no debe ser menor que la mitad del caudal usado para el diseño de la planta.

Deben proveerse dos bombas de recirculación en cada pozo las cuales operarán alternadamente. En total deben ser cuatro bombas.

Debe proveerse a las bombas de recirculación con vertederos ajustables mecánicos, u otro mecanismo similar, para poder variar el factor de recirculación cuando sea necesario.

Debe instalarse una tubería de $\frac{3}{4}$ pulgadas de diámetro (1.9 cm) con orificio de $\frac{1}{8}$ de pulgada (0.3cm) alrededor de la cámara de las bombas para romper la espuma. Esta debe ser conectada a la descarga de la circulación de las aguas tratadas.

La cámara de succión de las bombas de recirculación debe construirse de manera que el piso tenga forma de tolva, con inclinación de 45° hacia la succión de las bombas, para evitar puntos muertos en las orillas y esquinas.

E.4.6.3.8.2 Relación de recirculación

Los rangos de recirculación son de 0.5 a 4.0.

E.4.6.3.9 Ventilación

Es de gran importancia, para mantener el filtro en condiciones aerobias.

El sistema de desagüe, canal efluente y tubería de efluentes deben ser diseñados para permitir el libre paso del aire. El tamaño de desagües, canales y tuberías debe ser tal que no más del 50 % de su área de sección esté sumergida durante la carga hidráulica de diseño. Al diseñar los canales efluentes, deben tomarse en consideración la posibilidad de un aumento en la carga hidráulica.

E.4.6.3.9.1 Tipos

- Ventilación forzada
- Ventilación natural:

Las condiciones que garantizan una ventilación natural son:

- Drenos inferiores y canales no deben llenarse más del 50%, para permitir el paso del aire.
- Instalación de pozos de ventilación en la periferia del filtro.
- Drenos con aberturas del orden del 15% del área total del filtro.
- Colocar $0.10 \text{ m}^2/\text{m}^2$ de área del filtro con rejillas para los pozos de inspección.

E.4.6.3.9.2 Areas recomendadas

El flujo de aire debe ser de $0.3 \text{ m}^3/\text{m}^2$ de área filtrante a $0.03 \text{ m}^3/\text{m}^2$ como mínimo.

E.4.6.3.9.3 Metodología de cálculo

La cabeza de presión resultante de la diferencia de temperatura puede determinarse de la siguiente manera:

$$D = 3.53 \left(\frac{1}{T_c} - \frac{1}{T_h} \right) Z \quad (\text{E.4.3})$$

La temperatura media de aire de poros se obtiene a partir de la siguiente ecuación :

$$T_m = T_2 - \frac{T_1}{\ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right)} \quad (\text{E.4.4})$$

El caudal volumétrico de aire puede estimarse igualando el valor calculado de diseño a la suma de las pérdidas de cabeza que resultan de un paso de aire que va hasta el final del filtro pasando por el sistema de drenaje.

E.4.6.3.10 Distribución del caudal

Las aguas residuales pueden ser descargadas a los filtros por sifones, bombas o descarga por gravedad desde las unidades de pretratamiento cuando se hayan desarrollado características adecuadas de flujo. Debe considerarse un sistema de tubería que permita la recirculación.

Todos los elementos hidráulicos que impliquen una adecuada distribución debe calcularse de acuerdo con el equipo que se utilizará. Para el tipo de distribuidores de reacción hidráulica, es deseable una carga mínima de 60 cm entre el nivel mínimo de agua en la cámara del sifón y el centro de los brazos.

1. Tipos

Dentro de los tipos de distribuidores del flujo están:

Los de Acción jet o de accionamiento por motor eléctrico. La velocidad de giro del sistema debe ser del orden de 10 rpm, cuando tiene dos brazos perpendiculares.

Los de propulsión hidráulica

2. Geometría

Las aguas residuales pueden ser distribuidas en el filtro por distribuidores rotativos que giran alrededor de un eje, u otros aparatos que permitan una distribución razonable y uniforme sobre el área superficial del filtro. Al caudal medio de diseño, el volumen aplicado en cualquier punto por metro cuadrado de área de superficie de filtro no debe exceder el 10%, más o menos, del volumen calculado.

3. Intensidad del rociado del agua (flushing)

Distribución del caudal

Intensidad de rociado del agua (flushing)

$$S_K = \frac{(q + r)(1000\text{mm} / m)}{(a)(nr)(60\text{min} / h)} \tag{E.4.5}$$

En la tabla E.4.21 se presentan algunos valores sugeridos para S_K

TABLA E.4.21
Sugerencias para tasas S_K

| carga de DBO ₅ , kg/m ³ ·d | S _K diseño, mm/pasada | S _K de rociado, mm/pasada |
|--|----------------------------------|--------------------------------------|
| 0.25 | 10 -100 | ≥200 |
| 0.50 | 15 - 150 | ≥200 |
| 1.00 | 30 -200 | ≥300 |
| 2.00 | 40 -250 | ≥400 |
| 3.00 | 60 - 300 | ≥600 |
| 4.00 | 80 - 400 | ≥800 |

E.4.6.3.11 Sistemas de desagües inferiores

Recibe el agua residual tratada y la conduce a un canal de evacuación principal. Este canal se compone de bloques, con ranuras en la parte superior, para admitir el agua efluente, y canales interiores que la llevan a un canal de descarga central. Estos bloques cubren todo el fondo del filtro, y son diseñados por compañías especializadas.

1. Arreglo. El sistema de desagües debe cubrir todo el piso del filtro. Las aberturas de entrada de los desagües deben tener una área combinada bruta no sumergida igual a por lo menos 15 % del área superficial del filtro.
2. Pendiente . Los desagües deben tener una pendiente mínima del 1%. Los canales del efluente deben ser diseñados para producir una velocidad mínima de 60 cm/s, con base en el caudal medio más la recirculación.
3. Limpieza con agua. Deben hacerse provisiones para la limpieza de los desagües con agua. En filtros pequeños será aceptable el uso de un canal de carga periférica con ventilación vertical. Deben suministrarse instalaciones para realizar inspecciones.

E.4.6.3.12 Metodología de diseño

El diseñador debe utilizar una metodología racional de diseño que garantice los objetivos de calidad del tratamiento, minimice los impactos ambientales y provea robustez al proceso bajo las condiciones de operación. En el Anexo E se presentan las metodologías más utilizadas.

E.4.6.3.13 Control de olores

Es el problema que más frecuentemente se asocia con los problemas de sobrecarga orgánica. Se puede controlar con recirculación para rebajar la concentración de DBO_5 inicial y, con el aumento de la carga hidráulica, aumentar el poder abrasivo y eliminar el crecimiento biológico excesivo.

Para evitar molestias de olores deben mantenerse las condiciones aerobias. Además, deben tomarse las siguientes medidas:

- Hacer recircular el efluente de salida del filtro percolador, si tiene oxígeno disuelto.
- Eliminar las obstrucciones en el filtro percolador.
- Eliminar depósitos en el fondo, enjuagándolos o raspándolos.
- Airear las aguas residuales en la entrada de la sedimentación primaria o del filtro.
- Agregar las sustancias químicas adecuadas en la entrada del filtro, bajo dirección técnica.

E.4.6.3.14 Operación y mantenimiento

Se debe tener un manual de operación y mantenimiento que contemple los siguientes aspectos :

- Operación bajo condiciones de caudal mínimo y caudal máximo.
- Control de la variación de cargas con el fin de prevenir el desprendimiento biológico.
- Control de la recirculación.
- Control de la toxicidad del agua residual influente.
- Control de nutrientes en el agua residual influente (Nitrógeno y Fósforo).
- Control de la temperatura.
- Control de la tasa de distribución al medio filtrante.
- Control de olores.
- Adecuado plan de
- Mantenimiento preventivo.

En el Anexo E se presenta una metodología para la operación y mantenimiento de un sistema de filtros percoladores.

E.4.7 TRATAMIENTOS ANAEROBIOS

E.4.7.1 Generalidades

El tratamiento anaerobio es el proceso de degradación de la materia orgánica por la acción coordinada de microorganismos, en ausencia de oxígeno u otros agentes oxidantes fuertes (SO_4^- , NO_3^- , etc.). Como subproducto de ella se obtiene un gas, denominado usualmente biogás, cuya composición básica es metano CH_4 y dióxido de carbono CO_2 en un 95%, pero con la presencia adicional de nitrógeno, hidrógeno, amoníaco y sulfuro de hidrógeno, usualmente en proporciones inferiores al 1%.

E.4.7.1.1 Eficiencia

Ver la tabla E.4.2.

E.4.7.2 Diagramas de flujo

El diagrama de flujo correspondiente se presenta a continuación:

Los sistemas anaerobios para aguas residuales municipales debe tener las siguientes componentes :

E.4.7.2.1.1 Rejillas.

Debe haber dos conjuntos de rejillas en serie.

Las rejillas deben garantizar la remoción de sólidos que interfieran con el funcionamiento hidráulico posterior, incluyendo pelos y fibras.

E.4.7.2.1.2 Desarenadores

E.4.7.2.1.3 Este tipo de estructuras se describen en el literal E.4.4.4

E.4.7.2.1.4 Estructura de repartición de flujo

El área total del reactor debe ser alimentada uniformemente en la base. Esto se logra repartiendo el flujo en una caja con múltiples vertederos o un sistema similar; cada caudal debe ser conducido a una de las localizaciones de la entrada por medio de una tubería. Se debe garantizar el buen funcionamiento de los sistemas de repartición de caudales. Se debe prever la posibilidad de detección de obstrucciones en las tuberías, y de limpieza de las mismas.

E.4.7.2.1.5 Medidor de Caudal : Se debe tener un estructura de medición de caudales.

Bajo ninguna circunstancia se debe colocar un sedimentador primario antecediendo a un tratamiento anaerobio de alta tasa para aguas residuales domésticas.

E.4.7.2.1.6 Reactores

El reactor anaerobio debe venir inmediatamente después de los procesos de desbaste y desarenado sin pasar por una etapa de sedimentación primaria. No se deben colocar sistemas de sedimentación primaria antecediendo a los reactores anaerobios.

E.4.7.2.1.7 Manejo de lodos y lechos de secado

A pesar de que las cantidades de lodos producidos son bastantes bajas, es necesario evacuar parte de los lodos cuando el reactor a logrado un buen arranque. Para ello se debe tener un tanque de acumulación de lodos.

Los lodos se pueden llevar directamente a lechos de secado debido a la buena estabilización que se produce en el reactor. Alternativamente los lodos pueden pasar a un proceso de deshidratación mecánica pues usualmente salen en concentraciones similares a las producidas por un proceso de espesamiento por gravedad.

El lixiviado de los lechos de secado de lodos debe ser tratado en el reactor.

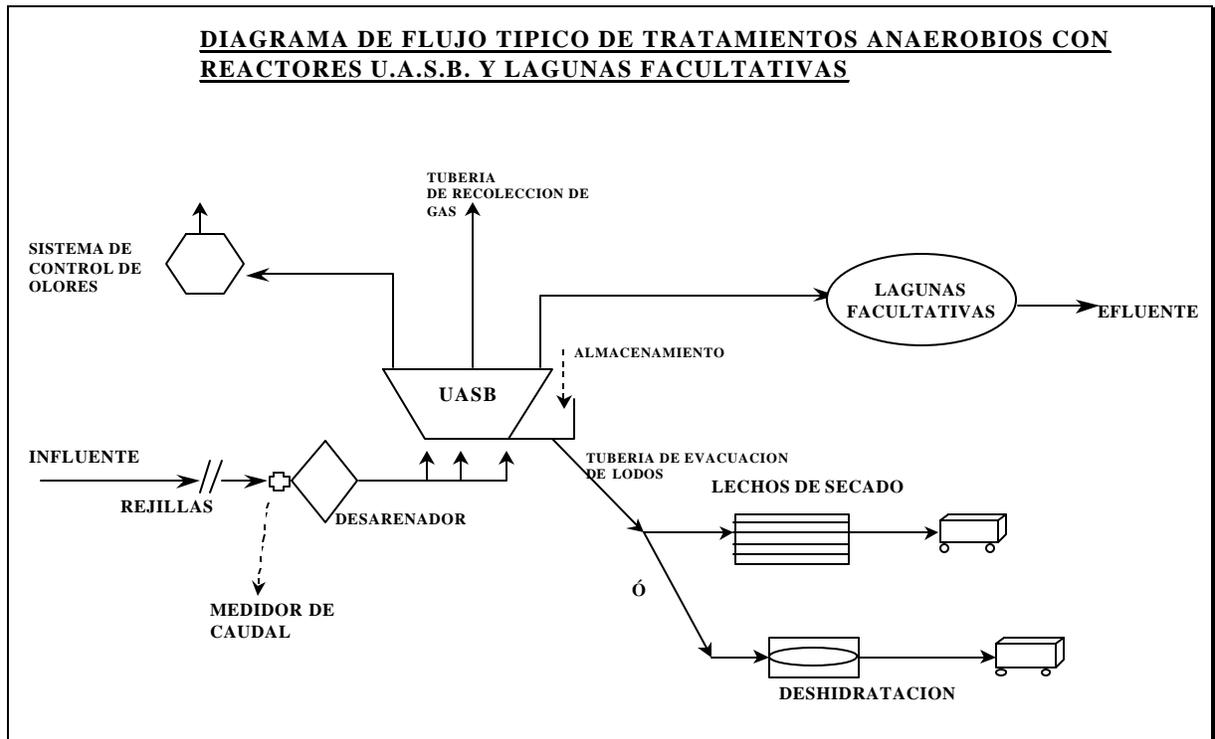
No se debe bajo ninguna circunstancia descargar los lodos en cuerpos de agua superficial.

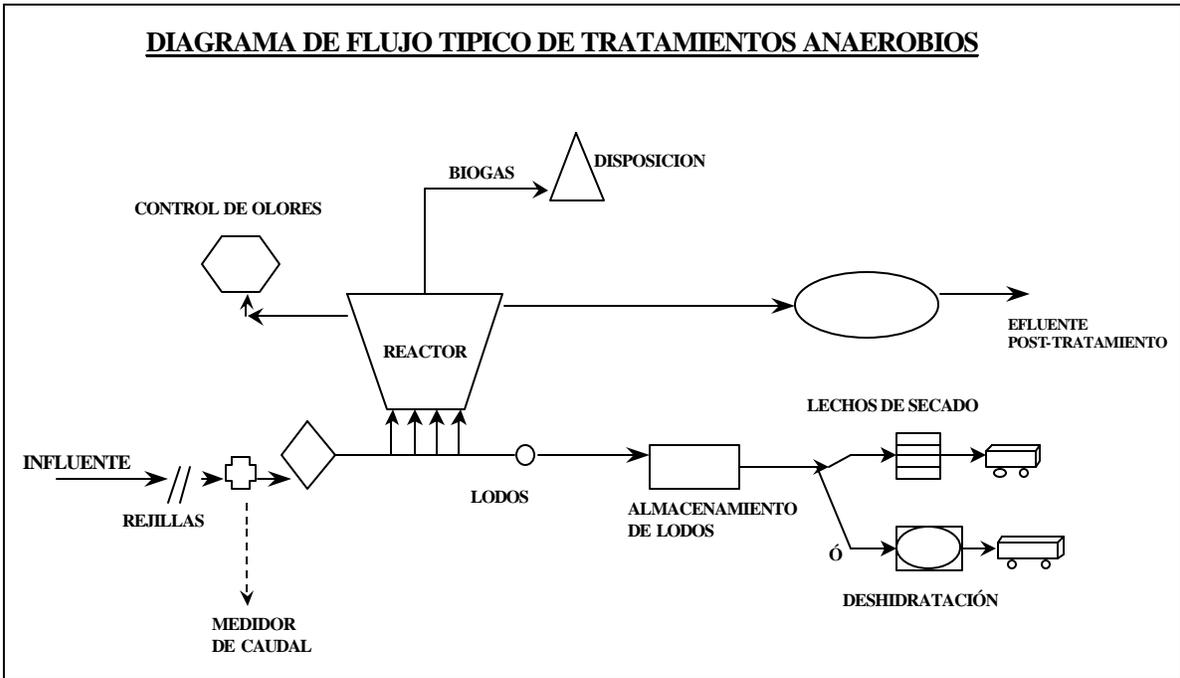
E.4.7.2.1.8 Manejo de biogás

En plantas de tratamiento de aguas negras domésticas se recolectan cantidades de biogás que usualmente no ameritan su purificación y utilización como combustible. Sin embargo, si representan un peligro debido a que el metano en mezcla con el aire en proporciones del 5 al 15% es explosivo. Se recomienda recoger el gas con mangueras y quemarlo para minimizar la generación de olores. El gas secundario que se produce por desprendimiento de sustancias disueltas en el efluente del reactor debe igualmente recogerse y tratarse adecuadamente para minimizar los impactos por olores desagradables, a menos que el estudio de impacto ambiental demuestre la ausencia de efectos en la comunidad aledaña.

E.4.7.2.1.9 Postratamientos

Dependiendo de los requisitos de remoción necesarios para el proyecto puede requerirse un postratamiento para los efluentes del sistema anaerobio. Los mas usados son tanques sedimentadores, lagunas de oxidación, reactores aerobios secundarios y humedales artificiales.





E.4.7.3 Tipos

Los reactores más utilizados para el tratamiento de las aguas residuales municipales son :

E.4.7.3.1 Reactor UASB (RAFA)

Reactor anaerobio de flujo ascendente en manto de lodos. En este tipo de reactor el agua es introducida por el fondo del reactor a través de unas boquillas uniformemente distribuidas, pasa a través de un manto de lodos y posee una estructura de sedimentación integrada al mismo tanque que permite el retorno de los lodos de manera natural al espacio de reacción inferior.

E.4.7.3.2 Reactor anaerobio de flujo pistón (RAP)

Es una modificación del reactor anaerobio de pantallas en el cual se permite que la superficie de interfase líquido-gas esté en contacto directo con la atmósfera natural. También se adiciona un lecho de empaquetamiento para mejorar la distribución hidráulica del flujo y evitar la compactación de la biomasa. Posee un comportamiento final de sedimentación.

E.4.7.3.3 Filtros anaerobios

En este tipo de reactores existe un medio de soporte fijo inerte al cual crecen adheridos los microorganismos. El agua residual puede tener un flujo vertical ascendente o descendente a través de la cámara. Usualmente no tiene un comportamiento final de sedimentación.

E.4.7.4 Manejo de gases

Toda planta de tratamiento anaerobio debe contar con un sistema que permita el manejo y disposición final del biogás que no genere impactos negativos en la comunidad residente en los alrededores de la planta de tratamiento, bien sea por explosiones o malos olores.

En la tabla E.4.22 se presentan los valores que se deben usar para el análisis de impactos de emisiones de sulfuro de hidrógeno o gases que lo contengan.

TABLA E.4.22

Valores que se deben usar para el análisis de impacto de emisiones de sulfuro de hidrógeno

| Concentración de sulfuro de hidrogeno ppm (v / v) | Tiempo de exposición Minutos | Impacto sobre los seres humanos |
|---|---------------------------------|---|
| 0.0005 | 30 | No produce molestias por olor. |
| 10 – 100 | 2 -15 | Puede producir pérdida del olfato. |
| 900 – 1500 | 30 | Efectos pulmonares severos y aún la muerte. |

E.4.7.4.1 Producción de gas

La cantidad de gas que se produce a partir de aguas residuales municipales se puede determinar mediante la siguiente ecuación :

$$V_b = \frac{1.28Tf_m}{P_m} \quad (\text{L/kg DBO}) \quad (\text{E.4.6})$$

.Composición del biogas

La composición del biogás, depende del agua residual a tratar. Los rangos en que se encuentran los principales componentes se pueden ver en la tabla E.4.23

TABLA E.4.23
Composición del biogás

| Compuesto | % Base Seca (V/V) |
|--|---|
| Metano, CH ₄ | 40 - 80 |
| Dióxido de carbono, CO ₂ | 15 - 40 |
| Sulfuro de hidrógeno, H ₂ S | 0.05 - 5 |
| N ₂ | 0 - 20 (para aguas residuales domésticas) |

El biogás crudo es considerado como un combustible, dado su rango de mezcla explosiva, aproximadamente 5 a 15% metano/aire, quema con una llama azul y no produce humo.

E.4.7.4.2 Tratamiento de gases

Se deben diseñar sistemas de purificación de los gases secundarios para la remoción de compuestos odoríferos cuando el estudio de impacto ambiental así lo recomiende o cuando existan residencias a una distancia a la redonda de 300 m.

E.4.7.4.3 Combustión del biogás

La combustión directa del biogás crudo es obligatoria por aspectos de higiene, seguridad industrial y estética. Estas situaciones serán de mayor prioridad en la medida en que la planta de tratamiento esté localizada cerca de comunidades y no disponga de suficiente área abierta.

Las alternativas de combustión del biogás se clasifican en:

1. Sistemas de combustión de piso o incineradores
2. Sistemas de combustión elevados o antorchas

Los sistemas de antorchas e incineradores al igual que las calderas deben estar dotadas de elementos de control de llama, como fotocelda, encendido electrónico (chispa) y quemador piloto, el cual debe utilizar un circuito de combustible (gas natural, propano) independiente:

Como medida de seguridad en casos de retroceso de llama, es necesario disponer de algún sistema de trampa de llamas para aislar la planta de tratamiento en la cual se encuentra acumulado un volumen apreciable de biogas.

Deben colocarse avisos que muestren claramente la prohibición de fumar y el uso de artefactos que generen chispas.

E.4.7.5 Control de olores

Debe cumplirse con lo siguiente:

- Minimizar la turbulencia, evitar caídas mayores a 5 cm.
- Seleccionar adecuadamente el sitio de la planta.
- Buscar que se produzcan sumergencias en las tuberías que conecten los diferentes sistemas del reactor.
- Recoger los gases secundarios y tratarlos.
- Quemar o tratar los gases primarios.
- Minimizar escapes de gases de los reactores y sistemas de manejo
- Colocar separadas las cajas de entrada y salida de caudales.
- Colocación de barreras vivas.
- Colocar plantas aromatizantes.

La distancia mínima a la residencia más próxima de la planta de tratamiento debe ser 200 m a menos que el estudio de impacto ambiental demuestre la ausencia de efectos indeseables a la comunidad.

E.4.7.6 Operación y mantenimiento

Se debe tener un manual de operación y mantenimiento que contemple los siguientes aspectos :

- Control de pH.
- Control de la alcalinidad.
- Control de la temperatura.
- Control de los ácidos grasos volátiles.
- Operación adecuada para variaciones de carga orgánica e hidráulica.
- Control en la producción de gas.
- Control de la composición del gas (CH₄ , CO₂ ,N₂, H₂S)
- Control de lavado de sólidos suspendidos en el efluente.

En el Anexo E se presenta una metodología para la operación y mantenimiento de proceso anaerobio de tratamiento de aguas residuales.

E.4.7.7 Reactores UASB

Existen dos tipos de reactores UASB, según el tipo de biomasa. El primer tipo de reactor se denomina de lodo granular. Como su nombre lo indica, se genera el lodo granular, que por sus buenas características de sedimentación y actividad metanogénica permite altas cargas orgánicas específicas; el segundo se denomina de lodo floculento, que soporta cargas menores tanto orgánicas como hidráulicas.

TABLA E. 4.24

Cargas aplicables en lodo granular y lodo floculento en reactores UASB en relación con la concentración del agua residual y la fracción insoluble de DQO en el agua residual

| Concentración del agua residual | Fracción insoluble de DQO | Cargas aplicables a 30° c (kgDQO/m ³ ·d) | | |
|---------------------------------|---------------------------|---|-----------------------|-------------------------------|
| | | Lodo floculento en UASB | Lodo granular en UASB | |
| | | | Remoción de sst pobre | Remoción de SST significativa |
| (mg DQO/L) | (%) | | | |
| > 2000 | 10 - 30% | 2 - 4 | 8 - 12 | 2 - 4 |
| | 30 - 60% | 2 - 4 | 8 - 14 | 2 - 4 |
| | 60 - 100% | * | * | * |
| 2000 – 6000 | 10 - 30% | 3 - 5 | 12 - 18 | 3 - 5 |
| | 30 - 60% | 4 - 6 | 12 - 24 | 2 - 6 |
| | 60 - 100% | 4 - 8 | * | 2 - 6 |
| 6000 – 9000 | 10 - 30% | 4 - 6 | 15 - 20 | 4 - 6 |
| | 30 - 60% | 5 - 7 | 15 - 24 | 3 - 7 |
| | 60 - 100% | 6 - 8 | * | 3 - 8 |
| 9000 – 18000 | 10 - 30% | 5 - 8 | 15 - 24 | 4 - 6 |
| | 30 - 60% | dudoso a SST>6 - | dudoso a SST>6 - | 3 - 7 |
| | 60 - 100% | 8g/L * | 8g/L * | 3 - 7 |

* Aplicación para reactores UASB no comprendida en estas condiciones

En la siguiente tabla se presenta un resumen de las cargas orgánicas aplicables en relación con la temperatura operacional para aguas residuales con VFA soluble y no-VFA soluble. Estos valores corresponden a agua residual con un 30% de SS sedimentables en reactores UASB de lodo granular cuya concentración en el lodo es 25 kgssv/m³.

TABLA E.4.25
Cargas orgánicas aplicables en relación con la temperatura operacional

| Temperatura °C | Carga orgánica volumétrica (kg/m ³ -día) | | | |
|-------------------|---|---------|------------|------------------------------|
| | VFA | NO -VFA | 30% SS-DQO | Comentarios |
| 15 | 2 - 4 | 1.5 - 3 | 1.5 - 2 | Remoción de SS satisfactoria |
| 20 | 4 - 6 | 2 - 4 | 2 - 3 | Remoción de SS satisfactoria |
| 25 | 6 - 12 | 4 - 8 | 3 - 6 | Remoción de SS razonable |
| 30 | 10 - 18 | 8 - 12 | 6 - 9 | Remoción de SS moderada |
| 35 | 15 - 24 | 12 - 18 | 9 - 14 | Remoción de SS casi pobre |
| 40 | 20 - 32 | 15 - 24 | 14 - 18 | Remoción de SS pobre |

E.4.7.7.1 Tiempo de retención hidráulica

Para el tratamiento de aguas residuales municipales deben utilizarse tiempos mínimos de retención de seis horas, que pueden llevar a una remoción hasta del 80% en la DBO₅.

El tiempo de retención aplicable a las aguas residuales municipales depende de la temperatura. En la tabla E.4.26 se presentan algunos valores aplicables para un reactor UASB de 4 m de altura.

TABLA E.4.26
Tiempos de retención hidráulicos aplicados a diferentes rangos de temperatura

| Rango de temperatura °C | Valores de trh (h) | | |
|----------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|
| | Promedio diario | Máximo durante 4 - 6 horas | Pico aceptable durante 2-6 horas |
| 16 - 19 | > 10 - 14 | > 7 - 9 | > 3 - 5 |
| 22 - 26 | > 7 - 9 | > 5 - 7 | > 3 |
| > 26 | > 6 | > 4 | > 2.5 |

E.4.7.7.2 Altura del reactor

El reactor puede considerarse dividido en dos espacios, uno inferior en donde ocurren las reacciones de descomposición y uno superior en donde ocurre la sedimentación de los lodos. El espacio inferior debe tener una altura entre 4.0 y 5.0 m y superior entre 1.5 y 2.0 m. Adicionalmente debe proveerse un borde libre de 40 cm.

E.4.7.7.3 Separador gas-sólido-líquido

Esta estructura divide el reactor en dos espacios : el inferior, que presenta alta turbulencia debido al gas, y el superior o de sedimentación, con baja turbulencia. El separador provee de una superficie de contacto entre el líquido y el gas, de modo que los flocs que llegan a dicha superficie puedan transferir el gas que los ayuda a flotar a la atmósfera y sedimentar hacia la cámara principal.

Las campanas de separación se deben usar para:

- Separar y descargar el biogás del reactor.
- Impedir el lavado de la materia bacterial.
- Permitir que el lodo resbale dentro del compartimento del digestor.
- Servir como una especie de barrera para la expansión rápida del manto de lodos dentro del sedimentador.
- Impedir el lavado del lodo granular flotante.

Se debe igualmente cumplir las siguientes consideraciones :

1. Inclinación de las paredes

Las paredes de la estructura de separación sólido-gas deben contar con una inclinación de 50 a 60 °C.

2. Tasa de carga superficial

La carga orgánica superficial debe estar alrededor de 0.7 m/h, en condiciones de caudal máximo horario.

3. Velocidad del agua en la garganta

La velocidad del agua en la garganta de retorno de lodos sedimentados no debe exceder los 5 m/h, para condiciones de caudal máximo horario.

4. Área superficial

El área superficial de las aberturas entre el colector de gas debe estar entre 15 y 20% del área superficial del reactor.

5. Altura

La altura mínima del colector de gas debe estar entre 1.5 y 2 m.

6. Traslado de pantallas

El traslado en la instalación de las pantallas de la campana debe ser de 10 a 20 cm.

7. Diámetro de las tuberías

El diámetro de las tuberías de expulsión de gas debe ser suficiente para soportar la remoción fácil del biogás desde la tapa del colector de gas, particularmente en el caso de formación de espuma.

8. La superficie del reactor debe ser cubierta para minimizar el desprendimiento de malos olores. El gas secundario debe recogerse y tratar adecuadamente. Se debe prever la remoción de natas y material flotante en la zona de sedimentación. Se deben dejar instalaciones para la inspección y limpieza de la parte interna de las campanas y la zona de sedimentación.

9. Para disminuir obstrucciones en las canaletas de recolección de efluentes y arrastre de sustancias flotantes debe proveerse una pantalla de 20 cm de profundidad para la retención de dichas sustancias.

10. Debe buscarse siempre, condiciones simétricas, en las estructuras de manejo de caudales.

11. Se debe proveer de un sistema de muestreo del manto de lodos en el reactor para poder definir la altura del mismo y las características del lodo a diferentes alturas. Se recomienda un sistema de válvulas telescópicas

E.4.7.7.4 Distribución de caudales

Con el fin de garantizar la uniformidad de alimentación en todo el volumen del reactor, debe distribuirse el influente en el fondo del reactor.. Las tuberías deben estar a unos 20 cm del fondo del reactor.

En la tabla E.4.27 se presentan rangos para el número de puntos de entrada requeridos en los reactores UASB, según el tipo de lodo formado.

TABLA E.4.27

Rangos de valores para el número de puntos de entrada requeridos en un reactor UASB

| Tipo de lodo presente | Area por punto de entrada (m ²) |
|---|---|
| Lodo denso floculento (> 40 kg SST/m ³) | 0.5 - 1 a cargas < 1 kg DQO/m ³ ·dia 1 - 2 a cargas 1-2 kg DQO/m ³ ·dia 2 - 3 a cargas > 2 kg DQO/m ³ ·dia |
| Lodo floculento espesado (20 - 40 kgSST/m ³) | 1 - 2 a cargas < 1 - 2 kg DQO/m ³ ·dia 2 - 5 a cargas > 3 kg DQO/m ³ ·dia |
| Lodo granular | 0.5 - 1 a cargas por encima de 2 kg DQO/m ³ ·dia 0.5 - 2 a cargas 2 - 4 kg DQO/m ³ ·dia > 2 a cargas > 4 kg DQO/m ³ ·dia |

E.4.7.7.5 Modularidad

El reactor UASB puede ser construido modularmente. El módulo máximo debe tener 500 m³.

E.4.7.7.6 Metodología de cálculo

Para aguas residuales diluidas (<1500 mg/L DQO) los UASB deben diseñarse con el concepto de tiempo de retención hidráulico. Las aguas residuales industriales no están contempladas en el presente documento.

Las altas infiltraciones no favorecen el buen comportamiento del proceso. En ninguna circunstancia deben permitirse caudales que arrastren el manto de lodos con el efluente. En consecuencia, los diseños hidráulicos deben basarse en el caudal máximo horario. Los caudales infiltrados al alcantarillado durante la época de lluvias no pueden pasar por la planta.

E.4.7.7.6.1 Tiempo de retención hidráulico

$$q = \frac{A_s \cdot H}{Q} \quad (\text{E.4.7})$$

E.4.7.7.6.2 Velocidad superficial admisible

$$v = \frac{H}{q} \quad (\text{E.4.8})$$

E.4.7.7.6.3 Velocidad del gas

$$V_g = \frac{Q_g}{A_{\text{coleccion}}} \quad (\text{E.4.9})$$

La máxima velocidad del gas permisible es de 1 m³/ m² / h

E.4.7.7.6.4 Volumen del reactor

Para concentraciones bajas el volumen del reactor se calcula:

$$V_r = q \cdot Q \quad (\text{E.4.10})$$

E.4.7.7.7 Control de olores

Adicionalmente a lo definido en el literal E.4.7.5 debe taparse el reactor, recoger y tratar los gases que se generan en las zonas de sedimentación y en las estructuras de salida y conducción del efluente tratado.

E.4.7.7.8 Trampas de grasa

Deben colocarse trampas de grasa aguas arriba de los reactores UASB para los **niveles bajo y medio de complejidad del servicio**.

E.4.7.7.9 Arranque

El control del proceso, especialmente durante la fase de arranque del reactor debe ser de gran importancia para garantizar altas eficiencias en la remoción de la materia orgánica. La operación es muy simple pero conceptualmente es bastante compleja.

El proceso de arranque debe realizarse por personal especializado. Las intrincadas relaciones bioquímicas entre los diferentes organismos que llevan a cabo el tratamiento anaerobio se establecen lentamente con el paso del tiempo. Igualmente, los bajos tiempos de replicación de las bacterias acetogénicas y metanogénicas demoran considerablemente la aclimatación del reactor.

Durante el período de arranque del proceso debe permitirse que las partículas más voluminosas sean lavadas con el agua efluente con el fin de generar una presión de selección de biomasa, que mantenga internamente solo la que presente las mejores características de sedimentabilidad.

El reactor debe arrancarse a plena capacidad por un mes, posteriormente se suspende la alimentación por una semana para permitir la digestión del material acumulado, y luego continuar el arranque con un caudal al 60% de la capacidad total. Posteriormente se hacen incrementos mensuales del 20% hasta llegar a plena capacidad.

No es necesario contar con semilla pues las aguas residuales municipales contienen los microorganismos necesarios. Sin embargo, en caso de contarse con semilla de un reactor que trate aguas residuales municipales esta puede usarse y acortará el periodo de arranque.

E.4.7.7.10 Sedimentador Secundario

En caso que se necesite aumentar la eficiencia del reactor UASB se recomienda la colocación de un sedimentador secundario aguas abajo de este.

E.4.7.7.11 Operación y mantenimiento

Deben llevarse un manual de operación que contemple los siguientes aspectos :

- Control de caudal para evitar sobrecarga hidráulica.
- Control de la limpieza de las rejillas gruesas y finas.
- Control del vaciado de los canales del desarenador.
- Control de la limpieza de pozos y vertederos de repartición.
- Control del correcto funcionamiento de los equipos de recolección y manejo de gases.
- Revisión del correcto funcionamiento de las canaletas de recolección del efluente.
- Control de la producción de gas.
- Control de olores.
- Control de lodos.

En el Anexo E se recomienda una metodología para una adecuada operación y mantenimiento.

E.4.7.8 Reactores RAP

El reactor RAP es un reactor anaerobio a pistón para temperaturas entre 15 y 20°C, desarrollado a partir de los siguientes conceptos

- a) Flujo pistón

- b) Medio plástico inmerso en el agua residual
- c) Alta porosidad para mejorar la separación de gases y biomasa, y propiciar mezcla sin buscar adherencia.
- d) Contacto directo de la superficie del agua con la atmósfera, de modo que las bajas concentraciones de CH₄ (metano) en esta causen un gradiente importante entre el agua residual, saturada de gas, y el aire. Esto permite la evacuación física de parte del metano y el hidrógeno del agua residual, favoreciendo termodinámicamente la metanogénesis.

E.4.7.8.1 Tiempo de retención hidráulica

El tiempo de retención se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$t_d = \frac{S_o}{L_v} \quad (\text{E.4.11})$$

En la siguiente tabla se resumen algunos valores que se recomienda usar, a temperaturas ambientes del agua de 13 - 17°C.

TABLA E.4.28
Tiempos de retención que se deben usar para la operación de reactores RAP .

| t_r , hr | Temperatura (°C) |
|------------|------------------|
| 9 - 10 | 15 |
| 8 | 20 |

E.4.7.8.2 Velocidades en las cámaras

Se recomienda una velocidad hidráulica de 3.0 m/h en las cámaras de reacción, y una velocidad de sedimentación de 1.0 m/h, en la cámara final.

E.4.7.8.3 Medio Separador de Gases

Se recomiendan cajas de plástico como medio separador de gases.

E.4.7.8.4 Metodología de calculo

1. Determinación del caudal de diseño (ver capítulo de determinación de caudales de diseño del capítulo de alcantarillados).
2. Determinación de la carga orgánica:

$$L = I_o \cdot P \quad (\text{E.4.12})$$

$$S_o = \frac{L}{Q} \quad (\text{E.4.13})$$

3. Tiempo de detención:

$$t_d = \frac{S_o}{L_v} \quad (\text{E.4.14})$$

4. Volumen del reactor:

$$V = t_d \cdot Q \quad (\text{E.4.15})$$

5. Se asume el número de reactores, n
6. Se asume el número de pantallas, n_b
7. Se halla el volumen de cada reactor a diseñar

$$V_1 = \frac{V}{n} \quad (\text{E.4.16})$$

8. Se asume la profundidad, h, un buen valor puede ser 2,7 m

La campana de separación en la última cámara debe obedecer a los mismos criterios que los especificados para los reactores UASB.

9. Distancia entre pantallas

$$d = \frac{\frac{Q}{2}}{a \cdot u} \quad (\text{E.4.17})$$

E.4.7.8.5 Control de olores

Debe seguirse lo especificado en el literal E.4.7.5.

E.4.7.8.6 Operación y mantenimiento

Debe seguirse lo especificado para reactores UASB en el literal E.4.6.7.11 .

E.4.7.9 Filtros anaerobios

E.4.7.9.1 Tiempo de retención hidráulica

En la tabla E.4.29 aparecen los valores de tiempo de retención hidráulica que se deben usar.

TABLA E.4.29
Tiempos de retención hidráulica

| Rango de la concentración orgánica del afluente al filtro anaerobio. (Expresada en DBO ₅ TOTAL en mg/L) | Rango del tiempo de retención hidráulica en el filtro anaerobio. Se expresa t _{min} , t _{max} , t _{d1} y t _{d2} . Donde el tiempo de diseño t _d es igual a (t _{d1} + t _{d2})/2. (horas) | | | | Valores del coeficiente característico del sustrato en digestión, K, para un sustrato "típico" doméstico o municipal, correspondiente a los t expresados en la columna anterior | | | |
|---|---|-----------------|-----------------|------------------|---|----------------------|----------------------|-----------------------|
| | t _{min} | t _{d1} | t _{d2} | t _{max} | Para t _{min} | Para t _{d1} | Para t _{d2} | Para t _{max} |
| Mínima : 50 Co (media): 65 Máxima: 80 | 3.0 | 4.0 | 6.5 | 12 | 1.4 | 1.5 | 1.6 | 1.8 |
| Mínima : 80 Co (media): 190 Máxima: 300 | 2.5 | 4.0 | 6.5 | 12 | 1.0 | 1.1 | 1.3 | 1.7 |
| Mínima : 300 Co (media): 650 Máxima: 1000 | 2.5 | 4.0 | 6.5 | 12 | 1.4 | 1.6 | 1.8 | 2.1 |
| Mínima : 1000 Co(media): 3000 Máxima: 5000 | 3.0 | 6.0 | 8.0 | 12 | 1.7 | 1.9 | 2.1 | 2.5 |

E.4.7.9.2 Proporciones geométricas

Se recomiendan las siguientes proporciones geométricas

- h = 0.10H

- $P = 0.15H$
- $Vr3 = 0.66 A_{base}H$

Para filtros circulares:

- $A_{base} = \pi D^2 / 4$
- $D \leq 2H$
- $D = 3d$
- Para filtros rectangulares
- $A_{base} = Lb$
- $b \leq L \leq 3b$
- $L \leq 2H$
- $\ell = (L - 0.5b)$ y ϕ de ℓ coincide con ϕ de L
- $0.6 \text{ m} \leq H \leq 1.80 \text{ m}$

E.4.7.9.3 Medio de soporte

Se recomienda que los filtros anaerobios estén cargados en su totalidad con elementos de anclaje, salvo el 15% superior de su profundidad total. Esta zona superior sirve para homogeneizar la salida evitando los canales preferenciales de flujo. En filtros anaerobios de menos de 1.50 m de diámetro no hay ningún elemento colector en la superficie de esta zona para conducir el efluente hacia la salida. En unidades de diámetro mayor de 1.5 m, se recomienda una canal de bordes aserrados colocada al nivel de la superficie y en sentido diametral, para conducir uniformemente el efluente al orificio de salida.

El flujo entra al lecho poroso por el fondo del mismo y debe ser distribuido radialmente en forma uniforme, para este fin habrá un "difusor" en el fondo del lecho, al cual llega el flujo mediante un tubo o ducto, instalado dentro o fuera del cuerpo de la unidad.

Como medio de anclaje para los filtros anaerobios, se recomienda la piedra: triturada angulosa, o redonda (grava); sin finos, de tamaño entre 4 cm y 7 cm.

En caso de que el ingeniero utilice otro tipo de medio, debe sustentar los valores del parámetro que vaya a utilizar en su diseño.

E.4.7.9.4 Control de olores

Debe seguirse lo especificado en el literal E.4.7.5

E.4.7.9.5 Operación y mantenimiento

Debe seguirse lo especificado en el literal E.4.6.7.9.

E.4.7.10 Postratamientos

E.4.7.10.1 Lagunas de oxidación

Cuando se usan lagunas de oxidación para un tratamiento terciario o postratamiento, la carga orgánica debe ajustarse a las cargas establecidas en el literal E.4.7 Las lagunas deben ser del tipo facultativo o aerobio. En este caso, el objetivo principal de la laguna es una remoción adicional de la concentración del material orgánico y de los sólidos en suspensión. En el caso de lagunas aerobias pueden lograrse excelentes remociones de patógenos nutrientes y metales pesados.

E.4.7.10.2 Tratamientos aerobios

El tratamiento con sistemas aerobios permite un pulimiento final del efluente, en términos de DBO y sólidos suspendidos, en caso de que este sea necesario. Los lodos en exceso de tratamiento aerobio pueden estabilizarse en el sistema anaerobio, y los gases olorosos secundarios del anaerobio, tratarse en el tratamiento aerobio.

Además se recomienda seguir lo referente a lodos activados del literal E.4.5.2

E.4.8 LAGUNAS DE OXIDACIÓN O DE ESTABILIZACIÓN

E.4.8.1 Generalidades

El tratamiento por lagunas de estabilización puede ser aplicable en los casos en los cuales la biomasa de algas y los nutrientes que se descargan en el efluente puedan ser asimilados sin problema por el cuerpo receptor.

En caso de que las algas descargadas al cuerpo receptor no pueden sobrevivir en el, generando una demanda de oxígeno adicional, que impida cumplir con los objetivos de calidad estipulados, debe incluirse en el proyecto la remoción de éstas en el efluente final antes de ser descargado.

En los **niveles bajo, medio y medio alto de complejidad** deben siempre considerarse las lagunas de estabilización dentro de la evaluación de alternativas que se realiza para la selección del sistema de tratamiento.

E.4.8.2 Tipos

Para el tratamiento de aguas residuales domésticas se consideran únicamente los sistemas de lagunas que tengan unidades anaerobias, aireadas, facultativas y de maduración, en las combinaciones y número de unidades que se detallan en la presente norma.

E.4.8.3 Localización de lagunas y reactores

La ubicación del sitio para un sistema de lagunas debe estar aguas abajo de la cuenca hidrográfica, en un área extensa y fuera de la influencia de cauces sujetos a inundaciones y avenidas. En el caso de no ser posible, deben proyectarse obras de protección. El área debe estar lo más alejada posible de urbanizaciones con viviendas ya existentes ; se recomiendan las siguientes distancias :

1. 1000 m como mínimo para lagunas anaerobias y reactores descubiertos
2. 500 m como mínimo para lagunas facultativas y reactores cubiertos
3. 100 m como mínimo para sistemas con lagunas aireadas

E.4.8.4 Diagramas de Flujo

E.4.8.4.1 Serie Facultativa y de maduración

Este es el caso más usual de lagunas en serie, en el cual las unidades de maduración pueden tener una o más unidades. Para un adecuado diseño primero debe comprobarse que la carga superficial en la primera unidad sea adecuada.

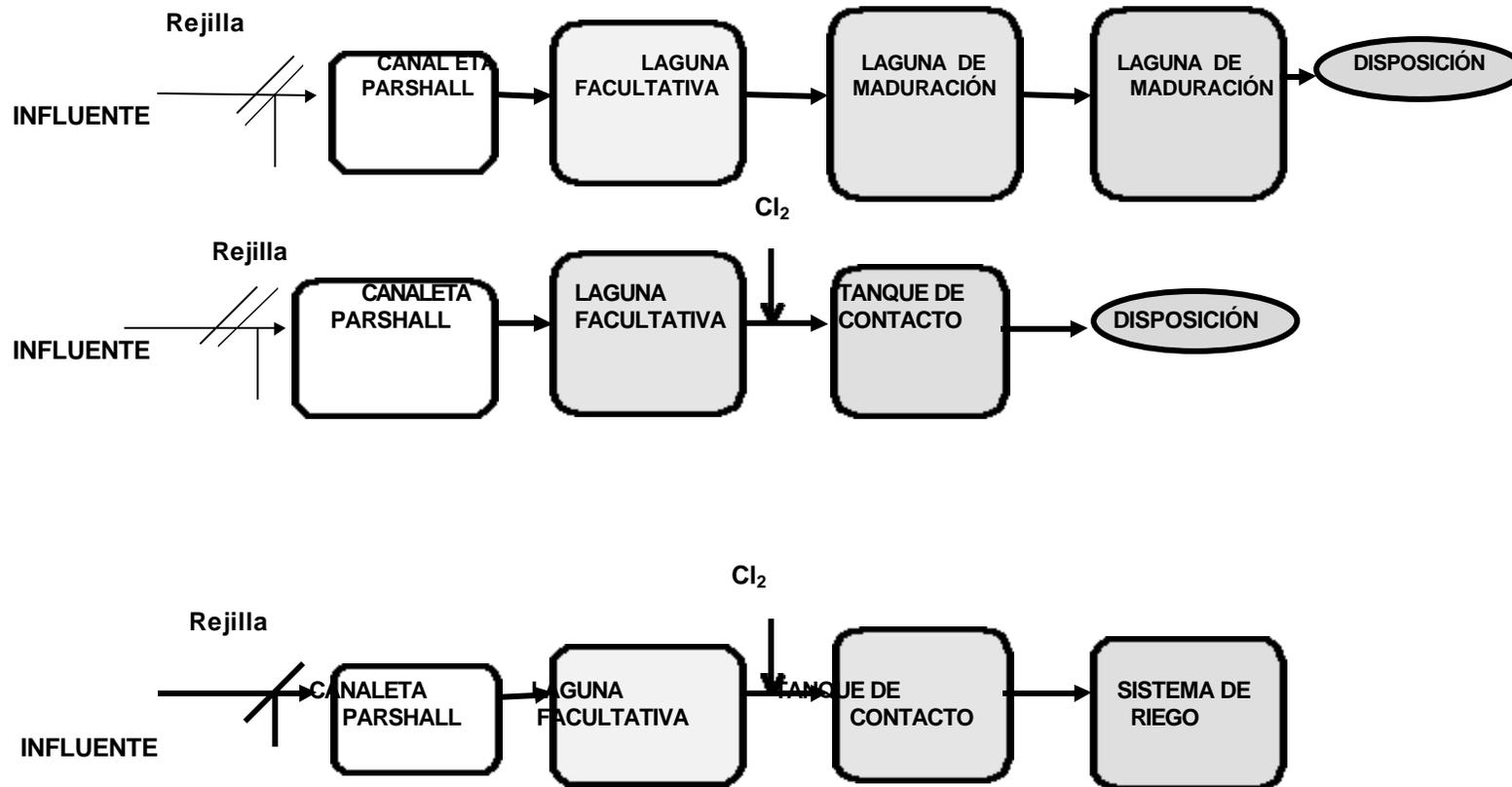
E.4.8.4.2 Serie anaerobia, facultativa y de maduración

Esta debe usarse cuando hay necesidad de una reducción apreciable de bacterias y reducción en área. Adicionalmente debe considerarse la alternativa de reactores anaerobios de alta tasa como sustitutos de las lagunas anaerobias.

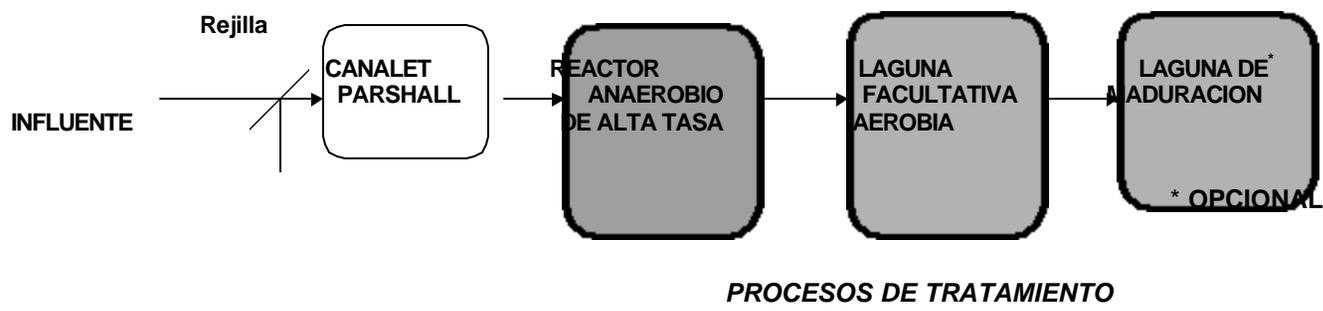
E.4.8.4.3 Serie aireada, facultativa y de maduración

Debe escogerse este sistema de lagunas en serie en situaciones en las que haya una limitada disponibilidad de terreno o cuando el costo del mismo sea elevado o cuando no se puedan considerar lagunas anaerobias por razones de cercanías de viviendas. El diseño de la primera unidad se efectúa con los métodos descritos en el literal E.4.8.6. El diseño de la laguna facultativa debe realizarse comprobando que la carga (incluidos los sólidos de la laguna aireada) sea adecuada, o por el método del balance de oxígeno. La determinación de la DBO en las lagunas secundaria y terciaria debe efectuarse con el uso de correlaciones de carga ; el nivel de coliformes fecales se determina con un modelo de flujo disperso.

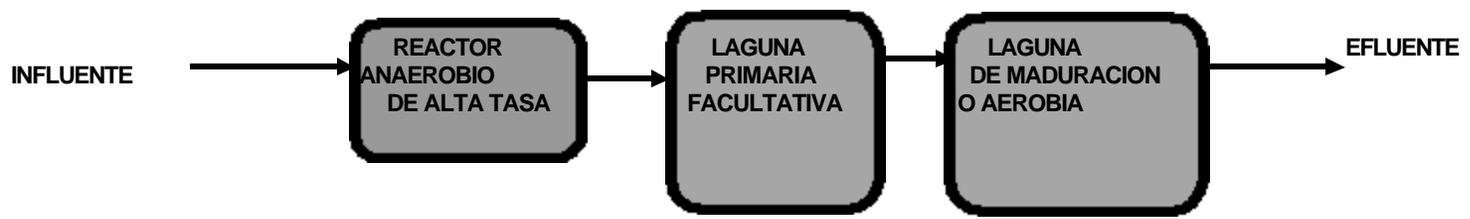
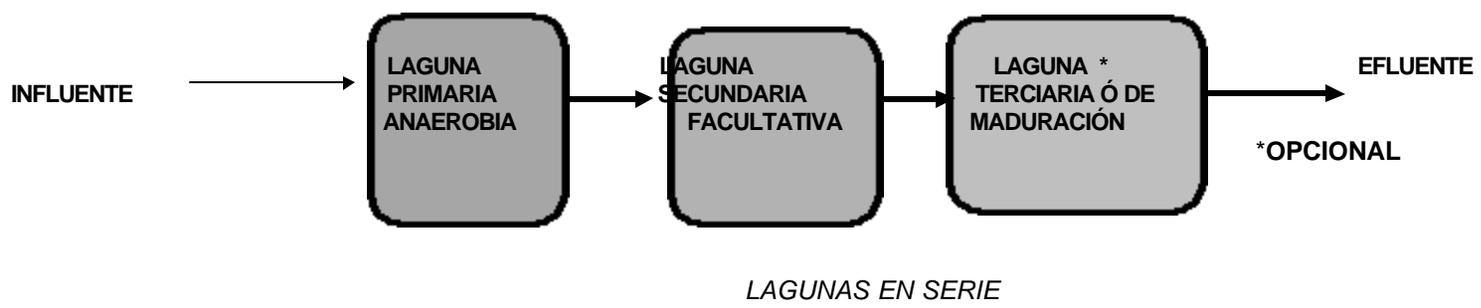
FIGURA E.4.28
DIAGRAMAS DE FLUJO DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN



PROCESOS DE TRATAMIENTO



DIAGRAMAS DE FLUJO DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN



E.4.8.5 Lagunas anaerobias

Debido a las altas cargas que soporta este tipo de unidades de tratamiento y a las eficiencias reducidas, se hace necesario el tratamiento posterior, generalmente por unidades de lagunas facultativas en serie, para alcanzar el grado de tratamiento requerido. Para este caso debe comprobarse que la laguna facultativa secundaria no tenga una carga orgánica por encima del límite, según se establece en el literal E.4.4.7.

Debe diseñarse un número mínimo de dos unidades en paralelo para permitir la operación en una de las unidades mientras se remueve el lodo de la otra.

E.4.8.5.1 Carga superficial

El criterio de carga superficial en lagunas anaerobias se usa para comprobar que la carga sea suficientemente alta con el fin de sobrepasar la carga facultativa, sobre todo en las condiciones iniciales de operación con una carga reducida por efecto de un reducido número de habitantes conectados al sistema de alcantarillado.

Para que se presenten condiciones de trabajo anaerobias, la carga debe estar muy por encima de 1000 kgDBO/ha/día.

E.4.8.5.2 Carga volumétrica

La carga orgánica volumétrica máxima, para temperaturas sobre 20°C permitida será 300 g DBO/m³/d. Si en el estudio de impacto ambiental se establece que el factor de olores no es de consideración, se puede incrementar a 400 g DBO/m³/d. Para temperaturas inferiores a los 20°C la carga volumétrica máxima debe ser de 200 g DBO/m³/d.

E.4.8.5.3 Tiempo de retención hidráulica

Los tiempos de retención hidráulica a usar son función de la temperatura del agua del mes mas frío, y de la eficiencia de remoción requerida. Las tablas E.4.30 y E.4.31 presentan valores típicos recomendados para diferentes casos.

TABLA E.4.30
Eficiencia de lagunas anaerobias en función del periodo de retención para T>20°C

| Periodo de retención, días | Reducción de DBO ₅ , % |
|----------------------------|-----------------------------------|
| 1 | 50 |
| 2.5 | 60 |
| 5 | 70 |

TABLA E.4.31
Relación entre la temperatura, periodo de retención y eficiencia en lagunas anaerobias

| Temperatura, °C | Período de retención, días | Remoción de DBO, % |
|-----------------|----------------------------|--------------------|
| 10 - 15 | 4 - 5 | 30 - 40 |
| 15 - 20 | 2 - 3 | 40 - 50 |
| 20 - 25 | 1 - 2 | 50 - 60 |
| 25 - 30 | 1 - 2 | 60 - 70 |

E.4.8.5.4 Profundidad

Se recomienda una profundidad entre 2.5 y 5 m.

E.4.8.5.5 Acumulación de lodos

Se debe calcular el volumen de acumulación de lodos en la laguna y tenerlo en cuenta para el diseño. El valor de diseño para tal propósito es de 40 L/hab/año. El periodo de desenlode recomendado está entre 5 y 10 años. Se debe proveer un volumen extra para dicha acumulación.

E.4.8.5.6 Remoción de coliformes

Las lagunas anaerobias son menos eficientes que las facultativas en la reducción de coliformes. La remoción de coliformes debe determinarse de acuerdo a las recomendaciones del literal E.4.7.8, en caso de haberse determinado experimentalmente el coeficiente de mortalidad bacteriana. Como alternativa se puede determinar la reducción bacteriana considerando mezcla completa y los siguientes coeficientes de mortalidad global que aparecen en la tabla E.4.32

TABLA E.4.32
Coefficientes de mortalidad para la determinación de la reducción bacteriana

| Carga Kg DBO/(ha-d) | Coefficiente de mortalidad, L/d |
|---------------------|---------------------------------|
| 400 | 0.60 |
| 600 | 0.55 |
| 800 | 0.50 |
| 1000 | 0.46 |
| 1200 | 0.41 |
| 1400 | 0.37 |

E.4.8.5.7 Consideraciones hidráulicas

1. Medición de caudales

Debe instalarse una canaleta tipo Parshall o Palmer Bowls a la entrada de la instalación para la medición de caudal y un vertedero del tipo rectangular a la salida de la unidad, para evaluación de la laguna y comprobación de la magnitud de la infiltración.

2. Dispositivos de repartición

En los casos que se tengan lagunas operadas en paralelo deben instalarse dispositivos repartidores de flujo. Los repartidores más apropiados son aquellos que cumplen su función para todo el intervalo de caudales, desde el mínimo hasta el máximo horario.

Se recomienda la utilización de los siguientes dispositivos de repartición:

Un canal con tabique divisorio. Debe existir antes del tabique un tramo recto con una longitud mínima de 10 veces el ancho del canal. No se recomienda la utilización de vertederos rectangulares como repartidores, por la acumulación rápida de arena antes del vertedero.

También se puede utilizar el distribuidor circular universal, el cual que puede emplearse para la repartición de dos o más partes, de acuerdo con la longitud de vertedero circular de cada segmento.

Otro distribuidor apropiado para aguas residuales crudas es el de régimen crítico, este tiene la ventaja de que puede ser empleado para distribución en más de dos partes iguales.

3. Dispositivos de entrada, interconexión y salida

Estas partes deben diseñarse en la forma más simple posible, evitando la utilización de válvulas y mecanismos que se deterioran por efecto de las características corrosivas de las aguas residuales, y mayormente por la falta de uso.

Como dispositivo de entrada se recomienda la tubería simple con descarga visible sobre la superficie del agua de la laguna. La tubería de entrada puede estar simplemente colocada sobre el dique a una altura de unos 20 o 30 cm sobre la superficie del agua.

Los dispositivos de interconexión deben concebirse de modo que no se produzca una caída turbulenta del efluente y se genere espuma.

Deben evitarse descargas turbulentas para la conservación de calor.

Para unidades en serie con reducida diferencia de nivel entre las unidades se puede optar por una canaleta de interconexión y medición, para mínima pérdida de carga. Para unidades en serie con una considerable diferencia de nivel puede considerarse un sistema de interconexión cerrada con tubería de plástico o de acero.

El diseño de las estructuras de salida depende del caudal de cada unidad y de las condiciones de operación durante el período de limpieza de lodos, pues en estos casos generalmente se recarga una de las baterías mientras la otra se encuentra fuera de operación. Para lagunas pequeñas de hasta 1 Ha, los diseños pueden ser muy simples, con mampostería de ladrillo y mortero de cemento.

E.4.8.6 Lagunas aireadas

Se distinguen los siguientes tipos de lagunas aireadas:

- Lagunas aireadas de mezcla completa. Mantienen la biomasa en suspensión, con una alta densidad de energía instalada ($>15 \text{ W/m}^3$). Son consideradas como un proceso incipiente de lodos activados sin separación y recirculación de lodos y la presencia de algas no es evidente. Para estas unidades es recomendable el uso de Aireadores de baja velocidad de rotación.
- Lagunas aireadas facultativas. Mantienen la biomasa en suspensión parcial, con una densidad de energía instalada menor que las anteriores (de 1 a 4 W/m^3 , recomendable 2 W/m^3). Este tipo de laguna presenta signos de acumulación de lodos, observándose frecuentemente la aparición de burbujas de gas de gran tamaño en la superficie, por efecto de la digestión de lodos en el fondo. En climas cálidos y con buena insolación se observa un apreciable crecimiento de algas en la superficie de la laguna. Debe ser seguida por una laguna facultativa.
- Laguna facultativa con agitación mecánica. Se aplica exclusivamente a unidades sobrecargadas del tipo facultativo en climas cálidos. Tienen una baja densidad de energía instalada (del orden de 0.1 W/m^3), la misma que sirve para vencer los efectos adversos de la estratificación térmica, en ausencia del viento. Las condiciones de diseño en estas unidades son las de lagunas facultativas. El uso de los aireadores puede ser intermitente. Debe ser seguida por una laguna facultativa.
- Lagunas de oxidación aireadas. Se emplean generalmente en climas variables. La fuente de oxígeno es principalmente la fotosíntesis y en el invierno se complementa con aireación con difusión de aire comprimido en el fondo. Las condiciones de diseño de estas unidades son las de lagunas facultativas.

E.4.8.6.1 Carga superficial

La carga de diseño típica para lagunas de oxidación aireadas es de 50 Kg DBO/ha/d. En caso de usar una carga diferente el diseñador debe justificarla técnicamente con base en estudios piloto o experiencias previas.

E.4.8.6.2 Tiempo de retención hidráulica

TABLA E.4.33

Rangos de tiempo de retención para lagunas aireadas

| Tipo de laguna aireada | Tiempo de retención, días |
|----------------------------|---------------------------|
| Aireada de mezcla completa | 2 - 7 |
| Aireada Facultativa | 7 - 20 (promedio 10 -15) |

E.4.8.6.3 Profundidad

TABLA E..4.34
Rangos de profundidad para las lagunas aireadas

| Tipo de laguna aireada | Profundidad, m |
|----------------------------|---|
| Aireada de mezcla completa | 3 - 5 (4.6 para climas templados y fríos) |
| Aireada Facultativa | 1.50 (para climas cálidos) |
| Oxidación aireada | 1 - 1.5 (promedio 1.2) |

E.4.8.6.4 Metodología de cálculo

El diseño de la laguna aireada debe realizarse con los métodos de O'Connor y Eckenfelder y Ekama y Marais. Antes de determinar el tamaño de los aireadores, deben corregirse los requisitos de oxígeno a condiciones de campo, por elevación, temperatura y nivel de oxígeno.

E.4.8.6.4.1 Modelo de O'Connor y Eckenfelder:

$$S_a - \frac{S}{X_v \cdot PR} = K \cdot S \quad (\text{E.7.20})$$

Para lagunas aireadas deben determinarse los criterios de diseño a través de un estudio de tratabilidad. Para el diseño de lagunas aireadas de mezcla completa se observarán las siguientes recomendaciones:

- Los criterios de diseño para el proceso (coeficiente cinético de degradación, constante de auto oxidación y requisitos de oxígeno para síntesis), deben idealmente ser determinados a través de experimentación.
- Alternativamente debe dimensionarse la laguna aireada para la eficiencia de remoción de DBO soluble establecida para el mes más frío y con una constante de degradación alrededor de 0.025 (L/(mg/L X_v·d) a 20°C.
- En caso de que se pueda absorber la remoción de DBO con lagunas secundarias, debe adoptarse un período de retención alrededor de 2 días, determinándose la calidad del efluente y el nivel de sólidos en la laguna.
- Los requisitos de oxígeno del proceso (para síntesis y respiración endógena) se determinan para condiciones del mes mas caliente. Estos serán corregidos a condiciones estándar, por temperatura y elevación.
- Para la remoción de coliformes se usa el mismo coeficiente de mortalidad neto que el especificado para lagunas facultativas. La calidad del efluente se determina para las condiciones del mes más frío. Para el efecto se determina el factor de dispersión por medio de la siguiente ecuación :

$$d = \frac{2881 \cdot PR}{L^2} \quad (\text{E.7.21})$$

Para la determinación de la capacidad de oxigenación del proceso deben tenerse en cuenta las siguientes disposiciones:

- La cantidad de oxígeno del proceso debe calcularse para las condiciones de operación del mes mas caliente y deben ser suficientes para abastecer oxígeno a la síntesis de la materia orgánica (remoción de DBO), para la respiración endógena y para la nitrificación. En casos en los cuales se produce desnitrificación (diseño especial en zanjas de oxidación) , se descontará el aporte de oxígeno por este concepto.

Para sistemas de aireación mecánica se observarán las siguientes disposiciones:

- La capacidad instalada de energía para aireación se determina relacionando los requisitos de oxígeno del proceso ($\text{kg O}_2/\text{día}$) al rendimiento del aireador seleccionado ($\text{kg O}_2/\text{KWh}$), ambos en condiciones estándar, con la respectiva corrección por eficiencia en el motor y reductor. El número de motores debe ser par y de igual tamaño, con una capacidad igual a la de fabricación estándar.
- Debe asegurarse que el rendimiento de los aireadores haya sido determinado en un tanque con agua limpia y una densidad de energía entre 30 y 50 W/m^3 . Los rendimientos están normalmente expresados en kgO_2/KWh y las siguientes condiciones: Nivel del mar, 0% de saturación y temperatura de 20°C .
- El conjunto motor - reductor debe ser escogido para un régimen de funcionamiento de 24 horas. Se recomienda un factor de servicio de 1.0 para el motor y de 2.0 sobre la potencia nominal del motor, para el reductor.
- La capacidad instalada al eje es la determinada anteriormente, pero sin las eficiencias del motor y el reductor de velocidad.
- La densidad de energía (W/m^3) se determinará relacionando la capacidad instalada al eje con el volumen de cada tanque de aireación.

E.4.8.6.5 Consideraciones hidráulicas

Rige lo mismo que para lagunas anaerobias.

E.4.8.7 Lagunas facultativas

Las características principales de este tipo de lagunas son el comensalismo entre las algas y bacterias en el estrato superior y la descomposición anaerobia de los sólidos sedimentados en el fondo.

Su utilización como unidad de tratamiento en un sistema de lagunas puede ser:

1. Como laguna primaria única (caso de climas fríos en los cuales la carga de diseño es tan baja que permite una adecuada remoción de bacterias) o seguida de una laguna secundaria y/o terciaria (normalmente referida como laguna de maduración).
2. Como una unidad secundaria después de lagunas anaerobias o aireadas, para cumplir el propósito de procesar sus efluentes a un grado mayor.

E.4.8.7.1 Carga superficial

Existen numerosas correlaciones que permiten calcular la carga orgánica superficial máxima para una laguna facultativa. El diseñador está en libertad de escoger la correlación a utilizar. Sin embargo debe corroborar los resultados con las siguientes fórmulas que han demostrado ampliamente su validez: Mc Garry, Pescod, Yañez, y Cubillos.

El diseñador debe adoptar una carga de diseño menor a la determinada anteriormente, en consideración a factores como:

- La forma de la laguna.
- La existencia de desechos industriales.
- El tipo de sistema de alcantarillado.

E.4.8.7.2 Tiempo de retención hidráulica

El tiempo de retención hidráulica para lagunas facultativas debe estar dentro de un rango de 5 a 30 días.

E.4.8.7.3 Profundidad

Para evitar el crecimiento de plantas acuáticas con raíces en el fondo, la profundidad de las lagunas debe estar por encima de 1.0 m. La profundidad varía entre 1.0 y 2.5 m.

El proyectista debe proveer una altura adicional para acumulación de lodos entre períodos de limpieza de alrededor de 10 años. Esta altura adicional es generalmente del orden de 0.3 m y debe ser determinada calculando la disminución del volumen por concepto de digestión anaerobia en el fondo.

E.4.8.7.4 Metodología de cálculo

Los criterios de diseño referentes a temperaturas y mortalidad de bacterias deben determinarse en forma experimental. Como alternativa, y en caso de no ser posible la experimentación, se pueden usar los siguientes criterios:

1. La temperatura de diseño es la promedio del mes más frío (temperatura del agua), a través de correlaciones de las temperaturas del aire - agua.
2. En donde no exista ningún dato se usará para diseño la temperatura del aire del mes más frío.
3. El coeficiente de mortalidad bacteriana (neto) será adoptado entre el intervalo de 0.8 a 1.6 (día^{-1}) para 20°C. Se recomienda un valor alrededor de 1.0 día^{-1} .

Para lagunas facultativas primarias deben determinarse los volúmenes de lodo acumulado teniendo en cuenta un 80% de remoción de sólidos en suspensión en el efluente, con una reducción del 50% de sólidos volátiles por digestión anaerobia, una densidad del lodo de 1.05 Kg/l y un contenido de sólidos del 10% en peso. Con estos datos debe determinarse la frecuencia de remoción de lodo en una instalación.

Para el diseño de lagunas facultativas que reciben el efluente de lagunas aireadas debe tenerse en cuenta las siguientes recomendaciones:

1. El balance de oxígeno en la laguna debe ser positivo, teniendo en cuenta: la producción de oxígeno por fotosíntesis, la reaeración superficial, la asimilación de los sólidos volátiles del afluente, la asimilación de la DBO soluble, el consumo por solubilización de sólidos en la digestión de lodos de fondo y el consumo neto de oxígeno de los sólidos anaerobios.
2. Deben determinarse los volúmenes de lodo acumulado a partir de la concentración de sólidos en suspensión en el efluente de la laguna aireada, con una reducción del 50% de sólidos volátiles por digestión anaerobia, una densidad del lodo de 1.03 Kg/l y un contenido de sólidos del 2% al peso. Con estos datos debe determinarse la frecuencia de remoción de lodo en la instalación.

El uso de una de las metodologías debe estar debidamente sustentado, con indicación de la forma en que se determina la concentración de DBO (total o soluble). En el uso de correlaciones de carga de DBO aplicada a DBO removida, debe tenerse en cuenta que la carga de DBO removida es la diferencia entre la DBO total del afluente y la DBO soluble del efluente. Para lagunas en serie debe tomarse en consideración que la laguna primaria no se torne anaerobia por exceso de carga orgánica.

E.4.8.7.5 Consideraciones hidráulicas

Deben tenerse en cuenta las mismas consideraciones hechas para lagunas anaerobias.

E.4.8.8 Lagunas de maduración

E.4.8.8.1 Carga superficial

Para la remoción de DBO debe usarse la siguiente ecuación :

$$C_{sr} = 0.941C_{sa} - 7.16 \quad (\text{E.4.30})$$

E.4.8.8.2 Tiempo de retención hidráulica

Para una adecuada remoción de nemátodos intestinales en un sistema de lagunas se requiere un período de retención nominal de 10 días como mínimo.

E.4.8.8.3 Profundidad

La profundidad puede variar entre 0.9 y 1.5 m.

E.4.8.8.4 Metodología de cálculo

Las lagunas de maduración deben dimensionarse para alcanzar la remoción bacteriana necesaria de acuerdo a los criterios de calidad exigidos. Debe tenerse en cuenta la remoción lograda en los sistemas de tratamiento que anteceden.

La reducción de bacterias en cualquier tipo de laguna debe ser determinada en términos de coliformes fecales, como indicadores. Para tal efecto, el diseñador debe usar el modelo de flujo disperso, con los coeficientes de mortalidad netos para los diferentes tipos de unidades.

El factor de dispersión para uso en el modelo de flujo disperso, puede ser determinado según la forma de la laguna. En función de la relación largo/ancho, se recomiendan los valores que aparecen en la tabla E.4.35

TABLA E.4.35
Factor de dispersión

| Relación largo/ancho | Factor de dispersión d |
|----------------------|------------------------|
| 1 | 1.00 |
| 2 | 0.50 |
| 4 | 0.25 |
| 8 | 0.12 |

El coeficiente de mortalidad neto puede ser corregido con la siguiente relación de dependencia de la temperatura:

$$K_T = K_{20} \cdot 1.07^{T-20} \quad (\text{E.4.30})$$

E.4.8.8.5 Consideraciones hidráulicas

Deben tenerse en cuenta las mismas consideraciones hechas para lagunas anaerobias.

E.4.8.9 Operación y mantenimiento

El diseñador debe entregar un manual de operación y mantenimiento detallado.

E.4.8.9.1 Recepción de la obra

En el momento que se realiza la entrega de la obra por parte del constructor, la contra parte de la entidad que la recibe debe estar constituida por la fiscalización y el personal de operación y mantenimiento.

En el momento de la recepción de la obra deben cumplirse los siguientes requisitos :

1. La construcción del emisario final e interceptores finales debe estar terminada para efectos de las pruebas de recepción de obra.
2. Ninguna de las lagunas puede entrar en operación inicial antes de haber pasado las correspondientes pruebas de estanqueidad, para lo cual se requiere que la pérdida de nivel diaria por efecto de infiltración (sin incluir evaporación) no sea mayor de 5 mm. Para el efecto es necesario llenar el sistema de lagunas comenzando por las unidades de menor cota de fondo. En caso de disponerse de desecho crudo, debe especificarse el tiempo de llenado de cada unidad. De otro modo será necesario bombear agua de otra fuente, lo cual puede requerir bombas de gran tamaño a fin de efectuar la operación en un tiempo aceptable.
3. La siembra de grama en los taludes de los diques debe realizarse después de las pruebas de estanqueidad, en vista que se requiere agua de la laguna para mantener irrigados los espacios verdes, pues de otro modo estos se secan y el trabajo tiene que realizarse de nuevo. Para esta labor es necesario que la bodega de la planta disponga de todas las herramientas de operación y mantenimiento.

4. Para el caso de laguna aireadas, la recepción provisional de los aireadores puede realizarse después que hayan pasado las respectivas pruebas de rendimiento, las mismas que deben efectuarse fuera de la instalación, en tanques de volumen reducido. Para el efecto deben detallarse los procedimientos que deben seguirse.
5. Los aireadores de tipo flotante pueden ser instalados en los cables de acero después de las pruebas de estanqueidad y con por lo menos la mitad de la altura de agua en la lagunas aireadas. En estas condiciones se procederá a efectuar las conexiones eléctricas y realizar las pruebas de arranque y parada de los aireadores y de los indicadores en la consola de control.
6. En el momento de la recepción de la obra deben tenerse los equipos necesarios :
 - Equipos de laboratorio, de modo que el personal del mismo está en capacidad de implementar de inmediato, las pruebas necesarias para la prueba en operación inicial de la planta.
 - Los vehículos necesarios.
 - Los vertederos de salida de las lagunas.
 - Los aparatos de medición de oxígeno disuelto para las lagunas aireadas.
7. Otras partes del proyecto que deben estar completas son:
 - Canales y tuberías de ingreso y salida de las lagunas, según pruebas en seco y húmedo.
 - Comprobación del nivel de vertederos de rebose y de salida, con una tolerancia de 1 mm.
 - Comprobación de la operación y cierre hermético de la compuertas.

E.4.8.9.2 Puesta en operación inicial

Antes de poner en operación inicial la planta de tratamiento, es necesario que los trabajos descritos en el numeral anterior se hayan cumplido además deben cumplirse las siguientes actividades:

1. Revisión del Manual de operación y mantenimiento. Deben introducirse los cambios incorporados durante la construcción.
2. Terminación de las pruebas de estanqueidad en las lagunas. En el caso de lagunas aireadas se requiere que los aireadores y la instalación eléctrica hayan sido probados. Debe procederse a introducir el agua residual cruda a las lagunas y recuperar los respectivos niveles de operación. Para lagunas aireadas la operación de los aireadores es continua desde el inicio.
3. En esta fase es recomendable ubicar al personal de operación en el sistema de llegada, ya que es muy probable que lleguen a la planta desechos de materiales de construcción del emisario final.
4. Para los **niveles medio alto y alto de complejidad**, el laboratorio debe estar equipado con el personal y reactivos necesarios para implementar como mínimo las siguientes pruebas:
 - DBO total y soluble
 - DQO total y soluble
 - Sólidos totales y totales volátiles
 - Sólidos en suspensión totales y volátiles
 - Nitrógeno amoniacal
 - Nitrógeno orgánico
 - Nitratos (para lagunas aireadas)
 - Oxígeno disuelto por los métodos electrométrico ó Winkler
 - Temperatura
 - pH

- Coliformes totales
 - Coliformes fecales
 - Parásitos
 - El laboratorio debe contar con formularios de registro de datos de los análisis
5. En la planta debe contarse con la siguiente documentación:
- Un juego de planos de construcción
 - Las especificaciones técnicas de construcción de los equipos
 - Una colección de fotografías de la fase constructiva
 - Los manuales de los fabricantes de los equipos y suficiente papel para los registradores del nivel del agua residual cruda y del efluente de las lagunas
 - Los formularios de registro de datos operacionales
 - Una colección de referencias técnicas de utilidad
6. Para la puesta en operación inicial deben instalarse y calibrar los registradores de nivel. Los registradores por seleccionarse son de simple instalación y calibración.

E.4.8.9.3 Operación de rutina de la planta

Los criterios para el control de los procesos de tratamiento deben ser los especificados en la siguiente tabla :

TABLA E.4.36
Parámetros de control de los procesos de tratamiento .

| Parámetro de control | Aireada | Facultativa | Maduración |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Observaciones básicas | R | R | R |
| Carga orgánica, kg DBO/ha/d kg DBO/m ³ /d | R | R | R |
| Carga de sólidos | R | R | |
| Balace hídrico | I | I | I |
| Profundidad de lodos | I | I | |
| Período de retención Nominal Real | R I | R I | R I |
| Perfiles horarios de : Oxígeno disuelto Temperatura pH Alcalinidad | C I | I I I I | I I I I |
| Fitoplancton | | I | I |
| Eficiencias de remoción Coliforme fecal DBO y DQO solubles DBO y DQO totales Nutrientes Formas de sólidos | R R R I I | R R R I I | R R R I I |

R: observaciones de rutina I: evaluación intensiva

C: medición de rutina

H: medición horaria

El programa de medición y muestreo se debe realizar con la siguiente tabla :

TABLA E.4.37
Programa de medición y pruebas en lagunas de estabilización

| PARAMETRO | Instalación | Agua residual cruda | Laguna aireada | | Facultativa | | Maduración | |
|-------------------------------|-------------|------------------------|----------------|-------|-------------|-------|------------|---------|
| | | | Lag. | Eflu. | Lag. | Eflu. | Lag. | Eflu. |
| A. Meteorológicos | | | | | | | | |
| Velocidad del viento | EM | | | | | | | |
| Dirección | EM | | | | | | | |
| Radiación solar | EM | | | | | | | |
| Temperatura del aire | EM | | | | | | | |
| Precipitación | EM | | | | | | | |
| Evaporación | EM | | | | | | | |
| B. Hidráulicos | | | | | | | | |
| Caudal medio | | RC | | RC | | RC | | RC |
| Caudal Máximo horario | | Cálculo | | Cálc. | | Cálc. | | Cálculo |
| Fluctuaciones de nivel | | RC | | RC | | RC | | RC |
| Factores físico químicos | | | | | | | | |
| Temperatura superficial | | EI | EI | EI | EI | EI | EI | EI |
| Perfil de temperatura | | | EI | | EI | | EI | |
| Color de la laguna | | | OB | | OB | | OB | |
| Olor | | | OB | | OB | | OB | |
| Natas y flotantes | | | OB | | OB | | OB | |
| Vegetación en los diques | | | OB | | OB | | OB | |
| Aceite y grasa | | | OB | | OB | | OB | |
| Penetración de luz | | | OB | | EI | | EI | |
| Conductividad | | | | DS | | | | |
| Sólidos sedimentables | DS | | | DS | | DS | | DS |
| Sólidos en suspensión | DS | | | DS | | DS | | DS |
| DQO total | DS | | | DS | | DS | | DS |
| DQO soluble | | | | DS | | DS | | DS |
| FACTORES QUIMICOS INORGANICOS | | | | | | | | |
| Oxígeno disuelto superficial | | DC | | EI | | EI | | |
| Perfil de oxígeno | | | | EI | | EI | | |
| pH | | | DH | | EI | | EI | |
| Alcalinidad | | | EI | | EI | | EI | |
| Calcio | EI | | | | | | EI | |
| Dureza total | EI | | | | | | EI | |
| Cloruros | DS | | | | | | DS | |
| Sulfatos | EI | | | | | | EI | |
| Salinidad | | | EI | | | | | |
| Nutrientes | | DM | | DM | | DM | | |
| DBO ₅ | | | | | | | | |
| DBO total | | DS | | DS | | | DS | |
| DBO soluble | | | DS | | | DS | | |

TABLA E.4.37 (CONTINUACIÓN)
Programa de medición y pruebas en lagunas de estabilización

| Parámetro | Instalación | Agua residual cruda | Laguna aireada | | Facultativa | | Maduración | |
|-----------------------------|-------------|------------------------|----------------|----|-------------|----|------------|----|
| | | | | | | | | |
| FACTORES MICROBIOLÓGICOS | | | | | | | | |
| Coliforme total | | DS | | DS | | DS | | |
| Coliforme fecal | | DS | | DS | | DS | | |
| Conteo de parásitos | | DM | | DM | | | | |
| Tasa de fotosíntesis | | | | | | | EI | EI |
| Mortalidad de coliformes | | EI | | EI | | EI | | |
| FACTORES MACROBIOLÓGICOS | | | | | | | | |
| Conteo de algas | | | EI | | EI | | EI | |
| Identificación de plantas | | DE | | DE | | DE | | |
| Identificación de insectos | | DE | | DE | | DE | | |

EM : Estación meteorológica
DS : Determinación semanal
DC : Determinación continua
DE : Determinación esporádica

RC : Registro continuo
OB : Observaciones básicas cualitativas
DH : Determinación horaria

EI : Evaluación intensiva
DM : Determinación mensual

E.4.9 DESINFECCIÓN

E.4.9.1 Generalidades

El proceso de desinfección debe realizarse en el efluente de plantas de tratamiento cuando éste último pueda crear peligros de salud en las comunidades aguas abajo de la descarga.

E.4.9.2 Tipos

El proceso de desinfección que se utilice debe seleccionarse después de la debida consideración de:

- Caudal de aguas residuales a tratar
- Calidad final deseada de desinfección
- Razón de aplicación y demanda
- El pH del agua que va a desinfectarse
- Costos del equipo y suministros
- Disponibilidad

E.4.9.2.1 Cloración

1. Equipos

En caso de que las exigencias del tratamiento lo indiquen se proveerá del equipo adecuado para clorar el efluente. Para el **nivel alto de complejidad** los cloradores deben ser de capacidad adecuada y tipo automático. Deben proveerse instalaciones adicionales automáticas para regular y registrar gráficamente el cloro residual. El sistema de cloración automática depende del cuerpo de agua receptor del efluente de la planta y será controlado por el caudal.

La capacidad requerida del clorador variará, dependiendo de los usos de los puntos de aplicación del desinfectante. Para desinfección, la capacidad debe ser adecuada para producir una concentración residual de cloro en el efluente de la planta medido por un método estándar, de manera que reduzca la concentración de coliformes viables y sea consistente con los valores especificados para el cuerpo de agua receptor.

Debe existir un equipo de reserva disponible, con suficiente capacidad para reemplazar la unidad de mayor tamaño durante paros por averías. Debe haber reemplazos disponibles para aquellas piezas sujetas a desgastes y rotura para todos los cloradores.

2. Dosis

Las dosis de cloro para desinfección normal de aguas residuales domésticas se encuentran en la tabla E.4.38.

TABLA E.4.38
Dosis de cloro para desinfección normal de aguas residuales domésticas

| Tratamiento | Dosis de cloro para diseño, mg/L |
|--|----------------------------------|
| Precloración | 20 - 25 |
| Agua residual no tratada, dependiendo de la edad | 6 - 15 fresca 12 - 30 séptica |
| Efluente primario | 8 - 20 |
| Efluente de filtro percolador | 3 - 15 |
| Efluente de lodos activados | 2 - 8 |
| Efluente de filtros de arena | 1 - 6 |

3. Punto de aplicación

El cloro debe poderse aplicar en dos etapas en caso de ser necesario: antes del tanque de sedimentación secundaria y después de éste.

4. Tiempo de contacto

El período de contacto en la cámara de cloración no será menor de 30 minutos con base en el caudal medio diario.

Después de una mezcla rápida sustancial debe proveerse un tiempo de contacto mínimo de quince minutos en el caudal máximo horario ó la razón máxima de bombeo.

5. Consideraciones hidráulicas

Equipo alimentador

- Debe haber disponible un suministro abundante de agua para la operación del clorador. Cuando la presión del agua en el clorador sea menor de 1.76 kg/cm², se requiere una bomba de refuerzo, debe proveerse equipo dual y cuando sea necesario, energía de reserva.

Tubería y conexiones

- Los sistemas de tubería deben ser tan simples como sea posible, seleccionados y manufacturados especialmente para el servicio de cloro, con un mínimo de juntas, y bien sujetados. Deben utilizarse el peso y espesor adecuados en las tuberías de hierro forjado ó acero cuando se use cloro seco ó en solución líquida ó gaseosa. Aun cantidades mínimas de agua, añadidas al cloro, causan corrosión en estos tipos de tubería..
- Tuberías para baja presión hechas de caucho endurecido, forradas de cauchos, de polietileno, cloruro de polivinilo (PVC) son apropiadas para cloro mojado. Todas las líneas diseñadas para manejar cloro seco deben ser protegidos de la entrada de agua ó aire húmedo.

Tanque de contacto

- El tanque de contacto de cloro debe ser construido de manera que reduzca al mínimo los cortocircuitos. Deben proveerse tabiques de direccionamiento de flujo con este fin. El desagüe debe estar provisto de válvula. El punto de descarga debe asegurar tratamiento adecuado al agua de desagüe, lo cual puede requerir bombeo. Deben proveerse unidades duales para el contacto de cloro. Se instalarán instalaciones de lavado para estas cámaras. La cámara de contacto se divide en dos secciones con el propósito de no suspender la operación mientras se limpie una de ellas.

Metodología de diseño

- Los cálculos para la selección de la capacidad del clorador se basan en una concentración mínima de cloro residual de dos partes por millón y por lo menos, tres veces la capacidad normal.

6. Operación y mantenimiento

Debe proveerse un manual de operación y mantenimiento que contemple los siguientes aspectos:

- Arranque.
- Control de la dosificación.
- Monitoreo del cloro residual en el efluente.
- Operación bajo diferentes condiciones hidráulicas.
- Programa de mantenimiento preventivo de los equipos dosificadores.
- Plan de contingencia en caso de fallar algún equipo.
- Medidas de seguridad necesarias para los operarios.

E.4.9.2.2 Ultravioleta

La irradiación ultravioleta es un proceso de desinfección, cuyas características fundamentales lo distinguen de los procesos de desinfección química (tales como cloración). La irradiación ultravioleta se logra por medio de la inducción de cambios fotobioquímicos con los microorganismos. Como mínimo, deben cumplirse dos condiciones para que una reacción fotobioquímica tenga lugar: 1) Radiación de suficiente energía para alterar los enlaces químicos y 2) Absorción de tal radiación por el organismo. En el diseño de instalaciones de medianas a grandes de rayos ultravioleta, se recomienda basar el diseño sobre las características específicas y relevantes del agua residual en el sitio. Se recomienda la realización ensayos piloto, particularmente si van a instalarse sistemas avanzados y no convencionales de rayos ultravioletas.

1. Equipos

El ingeniero está en libertad de seleccionar el equipo que más convenga a su diseño. Se recomiendan los siguientes: 1) lámparas de mercurio de baja presión, 2) sistemas ultravioletas horizontales, 3) sistemas ultravioletas verticales, 4) lámparas de mercurio de presión media, 5) sistemas de alta intensidad de baja presión.

2. Localización

Las lámparas deben localizarse en forma tal que el agua pase a través de ellas, para reducir el espesor líquido que debe atravesar la luz. Estas unidades deben localizarse en el canal efluente para eliminar la necesidad de un tanque o canal de contacto. Las lámparas, deben estar encerradas en una estructura para proteger el equipo eléctrico usado para suministro de energía.

3. Dosis : Las dosis de luces ultravioletas recomendadas aparecen en la tabla E .4.39.

TABLA E.4.39

Dosis típicas recomendadas para sistemas ultravioletas

| Microorganismos | Dosis requerida para inactivación en un 90%, mW·s/cm² |
|--------------------------------------|---|
| Bacteria <i>Aeromonas hydrophila</i> | 1.54 |
| Bacillus anthracis | 4.5 |
| <i>Bacillus anthracis</i> spores | 54.5 |
| <i>Bacillus subtilis</i> spores | 12 |
| <i>Capylobacter jejuni</i> | 1.05 |
| <i>Clostridium tetani</i> | 12 |
| <i>Coynebacterium dipheriae</i> | 3.4 |
| <i>Escherichia coli</i> | 1.33 |
| <i>Escherichia coli</i> | 3.2 |
| <i>Escherichia coli</i> | 3 |
| <i>Klebsiella terrigena</i> | 2.61 |
| <i>Legionella pneumophila</i> | 2.49 |
| <i>Legionella pneumophila</i> | 1 |
| <i>Legionella pneumophila</i> | 0.38 |
| <i>Micrococcus radiodurans</i> | 20.5 |
| <i>Mycobacterium tuberculosis</i> | 6 |
| <i>Pseudomonas aeruginosa</i> | 5.5 |
| <i>Pseudomonas aeruginosa</i> | 5.5 |
| <i>Salmonella enteris</i> | 4 |
| <i>Salmonella enteretidis</i> | 4 |
| <i>Salmonella paratyphi</i> | 3.2 |
| <i>Salmonella typhi</i> | 2.26 |
| <i>Salmonella typhi</i> | 2.1 |
| <i>Salmonella typhi</i> | 2.5 |
| <i>Salmonella typhimurium</i> | 8 |
| <i>Shigella dysenteriae</i> | 2.2 |
| <i>Shigella dysenteriae</i> | 0.885 |
| <i>Shigella dysenteriae</i> | 2.2 |
| <i>Shigella flexneri</i> | 1.7 |
| <i>Shigella paradysenteriae</i> | 1.7 |
| <i>Shigella sonnei</i> | 3 |
| <i>Staphylococcus aureus</i> | 5 |
| <i>Staphylococcus aureus</i> | 4.5 |
| <i>Streptococcus faecalis</i> | 4.4 |
| <i>Streptococcus pyogenes</i> | 2.2 |
| <i>Vibrio cholerae</i> | 0.651 |
| <i>Vibrio cholerae</i> | 3.4 |
| <i>Vibrio comma</i> | 6.5 |
| <i>Yersinia enterocolitica</i> | 1.07 |
| Viruses Coliphage | 3.6 |
| Coliphage MS-2 | 18.6 |
| F- specific bacteriophage | 6.9 |
| Hepatitis A | 7.3 |
| Hepatitis A | 3.7 |
| Influenza virus | 3.6 |
| Poliovirus | 7.5 |
| Poliovirus 1 | 5 |
| Poliovirus tipo 1 | 7.7 |
| Rotavirus | 11.3 |
| Rotavirus SA - 11 | 9.86 |

4. Consideraciones hidráulicas

Se recomienda dejar una distancia mínima de 2 m entre las estructuras de entrada o salida y las lámparas con el objeto de lograr un flujo uniforme. Si la cabeza disponible es suficiente, se recomienda utilizar una placa perforada para homogeneizar el flujo. Esta debe localizarse al menos 1.5 m en frente de la primera lámpara. La separación entre las lámparas debe estar entre 0.5 y 1.0 m ; entre la última lámpara y el mecanismo de control de nivel de aguas abajo debe conservarse una distancia de dos a tres veces la distancia entre lámparas.

6. Efectos de la turbiedad

Debido a que los sólidos suspendidos afectan la transmitancia del sistema de rayos ultravioleta e interfieren el proceso de desinfección, limitando su eficiencia, se recomienda un alto grado de filtración y en algunos casos, la coagulación de los sólidos coloidales para lograr eficiencias altas de desinfección. Otro efecto que puede afectar la eficiencia de las lámparas es la acumulación de material insoluble en la superficie de éstas. Para su eliminación, se debe limpiar con ácido diluido (pH aproximadamente entre 1 y 2) la superficie sucia. La selección del ácido depende de los requerimientos específicos del sitio. Para sistemas grandes se recomienda el uso de ácido fosfórico. Además, se recomienda la introducción de burbujas de aire en la base del canal durante periodos cortos, pero frecuentemente (10 minutos por día) para disminuir la acumulación de material en la superficie de las lámparas.

E.4.10 MANEJO DE LODOS

E.4.10.1 Generalidades

Todos los **niveles de complejidad** deben contemplar el manejo de lodos en su sistema de tratamiento de aguas residuales. Para esto, deben presentarse balances de masa de los procesos con los trenes de tratamiento de agua y lodos. Los efluentes líquidos del tren de lodos deben integrarse en los balances de masa del tren líquido. Además deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones :

- No deben descargarse dichos efluentes a cuerpos de agua superficiales o subterráneos.
- Los lodos primarios deben estabilizarse.
- Se debe establecer un programa de control de olores.
- Se debe establecer un programa de control de vectores.

E.4.10.2 Caracterización

Se debe hacer una caracterización de los siguientes parámetros en los lodos :

- Sólidos suspendidos.
- Sólidos totales.
- Nitrógeno total Kjeldahl.
- Fósforo
- Metales (para el **nivel alto de complejidad**, Cromo, Plomo, Mercurio, Cadmio, Níquel, Cobre y Zinc)

E.4.10.3 Generación

El diseño de las instalaciones para el manejo de lodos debe hacerse teniendo en cuenta las posibles variaciones en la cantidad de sólidos que entren diariamente a la planta. Para esto se deben considerar las tasas máxima y promedio de variación en la producción de lodos y la capacidad de almacenamiento potencial de las unidades de tratamiento de la planta.

En la siguiente tabla se presentan producciones típicas de lodos para diferentes tipos de tratamiento:

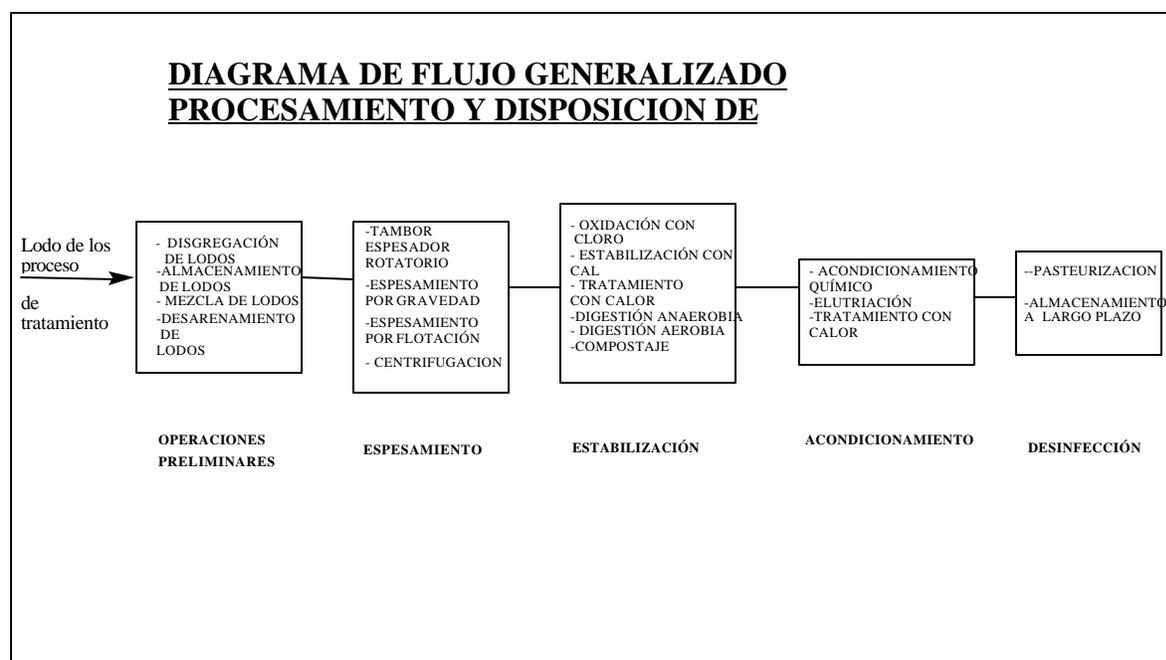
TABLA E.4.40
Generación típica de lodos por tratamiento

| Proceso de tratamiento | Sólidos secos, g/10 ³ Litros de agua residual tratada | |
|--|--|-----------------|
| | Rango | Típico |
| Sedimentación primaria | 108-168 | 150 |
| Lodos Activados (Lodo de desecho) | 72-96 | 84 |
| Filtros percoladores (Lodo de desecho) | 60-96 | 72 |
| Aireación extendida (Lodo de desecho) | 84-120 | 96 ^a |
| Lagunas Aireadas (Lodo de desecho) | 84-120 | 96 ^a |
| Filtración | 12-24 | 18 |

^a Suponiendo que no hay tratamiento primario

E.4.10.4 Diagramas de flujo

A continuación se presenta el diagrama de flujo correspondiente :



E.4.10.5 Espesadores por gravedad

El diseñador debe tener en cuenta los siguientes factores importantes en el diseño de espesadores por gravedad: 1) fuente y características de los lodos, 2) naturaleza y extensión de la floculación. Incluyendo floculación inducida por aditivos químicos, 3) sólidos suspendidos en el caudal de la coagulación-floculación a espesar y el impacto de la recirculación de finos sobre el desarrollo de la planta, 4) carga de sólidos, 5) tiempo de retención de los sólidos en la zona de espesamiento o lecho de lodos, 6) profundidad del manto de lodos, 7) tiempo de retención hidráulica y tasa de carga superficial, 8) Tasa de extracción de lodo, 9) Forma del tanque, incluyendo pendiente del fondo, 9) disposición física de la alimentación y de la tubería de entrada y 10) disposición de la tubería de sacado de lodos y velocidades locales alrededor de esta. Además, se recomienda el uso de espesadores circulares para el proceso. En caso de que el diseñador opte por una solución diferente debe justificar su diseño.

1. Consideraciones hidráulicas

La entrada al espesador debe diseñarse de modo que se minimice la turbulencia. El diseñador está en libertad para ubicar esta estructura, siempre y cuando cumpla esta condición

2. Tasa de desbordamiento superficial

En la tabla E.4.41 aparecen los valores de TDS que recomiendan

TABLA E.4.41
Tasas de desbordamiento superficial recomendadas

| Tipo de lodo | Tasa de desbordamiento superficial (m ³ /m ² /d) |
|--|--|
| Primario | 33 |
| Primario y activado de desecho | 33 |
| Activado de desecho | 33 |
| Primario y activado de desecho tratado con calor | 16 |

3. Tasa de carga másica (TCM)

La carga másica de diseño debe encontrarse por ensayos de laboratorio cuando esto sea posible. En la tabla E.4.42 aparecen los valores de TCM que se recomiendan.

TABLA E.4.42
Tasas de carga másica recomendadas

| Tipo de lodo | Carga másica (kg./m ² d) |
|--|-------------------------------------|
| Lodos separados | |
| <i>Primario (PRI)</i> | 100 – 150 |
| <i>Filtros percoladores (FP)</i> | 40 – 50 |
| <i>Biodiscos (B)</i> | 35 – 50 |
| <i>Lodos activados de desecho (LAD)</i> | |
| <i>LAD – aire</i> | 20 – 40 |
| <i>LAD – oxígeno</i> | 20 – 40 |
| <i>LAD – aireación extendida</i> | 25 – 40 |
| <i>Lodos digeridos anaerobiamente provenientes del digester primario</i> | 120 |
| Lodos Térmicamente acondicionados | |
| <i>PRI solamente</i> | 200 - 250 |
| <i>PRI + LAD</i> | 150 – 200 |
| <i>LAD solamente</i> | 100 - 150 |

4. Altura

Se recomiendan alturas entre 2 y 5 m para los espesadores circulares.

5. Almacenamiento de lodo

Se recomienda dejar profundidades del manto de lodos entre 1 y 2 m, medida esta profundidad en la pared del digester. En la mayoría de los casos, se recomienda que el manto de lodos se mantenga a una altura un poco por debajo de la parte inferior del alimentador.

6. Disposición del sobrenadante

Este debe recircularse a la entrada de la planta y su efecto debe considerarse en el diseño global.

7. Control de olores

Para minimizar problemas de olores, se recomienda que el espesador se coloque donde pueda recibir frecuente atención operacional, pero suficientemente lejos de los límites de la planta para evitar acercamientos casuales. Se recomienda una distancia de amortiguamiento de 300 m. Cuando existan impactos ambientales por olores se deben cubrir los espesadores y el gas se debe recoger y tratarlo adecuadamente.

8. Operación y mantenimiento

Se debe llevar un manual de operación y mantenimiento que contemple los siguientes aspectos:

- Control de los lodos influentes.
- Arranque.
- Programa de muestreos.
- Control de olores.
- Monitoreo del efluente.
- Programa de mantenimiento preventivo.
- Operación bajo diferentes condiciones de carga.
- Operación bajo caudales mínimo y máximo.

En el Anexo E se presenta una metodología de operación y mantenimiento para este tipo de sistemas.

E.4.10.6 Digestión de lodos

La digestión es un proceso bioquímico complejo en el cual varios grupos de organismos anaerobios y facultativos asimilan y destruyen simultáneamente la materia orgánica.

Existen cuatro tipos de digestión de lodos :

- Digestión de tasa estándar
- Digestión de alta tasa
- Digestión en dos etapas
- Procesos anaerobios de contacto

E.4.10.6.1 Generalidades

Se requiere el uso de tanques múltiples. Deben tomarse medidas de almacenamiento de lodo y separar el sobrenadante en una unidad adicional, en los casos en que sea necesario, dependiendo de la concentración de los lodos crudos y los métodos de disposición de lodo sobrenadante.

La proporción de la profundidad al diámetro del tanque debe ser tal que permita la formación de una profundidad razonable de líquido sobrenadante.

E.4.10.6.2 Procedimiento de cálculo

La capacidad total del tanque de digestión debe determinarse mediante cálculos basados en un modelo matemático, que debe incluir los siguientes factores:

- Tiempo de retención del lodo en el tanque.
- Concentración de lodos.
- Porcentaje y naturaleza de sólidos.
- Temperatura por mantener en las digestiones.
- Grado de mezcla deseado.
- Grado de reducción de sólidos volátiles requerido.
- Tamaño de la instalación con provisiones adecuadas para el almacenamiento de lodos y espuma.

Los cálculos deben justificar el criterio de diseño. Los coeficientes cinéticos se determinarán a través de exámenes de laboratorio, o con base en experiencias comprobadamente exitosas.

E.4.10.6.3 Tasa de carga volumétrica

Las cargas de sólidos recomendadas para digestores de tasa estándar van de 0.5 a 1.6 kg/m³/día de sólidos volátiles.

Para digestores de alta tasa, la tasa de carga de 1.6 a 4.8 kg/m³/día de sólidos volátiles y períodos retención de 10 a 20 días son usuales.

Los efectos de la concentración de lodos y el tiempo de retención hidráulica en el factor de carga de sólidos volátiles se encuentra en la siguiente tabla, los factores de carga son basados en el 75% de contenido volátil de lodo y una gravedad específica de 1.02, sin tener en cuenta la concentración.

TABLA E.4.43

Efectos de la concentración de lodos y tiempo de retención hidráulica en el factor de carga de sólidos volátiles

| Concentración de lodos % | Factor de carga de sólidos volátiles, kg/m ³ /d | | | |
|--------------------------|--|------|------|------|
| | 10 d ^a | 12 d | 15 d | 20 d |
| 4 | 3.04 | 2.56 | 2.08 | 1.60 |
| 5 | 3.84 | 3.20 | 2.56 | 1.92 |
| 6 | 4.49 | 3.84 | 3.04 | 2.24 |
| 7 | 5.29 | 4.49 | 3.52 | 2.72 |
| 8 | 6.09 | 5.13 | 4.00 | 3.04 |
| 9 | 6.89 | 5.77 | 4.65 | 3.36 |
| 10 | 7.69 | 6.41 | 5.13 | 3.84 |

^a Tiempo de retención hidráulico

E.4.10.6.4 Volumen del tanque

Los rangos de tiempos de retención típicos son de 10 a 20 días para digestores de alta tasa y 30 a 60 días para digestores de tasa estándar. Estos tiempos de retención se deben usar para diseños basados en el volumen total del tanque más el volumen de lodo almacenado.

Los volúmenes unitarios típicos para digestores anaerobios aparecen en la siguiente tabla. Estos requerimientos propios de tanques con calentamiento a rangos mesofílicos.

TABLA E.4.44

Volúmenes típicos unitarios de digestores de lodos anaerobios mesofílicos (35°c)

| Parámetro | Digestión de tasa estándar | Digestión de alta tasa |
|--|---|------------------------|
| | Criterio de volumen, m ³ /hab. | |
| Lodo primario | 0.057 - 0.085 | 0.037 - 0.057 |
| Lodo primario más humus de filtros percoladores | 0.113 - 0.142 | 0.074 - 0.093 |
| Lodo primario más lodo activado | 0.113 - 0.170 | 0.074 - 0.113 |
| Primario combinado más desecho biológico | | |
| Concentración de lodo alimentado, porcentaje de sólidos (con base seca) | 0.057 - 0.113 | 0.113 - 0.170 |
| Concentración debajo del flujo del digestor, porcentaje de sólidos (con base seca) | 0.113 - 0.170 | 0.113 - 0.170 |

E.4.10.6.5 Mezcla

La mezcla correcta es una de las consideraciones más importantes en el óptimo desarrollo del proceso.

Deben proveerse varios puntos de remoción y retorno para mejorar la flexibilidad del proceso y la efectividad del mezclado. Los retornos para ayudar a romper las espumas deben descargar sobre el nivel

del líquido y estar localizados cerca del centro del tanque. La salida o descarga se hace por el fondo del tanque.

Las tasas de carga de lodos mayores de $4.0 \text{ kg/m}^3/\text{d}$ pueden ser críticas para el funcionamiento correcto del digestor.

1. Tipos

Los tipos de sistemas de mezclado del contenido de digestores involucran el uso de

- Sistema no confinado de inyección de gas
- Sistema confinado de inyección de gas
- Sistemas de agitación mecánica
- Bombeo mecánico

2. Potencia

La unidad de potencia se define como la potencia del motor del equipo de mezclado en kW, dividida por el volumen del digestor, en m^3 .

En los sistemas de agitación mecánica se requerirán de 0.005 a 0.008 kW/m^3 de volumen de digestor.

3. Caudal de gas para mezcla

El caudal unitario de gas se define como la cantidad de gas suministrada por el sistema de inyección de gas, en m^3/min , dividido por el volumen de gas del digestor, en m^3 , $\text{m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{min}$.

En los sistemas no confinados de inyección de gas se recomienda un suministro de 0.0045 a $0.0050 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{-min}$.

En los sistemas confinados de inyección de gas se recomienda un suministro de 0.0050 a $0.007 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{-min}$.

4. Gradiente de velocidad

El gradiente de velocidad se define como la raíz cuadrada de la relación de la potencia usada por unidad de volumen dividida por la viscosidad absoluta del lodo, G, s^{-1} .

Para todos los sistemas de mezclado se recomienda un gradiente entre 50 y 80 s^{-1} .

5. Tiempo de agitación

El tiempo de agitación está dado por la relación entre el volumen del digestor dividido por el caudal de lodo, min.

Para sistemas de mezclado de gas confinado y sistemas mecánicos el tiempo de agitación debe estar entre 20 y 30 min.

6. Calentamiento

Los requerimientos de calor del digestor deben elevar el lodo entrante hasta la temperatura del tanque de digestión, compensar las pérdidas de calor a través de paredes, piso y techo del digestor y reponer las pérdidas que pueden ocurrir en la tubería, entre la fuente de calor y el tanque.

El lodo del tanque digestor se calienta por bombeo del lodo y el sobrenadante a través de intercambiadores de calor externo, detrás del tanque, o por intercambiadores de calor internos.

Tipos

Los sistemas de calentamiento se clasifican en externos e internos. Entre otros se tienen:

- Intercambiador de calor externo
- Intercambiador de calor en baño caliente
- Intercambiador de calor de placa espiral

Requerimientos

En el cálculo de la energía requerida para calentar el lodo entrante a la temperatura del digestor, se asume que el calor específico de los lodos es esencialmente el mismo que el del agua.

La pérdida de calor a través de los costados del digestor, cumbre y fondo se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$Q_w = U \cdot A_t \cdot \Delta T \quad (\text{E.4.31})$$

En la tabla siguiente se presentan valores típicos de coeficientes globales de transferencia de calor para el cálculo de pérdidas de calor en digestores.

TABLA E.4.45
Valores típicos de coeficientes globales de transferencia de calor .

| Item | Coficiente global de transferencia U, W/m ² ·°C |
|---|--|
| <i>Paredes de concreto liso (superficiales)</i> | |
| 304 mm de espesor, no aislada | 4.71 - 5.11 |
| 304 mm de espesor con espacio de aire más frente en ladrillo | 1.82 - 2.38 |
| 304 mm de espesor pared aislada | 0.62 - 0.79 |
| <i>Paredes de concreto liso (subterráneos)</i> | |
| Cercadas por tierra seca | 0.57 - 0.68 |
| Cercadas por tierra húmeda | 1.08 - 1.42 |
| <i>Piso de concreto liso</i> | |
| 304 mm de espesor, en contacto con tierra húmeda | 0.57 - 0.68 |
| 304 mm de espesor, en contacto con tierra seca | 0.28 - 0.40 |
| <i>Cubierta flotante</i> | |
| Con 38.1 mm cubierta en madera, con techo construido, no aislado | 1.82 - 1.99 |
| Con 38.1 mm de tabla aislante instalada sobre el techo | 0.91 - 1.02 |
| <i>Cubierta fija en concreto</i> | |
| 101.6 mm de espesor y cubierta con techo construido, no aislado | 3.97 - 4.99 |
| 101.6 mm de espesor y cubierta, solamente aislada con 25.4 mm de tabla aislante | 1.19 - 1.59 |
| 228.6 mm de espesor, no aislada | 3.01 - 3.57 |
| <i>Cubierta fija en acero (6.35 mm de espesor)</i> | 3.97 - 5.39 |

7. Recolección de gases, tuberías y accesorios

Todas las partes del sistema de gases incluidos el espacio sobre el líquido en el tanque, instalaciones de almacenaje y tubería, deben ser diseñados para que el gas pueda ser mantenido a presión en condiciones de operación normal, incluyendo disposición de lodos,. Todas las áreas cerradas donde pueda ocurrir alguna filtración de gas deben ser ventiladas adecuadamente.

Equipo de seguridad

Debe proveerse todo el equipo de seguridad necesario en los lugares donde hay producción de gases. Son esenciales las válvulas de seguridad para desahogo de presión y vacío así como arrestallamas junto con válvulas automáticas de cierre. El equipo de sellado de agua no debe instalarse. Todo equipo de seguridad y compresores de gas deben ubicarse en áreas separadas con acceso por el exterior.

Tubería de gas y condensado

La tubería de gas debe tener diámetro adecuado y debe estar inclinada hacia las trampas de condensación en los puntos bajos. No se permite uso de trampas condensadoras con control de boya.

Equipo de utilización de gas

Las calderas de gas combustible deben estar localizadas a nivel de piso y en cuarto separado y ventilado. Las líneas de gas que van hacia estas unidades deben ser provistas con arrestallamas adecuado.

Instrumentos eléctricos

Debe evitarse la localización de los instrumentos y controles eléctricos en lugares cerrados donde pueda haber acumulación de gases. Las galerías del digestor deben estar aisladas del resto de las áreas normales de operación.

Gases residuales

Los quemadores de gases residuales deben ser accesibles y deben estar localizados por lo menos a 7.50 m de cualquier estructura de la planta, si se encuentran a nivel del piso, o pueden estar localizados en la azotea de la caseta de control, si esta se encuentra suficientemente retirada del tanque.

En sitios remotos puede permitirse el descargue del gas a la atmósfera a través de un codo de retorno enrejillado que termine por lo menos a 3.00 m de la superficie destinada para caminar, siempre y cuando se provea con arrestallamas.

Ventilación

Cualquier espacio subterráneo que conecte los tanques de digestión que contengan lodo, tubería de gas o equipo, debe ser provisto con ventilación forzada. Las puertas de cierre automático deben proveerse de túneles conectores para reducir al mínimo el escape de los gases.

Contador

Debe instalarse un contador de gas con paso directo para medir la producción total de biogás producido.

8. Sobrenadante

- Tamaño de la tubería: La tubería para la salida del sobrenadante no debe ser menor de 168 mm (6 pulgadas) de diámetro.
- Niveles de remoción: La tubería debe localizarse de modo que la remoción pueda hacerse desde tres (3) ó más niveles en el tanque. Debe instalarse un desfogue ventilado sin válvulas.
- Selección de remoción: En tanques de cubierta fija, el nivel de salida del sobrenadante debe seleccionarse preferiblemente por medio de válvulas de extensión intercambiables, colocadas al final de la tubería de descarga.
- Selector del sobrenadante: Si se provee un selector del sobrenadante se dispondrá por lo menos de otro nivel de descarga, localizado en la zona de sobrenadante del tanque, además del tubo sin válvula para descarga de emergencia.
- Limpieza : Deben darse instalaciones de limpieza con agua de alta presión.
- Muestras : Deben proveerse facilidades para tomar muestras en cada nivel de descarga del sobrenadante. Los tubos para muestras no deben ser menores de 38 mm (1.5 pulgadas) de diámetro.
- Disposición del sobrenadante : Debe ser recirculado a la entrada de la planta. También debe considerarse condicionar el sobrenadante cuando sea necesario, en relación con su efecto en el funcionamiento de la planta y la calidad del efluente.

9. Operación y mantenimiento

Para facilitar el vaciado, limpieza y mantenimiento se recomienda lo siguiente:

El fondo del tanque debe estar inclinado para drenar hacia la línea de retiro. Para tanques equipados con mecanismo de succión, para ayudar a la remoción del lodo, se recomienda una pendiente no menor de 1:12. Para aquellos en que la remoción se efectúa por gravedad, la pendiente mínima es 1:14.

Deben proveerse por lo menos dos registros de acceso de 90 cm en la cubierta del tanque, además de la bóveda de gas. Debe instalarse una escalera para llegar a los registros de acceso. También debe instalarse un registro adicional de pared, con abertura suficiente para permitir el uso del equipo mecánico para la remoción de arena.

E.4.10.7 Lechos de secado de lodos

E.4.10.7.1 Generalidades

Los lechos de secado son dispositivos que eliminan una cantidad de agua suficiente de los lodos para el que el resto pueda manejarse como material sólido, con un contenido de humedad inferior al 70 %.

La operación de un lecho de secado de arena es una función de:

- La concentración de sólidos del lodo aplicado
- Profundidad del lodo aplicado
- Pérdidas de agua a través del sistema de drenaje
- Grado y tipo de digestión suministrada
- Tasa de evaporación (la cual es afectada por muchos factores ambientales)
- Tipo de método de remoción usado, y
- Método de disposición última utilizado

E.4.10.7.2 Geometría

Un lecho de secado típico debe ser diseñado para retener en una o más secciones, el volumen total de lodo removido del digestor. Los elementos estructurales del lecho incluyen los muros laterales, tuberías de drenaje, capas de arena y grava, divisiones o tabiques, decantadores, canales de distribución de lodo y muros.

Los muros laterales deben tener un borde libre entre 0.5 y 0.9 m por encima de la arena. Debe asegurarse que no existan filtraciones laterales a través de los muros separadores. En la tabla E.4.46 aparecen los valores de área requerida en m² por habitante según el tipo de lodo que se deben usar.

TABLA E.4.46

Área requerida según la fuente del lodo y el cubrimiento del lecho

| Fuente de lodo inicial | Área (m ² /cap) (lecho sin cobertura) | Área (m ² /cap) (lecho con cobertura) |
|--|--|--|
| Primario | 0.07 – 0.14 | 0.05 – 0.09 |
| Primario mas químicos | 0.14 – 0.23 | 0.09 – 0.173 |
| Primario mas filtros percoladores de baja tasa | 0.12 – 0.17 | 0.086 – 0.145 |
| Primario mas lodos activados de desecho | 0.16 – 0.51 | 0.094 – 0.156 |

E.4.10.7.3 Drenajes

1. Medios

Se recomienda utilizar como medios de drenaje capas de grava y de arena.

2. Espesores

Se recomienda que la capa de grava tenga un espesor entre 200 y 460 mm. y la capa de arena un espesor entre 300 y 460 mm.

3. Granulometrías

Las partículas de grava deben presentar un diámetro entre 3 y 25 mm. La arena debe presentar las siguientes especificaciones: 1) partículas limpias, duras, durables y libres de arcilla, polvo, ceniza u otro material extraño 2) el coeficiente de uniformidad debe estar entre 3.5 y 4.0, 3) el tamaño efectivo de los granos de arena debe estar entre 0.3 y 0.75 mm.

En algunos casos, en vez de arena se puede usar antracita o grava fina con tamaño efectivo de 0.4 mm.

4. Recolección de percolados

La recolección de percolados se efectuará a través de tuberías de drenaje de plástico o de teja de arcilla vitrificada con junta abierta. La tuberías de drenaje principal deben tener no menos de 100 milímetros de diámetro y una pendiente no menor a 1%; deben espaciarse entre 2.5 y 6 m y debe tenerse en cuenta el tipo de remoción de lodo que se emplee. Se localizarán por debajo de la capa de grava con no menos de 150 mm de este material por encima de ellas. Se recomienda que los canales laterales de alimentación de las tuberías principales tengan un espaciamiento entre 2.5 y 3 m. En los casos en que la infiltración sea un peligro para las aguas subterráneas, debe sellarse el fondo del lecho con un bitumen u otra membrana impermeable. El área situada alrededor de las tejas de drenaje debe rellenarse con grava.

5. Tasa másica de carga superficial

En la tabla E.4.47 aparecen los valores de tasa de carga superficial que se deben usar.

TABLA 4.47
Valores de tasa de carga másica

| Fuente inicial de lodos | Tasa de carga superficial (kg/(m ² año)) |
|--|---|
| Primario | 134 |
| Primario mas químicos | 110 |
| Primario mas filtros percoladores de baja tasa | 110 |
| Primario mas lodos activados de desecho | 73 |

6. Necesidad de Cobertura

La cubierta proporciona un techo al lecho de arena. La necesidad de utilizarla depende de las condiciones ambientales de la zona. Su uso se recomienda en zonas de alta precipitación. Sin embargo, el diseñador estará en libertad para decidir si se coloca o no cobertura al lecho. En condiciones climatológicas favorables, la evaporación es más rápida en los lechos descubiertos que en los cubiertos. En los cubiertos es conveniente mantener las ventilaciones cerradas durante la etapa de escurrimiento, para mantener la temperatura, y abrirlas durante la etapa de evaporación para que se renueve el aire.

7. Operación y mantenimiento

Se debe tener un manual de operación y mantenimiento que contemple los siguientes aspectos :

- Control de olores.
- Control del lodo influente.
- Control de las dosificaciones.
- Operación bajo condiciones de carga mínima y máxima.
- Operación bajo condiciones de caudal mínimo y caudal máximo.
- Programa de inspección periódico.

- Control de insectos y crecimiento de plantas.
- Manejo de la torta de lodos seca.
- Programa de muestreos y control de muestras en el laboratorio.

En el Anexo E se presenta una metodología para la operación y mantenimiento de lechos de secado de lodos.

CAPITULO E.5

E.5. EMISARIOS SUBMARINOS

Los emisarios submarinos son tuberías instaladas sobre el lecho marino las cuales transportan aguas residuales domésticas hasta una profundidad y distancia de la costa tal, que la carga orgánica y contaminante resultante de su vertimiento no debe provocar daños sanitarios y/o ecológicos a los ecosistemas marinos y terrestres, ni a las poblaciones costeras circundantes, ni a las playas de recreación pública, ni a la industria pesquera

E.5.1 ALCANCE

En este capítulo se establece el procedimiento que debe seguirse y los criterios básicos que deben tenerse en cuenta para la implantación de un emisario submarino de aguas residuales en las costas de la República de Colombia. Se establecen las mediciones necesarias, el programa de muestreo de calidad de agua que debe realizarse, los estudios necesarios y algunos aspectos de diseño y construcción que deben ser atendidos por los consultores que estén realizando el diseño y/o la construcción de este tipo de obras.

Las prescripciones establecidas en el presente capítulo deben aplicarse a los cuatro **niveles de complejidad del sistema** a menos que se especifique lo contrario.

E.5.2 ESTUDIOS PREVIOS

Se deben hacer los siguientes estudios previos antes de proyectar un emisario submarino: Caracterización de las aguas residuales con el fin de establecer el tipo de tratamiento primario que es necesario efectuar antes del vertimiento. Como mínimo, se debe efectuar un cribado con rejillas para separar objetos flotantes no biodegradables que puedan regresar a las playas. Hidrografía y batimetría del área de vertimiento. Estudio estadístico de las corrientes oceánicas y su correlación con la velocidad y la dirección del viento por lo menos cada hora, las mareas y los ecosistemas existentes. Determinación del tiempo t_{90} o sea el necesario para la desaparición del 90% de los coliformes, en horas. Estudios de la geología del fondo marino con el fin de determinar la mejor ruta de instalación de la tubería del emisario, evitando al máximo formaciones de rocas irregulares y formaciones corales, de ser posible. Se debe buscar una profundidad tal en el vertimiento que garantice una dilución de 1:100 como mínimo.

E.5.3 MEDICIONES NECESARIAS

Para el diseño de emisarios submarinos se deben realizar las siguientes mediciones:

E.5.3.1 Medición de corrientes

Se recomienda instalar correntógrafos con registros incorporados para medir continuamente la velocidad y dirección de las corrientes a tres metros de la superficie y a dos metros del fondo, en la ubicación más probable de la descarga del emisario submarino y otras ubicaciones, que dependen de la circulación marina del área y de la cercanía a las playas que se pretenden proteger. Estos correntógrafos se deben instalar durante dos o tres meses en la época lluviosa y dos o tres meses en la época seca.

En caso que no se disponga de correntógrafos continuos, como alternativa mínima se recomienda utilizar correntógrafos de medición instantánea, tomando mediciones cada 15 min. durante periodos extendidos. Se deben hacer observaciones diarias desde embarcaciones durante varias semanas en cada época. Estas se deben combinar con estudios de flotadores superficiales y subsuperficiales lanzados periódicamente en las estaciones de medición de corrientes. La posición de los flotadores se debe registrar cada hora, por un periodo de uno a cinco días dependiendo de las características del área de

estudio, a través de observaciones visuales de una embarcación a través de alineamientos en tierra y/o radar.

Se deben analizar los datos de corrientes con técnicas armónicas o de filtración.

E.5.3.2 Medición de t_{90}

t_{90} es el tiempo necesario para la desaparición del 90% de los coliformes, en horas. Su medición se puede hacer de varias formas, a continuación se recomiendan tres de estas:

1. Medición in situ en mancha artificial.
2. Medición in situ en mancha existente.
3. Medición en botellones.

E.5.3.3 Programa de muestreo de calidad de agua

Se deben efectuar campañas de monitoreo a fin de determinar una línea de base de calidad de agua en la zona de posible emplazamiento de una descarga que sirva como referencia para evaluar el desempeño de cualquier sistema de emisario submarino posterior a su construcción. Se deben incluir la toma de muestras en estaciones ubicadas estratégicamente desde el área de descarga hasta 300 m aguas afuera de las playas mas cercanas con un elevado uso para recreación.

En el caso de mar abierto, los parámetros de medición deben ser los siguientes :

1. Temperatura (perfil vertical)
2. Salinidad (perfil vertical)
3. Coliformes Totales y/o fecales (perfil vertical)
4. Oxígeno Disuelto, preferentemente en la superficie, a media profundidad y sobre el fondo.
5. pH, preferentemente en la superficie, a media profundidad y sobre el fondo.
6. Disco Sechhi.
7. Sólidos suspendidos.
8. Grasas y aceites.

La frecuencia de medición depende de las condiciones locales, pero en general se recomienda dos o tres veces durante distintas épocas (por ejemplo, épocas lluviosas, y seca).

Para sistemas sin tratamiento o únicamente con pretratamiento se recomienda una evaluación para identificar y cuantificar los organismos de fondo para asesorar el posible impacto de la sedimentación de las partículas de la descarga.

Este programa se debe combinar con mediciones de la cantidad y calidad de aguas servidas. También se recomienda incluir mediciones de la cantidad y calidad de la escorrentía del área de estudio.

Además de lo anterior se debe efectuar un programa rutinario de vigilancia de la calidad bacterial del agua en las principales playas, para coliformes totales y fecales u otro indicador. Se recomienda una frecuencia de medición de cinco veces al mes.

Cuando exista la posibilidad de eutroficación, los parámetros secundarios adicionales de medición deben ser :

1. Serie de Nitrógeno (N- orgánico, NH_4 , NO_2 , NO_3), preferentemente en la superficie, a media profundidad y sobre el fondo.
2. Fósforo total y orto-fosfatos.
3. Sílice
4. Clorofila 'a' (zona eufótica).

5. Demanda Bioquímica de Oxígeno.

E.5.4 ESTUDIOS NECESARIOS

E.5.4.1 ESTUDIOS METEOROLÓGICOS

Además de la medición de corrientes se debe registrar la velocidad y la dirección del viento cada hora a fin de correlacionar estos fenómenos.

E.5.4.2 ESTUDIOS BATIMÉTRICOS Y GEOLÓGICOS

Se debe estudiar la geología del fondo a través de sonidos de sonar y buzos a fin de determinar la mejor ruta, evitando, al máximo, formaciones de rocas irregulares, y formaciones corales si fuese posible. Se debe recolectar la información detallada de la batimetría a lo largo de la ruta propuesta para el diseño.

E.5.5 MODELO DE DISPERSIÓN DE LA EMISIÓN

En el **nivel alto de complejidad** se debe implementar un modelo matemático de dispersión con el fin de, primero, asegurar que se logren las calidades ambientales estipuladas en el Decreto 1594 o aquel que lo sustituya y segundo, prevenir los posibles impactos que se puedan generar por la emisión.

Dependiendo de los resultados de la caracterización del agua residual y del cuerpo de agua receptor se deben escoger los parámetros a modelar.

Se deben realizar simulaciones bajo diferentes escenarios de localización de los difusores, para ubicar estos últimos en el sitio donde se genere el menor impacto contra el medio ambiente.

E.5.6 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

El diseño deben establecer sus dimensiones: longitud, diámetro, ubicación y profundidad de descarga. Asimismo se debe tener completo el diseño hidráulico del difusor.

En el diseño final estructural se deben especificar los materiales de tubería y las técnicas de construcción y requerimientos para sostener la tubería en el fondo.

La fase final del proyecto debe ser una información detallada de la magnitud de las olas.

El sistema de instalación debe garantizar la estanqueidad de las juntas y el anclaje seguro de la tubería en el fondo. El difusor debe quedar instalado de tal forma que garantice el grado dilución esperado.

E.5.7 TRATAMIENTO PRIMARIO PREVIO AL VERTIMIENTO CON EMISARIOS SUBMARINOS

Se debe diseñar, construir y operar una planta de tratamiento primario de aguas residuales que garantice una eficiencia de remoción de la DBO_5 como mínimo del 60%.

CAPITULO E.6

E.6. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

E.6.1 GENERALIDADES

Una planta de tratamiento de aguas residuales solo puede cumplir su objetivo, si se opera en forma apropiada y se efectúa un mantenimiento periódico, por medio de personal calificado. La frecuencia y la magnitud de este mantenimiento se rigen por el tipo y el tamaño de la planta. La operación y el mantenimiento, incluida la disposición de los lodos, deben seguir las instrucciones entregadas por parte del diseñador o del fabricante. Estas deben ser detalladas, de fácil proceso y corresponder al sitio específico. Deben describirse la frecuencia y el alcance de los trabajos de rutina, así como las medidas necesarias para el mantenimiento de todos los componentes de la planta, incluido el control de su grado de rendimiento. El operador de la planta debe llevar un diario de la operación, en el cual deben anotarse por separado los trabajos rutinarios efectuados, las medidas de mantenimiento, los resultados obtenidos del tratamiento, y los sucesos específicos. Deben existir los equipos necesarios para efectuar el mantenimiento. El objetivo del mantenimiento es garantizar la operación y la seguridad. Deben eliminarse de inmediato las obstrucciones, la formación de nudos, sedimentaciones, fugas, y repararse los daños en las construcciones o la maquinaria. La operación y el mantenimiento deben efectuarse de modo tal, que no presenten ningún peligro o molestias para los seres humanos, ni el ambiente. Esto se aplica en especial a la extracción y la disposición final del lodo, de las natas y del material acumulado en las rejillas. Deben mantenerse repuestos para piezas de desgaste. Es preferible contratar el mantenimiento de varias plantas pequeñas de tratamiento de aguas residuales a través de una empresa calificada, que el mantenimiento individual de cada una de ellas. Si el operador no cuenta con personal calificado en trabajos de limpieza, debe establecer un contrato de mantenimiento con el constructor de la planta o con una entidad apropiada. Únicamente los trabajos de rutina que se efectúan diaria y semanalmente pueden ser ejecutados por el personal entrenado. Por ende, un contrato de mantenimiento debe abarcar todos los trabajos necesarios.

E.6.2 PERSONAL

Solo debe emplearse personal cuyo estado de salud previo al establecimiento de la relación laboral haya sido dictaminado por un médico autorizado. En caso necesario, se le prescribirán exámenes preventivos periódicos.

E.6.2.1 Clase

Los requerimientos de personal variarán dependiendo del nivel en que se encuentre la planta.

El empleado responsable de la planta de tratamiento (quién, según el nivel en que se encuentre la planta, será un ingeniero, técnico especialista o celador; ver tabla E.5.1), que en lo sucesivo será denominado "responsable", ejecutará sus tareas según las instrucciones de una jefatura de mayor jerarquía en la planta.

TABLA E.5.1
Empleado responsable según niveles

| Niveles | Ingeniero | Técnico especialista | Celador |
|------------|-----------|----------------------|---------|
| Bajo | | | X |
| Medio | | | X |
| Medio alto | | X | |
| Alto | X | | |

El responsable tendrá a su cargo la distribución de labores en la planta. En la designación de este responsable y el personal, deben tomarse en cuenta sus conocimientos técnicos y destrezas, de modo que se garantice un manejo adecuado, lo más rentable posible y que brinde seguridad laboral.

Además del responsable, según el nivel en que se encuentre la planta, se recomienda el personal especificado en la tabla E.5.2

TABLA E.5.2
Personal recomendado según niveles

| Niveles | Gerente administrativo | Técnico especialista | Asistente admon. | Ayudante de laboratorio | Personal de limpieza | Celador |
|------------|------------------------|----------------------|------------------|-------------------------|----------------------|---------|
| Bajo | | | | | | X |
| Medio | | | | | X | X |
| Medio alto | | X | X | X | X | X |
| Alto | X | X | X | X | X | X |

TABLA E.5.3
Áreas y Personal Mínimo Necesario

| Capacidad de la planta | < 0.05 (m³/s) | 0.05 - 0.2 (m³/s) | 0.2 - 0.45 (m³/s) | 0.45 - 2.2 (m³/s) | 2.2 - 4.4 (m³/s) | > 4.4 (m³/s) |
|---|------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-------------------------|------------------|
| | < 3785 (m³/d) | 3785 – 18925 (m³/d) | 18925-37850 (m³/d) | 37850-189250 (m³/d) | 189250-378500 (m³/d) | 378500 (m³/d) |
| Número de empleados por cada 1000 m³/d | 4.2 | 0.927 | 0.6 | 0.64 | 0.48 | 0.42 |
| Área requerida para el mantenimiento de equipos (m²) | 89.11 | 100 | 164 | 240 | 278 | 310 |
| Área requerida para mantenimiento eléctrico (m²) | 11 | 15 | 16 | 40 | 60 | 75 |
| Área requerida para el programa de pretratamiento industrial y laboratorio eléctrico (m²) | 15 | 42 | 72 | 122 | 88 | 387 |
| Área requerida para oficinas (m²) | 20 | 50 | 32 | 155 | 435 | 650 |

E.6.2.2 Capacitación

Independientemente de la capacitación, al aplicar los procedimientos operativos debe procederse tal y como se especifica a continuación:

E.6.2.2.1 Capacitación básica

Debe ofrecerse una capacitación básica intensa, según los criterios que se detallan:

1. Visión general de los parámetros que se analizarán.
2. Capacitación para la toma de muestras específicas según parámetro.
3. Ensayo en la matriz correspondiente, siguiendo las instrucciones de manejo para cada parámetro del procedimiento (ejecución y manejo propio).
4. Indicación de los peligros que encierra el uso de productos químicos, haciendo referencia al empleo del equipo de protección personal (por ejemplo anteojos y guantes de protección) y a los primeros auxilios.
5. Evacuación de los desechos y las aguas residuales.

E.6.2.2.2 Seguimiento de la capacitación

Los especialistas en química deben comprobar y actualizar periódicamente las habilidades y los conocimientos transmitidos en la instrucción básica. Debe dársele un valor especial al registro y a la interpretación de los valores obtenidos.

E.6.2.3 Funciones

E.6.2.3.1 Operación y mantenimiento de equipo

Debe darse un mantenimiento adecuado para prevenir las emergencias o daños imprevisibles. Tres factores deben tenerse en cuenta para el debido mantenimiento: diseño, construcción y operación. Si el diseño básico es adecuado y se construye el aparato con mejor material y según las reglas del arte, la operación debe lograrse con un mínimo de mantenimiento. Los planos o copias de los diseños de la planta, en que aparecen las dimensiones de cada unidad, así como de las tuberías, válvulas, compuertas, etc., deben tenerse a la mano.

Para un mantenimiento adecuado deben seguirse las siguientes reglas sencillas:

1. Conservar la planta perfectamente aseada y ordenada.
2. Establecer un plan sistemático (tanto interior como exterior) para la ejecución de las operaciones cotidianas.
3. Establecer un programa rutinario de inspección y lubricación.
4. Llevar los datos y registros de cada pieza de equipo, enfatizando en lo relativo a incidentes poco usuales y condiciones operatorias deficientes.
5. Observar las medidas de seguridad.

Para el mantenimiento de los equipos de la planta, deben seguirse las siguientes acciones:

- Sistemas de rejillas: el funcionamiento del sistema de rejillas, junto con el de la prensa de sus desechos, en caso de que haya una, debe controlarse al comenzar y al terminar la jornada de trabajo. En el caso de rejillas mecánicas los controles deben limpiarse y mantenerse funcionando de manera adecuada.
- Equipos de medición: el funcionamiento adecuado de los aparatos de medición, tales como medidores de caudal, de pH, oxígeno, etc., depende de un mantenimiento cuidadoso. En los canales, recipientes y líneas de medición deben eliminarse depósitos y costras. Las partes mecánicas se mantendrán utilizables y los electrodos deben limpiarse con regularidad, de ser posible a diario. La calibración de los aparatos se realizará según las instrucciones del fabricante.
- Instalaciones mecánicas y eléctricas: estas instalaciones deben recibir un mantenimiento y un control cuidadoso. Los acontecimientos y deficiencias importantes deben comunicarse de inmediato a la jefatura. Las normas de manejo y mantenimiento del fabricante de la máquina deben cumplirse rigurosamente. Estas normas contienen las indicaciones necesarias para un funcionamiento

adecuado. Deben aplicarse solo los engrases indicados por la jefatura de la planta, cumpliendo con el calendario fijado para cambio de engrases y aceites y anotando los trabajos efectuados en las hojas de informe previstas para ello. Debe asegurarse la evacuación apropiada de los aceites viejos. Los aceites recogidos para ser reutilizados no deben mezclarse con otros desechos u otros líquidos. Todas las máquinas y equipos de control deben recibir mantenimiento en forma regular y permanecer limpios, además, debe garantizarse su seguridad y capacidad de funcionamiento. Además, debe examinarse periódicamente el equipo eléctrico de control, para ver se está bien aislado, si sus partes móviles están libres, si las presiones en los contactos son firmes y si las derivaciones no están dañadas. También debe verificarse que los controles que operan al voltaje prescrito. Lo más importante de todo es cerciorarse de que todos los controles eléctricos estén limpios y secos. Cada seis meses deben comprobarse todos los dispositivos de arranque para tener la seguridad de que el elemento interruptor funciona libremente y ofrece protección al motor. Si las clavijas de un contacto están quemadas o corroídas, deben reemplazarse o pulir las puntas. Cuando un arrancador se bote, debe localizarse la causa antes de hacerlo funcionar. Deben limpiarse los contactos sucios y para el gabinete se usará un limpiador de aire o de vacío, cuando sea necesario.

- Lubricación: se recomienda ante todo seguir las instrucciones del fabricante. Es importante precaverse contra la lubricación excesiva de las chumaceras de los motores, pues esto ha causado innumerables fallas de los motores. Se recomienda el uso de chumaceras selladas que ya no requieren lubricación adicional.
- Bombas: es esencial un completo conocimiento de la construcción y operación de la bomba, para procurar su mantenimiento en forma debida. Deben llevarse a cabo inspecciones diarias en que se preste especial atención a lo siguiente:
 - a) Cojinetes: calentamiento y ruidos
 - b) Motores: velocidad de operación
 - c) Equipo de control: limpieza y condiciones
 - d) Operación de bombeo: vibraciones y ruidos
 - e) Prensaestopas: goteo excesivo

6. Estructuras de la planta: la tubería y las líneas de aire deben mantenerse abiertas y sin obstrucciones o acumulaciones de cualquier naturaleza. Donde haya dos unidades o sea posible suspender el trabajo de una unidad sin interferir seriamente con el tratamiento subsecuente, debe llevarse a cabo una limpieza completa de las unidades a intervalos regularmente prescritos.

7. Las estructuras de la planta de aguas negras, como canales, tanques y pozos de aspiración, tienen que desaguarse cuando menos una vez al año, para revisarlos y aplicar alguna capa protectora si fuese necesario. En las plantas donde existe la posibilidad de que se produzca ácido sulfhídrico, no deben usarse las pinturas a base de plomo.

En especial debe controlarse y cumplirse:

- a) El nivel de aceite prescrito para las cajas de almacenamiento y cambio.
- b) Que haya suficiente provisión de grasas, por ejemplo en los depósitos de reserva para engrases obligatorios
- c) El hermetismo de los pasos de eje
- d) La falta de hermetismo y fugas (por ejemplo, aguas refrigerantes, aceite).
- e) El desagüe de las aguas para sello hidráulico.
- f) Las temperaturas, sobre todo en los almacenes.
- g) Los cambios en el ruido típico de los aparatos, o en las oscilaciones.

- h) La revisión de piezas desgastadas (por ejemplo cadenas, dispositivos descargadores y similares).
- i) Los tomacorrientes de equipos eléctricos
- j) Los cambios registrados en los valores de medición
- k) Los equipos auxiliares y las máquinas que no estén en uso permanente deben ponerse a funcionar en intervalos adecuados (por ejemplo cada 2 a 4 semanas) ; esto debe llevarse a cabo en periodos escalonados. Los equipos auxiliares deben operarse en intervalos más cortos, para evitar en lo posible congestionamientos de máquinas que se encuentren en operación.

La capacidad de funcionamiento de los equipos de control, alarma y seguridad deben ser revisadas en intervalos regulares (por ejemplo accionando señales de alarma en caso de avería de máquinas o peligro de inundación).

E.6.2.3.2 Limpieza y mantenimiento de instalaciones

El personal encargado de la limpieza de las instalaciones debe realizarla a diario, dependiendo del nivel en que se encuentre la planta. Se recomienda prestar atención a los techos, canaletas, tragaluces, ventanas y marcos de las puertas, pantallas, cubiertas metálicas para motores y bombas, barandales metálicos enrejados y diversas cubiertas de metal. La inspección de los techos debe hacerse cada año. Las canaletas, donde se hayan puesto, deben limpiarse y pintarse. Para pintar cualquier estructura, debe limpiarse completamente, eliminando la pintura vieja y desprendida, procurando llegar hasta el metal.

E.6.2.3.3 Control de calidad de proceso

Una vigilancia sistemática de la planta es indispensable para que funcione en forma adecuada y todas sus secciones estén permanentemente preparadas para entrar en labores. Las deficiencias y los trastornos que se observen deben eliminarse de acuerdo con la prioridad y cumplimiento con las respectivas instrucciones de manejo. Los acontecimientos especiales deben comunicarse a la jefatura y registrarse en el informe o explicarse en el diario de la planta. Deben practicarse los análisis, mediciones y lecturas prescritos por la legislación correspondiente. Esto rige también para el resto de las mediciones y análisis oficialmente prescritos. De igual forma debe procederse con los parámetros utilizados para vigilar la planta.

Al comenzar las labores debe efectuarse primero un recorrido de control por toda la planta, para constatar el estado de las instalaciones de tratamiento y de los equipos mecánicos, eléctricos, de medición y de regulación. Esto debe llevarse a cabo incluso cuando las informaciones básicas están siendo reunidas y registradas en un centro de observación. En caso de que se trabaje por turnos, cada cambio de turno en el respectivo lugar de trabajo, debe realizarse ordenadamente. Parte de ese cambio ordenado será informar sobre todas las irregularidades que se hayan presentado.

E.6.2.4 Laboratorio

E.6.2.4.1 Rutinas de análisis

Por razones internas y para el control de la planta, debe ejecutarse una serie de mediciones y análisis. Su alcance será definido por la jefatura, de acuerdo con la siguiente lista, según el nivel en que se encuentre la planta y las características del cuerpo receptor, si en las normas del derecho de aguas o en los reglamentos jurídicos pertinentes no existieran de antemano estipulaciones al respecto:

E.6.2.4.1.1 Lluvia o código para condiciones del tiempo

E.6.2.4.1.2 Temperatura del aire

E.6.2.4.1.3 Temperatura de las aguas residuales (entrada, salida)

- E.6.2.4.1.4 Caudal
- E.6.2.4.1.5 Proporción del volumen de sólidos sedimentables a la entrada y la salida del tratamiento previo (o tratamiento intermedio) y a la salida de la planta de tratamiento
- E.6.2.4.1.6 Proporción de sólidos sedimentables en la entrada y los filtros percoladores o determinación del volumen de lodos en el procedimiento de activación
- E.6.2.4.1.7 Turbiedad a la salida de la planta de tratamiento
- E.6.2.4.1.8 Valor de pH a la entrada y salida, o, en el lodo estabilizado y en el lodo biológico.
- E.6.2.4.1.9 Cantidad de lodos crudos y estabilizados
- E.6.2.4.1.10 Producción y consumo de gas en sistemas anaerobios.
- E.6.2.4.1.11 Temperaturas en el digester de lodos y en la entrada y recirculación de la calefacción
- E.6.2.4.1.12 Contenido de O₂ en el tanque de aireación en caso de que exista.
- E.6.2.4.1.13 Recirculación y cantidad de lodos residuales
- E.6.2.4.1.14 Cantidades de material de las rejillas y desarenadores
- E.6.2.4.1.15 Consumo de electricidad, eventualmente por separado para las diferentes etapas del procedimiento
- E.6.2.4.1.16 Consumo de productos químicos, combustibles y agua
- E.6.2.4.1.17 Determinación de la DBO₅ y DQO a la entrada y a la salida del tratamiento previo y a la salida de la planta de tratamiento
- E.6.2.4.1.18 Cálculo de la sustancia seca y pérdida por incandescencia para todos los tipos de lodos
- E.6.2.4.1.19 Determinación del CO₂ y el CH₄ en el gas de reactores anaerobios.
- E.6.2.4.1.20 Determinación de los ácidos orgánicos en reactores anaerobios.
- E.6.2.4.1.21 Sustancias filtrables a la entrada, salida del tratamiento previo y salida de la planta de tratamiento
- E.6.2.4.1.22 Cálculo del nitrógeno a la entrada y la salida del tratamiento previo y la salida de la planta de tratamiento

E.6.2.4.1.23 Cálculo del fósforo a la entrada y a la salida del tratamiento previo y a la salida de la planta de tratamiento

E.6.2.4.1.24 Análisis microscópicos comparativos de los lodos

E.6.2.4.1.25 Períodos de trabajo de las máquinas

E.6.2.4.1.26 Observación de los cuerpos receptores

Todas las mediciones y lecturas diarias deben realizarse, de ser posible, cada 24 horas, es decir, siempre a la misma hora, con el fin de poder comparar los valores. Esto rige en especial para los medidores de registro de las aguas de entrada, de consumo eléctrico y de las horas de trabajo de máquinas importantes.

Las mediciones de la calidad de las aguas y los análisis microscópicos deben ser realizados, de ser posible, siempre por la misma persona, para asegurar una adecuada confrontación. Los rollos de papel donde se registran los datos y las cartas gráficas de los aparatos de medición deben marcarse a diario, con la fecha y el día de la semana, renovarse a tiempo y conservarse al ser cambiados.

E.6.2.5 Reportes

E.6.2.5.1 Tipos

Los tipos de reportes que se manejarán en la planta serán los siguientes: 1) Legales, 2) Operativos

E.6.2.5.2 Contenido y Frecuencia

1. Reportes legales : Dependiendo de las disposiciones legales vigentes, deben presentarse reportes a la entidad competente según se requiera y en el plazo que se exija.
2. Operativos : Consisten en reportes operativos diarios, semanales y mensuales ; así como también reportes de laboratorio. Los registros operativos diarios, deben contener información tal como progreso del trabajo de mantenimiento, falla de una pieza de un equipo, accidentes del personal, inundaciones o tormentas inusuales, quejas y nombres y afiliaciones de visitantes, mediciones en el proceso de tratamiento, energía usada, clima, temperatura, lluvias y otros datos hidrológicos, y otra información física. Todos estos datos servirán de alguna forma para los registros semanales y mensuales. Los reportes operativos semanales y mensuales, deben contener mucha de la información almacenada en los reportes diarios, así como también, información pertinente a los datos operativos en sí, tales como sedimentación, aireación, desinfección, digestión y sólidos removidos y tratados. Los reportes mensuales deben contener un resumen de los reportes semanales y diarios. Se recomienda llevar en los reportes los siguientes parámetros para un adecuado control del proceso : caudal influente, carga orgánica, edad de lodos, sólidos suspendidos volátiles del licor mezclado, carga en los sedimentadores, tiempos de retención hidráulica, caudal de aguas residuales, caudal de recirculación de lodos, cantidad de lodos de desecho, índice volumétrico de lodos, aplicación de aire, dosificaciones químicas, producción de gases en el digestor, ensayos centrífugos, sedimentabilidad de lodos, niveles del manto de lodos y análisis microscópicos. Los reportes de laboratorio, se recomiendan para los **niveles medio y medio alto de complejidad** preferiblemente utilizando herramientas computacionales.

E.6.2.6 Prevención de accidentes, protección laboral e higiene

La persona que conoce y se guía por los reglamentos de prevención de accidentes ayuda a prevenirlos. Por medio de medidas preventivas contra peligros de accidentes fáciles de reconocer pueden evitarse daños graves. El conocimiento de las señales marcadas en los equipos, de las instrucciones especiales de manejo y de los planos de tuberías, alcantarillados y conexiones también es útil para reconocer los peligros de accidente y prevenirlos.

Todo empleado de la planta está en la obligación de hacer cuanto esté a su alcance por evitar accidentes enfermedades laborales. Los peligros de accidente que sean detectados deben eliminarse de inmediato, en tanto que los lugares que generen peligro deben resguardarse y ponerse en conocimiento del responsable por medio de señales y capacitación sobre los riesgos y su control.

En el nivel medio alto y alto de complejidad, antes de poner a funcionar instalaciones o partes de instalaciones nuevas y durante su traspaso a la planta en cuestión, el responsable de la construcción (con el supervisor de la construcción o, dado el caso, con la empresa constructora) un especialista en medicina laboral debe efectuar un recorrido conjunto. En éste se levantará un protocolo con todas las objeciones y acuerdos tomados durante el recorrido.

El responsable tendrá los siguientes deberes relativos a la protección laboral:

Prestar atención a que el personal cumpla con las normas relativas a la protección laboral, así como prevenir posibles accidentes, instruyendo al personal y poniéndolo al corriente de sus deberes en forma sistemática.

Asignar adecuadamente al personal, de acuerdo con sus aptitudes, en atención a la prevención de accidentes

Controlar en intervalos adecuados la eficacia de los equipos, aparatos y similares, que tengan la función de prevenir accidentes, así como controlar el funcionamiento seguro de las diferentes instalaciones.

Retirar del uso las partes de instalaciones que generen peligros, o tomar medidas de protección provisionales, pero suficientes.

Comunicar de inmediato a la jefatura las deficiencias observadas en los equipos o partes de instalaciones.

Además el responsable tendrá el deber de asegurar la protección laboral, por ejemplo mediante:

La colocación visible de las especificaciones de prevención de accidentes y demás instrucciones de servicio

La colocación visible y al alcance del teléfono de los siguientes números y direcciones:

- Servicio de socorro (médico de emergencia)
- Servicio para casos de accidente (médico para accidentes)
- Jefatura de la empresa
- Hospital
- Bomberos, policía
- Otras oficinas

Es de obligatoriedad la colocación de signos claros de prohibición, prevención, indicación y socorro, así como instrucciones para primeros auxilios y demás indicaciones, de acuerdo con las normas pertinentes

Igualmente les obligatorio:

La ubicación de botiquines, extintores, equipo de socorro y de protección laboral en lugares de fácil acceso. Estos materiales deben ser objeto de un trato cuidadoso y su funcionamiento debe ser controlado periódicamente. Los materiales que hayan sido consumidos o que se hayan vuelto inservibles deben reemplazarse.

El cumplimiento de las normas de protección contra explosiones, tales como la prohibición de fumar y manejar fuego, de manera directa, en áreas con potencial explosivo.

El cumplimiento de las normas de seguridad en el manejo de sustancias peligrosas (por ejemplo, ácidos, sales, solventes orgánicos, gases) según los reglamentos de sustancias peligrosas.

CAPITULO E.7

E.7. METODOLOGÍAS DE DISEÑO

E.7.1 ALCANCE

El propósito del presente capítulo es proporcionar un compendio de las metodologías de diseño; fórmulas y parámetros más comunes que han reportado una validez hasta el momento a lo largo de la experiencia que se tiene en el tratamiento de las aguas residuales. Dichos procedimientos a su vez son susceptibles a ser sujetos a modificaciones por parte de la entidad competente en caso de que se encuentre una metodología más óptima que reemplace a la anterior.

E.7.2 SISTEMAS DE TRATAMIENTO EN EL SITIO DE ORIGEN

E.7.2.1 TANQUE SEPTICO

E.7.2.1.1 Volumen útil del tanque séptico

Para el cálculo del volumen útil del tanque séptico se recomienda el siguiente criterio

$$V_u = 1000 + N_c (CT + KL_f) \quad (\text{E.7.1})$$

TABLA E.7.1
Contribución de aguas residuales por persona

| Predio | Unidades | Contribución de aguas residuales (C) y lodo fresco L_f (L / día) | |
|---|----------------|--|-------|
| | | C | L_f |
| Ocupantes permanentes | | | |
| Residencia | | | |
| <i>Clase alta</i> | persona | 160 | 1 |
| <i>Clase media</i> | persona | 130 | 1 |
| <i>Clase baja</i> | persona | 100 | 1 |
| Hotel (excepto lavandería y cocina) | persona | 100 | 1 |
| Alojamiento provisional | persona | 80 | 1 |
| Ocupantes temporales | | | |
| Fábrica en general | persona | 70 | 0.30 |
| Oficinas temporales | persona | 50 | 0.20 |
| Edificios públicos o comerciales | persona | 50 | 0.20 |
| Escuelas | persona | 50 | 0.20 |
| Bares | persona | 6 | 0.10 |
| Restaurantes | comida | 25 | 0.01 |
| Cines, teatros o locales de corta permanencia | local | 2 | 0.02 |
| Baños públicos | tasa sanitaria | 480 | 4.0 |

TABLA E.7.2
Tiempos de retención

| Contribución diaria (L) | Tiempo de retención (T) | |
|-------------------------|-------------------------|-------|
| | días | horas |
| Hasta 1,500 | 1.00 | 24 |
| De 1,501 a 3,000 | 0.92 | 22 |
| De 3,000 a 4,500 | 0.83 | 20 |
| 4,501 a 6,000 | 0.75 | 18 |
| 6,001 a 7,500 | 0.67 | 16 |
| 7,501 a 9,000 | 0.58 | 14 |
| mas de 9,000 | 0.50 | 12 |

TABLA E.7.3
Valores de tasa de acumulación de lodos digeridos

| Intervalo de limpieza (años) | Valores de K por intervalo temperatura ambiente (t) en °C | | |
|------------------------------|---|-------------|--------|
| | t ≤ 10 | 10 ≤ t ≤ 20 | t ≥ 20 |
| 1 | 94 | 65 | 57 |
| 2 | 134 | 105 | 97 |
| 3 | 174 | 145 | 137 |
| 4 | 214 | 185 | 177 |
| 5 | 254 | 225 | 217 |

E.7.2.1.2 Volumen útil del medio filtrante

$$V_f = 1.60 \cdot N \cdot C \cdot T \quad (\text{E.7.2})$$

E.7.2.2 Dimensionamiento de los filtros sumergidos aireados

1. Cámara de reacción

$$V_{ur} = 400 + 0.25 N \cdot C \quad (\text{E.7.3})$$

2. Cámara de sedimentación

$$V_{us} = 150 + 0.20 N \cdot C \quad (\text{E.7.4})$$

3. Area superficial de la cámara de sedimentación.

$$A_s = 0.07 + \frac{N \cdot C}{15} \quad (\text{m}^2) \quad (\text{E.7.5})$$

E.7.3 SISTEMAS CENTRALIZADOS

E.7.3.1 Tratamiento primario

E.7.3.1.1 Operación y mantenimiento

Deben establecerse registros adecuados sobre el plan de limpieza, ya sea mecánica o manual, de los lodos del tanque. En caso de ser mecánica, debe tenerse un control del plan de trabajo del equipo. Se recomienda hacer funcionar estos equipos entre 2 y 8 horas al día, según el tamaño de la planta y la cantidad de lodos que se acumulen. Antes que se descarguen los lodos del tanque, hay que hacer funcionar el mecanismo durante un tiempo suficiente para tener la seguridad de recolectar satisfactoriamente los sólidos sedimentados en la tolva de lodos. Los lodos deben descargarse del tanque

cuando menos una vez al día. Los lodos primarios generados no pueden disponerse directamente en lechos de secado sin que hayan sido estabilizados previamente. Está igualmente prohibido descargar los lodos en corrientes o cuerpos de agua. No se recomienda descargar lodos que contengan una cantidad excesiva de agua. Las natas y grasas deben eliminarse diariamente de la superficie del tanque. Cuando haya más de un tanque, se recomienda que el operador observe cuando un tanque recibe mayor o menor carga de la que corresponde, y revise los dispositivos de alimentación para determinar la manipulación que debe hacerse con el fin de igualar los caudales. Deben revisarse los niveles en los vertederos de los efluentes, puesto que un desnivel en estos puede ocasionar un cortocircuito. El operador debe tener presente que el equipo mecánico requiere atención y mantenimiento. Las partes móviles deben mantenerse lubricadas; deben reemplazarse las partes débiles o gastadas. Se recomienda seguir al pie de la letra el instructivo que proporciona el fabricante del equipo.

E.7.3.2 Lodos Activados

El volumen del tanque puede calcularse como :

$$V_r = \frac{qQg(S_o - S)}{X(1 + k_d q)} \quad (\text{E.7.6})$$

TABLA E.7.4

Coefficientes cinéticos típicos para procesos de lodos activados en aguas residuales domésticas

| Coeficiente | Unidades | Valores a 20° c | |
|----------------|--------------------------|-----------------|---------|
| | | RANGO | VALORES |
| k | d ⁻¹ | 2 - 10 | 5 |
| K _s | mg/L DBO ₅ | 25 - 100 | 60 |
| | mg/L DQO | 15 - 70 | 40 |
| γ | mgSSV/mgDBO ₅ | 0.4 - 0.8 | 0.6 |
| k _d | d ⁻¹ | 0.025 - 0.075 | 0.06 |

Relación entre la cantidad de sustrato (alimento) y la cantidad de microorganismos

$$\frac{F}{M} = \frac{S_o}{qX} \quad (\text{E.7.7})$$

La relación entre F/M y la tasa de utilización específica U es:

$$U = \left(\frac{F}{M}\right) \cdot \frac{E}{100} \quad (\text{E.7.8})$$

El tiempo medio de residencia celular puede ser definido con las dos relaciones siguientes:

Definición basada en el volumen del tanque de aireación:

$$q_c = \frac{V_r \cdot X}{Q_w \cdot X_w + Q_e \cdot X_e} \quad (\text{E.7.9})$$

Esta ecuación es recomendada en el diseño de un reactor asumiendo que toda la conversión del sustrato ocurre en el tanque de aireación.

Definición basada en el volumen total del sistema:

$$q_{ct} = \frac{X_t}{Q_w \cdot X_w + Q_e \cdot X_e} \quad (\text{E.7.10})$$

En sistemas en donde una porción considerable del total de sólidos puede estar presente en el tanque de sedimentación y en los lodos de retorno, esta ecuación puede ser usada para calcular la cantidad de sólidos para ser desechados. La cantidad de sólidos contenidos en el tanque de sedimentación puede ser

determinado por la medición de la profundidad de lodos y la concentración de sólidos en los lodos de retorno.

Esta ecuación es basada bajo la suposición de que los sólidos biológicos sufrirán pérdidas por respiración endógena en el sistema bajo ambas condiciones aerobias y anaerobias.

La relación entre la edad de lodos θ_c , la relación comida-microorganismos F/M y la tasa de utilización específica es:

$$\frac{1}{q_c} = g \left(\frac{F}{M} \right) \cdot \left(\frac{E}{100} \right) = gU - k_d \quad (\text{E.7.11})$$

E.7.3.2.1 Producción de lodos

Esta es importante para conocer la cantidad de lodo que se va a producir por día porque este afectará el diseño de las unidades de manejo y disposición de lodos necesarias para los lodos de exceso. La cantidad de lodo total que es producido en un día puede ser estimada como:

$$Px = Q [gbs(S_o - S) * (1 + 0.1k_d q_c) + X_{ii}] * (10^3 \text{ g/kg})^{-1} \quad (\text{E.7.12})$$

El γ_{obs} puede ser calculado así:

$$gbs = \frac{g}{1 + kd(q_c \theta_c)} \quad (\text{E.7.13})$$

El uso de θ_c o θ_{ct} depende de si en el análisis se consideran los sólidos presentes en el tanque de aireación o los sólidos presentes en el sistema total. Si se retiene un alto porcentaje de los sólidos en el tanque de sedimentación y la unidad de lodos de retorno, el uso de θ_{ct} es razonable.

E.7.3.2.1.1 Tanque de aireación

Parámetros empíricos en el diseño de tanques de aireación

Carga orgánica volumétrica

$$L_v = S_o Q / V \text{ dada en kg DBO}_5 / \text{m}^3 / \text{día} \quad (\text{E.7.14})$$

Carga orgánica específica

$$L_{ve} = F / M \text{ dada en kg DBO}_5 / \text{kg SSVLM} / \text{día} \quad (\text{E.7.15})$$

Tiempo de retención hidráulica

$$t_d = \frac{V}{Q} \quad (\text{E.7.16})$$

Concentración de sólidos en el licor mixto

X_T = Concentración de sólidos suspendidos totales en el licor mixto, mgSSLM/L

Edad de lodos

Tiempo medio de retención celular, es el tiempo promedio que permanece en el reactor una partícula de lodo biológico ó los microorganismos.

$$q_c = \frac{V}{Q_w} \quad (\text{E.7.17})$$

Tasa de recirculación de lodos

Retorno o coeficiente de retorno,

$$R = \frac{Q_r}{Q_n} \quad \text{(E.7.18)}$$

E.7.3.2.2 Operación y mantenimiento

El tanque de aireación requiere mantenimiento y limpieza especialmente cuidadosos. En tanques de aireación que operen en paralelo hay que poner atención a una correcta disposición de las aguas residuales y de los lodos de recirculación.

El índice volumétrico de lodos debe determinarse por lo menos una vez al día después de un período de decantación de media hora. La concentración de oxígeno debe medirse, a diario y, en el caso de instalaciones grandes, en forma continua. El contenido de la sólidos y el índice volumétrico de los lodos debe determinarse según se requiera.

El contenido de sólidos ó el volumen del lodo deben mantenerse en los límites fijados por la jefatura de la planta de tal forma que se logren las condiciones de sedimentabilidad de los lodos y de eficiencia de remoción requeridos y de acuerdo con estos valores se extrae el lodo residual.

Debe prestarse especial atención al cambio de lodo y a sus propiedades de floculación y decantación.

Debe ponerse especial atención al sistema completo de aireación y se debe asegurar su buen funcionamiento permanente. Si la presión en el sistema aumenta en el tiempo, esto significaría que hay obstrucciones.

Con el fin de evitar depósitos debe prestarse atención a que haya suficiente circulación en el tanque. Los posibles depósitos pueden constatarse tocando el fondo del tanque.

Si hay trastornos dentro de la planta de tratamiento no sólo deben eliminarse sus efectos, sino también sus causas:

E.7.3.2.2.1 Sistemas de aireación:

Cuando hay aireación de burbuja fina, el aumento de la presión en el sistema o la distribución irregular del aire indican obstrucciones de los elementos de aireación. Las salidas fuertes y aisladas de aire indican que los aireadores están averiados.

Medidas que deben tomarse:

Desmontar y limpiar los elementos, siguiendo las indicaciones del fabricante. Abrir las válvulas de bloqueo del aire antes de volver a sumergir el difusor en el tanque lleno. En caso necesario renovar los elementos de aireación.

Los aireadores de superficie deben sacarse de operación, en forma inmediata, en caso de un consumo de electricidad excesivamente alto y no permitido, o en caso de un comportamiento irregular (oscilaciones de la estructura de soporte).

Deben tomarse las siguientes medidas :

- Controlar el accionamiento eléctrico.
- Bajar el nivel del agua y revisar el aireador (daños de las aspas, desequilibrios por depósitos no uniformes).

E.7.3.2.2.2 Depósitos

Los depósitos en el tanque de aireación pueden ocurrir cuando la turbulencia y por tanto, la velocidad mínima en el fondo, es muy baja. La causa de los depósitos también puede ser una remoción previa poco eficaz de partículas rápidamente sedimentables (por ejemplo, arena).

Medidas que deben tomarse:

- Mejorar las instalaciones mecánicas de decantación (desarenadores, tanques de tratamiento primario).
- Aumentar la turbulencia mínima, eventualmente independizando la mezcla y la aireación.

E.7.3.2.2.3 Suministro de oxígeno

La concentración de oxígeno disuelto no debe ser menor de 1.0 mg/l, incluso en plantas grandes con una buena operación. Si el contenido mínimo de oxígeno en el tanque de aireación baja de este valor, pueden esperarse trastornos en el proceso de degradación biológica.

Medidas que deben tomarse:

- Revisar detalladamente los medidores de oxígeno en aquellas plantas que los posean, y en caso necesario, cambiar los electrodos.
- Aumentar la entrada de oxígeno con más aireación.
- Limpiar, reparar o reemplazar las instalaciones de aireación.

E.7.3.2.2.4 Formación de espuma en el tanque de aireación

La formación de espuma puede producirse cuando una instalación de aireación se pone en marcha, debido a su bajo contenido de lodos, pero a menudo también por una composición de las aguas en la cual predomina una sustancia, o por la existencia de sustancias especiales en las aguas residuales (detergentes, grasas o aceites).

Medidas que deben tomarse:

- Aumentar rápidamente el contenido de lodos cuando la instalación se ponga en marcha.
- Disminuir las sustancias de las aguas residuales que formen espuma, impidiendo las descargas no permitidas del sector industrial.
- Eliminar las estructuras internas en los tanques (por ejemplo columnas sumergibles), que eviten que la espuma fluya del tanque de aireación.
- Eliminar mecánicamente la espuma, por medio de un chorro de agua (sólo como medida de emergencia).
- Aspirar la espuma pasándola directamente al digestor.
- Transformar la técnica de tratamiento, introduciendo una etapa previa con una alta carga, como "pretratamiento".
- Utilizar antiespumantes biológicos no nocivos.

E.7.3.2.2.5 Lodo abultado

El lodo abultado surge por un desarrollo excesivo de organismos filamentosos. El lodo activado se hace muy voluminoso y la velocidad de sedimentación baja considerablemente; con esto, la sedimentación y el espesamiento de la mezcla del lodo activado se reduce en forma marcada en el sedimentador secundario. Como consecuencia, el lodo activado puede pasar al rebosadero del sedimentador secundario y reducir la calidad del efluente.

Medidas que deben tomarse

- Cargar el lodo activado (una parte de las aguas residuales son evacuadas directamente en el tanque de aireación, sin pasar por el tanque de tratamiento primario).
- Agregar productos químicos, bajo dirección técnica, en la corriente del lodo de recirculación. Pueden utilizarse agentes coagulantes, como en el caso de la precipitación del fósforo o compuestos clorados, para bloquear o eliminar la formación de los organismos filamentosos.

- En caso de carencia de nitrógeno, introducirlo y hacer recircular lodos que lo contengan, del digestor al tanque de aireación.
- Mejorar la recirculación del lodo del sedimentador secundario aumentando la velocidad de los raspadores de lodos o la altura de los dientes de los raspadores.
- Cuando la instalación lo permita, conectar en serie un tanque de aireación con una alta carga como etapa previa, para mejorar el desarrollo de bacterias floculantes.
- Si existieran varios tanques de aireación, cambiar el régimen de funcionamiento paralelo al funcionamiento en serie.
- No existe una solución generalizada para todos los casos posibles. Antes de tomar una medida, se recomienda realizar un análisis microscópico, con el fin de determinar que tipo de organismo filamentosos es el causante del desarrollo del lodo abultado.
- A menudo, el lodo abultado se debe a que el agua residual tiene una composición homogénea, rica en nutrientes, y un alto contenido de sustancias orgánicas disueltas, fácilmente degradables.

E.7.3.2.2.6 Formación de lodos flotantes en el sedimentador secundario

El lodo flotante de los sedimentadores secundarios se desarrolla por la suspensión de partículas o también por aglutinaciones completas de lodo. A menudo, se forma por procesos de flotación debidos a la llamada desnitrificación espontánea o desgasificación deficiente, o debido a periodos demasiados largos de permanencia del lodo en el sedimentador secundario.

Medidas que deben tomarse:

- Evitar procesos de desnitrificación espontánea, introduciendo procesos planeados de desnitrificación (cambio de procedimiento).
- Establecer zonas de desgasificación entre el tanque de aireación y el sedimentador secundario.
- Remover rápidamente el lodo decantado del sedimentador secundario.
- En lugar de la destrucción mecánica de espuma, aspirarla por medio de un chorro de agua y eliminarla del ciclo aerobio de lodos.

E.7.3.3 Sedimentador secundario

E.7.3.3.1 Operación y mantenimiento

Para evitar la formación de lodos flotantes se recomienda seguir uno o varios de los siguientes procedimientos :

1. Aumentar el retorno al aireador y para disminuir el tiempo de permanencia de los lodos en el clarificador
2. Disminuir la entrada de flujo al clarificador con problemas de lodos del fondo
3. Mejorar la colección de lodos del fondo
4. Disminuir la edad de lodos del sistema.

Para evitar el abultamiento se recomienda investigar los siguientes parámetros y, en caso de encontrarlos inadecuados, corregirlos:

1. Características del residuo líquido
2. Contenido de OD
3. Carga orgánica
4. Retorno de lodos

5. Contenido de nutrientes
6. Operación del clarificador.

En caso de presentarse una emergencia se recomiendan dosificaciones de cloro o de peróxido de hidrógeno.

Para una correcta operación, debe evitarse lo siguiente

1. Insuficiencia del retorno
2. Cortocircuito.

E.7.3.4 Filtros percoladores

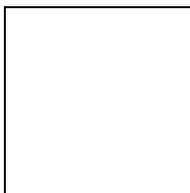
E.7.3.4.1 Metodología de diseño

Las formulaciones para el diseño de filtros percoladores que han presentado diversos autores son:

E.7.3.4.1.1 Fórmula NRC

Se tienen las siguientes relaciones empíricas para plantas con filtros percoladores con medio en roca :

Para la primera etapa o solo una etapa



(E.7.19)

Para la segunda etapa :

$$E2 = \frac{100}{1 + \frac{0.0085}{(1 - E1)\left(\frac{W_2}{VF}\right)^{0.5}}} \quad (\text{E.7.20})$$

E.7.3.4.1.2 Manual de práctica británico

Para filtros percoladores con medios plásticos modulares se tiene la siguiente expresión :

$$\frac{Le}{Lo} = \frac{I}{\left[1 + Kq^{(T-15)} \left(\frac{As^m}{Q^n} \right) \right]} \quad (\text{E.7.21})$$

TABLA E.7.4
Coeficientes del modelo británico

| Coeficiente | Medio desordenado, incluyendo piedra | Plásticos modulares |
|-------------|---|---------------------|
| K | 0.0204 | 0.400 |
| θ | 1.111 | 1.089 |
| m | 1.407 | 0.7324 |
| n | 1.249 | 1.396 |

E.7.3.4.1.3 Fórmula de Velz

Indica la DBO total remanente a una profundidad D:

$$\frac{L_D}{L_o} = 10^{-KD} \quad (\text{E.7.22})$$

Para filtros de tasa alta, $K_{20} = 0.1505 \text{ día}^{-1}$, para una tasa máxima de carga = 4.9 kg/m²/día a 30°C.

Para filtros de tasa baja, $K_{20} = 0.175 \text{ día}^{-1}$

La constante K varía con la temperatura según la siguiente expresión :

$$K_t = K_{20} \left(1.047^{(t-20)} \right) \quad (\text{E.7.23})$$

E.7.3.4.1.4 Fórmula de Schulze

$$T = \frac{CD}{V^n} \quad (\text{E.7.24})$$

$$\frac{Le}{L_o} = e^{-\frac{kD}{Q^n}} \quad (\text{E.7.25})$$

$$k_t = k_{20} \left(1.035^{(t-20)} \right) \quad (\text{E.7.26})$$

E.7.3.4.1.5 Fórmula alemana

Para un filtro con medio plástico se puede utilizar la siguiente ecuación :

$$\frac{Le}{L_o} = e^{-\frac{kD}{q^n}} \quad (\text{E.7.27})$$

E.7.3.4.1.6 Fórmula de Eckenfelder

$$\frac{Se}{S_o} = e^{\left[(-K_S A_S)^{(1+m)} \frac{D}{qn} \right]} \quad (\text{E.7.28})$$

Cuando existe recirculación se utiliza la siguiente ecuación :

$$\frac{S_e}{S_o} = \frac{\exp(-ksD)/q^n}{(1+R) - \exp(-K_s D/q^n)} \quad \text{(E.7.29)}$$

E.7.3.4.1.7 Fórmula Galler y Gotaas

$$L_e = \frac{K(QL_o + RL_e)^{1.19}}{(Q+R)^{0.78} (1+D)^{0.67} a^{0.25}} \quad \text{(E.7.30)}$$

$$\text{Donde } K = \frac{0.464(43560/P)^{0.13}}{Q^{0.28} t^{0.15}} \quad \text{(E.7.31)}$$

E.7.3.4.1.8 Modelo de Kincannon y Stover

$$A_s = \frac{8.34QS_o / (m_{max}S_o)}{(S_o - S_e)} - K_b \quad \text{(E.7.32)}$$

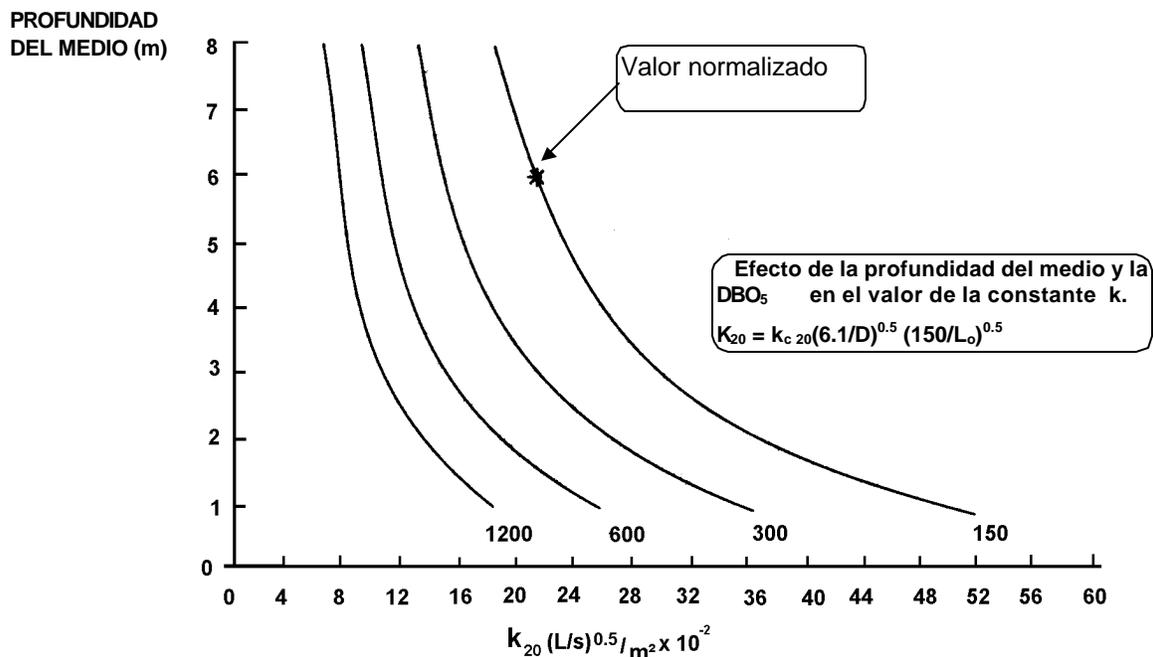
TABLA E.7.5
Valores de k para la ecuación alemana, implícitos en la fórmula NRC

| Carga DBO ₅ kg/100m ³ -d | Tasa hidráulica, m ³ /m ² -d | Eficiencia, NRC, % | | | Valores k calculados ^a | | |
|---|--|--------------------|------|------|-----------------------------------|-------|-------|
| | | R=0 | R=1 | R=2 | R=0 | R=1 | R=2 |
| 25.0 | 0.158 | 81.9 | 85.3 | 86.7 | 0.072 | 0.081 | 0.086 |
| 50.0 | 0.315 | 76.2 | 80.5 | 82.2 | 0.086 | 0.098 | 0.103 |
| 74.8 | 0.473 | 72.3 | 77.1 | 79.1 | 0.094 | 0.108 | 0.115 |
| 99.8 | 0.632 | 69.4 | 74.4 | 76.6 | 0.100 | 0.116 | 0.127 |
| 149.8 | 0.947 | 64.9 | 70.4 | 72.7 | 0.109 | 0.126 | 0.135 |
| 199.6 | 1.264 | 61.6 | 67.3 | 69.8 | 0.115 | 0.134 | 0.144 |

^a D = 1.83 m, Lo = 120mgDBO₅/L, n= 0.5

La metodología propuesta de cálculo es la siguiente :

1. Cálculo de la eficiencia requerida
2. Calculo del volumen requerido en el filtro para la eficiencia encontrada anteriormente por la fórmula NRC
3. Calcule la profundidad requerida para expandir el filtro con el volumen anterior y asumiendo el diámetro de filtro.
4. De la siguiente figura seleccionar al valor de K₂₀.
5. Determine la tasa hidráulica de la bitorre y el diámetro correspondiente.



CURVAS DE DISEÑO DEL COEFICIENTE K_{20} PARA AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS

E.7.3.4.2 Operación y mantenimiento

Los requisitos para un buen rendimiento del filtro percolador son la distribución uniforme de las aguas residuales sobre la superficie y la buena ventilación. La fuerza de empuje de la regadera giratoria requerida para ello debe mantenerse. También es posible reducir la velocidad de la regadera haciendo girar en 180° uno de sus brazos, de modo que el chorro de aguas residuales salga contra la dirección en que gira.

Por esa razón, periódicamente debe controlarse si los tubos de la regadera y sus aberturas están bloqueados y, en caso necesario, deben limpiarse. Esto rige también para todos los otros dispositivos de alimentación (sifones). En el caso de que existan varios filtros percoladores, la entrada de las aguas residuales debe distribuirse de acuerdo con la capacidad de cada uno de ellos. Las acumulaciones de agua sobre la superficie de los filtros deben eliminarse. Los canales recolectores del fondo de los filtros deben mantenerse sin depósitos y en caso necesario se enjuagarán. Los desarenadores existentes deben vaciarse ocasionalmente y las aberturas para ventilación deben mantenerse libres.

Al entrar a un filtro percolador cerrado es conveniente observar si el ventilador funciona y si hay entrada de sustancias explosivas o cambios de color en la superficie del material de relleno. Si se diera alguna de estas situaciones, deben notificarse a la jefatura de la planta.

A un filtro percolador solo puede entrarse cuando la regadera giratoria esté detenida y haya seguridad de que no se pondrá en marcha de modo involuntario. En un filtro percolador cerrado el ventilador no debe desconectarse, ni siquiera en el caso de que la regadera giratoria esté detenida. El material plástico de relleno de los filtros sólo se pisará sobre parrillas protectoras.

Si hay trastornos dentro de la planta de tratamiento no sólo deben eliminarse sus efectos, sino también sus causas

E.7.3.4.2.1 Obstrucciones y acumulaciones de agua

En el caso de obstrucciones y acumulaciones de agua deben tomarse las siguientes medidas:

- Reforzar la fuerza de empuje, aumentando la carga del filtro.

- Efectuar una recirculación intensa o disminuir la velocidad de la regadera giratoria, haciendo girar uno de sus brazos hasta que el chorro de agua salga contra la dirección en que gira.
- Enjuagar la superficie del filtro con un chorro de agua de alta presión o con una regadera giratoria en reposo que se accione sobre las áreas obstruidas.
- Aflojar el material de relleno en la superficie con un rastrillo o una herramienta similar (que no sea pesada).
- Cargar el filtro percolador, bajo dirección técnica, con productos químicos adecuados. Al final, enjuagar fuertemente.
- Si ninguna de estas medidas tiene efecto, primero es necesario sacar una parte del material de relleno, lavarlo y volverlo a colocar. Antes de volver a colocarlo hay que repetir varias veces el enjuague del filtro. Si es necesario, se saca todo el material de relleno, se lava y se vuelve a colocar. En este caso deben revisarse el tamaño y la forma de los granos. El material inservible debe ser reemplazado.

E.7.3.4.2.2 Moscas en los filtros

Una cantidad excesiva de moscas en los filtros puede producir molestias. Para evitarlas, se pueden tomar las siguientes medidas:

- Cargar en forma continua y, en caso necesario, aumentar la carga.
- Lavar la superficie con chorros de agua para disminuir la acumulación de biomasa.
- Lavar fuertemente las partes internas de las paredes del filtro que estén libres en su parte superior.
- Aplicar productos químicos adecuados, bajo dirección técnica. Eventualmente, repetir la aplicación para matar las larvas.
- Aplicar insecticidas en la superficie del filtro y en las paredes, bajo dirección técnica (por la toxicidad sólo en casos excepcionales).
- El uso de sustancias químicas puede producir efectos secundarios perjudiciales sobre la biomasa del filtro y del cuerpo receptor. Por tal razón, deben preferirse las primeras medidas mencionadas.
- Al sembrar plantas en el área del filtro pueden reducirse las molestias causadas por las moscas. Es conveniente no plantar árboles con copas anchas, sino árboles bajos por la caída de las hojas y el peligro subsecuente de formación de acumulaciones de agua u obstrucciones en la superficie del filtro

E.7.3.5 Tratamientos Anaerobios

E.7.3.5.1 Operación y mantenimiento

La evacuación de lodos debe hacerse de manera periódica y su práctica varía de reactor a reactor.

En un reactor UASB, se recomienda evacuar lodos cuando el lecho se haya expandido hasta un punto tal que se haya deteriorado la eficiencia en la remoción de los sólidos suspendidos porque los lodos son arrastrados con el efluente.

E.7.3.5.2 Operación y mantenimiento de reactores U.A.S.B

El muestreo de los lodos del reactor debe hacerse a tres diferentes alturas y debe purgarse para mantener constante la cantidad de lodo en el reactor. Al escoger la forma de muestrear debe tenerse en cuenta como se va a vaciar la planta. Si la diferencia de nivel del terreno lo permite o cuando el bombeo de lodo está previsto, se puede considerar colocar un pozo hasta el fondo del reactor, al lado de este, en el cual se colocan las válvulas de muestreo. En el caso de menores diferencias de nivel puede implementarse el llamado sistema de "flautas". Para la facilidad de operación este debe diseñarse con una cabeza estática suficiente (1 metro) y debe tener la posibilidad de destaponamiento. Con este sistema de muestreo de

lodos la vaciada del reactor puede ser más complicada, ya que debe trabajarse desde el interior del reactor.

Durante la operación del reactor deben monitorearse los siguientes parámetros:

- pH y alcalinidad

En el caso de que la alcalinidad comience a descender (antes de que lo haga el pH), es necesario agregar especies alcalinas para evitar el colapso por acidificación.

El valor mínimo recomendable del pH es 6.5.

Se recomienda no sobrepasar el 75% de la actividad metanogénica máxima de los lodos durante la operación.

- Producción de gas

Debe hacerse un mantenimiento periódico a todas las estructuras y equipos para la recolección y manejo de los gases generados para asegurar que se minimicen los potenciales impactos a la comunidad por clases indeseables. Debe verificarse que no existan fugas.

Debe impedirse el uso de equipos de soldadura durante el funcionamiento del proceso por el gran riesgo de explosiones que esto genera.

Deben colocarse avisos de advertencia sobre el riesgo de explosiones generadas por chispas, fuegos, etc.

No se permite fumar en las inmediaciones de la planta.

- Cantidad de lodo efluente

Se debe modificar el contenido de sólidos volátiles en el efluente como una forma de controlar la cantidad de biomasa en el reactor. Cuando el contenido de sólidos sea superior a 60 mg/L es necesario o revisar el funcionamiento hidráulico del sedimentador o drenar los lodos para disminuir la altura del manto interno.

E.7.3.5.3 Filtros anaerobios

Metodología de cálculo

Para determinar el volumen del filtro anaerobio se recomienda utilizar la siguiente ecuación :

$$V_r = q^2 \cdot Qd \quad \text{(E.7.33)}$$

Además, para el cálculo de la eficiencia de remoción, se recomienda utilizar la siguiente ecuación :

$$E = 100 \left(1 - E = 100 \left(1 - \frac{k}{q^m} \right) \right) \quad \text{(E.7.3.4)}$$

k se da en la tabla E.4.26 y m se da en la tabla E.7.6

TABLA E.7.6
Valores típicos del coeficiente m

| Configuración | Valor de m |
|--|------------|
| Piedra redonda 4 a 7 cm. Porosidad área específica Máx. 0.46 130m ² /m ³ | 0.665 |
| Piedra partida 4 a 7 cm Porosidad área específica Max 0.66 98 m ² /m ³ | 0.660 |

E.7.4 DESINFECCION

E.7.4.1 Operación y mantenimiento de sistemas de cloración

Para una correcta operación se debe tener en cuenta lo siguiente :

- Donde el consumo medio diario de cloro sea 68 kg o más, deben usarse cilindros de una tonelada.
- Se proveerán balanzas para pesar los cilindros en todas las plantas que usen cloro gaseoso. Se recomienda que en plantas grandes, mas de 18,925 m³/d, se usen balanzas del tipo indicador y registrador. Debe proveerse por lo menos, una balanza de plataforma. Las balanzas deben ser de un material resistente a la corrosión.
- Donde se requiera distribución múltiple con varios cilindros para evaporar suficiente cloro, debe considerarse la instalación de evaporadores para producir la cantidad de gas requerido.
- Debe haber disponible una botella con hidróxido de amonio para detectar escapes de cloro. Cuando se usen cilindros debe proveerse equipo aprobado para repararlos. En instalaciones grandes debe considerarse la instalación de un equipo automático de detección y alarma.
- En el tanque de contacto deben proveerse instalaciones para el mantenimiento y la limpieza sin reducir la efectividad de la desinfección.

Evaluación de efectividad

- Deben incluirse instalaciones para el muestreo del efluente desinfectado después del tiempo de contacto. Dichos muestreos deben ser aleatorios o continuos según requieran las condiciones.
- Debe proveerse equipo para medir el cloro residual mediante la prueba estándar. El equipo debe hacer posible la medida del cloro residual al 0.1mg/L con una exactitud de aproximadamente 25 % sobre 0.5mg/L. Cuando la descarga ocurra en puntos que requieran un control bacteriológico rígido, como en cuerpos de aguas que constituyen fuentes de abasto, cuerpos de agua usados para fines recreacionales, para propagación de moluscos o crustáceos, o alguno de sus tributarios, se considerará la construcción de instalaciones que hayan demostrado efectividad para el análisis de cloro residual.

E.7.5 MANEJO DE LODOS

E.7.5.1 Operación y mantenimiento para espesadores por gravedad.

Para lograr una operación exitosa del espesador, se recomienda lo siguiente : 1) no enviar espumas de otras operaciones de la planta al espesador ; estas pueden enviarse a un tanque decantador. 2) bombear los lodos espesados a una tasa lo mas uniforme posible. Las velocidades típicas recomendables para la línea de bombeo van de 1 a 2 m/s; se sugieren líneas duales. 3) Colocar la bomba al lado del espesador, por debajo del nivel de agua en este. 4) Prevenir la septicidad en el espesador por medio de la adición al afluente de cloro, peróxido u otro agente químico; por medio de aireación, o suministrando lodos con suficiente agua para dilución secundaria. Además, la entrada al espesador debe estar diseñada de modo que se minimice la turbulencia. Debe evitar la entrada de aire por la alimentación para reducir la formación de espumas en la superficie del espesador . Además de lo anterior, existen otros factores importantes que deben ser tenidos en cuenta por el operador para garantizar una operación efectiva.

- Fuente de los sólidos (primarios, secundarios, terciarios, etc.)
- Cantidad de sólidos
- Estado de los sólidos (sépticos, frescos, etc.)
- Caudal de bombeo

- Concentración de sólidos
- Requerimientos de los procesos siguientes con respecto a caudal, cantidad de sólidos y condición
- Acondicionamiento químico tanto después como antes del espesamiento, y el impacto de las variaciones del caudal, la cantidad de sólidos y la condición en la eficacia de acondicionamiento.
- Cambios químicos que ocurren, especialmente con respecto a la alcalinidad, donde se espesan los sólidos digeridos.

E.7.5.1.1.1 Disposición general de la planta

El diseñador debe seguir las siguientes guías en el momento de diseñar un sistema de espesadores por gravedad:

- La tubería de succión y descarga debe ser tan corta como sea posible. Si el acceso puede ser un problema, la tubería debe colocarse en una galería.
- Si se practica el espesamiento combinado, la línea de lodos activados debe ser relativamente larga y la línea de lodo primario debe ser relativamente corta.
- Para minimizar problemas por olores el espesador debe localizarse donde reciba atención operacional frecuente, pero suficientemente lejos de la planta para mantenerlo alejado de la observación casual.
- En los casos en que la remoción de arena se pueda llevar a cabo fuera del espesador, las instalaciones para manejo de la arena, incluido el desarenador y las unidades de almacenamiento, deben localizarse en el sitio.
- Las instalaciones para cargar los camiones deben localizarse en el espesador o cerca de este , para el evento que el equipo de secado esté fuera de servicio.
- El diseñador debe tener presente, sin embargo, que las características locales (topografía, tamaño y forma del sitio de la planta, vientos prevalecientes y temperaturas extremas locales) desempeñan un papel muy importante en la operación que se va a diseñar diseñada.

E.7.5.1.1.2 Espesamiento combinado

En caso de que los lodos primarios y los secundarios (u otros lodos biológicos) se espesen juntos, se recomienda lo siguiente:

- La entrada de sólidos para lodo primario más lodo activado de desecho no debe exceder 3500 mg/L.
- Una relación de líquido secundario a primario de 8:1 mantendrá e fresco el espesador
- Las tasas de carga específicas (kg/m²/día) para lodos primarios y secundarios deben mantenerse. La tasa de desbordamiento superficial debe estar en el rango de 33m³/m² día.

E.7.5.2 Lechos de secado de lodos

E.7.5.2.1 Operación y mantenimiento

Se recomienda agregar un kilogramo de alumbre por cada 800 a 2500 L. de lodo para aumentar el desprendimiento de gases. Debe tenerse en cuenta la humedad de los lodos que se apliquen, la superficie del lecho disponible, así como la necesidad de espacio para almacenamiento en los digestores. Una capa delgada se seca más rápidamente, y permite la más rápida remoción del lodo. La superficie del lecho debe mantenerse limpia y libre de todos los lodos que se hayan descargado anteriormente. Nunca deben descargarse los lodos sobre otros ya secos o parcialmente secos. Una vez descargados los lodos de un digestor, las tuberías de lodos deben escurrirse bien y hacer circular agua por ellas. Esto no solo evita el taponamiento de las tuberías, sino también el desarrollo de grandes presiones originadas por los gases

emanados de los lodos que queden dentro. Por este motivo, debe evitarse encender fósforos, cigarrillos o cualquier fuego, cuando se abran las válvulas de lodos.

Se recomienda retirar los lodos dependiendo del tratamiento subsecuente de molida o picado, la necesidad de descargar los digestores, y, el contenido de humedad de los lodos que estén en los lechos. La torta que tenga un contenido de humedad de 60 a 70 %, puede retirarse con palas o rastrillos. Para los **niveles bajo y medio alto de complejidad** se recomienda retirar el lodo con carretillas de mano, tendiendo tabloncillos sobre el lecho, a modo de andén. Para los **niveles medio alto y alto de complejidad**, se recomienda el empleo de camiones de volteo. En este caso deben tenerse andenes de concreto suficientemente anchos para que pasen estos vehículos sin dañar el lecho.

Después de retirar los lodos, el lecho debe prepararse para la siguiente carga. Debe reponerse la arena que se haya perdido en limpiezas anteriores.

SOBRE EL TÉRMINO BIOSÓLIDO

En la medida que las plantas de tratamiento entran en funcionamiento, la generación de los lodos es inevitable y su gestión demanda el establecimiento de estrategias que permitan dar un uso racional a dichos residuos, de tal manera que se logre no sólo el fin propuesto de descontaminar el agua sino también colmar las expectativas de la comunidad en cuanto a un manejo integral del problema. Esta situación se ha tipificado en nuestras grandes ciudades como nuevos problemas, tanto por las propias autoridades ambientales como por la comunidad, ¿Qué hacer con los lodos?

Ante esta inquietudes manifestadas tanto por autoridades ambientales como por Entidades Prestadoras de Servicios encargadas de plantas de tratamiento se decidió abordar el tema en un taller organizado por la Dirección Ambiental Sectorial del Ministerio del Medio Ambiente y la valiosa colaboración de las EPM, bajo una perspectiva moderna, llamada BIOSÓLIDOS, para lo cual se apeló a la información disponible en el ámbito internacional, tanto de conceptos, como de experiencias exitosas y normatividad, la cual se compartió en el taller de la referencia.

Entre las conclusiones y recomendaciones del citado taller, que se llevo a cabo en Bogotá el 10 de julio de 2.000, surgió la necesidad de hacer claridad conceptual entre LODO y BIOSÓLIDO, término este último relativamente nuevo en nuestro medio a pesar de la disponibilidad de información en el campo internacional, y el desconocimiento de ella ha permitido que el desarrollo conceptual y legal se haya quedado rezagado, lo cual se manifiesta en el momento de valorar propuestas de manejo de los Biosólidos a generarse en las plantas de tratamiento de aguas residuales. Allí quedó claramente establecido que hay una diferencia muy clara entre los dos términos, en especial porque LODO corresponde a un líquido con contenido de sólidos en suspensión sin ningún tipo de tratamiento, mientras que BIOSÓLIDO corresponde a un sólido que ha sido llevado a procesos de estabilización, que no generan riesgos ni a la sociedad ni a los recursos naturales. De igual manera se propuso una definición para Biosólido, que puede ser la base conceptual para el desarrollo de una norma que sobre el tema se ha empezado a estructurar, con el fin de tener un instrumento legal mediante el cual se logre direccionar el manejo y aprovechamiento de los Biosólidos en el país.

La definición propuesta dice: "Biosólidos son los sólidos provenientes del tratamiento de aguas residuales municipales, estabilizados biológicamente, con suficiente concentración de nutrientes (mayores y menores), bajo contenido de microorganismos patógenos, presencia permisible de metales pesados, que se puede utilizar como fertilizante, acondicionador o mejorador de suelos, de acuerdo a la composición físico-química del biosólido y la vocación de uso del suelo"

MinAmbiente, Dirección Ambiental Sectorial