

# **NORMA OS.090**

## **PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

### **1. OBJETO**

El objetivo principal es normar el desarrollo de proyectos de tratamiento de aguas residuales en los niveles preliminar, básico y definitivo.

### **2. ALCANCE**

2.1 La presente norma está relacionada con las instalaciones que requiere una planta de tratamiento de aguas residuales municipales y los procesos que deben experimentar las aguas residuales antes de su descarga al cuerpo receptor o a su reutilización.

### **3. DEFINICIONES**

#### **3.1 Adsorción**

Fenómeno fisicoquímico que consiste en la fijación de sustancias gaseosas, líquidas o moléculas libres disueltas en la superficie de un sólido.

#### **3.2 Absorción**

Fijación y concentración selectiva de sólidos disueltos en el interior de un material sólido, por difusión.

#### **3.3 Acidez**

La capacidad de una solución acuosa para reaccionar con los iones hidroxilo hasta un pH de neutralización.

#### **3.4 Acuífero**

Formación geológica de material poroso capaz de almacenar una apreciable cantidad de agua.

#### **3.5 Aeración**

Proceso de transferencia de oxígeno del aire al agua por medios naturales (flujo natural, cascadas, etc.) o artificiales (agitación mecánica o difusión de aire comprimido)

#### **3.6 Aeración mecánica**

Introducción de oxígeno del aire en un líquido por acción de un agitador mecánico.

### **3.7 Aeración prolongada**

Una modificación del tratamiento con lodos activados que facilita la mineralización del lodo en el tanque de aeración.

### **3.8 Adensador (Espesador)**

Tratamiento para remover líquido de los lodos y reducir su volumen.

### **3.9 Afluente**

Agua u otro líquido que ingresa a un reservorio, planta de tratamiento o proceso de tratamiento.

### **3.10 Agua residual**

Agua que ha sido usada por una comunidad o industria y que contiene material orgánico o inorgánico disuelto o en suspensión.

### **3.11 Agua residual doméstica**

Agua de origen doméstico, comercial e institucional que contiene desechos fisiológicos y otros provenientes de la actividad humana.

### **3.12 Agua residual municipal**

Son aguas residuales domésticas. Se puede incluir bajo esta definición a la mezcla de aguas residuales domésticas con aguas de drenaje pluvial o con aguas residuales de origen industrial, siempre que estas cumplan con los requisitos para ser admitidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado.

### **3.13 Anaerobio**

Condición en la cual no hay presencia de aire u oxígeno libre.

### **3.14 Análisis**

El examen de una sustancia para identificar sus componentes.

### **3.15 Aplicación en el terreno**

Aplicación de agua residual o lodos parcialmente tratados, bajo condiciones controladas, en el terreno.

### **3.16 Bacterias**

Grupo de organismos microscópicos unicelulares, con cromosoma bacteriano único, división binaria y que intervienen en los procesos de estabilización de la materia orgánica.

### **3.17 Bases de diseño**

Conjunto de datos para las condiciones finales e intermedias del diseño que sirven para el dimensionamiento de los procesos de tratamiento. Los datos generalmente incluyen: poblaciones, caudales, concentraciones y aportes per cápita de las aguas residuales. Los parámetros que usualmente determinan las bases del diseño son: DBO, sólidos en suspensión, coliformes fecales y nutrientes.

### **3.18 Biodegradación**

Transformación de la materia orgánica en compuestos menos complejos, por acción de microorganismos.

### **3.19 Biopelícula**

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

### **3.20 By-pass**

Conjunto de elementos utilizados para desviar el agua residual de un proceso o planta de tratamiento en condiciones de emergencia, de mantenimiento o de operación.

### **3.21 Cámara de contacto**

Tanque alargado en el que el agua residual tratada entra en contacto con el agente desinfectante.

### **3.22 Carbón activado**

Gránulos carbonáceos que poseen una alta capacidad de remoción selectiva de compuestos solubles, por adsorción.

### **3.23 Carga del diseño**

Relación entre caudal y concentración de un parámetro específico que se usa para dimensionar un proceso del tratamiento.

### **3.24 Carga superficial**

Caudal o masa de un parámetro por unidad de área que se usa para dimensionar un proceso del tratamiento.

### **3.25 Caudal pico**

Caudal máximo en un intervalo dado.

### **3.26 Caudal máximo horario**

Caudal a la hora de máxima descarga.

### **3.27 Caudal medio**

Promedio de los caudales diarios en un período determinado.

### **3.28 Certificación**

Programa de la entidad de control para acreditar la capacidad del personal de operación y mantenimiento de una planta de tratamiento.

### **3.29 Clarificación**

Proceso de sedimentación para eliminar los sólidos sedimentables del agua residual.

### **3.30 Cloración**

Aplicación de cloro o compuestos de cloro al agua residual para desinfección y en algunos casos para oxidación química o control de olores.

### **3.31 Coagulación**

Aglomeración de partículas coloidales (< 0,001 mm) y dispersas (0,001 a 0,01 mm) en coágulos visibles, por adición de un coagulante.

### **3.32 Coagulante**

Electrolito simple, usualmente sal inorgánica, que contiene un catión multivalente de hierro, aluminio o calcio. Se usa para desestabilizar las partículas coloidales favoreciendo su aglomeración.

### **3.33 Coliformes**

Bacterias Gram negativas no esporuladas de forma alargada capaces de fermentar lactosa con producción de gas a 35 +/- 0.5°C (coliformes totales). Aquellas que tienen las mismas propiedades a 44,5 +/- 0,2°C, en 24 horas, se denominan coliformes fecales (ahora también denominados coliformes termotolerantes).

### **3.34 Compensación**

Proceso por el cual se almacena agua residual y se amortigua las variaciones extremas de descarga, homogenizándose su calidad y evitándose caudales pico.

### **3.35 Criba gruesa**

Artefacto generalmente de barras paralelas de separación uniforme (4 a 10 cm) para remover sólidos flotantes de gran tamaño.

### **3.36 Criba Media**

Estructura de barras paralelas de separación uniforme (2 a 4cm) para remover sólidos flotantes y en suspensión; generalmente se emplea en el tratamiento preliminar.

### **3.37 Criterios de diseño**

Guías de ingeniería que especifican objetivos, resultados o límites que deben cumplirse en el diseño de un proceso, estructura o componente de un sistema

### **3.38 Cuneta de coronación**

Canal abierto, generalmente revestido, que se localiza en una planta de tratamiento con el fin de recolectar y desviar las aguas pluviales.

### **3.39 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)**

Cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para la estabilización de la materia orgánica bajo condiciones de tiempo y temperatura específicos (generalmente 5 días y a 20°C).

### **3.40 Demanda química de oxígeno (DQO)**

Medida de la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidante sales inorgánicas de permanganato o dicromato de potasio.

### **3.41 Densidad de energía**

Relación de la potencia instalada de un aerador y el volumen, en un tanque de aeración, laguna aerada o digestor aerobio.

### **3.42 Depuración de aguas residuales**

Purificación o remoción de sustancias objetables de las aguas residuales; se aplica exclusivamente a procesos de tratamiento de líquidos.

### **3.43 Derrame accidental**

Descarga directa o indirecta no planificada de un líquido que contiene sustancias indeseables que causan notorios efectos adversos en la calidad del cuerpo receptor. Esta descarga puede ser resultado de un accidente, efecto natural u operación inapropiada.

### **3.44 Desarenadores**

Cámara diseñada para reducir la velocidad del agua residual y permitir la remoción de sólidos minerales (arena y otros), por sedimentación.

### **3.45 Descarga controlada**

Regulación de la descarga del agua residual cruda para eliminar las variaciones extremas de caudal y calidad.

### **3.46 Desecho ácido**

Descarga que contiene una apreciable cantidad de acidez y pH bajo.

### **3.47 Desecho peligroso**

Desecho que tiene una o más de las siguientes características: corrosivo, reactivo, explosivo, tóxico, inflamable o infeccioso.

### **3.48 Desecho industrial**

Desecho originado en la manufactura de un producto específico.

### **3.49 Deshidratación de lodos**

Proceso de remoción del agua contenida en los lodos.

### **3.50 Desinfección**

La destrucción de microorganismos presentes en las aguas residuales mediante el uso de un agente desinfectante.

### **3.51 Difusor**

Placa porosa, tubo u otro artefacto, a través de la cual se inyecta aire comprimido u otros gases en burbujas, a la masa líquida.

### **3.52 Digestión**

Descomposición biológica de la materia orgánica del lodo que produce una mineralización, licuefacción y gasificación parcial.

### **3.53 Digestión aerobia**

Descomposición biológica de la materia orgánica del lodo, en presencia de oxígeno.

### **3.54 Digestión anaerobia**

Descomposición biológica de la materia orgánica del lodo, en ausencia de oxígeno.

### **3.55 Disposición final**

Disposición del efluente o del lodo tratado de una planta de tratamiento.

### **3.56 Distribuidor rotativo**

Dispositivo móvil que gira alrededor de un eje central y está compuesto por brazos horizontales con orificios que descargan el agua residual sobre un filtro biológico. La acción de descarga de los orificios produce el movimiento rotativo.

### **3.57 Edad del lodo**

Parámetro de diseño y operación propio de los procesos de lodos activados que resulta de la relación de la masa de sólidos volátiles presentes en el tanque de aeración dividido por la masa de sólidos volátiles removidos del sistema por día. El parámetro se expresa en días.

### **3.58 Eficiencia del tratamiento**

Relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración aplicada, en un proceso o planta de tratamiento y para un parámetro específico. Puede expresarse en decimales o porcentaje.

### **3.59 Efluente**

Líquido que sale de un proceso de tratamiento.

### **3.60 Efluente final**

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

### **3.61 Emisario submarino**

Tubería y accesorios complementarios que permiten la disposición de las aguas residuales pretratadas en el mar.

Los estudios requeridos para el diseño de un emisario submarino, que permitan definir su longitud, diámetro, profundidad, ubicación y sistema de difusores, se indican a continuación, sin carácter limitativo:

- Caracterización de las aguas residuales;
- Estudio de línea de base de calidad de las aguas del cuerpo receptor;
- Hidrografía y batimetría de la zona de vertimiento;
- Estudio de corrientes oceánicas y su correlación con las velocidades y direcciones del viento;
- Determinación del valor del T90; y,
- Estudios de geología de fondo marino.

A fin de brindar la adecuada protección a la salud y al ambiente, la dilución inicial en el diseño de un emisario submarino será considerada como se indica a continuación:

- En el caso que el tratamiento previo de las aguas residuales se realice a través de tratamiento preliminar avanzado o tratamiento primario, la dilución inicial, en el 80% del tiempo, no deberá ser menor que 100:1.
- En el caso de considerar un tratamiento previo de las aguas residuales a través de tratamiento físico-químico o tratamiento secundario, la dilución inicial en el 80% del tiempo, no deberá ser menor que 50:1.

El modelo matemático que se utilice para el diseño de un emisario submarino, deberá considerar las variables y parámetros críticos de diseño obtenidos en los

estudios realizados previamente. Deberá definirse una región limitada alrededor de la sección del difusor del emisario submarino, para la mezcla completa del efluente con el agua de mar denominada Zona de Mezcla. El tratamiento previo de las aguas residuales, antes de su ingreso al emisario submarino, en combinación con los procesos de dilución inicial, dispersión, asimilación y decaimiento deben garantizar el cumplimiento de las normas de calidad ambiental y/o sanitaria que correspondan , en la zona de protección establecida por la autoridad competente.

### **3.62 Emisor**

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

### **3.63 Examen bacteriológico**

Análisis para determinar y cuantificar el número de bacterias en las aguas residuales.

### **3.64 Factor de carga**

Parámetro operacional y de diseño del proceso de lodos activados que resulta de dividir la masa del sustrato (kg DBO/d) que alimenta a un tanque de aeración, entre la masa de microorganismos en el sistema, representada por la masa de sólidos volátiles.

### **3.65 Filtro biológico**

Sinónimo de "filtro percolador", "lecho bacteriano de contacto" o "biofiltro"

### **3.66 Filtro percolador**

Sistema en el que se aplica el agua residual sedimentada sobre un medio filtrante de piedra gruesa o material sintético. La película de microorganismos que se desarrolla sobre el medio filtrante estabiliza la materia orgánica del agua residual.

### **3.67 Fuente no puntual**

Fuente de contaminación dispersa.

### **3.68 Fuente puntual**

Cualquier fuente definida que descarga o puede descargar contaminantes.

### **3.69 Grado de tratamiento**

Eficiencia de remoción de una planta de tratamiento de aguas residuales para cumplir con los requisitos de calidad del cuerpo receptor o las normas de reuso.

### **3.70 Igualación**



Ver compensación.

### **3.71 Impacto ambiental**

Cambio o efecto sobre el ambiente que resulta de una acción específica.

### **3.72 Impermeable**

Que impide el paso de un líquido.

### **3.73 Interceptor**

Canal o tubería que recibe el caudal de aguas residuales de descargas transversales y las conduce a una planta de tratamiento.

### **3.74 Irrigación superficial**

Aplicación de aguas residuales en el terreno de tal modo que fluyan desde uno o varios puntos hasta el final de un lote.

### **3.75 IVL (Índice Volumétrico de lodo)**

Volumen en mililitros ocupado por un gramo de sólidos, en peso seco, de la mezcla lodo/agua tras una sedimentación de 30 minutos en un cilindro graduado de 1000 ml.

### **3.76 Laguna aerada**

Estanque para el tratamiento de aguas residuales en el cual se inyecta oxígeno por acción mecánica o difusión de aire comprimido.

### **3.77 Laguna aerobia**

Laguna con alta producción de biomasa.

### **3.78 Laguna anaerobia**

Estanque con alta carga orgánica en la cual se efectúa el tratamiento en la ausencia de oxígeno. Este tipo de laguna requiere tratamiento posterior complementario.

### **3.79 Laguna de alta producción de biomasa**

Estanque normalmente de forma alargada, con un corto período de retención, profundidad reducida y con facilidades de mezcla que maximizan la producción de algas. (Otros términos utilizados pero que están tendiendo al desuso son: "laguna aerobia", "laguna fotosintética" y "laguna de alta tasa").

### **3.80 Laguna de estabilización**

Estanque en el cual se descarga aguas residuales y en donde se produce la estabilización de materia orgánica y la reducción bacteriana.

### **3.81 Laguna de descarga controlada**

Estanque de almacenamiento de aguas residuales tratadas, normalmente para el reuso agrícola, en el cual se embalsa el efluente tratado para ser utilizado en forma discontinua, durante los períodos de mayor demanda.

### **3.82 Laguna de lodos**

Estanque para almacenamiento, digestión o remoción del líquido del lodo.

### **3.83 Laguna de maduración**

Estanque de estabilización para tratar el efluente secundario o aguas residuales previamente tratadas por un sistema de lagunas, en donde se produce una reducción adicional de bacterias. Los términos "lagunas de pulimento" o "lagunas de acabado" tienen el mismo significado.

### **3.84 Laguna facultativa**

Estanque cuyo contenido de oxígeno varía de acuerdo con la profundidad y hora del día.

En el estrato superior de una laguna facultativa existe una simbiosis entre algas y bacterias en presencia de oxígeno, y en los estratos inferiores se produce una biodegradación anaerobia.

### **3.85 Lechos bacterianos de contacto**

(Sinónimo de "filtros biológicos" o "filtros percoladores").

### **3.86 Lecho de secado**

Tanques de profundidad reducida con arena y grava sobre drenes, destinado a la deshidratación de lodos por filtración y evaporación.

### **3.87 Licor mezclado**

Mezcla de lodo activado y desecho líquido, bajo aeración en el proceso de lodos activados.

### **3.88 Lodo activado**

Lodo constituido principalmente de biomasa con alguna cantidad de sólidos inorgánicos que recircula del fondo del sedimentador secundario al tanque de aeración en el tratamiento con lodos activados.

### **3.89 Lodo activado de exceso**

Parte del lodo activado que se retira del proceso de tratamiento de las aguas residuales para su disposición posterior (vg. espesamiento, digestión o secado).

### **3.90 Lodo crudo**

Lodo retirado de los tanques de sedimentación primaria o secundaria, que requiere tratamiento posterior (espesamiento o digestión).

### **3.91 Lodo digerido**

Lodo mineralizado a través de la digestión aerobia o anaerobia.

### **3.92 Manejo de aguas residuales**

Conjunto de obras de recolección, tratamiento y disposición y acciones de operación, monitoreo, control y vigilancia en relación a las aguas residuales.

### **3.93 Medio filtrante**

Material granular a través del cual pasa el agua residual con el propósito de purificación, tratamiento o acondicionamiento.

### **3.94 Metales pesados**

Elementos metálicos de alta densidad (por ejemplo, mercurio, cromo, cadmio, plomo) generalmente tóxicos, en bajas concentraciones al hombre, plantas y animales.

### **3.95 Mortalidad de las bacterias**

Reducción de la población bacteriana normalmente expresada por un coeficiente cinético de primer orden en  $d^{-1}$ .

### **3.96 Muestra compuesta**

Combinación de alicuotas de muestras individuales (normalmente en 24 horas) cuyo volumen parcial se determina en proporción al caudal del agua residual al momento de cada muestreo

### **3.97 Muestra puntual**

Muestra tomada al azar a una hora determinada, su uso es obligatorio para el examen de un parámetro que normalmente no puede preservarse.

### **3.98 Muestreador automático**

Equipo que toma muestras individuales, a intervalos predeterminados.

### **3.99 Muestreo**

Toma de muestras de volumen predeterminado y con la técnica de preservación correspondiente para el parámetro que se va a analizar.

### **3.100 Nematodos intestinales**

Parásitos (Áscaris lumbricoides, Trichuris trichiura, Necator americanus y Ancylostoma duodenale, entre otros) cuyos huevos requieren de un período latente de desarrollo antes de causar infección y su dosis infectiva es mínima (un organismo). Son considerados como los organismos de mayor preocupación en cualquier esquema de reutilización de aguas residuales. Deben ser usados como microorganismos indicadores de todos los agentes patógenos sedimentables, de mayor a menor tamaño (incluso quistes amibianos).

### **3.101 Nutriente**

Cualquier sustancia que al ser asimilada por organismos, promueve su crecimiento. En aguas residuales se refiere normalmente al nitrógeno y fósforo, pero también pueden ser otros elementos esenciales.

### **3.102 Obras de llegada**

Dispositivos de la planta de tratamiento inmediatamente después del emisor y antes de los procesos de tratamiento.

### **3.103 Oxígeno disuelto**

Concentración de oxígeno solubilizado en un líquido.

### **3.104 Parásito**

Organismo protozoario o nematodo que habitando en el ser humano puede causar enfermedades.

### **3.105 Período de retención nominal**

Relación entre el volumen y el caudal efluente.

### **3.106 pH**

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

### **3.107 Planta de tratamiento**

Infraestructura y procesos que permiten la depuración de aguas residuales.

### **3.108 Planta piloto**

Planta de tratamiento a escala, utilizada para la determinación de las constantes cinéticas y parámetros de diseño del proceso.

### **3.109 Población equivalente**

La población estimada al relacionar la carga de un parámetro (generalmente DBO, sólidos en suspensión) con el correspondiente aporte

per cápita (g DBO/(hab.d) o g SS/ (hab.d)).

### **3.110 Porcentaje de reducción**

Ver eficiencia del tratamiento (3.58).

### **3.111 Pretratamiento**

Procesos que acondicionan las aguas residuales para su tratamiento posterior.

### **3.112 Proceso biológico**

Asimilación por bacterias y otros microorganismos de la materia orgánica del desecho, para su estabilización

### **3.113 Proceso de lodos activados**

Tratamiento de aguas residuales en el cual se somete a aeración una mezcla (licor mezclado) de lodo activado y agua residual. El licor mezclado es sometido a sedimentación para su posterior recirculación o disposición de lodo activado.

### **3.114 Reactor anaerobio de flujo ascendente**

Proceso continuo de tratamiento anaerobio de aguas residuales en el cual el desecho circula en forma ascendente a través de un manto de lodos o filtro, para la estabilización parcial de la materia orgánica. El desecho fluye del proceso por la parte superior y normalmente se obtiene gas como subproducto.

### **3.115 Requisito de oxígeno**

Cantidad de oxígeno necesaria para la estabilización aerobia de la materia orgánica y usada en la reproducción o síntesis celular y en el metabolismo endógeno.

### **3.116 Reuso de aguas residuales**

Utilización de aguas residuales debidamente tratadas para un propósito específico.

### **3.117 Sedimentación final**

Ver sedimentación secundaria.

### **3.118 Sedimentación primaria**

Remoción de material sedimentable presente en las aguas residuales crudas. Este proceso requiere el tratamiento posterior del lodo decantado.

### **3.119 Sedimentación secundaria**

Proceso de separación de la biomasa en suspensión producida en el tratamiento biológico.

### **3.120 Sistema combinado**

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

### **3.121 Sistema individual de tratamiento**

Sistema de tratamiento para una vivienda o un número reducido de viviendas.

### **3.122 Sólidos activos**

Parte de los sólidos en suspensión volátiles que representan a los microorganismos.

### **3.123 SSVTA**

Sólidos en suspensión volátiles en el tanque de aeración.

### **3.124 Tanque séptico**

Sistema individual de disposición de aguas residuales para una vivienda o conjunto de viviendas que combina la sedimentación y la digestión. El efluente es dispuesto por percolación en el terreno y los sólidos sedimentados y acumulados son removidos periódicamente en forma manual o mecánica.

### **3.125 Tasa de filtración**

Velocidad de aplicación del agua residual a un filtro.

### **3.126 Tóxicos**

Elementos o compuestos químicos capaces de ocasionar daño por contacto o acción sistémica a plantas, animales y al hombre.

### **3.127 Tratamiento avanzado**

Proceso de tratamiento fisicoquímico o biológico para alcanzar un grado de tratamiento superior al tratamiento secundario. Puede implicar la remoción de varios parámetros como:

- remoción de sólidos en suspensión (microcribado, clarificación química, filtración, etc.);
- remoción de complejos orgánicos disueltos (adsorción, oxidación química, etc.);
- remoción de compuestos inorgánicos disueltos (destilación, electrodiálisis, intercambio iónico, ósmosis inversa, precipitación química, etc.);

- remoción de nutrientes (nitrificación-denitrificación, desgasificación del amoníaco, precipitación química, asimilación, etc.).

### **3.128 Tratamiento anaerobio**

Estabilización de un desecho orgánico por acción de microorganismos en ausencia de oxígeno.

### **3.129 Tratamiento biológico**

Procesos de tratamiento que intensifica la acción de los microorganismos para estabilizar la materia orgánica presente.

### **3.130 Tratamiento convencional**

Proceso de tratamiento bien conocido y utilizado en la práctica. Generalmente se refiere a procesos de tratamiento primario o secundario y frecuentemente se incluye la desinfección mediante cloración. Se excluyen los procesos de tratamiento terciario o avanzado

### **3.131 Tratamiento conjunto**

Tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales en la misma planta.

### **3.132 Tratamiento de lodos**

Procesos de estabilización, acondicionamiento y deshidratación de lodos.

### **3.133 Tratamiento en el terreno**

Aplicación sobre el terreno de las aguas residuales parcialmente tratadas con el fin de alcanzar un tratamiento adicional.

### **3.134 Tratamiento preliminar**

Ver pretratamiento.

### **3.135 Tratamiento primario**

Remoción de una considerable cantidad de materia en suspensión sin incluir la materia coloidal y disuelta.

### **3.136 Tratamiento químico**

Aplicación de compuestos químicos en las aguas residuales para obtener un resultado deseado; comprende los procesos de precipitación, coagulación, floculación, acondicionamiento de lodos, desinfección, etc.

### **3.137 Tratamiento secundario**

Nivel de tratamiento que permite lograr la remoción de materia orgánica biodegradable y sólidos en suspensión.

### **3.138 Tratamiento terciario**

Tratamiento adicional al secundario. Ver tratamiento avanzado (Ver 3.127)

### **3.139 Tratamiento Preliminar Avanzado**

Es un nivel superior al tratamiento preliminar o pretratamiento, que utiliza mecanismos físicos de cribado fino o tamizado fino, usando mallas o militamices con aberturas que varían de 0.25 mm hasta 6,00 mm. Su objetivo es acondicionar el agua residual retirando sólidos de tamaño superior a la abertura de la malla o militamiz.

Generalmente, los militamices deben estar precedidos de cribas, desarenadores y separadores de grasas y aceites.

Las eficiencias de remoción de sólidos y grasas del tratamiento preliminar avanzado varían con el tamaño de aberturas de las mallas o militamices.

Para fines de evaluación de procesos de tratamiento de aguas residuales, el tratamiento preliminar avanzado es equivalente al tratamiento primario respecto a la remoción de microorganismos.

## **4. DISPOSICIONES GENERALES**

### **4.1 OBJETO DEL TRATAMIENTO**

**4.1.1** El objetivo del tratamiento de las aguas residuales es mejorar su calidad para cumplir con las normas de calidad del cuerpo receptor o las normas de reutilización.

**4.1.2** El objetivo del tratamiento de lodos es mejorar su calidad para su disposición final o su aprovechamiento.

### **4.2 ORIENTACIÓN BÁSICA PARA EL DISEÑO**

**4.2.1** El requisito fundamental antes de proceder al diseño preliminar o definitivo de una planta de tratamiento de aguas residuales, es haber realizado el estudio del cuerpo receptor. El estudio del cuerpo receptor deberá tener en cuenta las condiciones más desfavorables. El grado de tratamiento se determinará de acuerdo con las normas de calidad del cuerpo receptor.

**4.2.2** En el caso de aprovechamiento de efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales, el grado de tratamiento se determinará de conformidad con los requisitos de calidad para cada tipo de aprovechamiento de acuerdo a norma.

**4.2.3** Una vez determinado el grado de tratamiento requerido, el diseño debe efectuarse de acuerdo con las siguientes etapas:

**4.2.3.1** Estudio de factibilidad, el mismo que tiene los siguientes componentes:



- Caracterización de aguas residuales domésticas e industriales;
- información básica (geológica, geotécnica, hidrológica y topográfica);
- determinación de los caudales actuales y futuros;
- aportes per cápita actuales y futuros;
- selección de los procesos de tratamiento;
- predimensionamiento de alternativas de tratamiento
- evaluación de impacto ambiental y de vulnerabilidad ante desastres;
- factibilidad técnico-económica de las alternativas y selección de la más favorable.

#### 4.2.3.1 Diseño definitivo de la planta que comprende

- estudios adicionales de caracterización que sean requeridos;
- estudios geológicos, geotécnicos y topográficos al detalle;
- estudios de tratabilidad de las aguas residuales, con el uso de plantas a escala de laboratorio o piloto, cuando el caso lo amerite;
- dimensionamiento de los procesos de tratamiento de la planta;
- diseño hidráulico sanitario;
- diseño estructural, mecánicos, eléctricos y arquitectónicos;
- planos y memoria técnica del proyecto;
- presupuesto referencial y fórmula de reajuste de precios;
- especificaciones técnicas para la construcción y
- manual de operación y mantenimiento.

**4.2.4** Según el tamaño e importancia de la instalación que se va a diseñar se podrán combinar las dos etapas de diseño mencionadas, previa autorización de la autoridad competente.

**4.2.5** Toda planta de tratamiento deberá contar con cerco perimétrico y medidas de seguridad.

**4.2.6** De acuerdo al tamaño e importancia del sistema de tratamiento, deberá considerarse infraestructura complementaria: casetas de vigilancia, almacén, laboratorio, vivienda del operador y otras instalaciones que señale el organismo competente. Estas instalaciones serán obligatorias para aquellos sistemas de tratamiento diseñados para una población igual o mayor de 25000 habitantes y otras de menor tamaño que el organismo competente considere de importancia.

### 4.3 NORMAS PARA LOS ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD

**4.3.1** Los estudios de factibilidad técnico-económica son obligatorios para todas las ciudades con sistema de alcantarillado.

**4.3.2** Para la caracterización de aguas residuales domésticas se

realizará, para cada descarga importante, cinco campañas de medición y muestreo horario de 24 horas de duración y se determinará el caudal y temperatura en el campo. Las campañas deben efectuarse en días diferentes de la semana. A partir del muestreo horario se conformarán muestras compuestas; todas las muestras deberán ser preservadas de acuerdo a los métodos estándares para análisis de aguas residuales. En las muestras compuestas se determinará como mínimo los siguientes parámetros:

- demanda bioquímica de oxígeno (DBO) 5 días y 20 °C;
- demanda química de oxígeno (DQO);
- coliformes fecales y totales;
- parásitos (principalmente nematodos intestinales);
- sólidos totales y en suspensión incluido el componente volátil;
- nitrógeno amoniacal y orgánico; y
- sólidos sedimentables.

**4.3.3** Se efectuará el análisis estadístico de los datos generados y si no son representativos, se procederá a ampliar las campañas de caracterización.

**4.3.4** Para la determinación de caudales de las descargas se efectuarán como mínimo cinco campañas adicionales de medición horaria durante las 24 horas del día y en días que se consideren representativos. Con esos datos se procederá a determinar los caudales promedio y máximo horario representativos de cada descarga. Los caudales se relacionarán con la población contribuyente actual de cada descarga para determinar los correspondientes aportes per cápita de agua residual. En caso de existir descargas industriales dentro del sistema de alcantarillado, se calcularán los caudales domésticos e industriales por separado. De ser posible se efectuarán mediciones para determinar la cantidad de agua de infiltración al sistema de alcantarillado y el aporte de conexiones ilícitas de drenaje pluvial. En sistemas de alcantarillado de tipo combinado, deberá estudiarse el aporte pluvial.

**4.3.5** En caso de sistemas nuevos se determinará el caudal medio de diseño tomando como base la población servida, las dotaciones de agua para consumo humano y los factores de contribución contenidos en la norma de redes de alcantarillado, considerándose además los caudales de infiltración y aportes industriales.

**4.3.6** Para comunidades sin sistema de alcantarillado, la determinación de las características debe efectuarse calculando la masa de los parámetros más importantes, a partir de los aportes per cápita según se indica en el siguiente cuadro.

<b>APORTE PER CÁPITA PARA AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS P A R A M E T R O S</b>	
- DBO 5 días, 20 °C, g / (hab.d)	50
- Sólidos en suspensión, g / (hab.d)	90
- NH3 - N como N, g / (hab.d)	8
- N Kjeldahl total como N, g / (hab.d)	12
- Fósforo total, g/(hab.d)	3
- Coliformes fecales. N° de bacterias / (hab.d)	2x10 <sup>11</sup>
- Salmonella Sp., N° de bacterias / (hab.d)	1x10 <sup>8</sup>
- Nematodes intes., N° de huevos / (hab.d)	4x10 <sup>5</sup>

**4.3.7** En las comunidades en donde se haya realizado muestreo, se relacionará la masa de contaminantes de DBO, sólidos en suspensión y nutrientes, coliformes y parásitos con las poblaciones contribuyentes, para determinar el aporte per cápita de los parámetros indicados. El aporte per cápita doméstico e industrial se calculará por separado.

**4.3.8** En ciudades con tanques sépticos se evaluará el volumen y masa de los diferentes parámetros del lodo de tanques sépticos que pueda ser descargado a la planta de tratamiento de aguas residuales. Esta carga adicional será tomada en cuenta para el diseño de los procesos de la siguiente forma:

- para sistemas de lagunas de estabilización y zanjas de oxidación, la descarga será aceptada a la entrada de la planta.
- para otros tipos de plantas con tratamiento de lodos, la descarga será aceptada a la entrada del proceso de digestión o en los lechos de secado.

**4.3.9** Con la información recolectada se determinarán las bases del diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales. Se considerará un horizonte de diseño (período de diseño) entre 20 y 30 años, el mismo que será debidamente justificado ante el organismo competente. Las bases de diseño consisten en determinar para condiciones actuales, futuras (final del período de diseño) e intermedias (cada cinco años) los valores de los siguientes parámetros.

- población total y servida por el sistema;
- caudales medios de origen doméstico, industrial y de infiltración al sistema de alcantarillado y drenaje pluvial;
- caudales máximo y mínimo horarios;
- aporte per cápita de aguas residuales domésticas;
- aporte per cápita de DBO, nitrógeno y sólidos en suspensión;
- masa de descarga de contaminantes, tales como: DBO, nitrógeno y sólidos; y
- concentraciones de contaminantes como: DBO, DQO, sólidos en suspensión y coliformes en el agua residual.

- 4.3.10** El caudal medio de diseño se determinará sumando el caudal promedio de aguas residuales domésticas, más el caudal de efluentes industriales admitidos al sistema de alcantarillado y el caudal medio de infiltración. El caudal de aguas pluviales no será considerado para este caso. Los caudales en exceso provocados por el drenaje pluvial serán desviados antes del ingreso a la planta de tratamiento mediante estructuras de alivio.
- 4.3.11** En ningún caso se permitirá la descarga de aguas residuales sin tratamiento a un cuerpo receptor, aun cuando los estudios del cuerpo receptor indiquen que no es necesario el tratamiento. El tratamiento mínimo que deberán recibir las aguas residuales antes de su descarga, deberá ser el tratamiento primario. En caso dicha descarga se efectúe mediante emisario submarino, el tratamiento mínimo deberá ser tratamiento preliminar avanzado. El tratamiento previo al vertimiento de las aguas residuales a través de emisarios submarinos deberá ser como mínimo el tratamiento preliminar avanzado.
- 4.3.12** Una vez determinado el grado de tratamiento, se procederá a la selección de los procesos de tratamiento para las aguas residuales y lodos. Se dará especial consideración a la remoción de parásitos intestinales, en caso de requerirse. Se seleccionarán procesos que puedan ser construidos y mantenidos sin mayor dificultad, reduciendo al mínimo la mecanización y automatización de las unidades y evitando al máximo la importación de partes y equipos.
- 4.3.13** Para la selección de los procesos de tratamiento de las aguas residuales se usará como guía los valores del cuadro siguiente:

PROCESO DE TRATAMIENTO	REMOCIÓN (%)		REMOCIÓN ciclos log <sub>10</sub>	
	DBO	Sólidos en suspensión	Bacterias	Helminthos
Sedimentación primaria	25-30	40-70	0-1	0-1
Lodos activados (a)	70-95	70-95	0-2	0-1
Filtros percoladores (a)	50-90	70-90	0-2	0-1
Lagunas aeradas (b)	80-90	(c)	1-2	0-1
Zanjas de oxidación (d)	70-95	80-95	1-2	0-1
Lagunas de estabilización (e)	70-85	(c)	1-6	1-4

- (a) precedidos y seguidos de sedimentación  
 (b) incluye laguna secundaria  
 (c) dependiente del tipo de lagunas  
 (d) seguidas de sedimentación  
 (e) dependiendo del número de lagunas y otros factores como: temperatura, período de retención y forma de las lagunas.

- 4.3.14** Una vez seleccionados los procesos de tratamiento para las aguas residuales y lodos, se procederá al dimensionamiento de alternativas. En esta etapa se determinará el número de unidades

de los procesos que se van a construir en las diferentes fases de implementación y otros componentes de la planta de tratamiento, como: tuberías, canales de interconexión, edificaciones para operación y control, arreglos exteriores, etc. Asimismo, se determinarán los rubros de operación y mantenimiento, como consumo de energía y personal necesario para las diferentes fases.

- 4.3.15** En el estudio de factibilidad técnico económica se analizarán las diferentes alternativas en relación con el tipo de tecnología: requerimientos del terreno, equipos, energía, necesidad de personal especializado para la operación, confiabilidad en operaciones de mantenimiento correctivo y situaciones de emergencia. Se analizarán las condiciones en las que se admitirá el tratamiento de las aguas residuales industriales. Para el análisis económico se determinarán los costos directos, indirectos y de operación y mantenimiento de las alternativas, de acuerdo con un método de comparación apropiado. Se determinarán los mayores costos del tratamiento de efluentes industriales admitidos y los mecanismos para cubrir estos costos.

En caso de ser requerido, se determinará en forma aproximada el impacto del tratamiento sobre las tarifas. Con esta información se procederá a la selección de la alternativa más favorable.

- 4.3.16** Los estudios de factibilidad deberán estar acompañados de evaluaciones de los impactos ambientales y de vulnerabilidad ante desastres de cada una de las alternativas, así como las medidas de mitigación correspondientes.

#### **4.4 NORMAS PARA LOS ESTUDIOS DE INGENIERÍA BÁSICA**

- 4.4.1** El propósito de los estudios de ingeniería básica es desarrollar información adicional para que los diseños definitivos puedan concebirse con un mayor grado de seguridad. Entre los trabajos que se pueden realizar en este nivel se encuentran:
- 4.4.2** Estudios adicionales de caracterización de las aguas residuales o desechos industriales que pueden requerirse para obtener datos que tengan un mayor grado de confianza.
- 4.4.3** Estudios geológicos y geotécnicos que son requeridos para los diseños de cimentación de las diferentes unidades de la planta de tratamiento. Los estudios de mecánica de suelo son de particular importancia en el diseño de lagunas de estabilización, específicamente para el diseño de los diques, impermeabilización del fondo y movimiento de tierras en general.
- 4.4.4** De mayor importancia, sobre todo para ciudades de gran tamaño y con proceso de tratamiento biológico, son los estudios de tratabilidad, para una o varias de las descargas de aguas residuales domésticas o industriales que se admitan:

**4.4.4.1** La finalidad de los estudios de tratabilidad biológica es determinar en forma experimental el comportamiento de la biomasa que llevará a cabo el trabajo de biodegradación de la materia orgánica, frente a diferentes condiciones climáticas y de alimentación. En algunas circunstancias se tratará de determinar el comportamiento del proceso de tratamiento, frente a sustancias inhibidoras o tóxicas. Los resultados más importantes de estos estudios son:

- las constantes cinéticas de biodegradación y mortalidad de bacterias;
- los requisitos de energía (oxígeno) del proceso;
- la cantidad de biomasa producida, la misma que debe tratarse y disponerse posteriormente; y
- las condiciones ambientales de diseño de los diferentes procesos.

**4.4.4.2** Estos estudios deben llevarse a cabo obligatoriamente para ciudades con una población actual (referida a la fecha del estudio) mayor a 75000 habitantes y otras de menor tamaño que el organismo competente considere de importancia por su posibilidad de crecimiento, el uso inmediato de aguas del cuerpo receptor, la presencia de descargas industriales, etc.

**4.4.4.3** Los estudios de tratabilidad podrán llevarse a cabo en plantas a escala de laboratorio, con una capacidad de alrededor de 40 l/d o plantas a escala piloto con una capacidad de alrededor de 40-60 m<sup>3</sup>/d. El tipo, tamaño y secuencia de los estudios se determinarán de acuerdo con las condiciones específicas del desecho.

**4.4.4.4** Para el tratamiento con lodos activados, incluidas las zanjas de oxidación y lagunas aeradas se establecerán por lo menos tres condiciones de operación de "edad de lodo" a fin de cubrir un intervalo de valores entre las condiciones iniciales hasta el final de la operación. En estos estudios se efectuarán las mediciones y determinaciones necesarias para validar los resultados con balances adecuados de energía (oxígeno) y nutrientes

**4.4.4.5** Para los filtros biológicos se establecerán por lo menos tres condiciones de operación de "carga orgánica volumétrica" para el mismo criterio anteriormente indicado.

**4.4.4.6** La tratabilidad para lagunas de estabilización se efectuará en una laguna cercana, en caso de existir. Se utilizará un modelo de temperatura apropiada para la zona y se procesarán los datos meteorológicos de la estación más cercana, para la simulación de la temperatura. Adicionalmente se determinará, en forma experimental, el coeficiente de mortalidad de coliformes fecales y el factor correspondiente de corrección por temperatura.

**4.4.4.7** Para desechos industriales se determinará el tipo de tratabilidad biológica o fisicoquímica que sea requerida de acuerdo con la naturaleza del desecho.

**4.4.4.8** Cuando se considere conveniente se realizarán en forma adicional, estudios de tratabilidad inorgánica para desarrollar criterios de diseño de otros procesos, como por ejemplo:

- ensayos de sedimentación en columnas, para el diseño de sedimentadores primarios;
- ensayos de sedimentación y espesamiento, para el diseño de sedimentadores secundarios;
- ensayos de dosificación química para el proceso de neutralización;
- pruebas de jarras para tratamiento fisicoquímico; y
- ensayos de tratabilidad para varias concentraciones de desechos peligrosos.

## **5. DISPOSICIONES ESPECÍFICAS PARA DISEÑOS DEFINITIVOS**

### **5.1 ASPECTOS GENERALES**

**5.1.1** En el caso de ciudades con sistema de alcantarillado combinado, el diseño del sistema de tratamiento deberá estar sujeto a un cuidadoso análisis para justificar el dimensionamiento de los procesos de la planta para condiciones por encima del promedio. El caudal de diseño de las obras de llegada y tratamientos preliminares será el máximo horario calculado sin el aporte pluvial.

**5.1.2** Se incluirá un rebose antes del ingreso a la planta para que funcione cuando el caudal sobrepase el caudal máximo horario de diseño de la planta.

**5.1.3** Para el diseño definitivo de la planta de tratamiento se deberá contar como mínimo con la siguiente información básica:

- levantamiento topográfico detallado de la zona donde se ubicarán las unidades de tratamiento y de la zona de descarga de los efluentes;
- estudios de desarrollo urbano o agrícola que puedan existir en la zona escogida para el tratamiento;
- datos geológicos y geotécnicos necesarios para el diseño estructural de las unidades, incluido el nivel freático;
- datos hidrológicos del cuerpo receptor, incluido el nivel máximo de inundación para posibles obras de protección;
- datos climáticos de la zona; y
- disponibilidad y confiabilidad del servicio de energía eléctrica.

**5.1.4** El producto del diseño definitivo de una planta de tratamiento de aguas residuales consistirá de dos documentos:

- el estudio definitivo y el
- expediente técnico.

Estos documentos deberán presentarse teniendo en consideración que la contratación de la ejecución de las obras deberá incluir la puesta en marcha de la planta de tratamiento.

**5.1.4.1** Los documentos a presentarse comprenden:

- memoria técnica del proyecto;
- la información básica señalada en el numeral 5.1.3;
- Los resultados del estudio del cuerpo receptor;
- resultados de la caracterización de las aguas residuales y de los ensayos de tratabilidad de ser necesarios;
- dimensionamiento de los procesos de tratamiento;
- resultados de la evaluación de impacto ambiental; y el
- manual de operación y mantenimiento.

**5.1.4.2** El expediente técnico deberá contener:

- Planos a nivel de ejecución de obra, dentro de los cuales, sin carácter limitante deben incluirse:
  - planimetría general de la obra, ubicación de las unidades de tratamiento;
  - diseños hidráulicos y sanitarios de los procesos e interconexiones entre procesos, los cuales comprenden planos de planta, cortes, perfiles hidráulicos y demás detalles constructivos;
  - planos estructurales, mecánicos, eléctricos y arquitectónicos;
  - planos de obras generales como obras de protección, caminos, arreglos interiores, laboratorios, vivienda del operador, caseta de guardianía, cercos perimétricos, etc.;
- memoria descriptiva.
- especificaciones técnicas
- análisis de costos unitarios
- metrados y presupuestos
- fórmulas de reajustes de precios
- documentos relacionados con los procesos de licitación, adjudicación, supervisión, recepción de obra y otros que el organismo competente considere de importancia.

**5.1.5** Los sistemas de tratamiento deben ubicarse en un área suficientemente extensa y fuera de la influencia de cauces sujetos a torrentes y avenidas, y en el caso de no ser posible, se deberán proyectar obras de protección. El área deberá estar lo más alejada posible de los centros poblados, considerando las siguientes distancias:

- 500 m como mínimo para tratamientos anaerobios;



- 200 m como mínimo para lagunas facultativas;
- 100 m como mínimo para sistemas con lagunas aeradas; y
- 100 m como mínimo para lodos activados y filtros percoladores.

Las distancias deben justificarse en el estudio de impacto ambiental. El proyecto debe considerar un área de protección alrededor del sistema de tratamiento, determinada en el estudio de impacto ambiental.

El proyectista podrá justificar distancias menores a las recomendadas si se incluye en el diseño procesos de control de olores y de otras contingencias perjudiciales

**5.1.5** A partir del ítem 5.2 en adelante se detallan los criterios que se utilizarán para el dimensionamiento de las unidades de tratamiento y estructuras complementarias. Los valores que se incluyen son referenciales y están basados en el estado del arte de la tecnología de tratamiento de aguas residuales y podrán ser modificadas por el proyectista, previa presentación, a la autoridad competente, de la justificación sustentatoria basada en investigaciones y el desarrollo tecnológico. Los resultados de las investigaciones realizadas en el nivel local podrán ser incorporadas a la norma cuando ésta se actualice.

Asimismo, todo proyecto de plantas de tratamiento de aguas residuales deberá ser elaborado por un ingeniero sanitario colegiado, quien asume la responsabilidad de la puesta en marcha del sistema. El ingeniero responsable del diseño no podrá delegar a terceros dicha responsabilidad.

En el Expediente Técnico del proyecto, se deben incluir las especificaciones de calidad de los materiales de construcción y otras especificaciones relativas a los procesos constructivos, acordes con las normas de diseño y uso de los materiales estructurales del Reglamento Nacional.

La calidad de las tuberías y accesorios utilizados en la instalación de plantas de tratamiento, deberá especificarse en concordancia con las normas técnicas peruanas relativas a tuberías y accesorios.

## **5.2 OBRAS DE LLEGADA**

**5.2.1** Al conjunto de estructuras ubicadas entre el punto de entrega del emisor y los procesos de tratamiento preliminar se le denomina estructuras de llegada. En términos generales dichas estructuras deben dimensionarse para el caudal máximo horario.

**5.2.2** Se deberá proyectar una estructura de recepción del emisor que permita obtener velocidades adecuadas y disipar energía en el caso de líneas de impulsión.

**5.2.3** Inmediatamente después de la estructura de recepción se ubicará el dispositivo de desvío de la planta. La existencia, tamaño y

consideraciones de diseño de estas estructuras se justificarán debidamente teniendo en cuenta los procesos de la planta y el funcionamiento en condiciones de mantenimiento correctivo de uno o varios de los procesos. Para lagunas de estabilización se deberán proyectar estas estructuras para los períodos de secado y remoción de lodos.

**5.2.4** La ubicación de la estación de bombeo (en caso de existir) dependerá del tipo de la bomba. Para el caso de bombas del tipo tornillo, esta puede estar colocada antes del tratamiento preliminar, precedida de cribas gruesas con una abertura menor al paso de rosca. Para el caso de bombas centrífugas sin desintegrador, la estación de bombeo deberá ubicarse después del proceso de cribado.

### **5.3 TRATAMIENTO PRELIMINAR**

Las unidades de tratamiento preliminar que se puede utilizar en el tratamiento de aguas residuales municipales son las cribas y los desarenadores.

#### **5.3.1 CRIBAS**

**5.3.1.1** Las cribas deben utilizarse en toda planta de tratamiento, aun en las más simples.

**5.3.1.2** Se diseñarán preferentemente cribas de limpieza manual, salvo que la cantidad de material cribado justifique las de limpieza mecanizada.

**5.3.1.3** El diseño de las cribas debe incluir:

- una plataforma de operación y drenaje del material cribado con barandas de seguridad;
- iluminación para la operación durante la noche;
- espacio suficiente para el almacenamiento temporal del material cribado en condiciones sanitarias adecuadas;
- solución técnica para la disposición final del material cribado; y
- las compuertas necesarias para poner fuera de funcionamiento cualquiera de las unidades.

**5.3.1.4** El diseño de los canales se efectuará para las condiciones de caudal máximo horario, pudiendo considerarse las siguientes alternativas:

- tres canales con cribas de igual dimensión, de los cuales uno servirá de by pass en caso de emergencia o mantenimiento. En este caso dos de los tres canales tendrán la capacidad para conducir el máximo horario;

- dos canales con cribas, cada uno dimensionados para el caudal máximo horario;
- para instalaciones pequeñas puede utilizarse un canal con cribas con by pass para el caso de emergencia o mantenimiento.

**5.3.1.5** Para el diseño de cribas de rejillas se tomarán en cuenta los siguientes aspectos:

- a) Se utilizarán barras de sección rectangular de 5 a 15 mm de espesor de 30 a 75 mm de ancho. Las dimensiones dependen de la longitud de las barras y el mecanismo de limpieza.
- b) El espaciamiento entre barras estará entre 20 y 50 mm. Para localidades con un sistema inadecuado de recolección de residuos sólidos se recomienda un espaciamiento no mayor a 25 mm.
- c) Las dimensiones y espaciamiento entre barras se escogerán de modo que la velocidad del canal antes de y a través de las barras sea adecuada. La velocidad a través de las barras limpias debe mantenerse entre 0,60 a 0,75 m/s (basado en caudal máximo horario). Las velocidades deben verificarse para los caudales mínimos, medio y máximo.
- d) Determinada las dimensiones se procederá a calcular la velocidad del canal antes de las barras, la misma que debe mantenerse entre 0,30 y 0,60 m/s, siendo 0.45 m/s un valor comúnmente utilizado.
- e) En la determinación del perfil hidráulico se calculará la pérdida de carga a través de las cribas para condiciones de caudal máximo horario y 50% del área obstruida. Se utilizará el valor más desfavorable obtenido al aplicar las correlaciones para el cálculo de pérdida de carga. El tirante de agua en el canal antes de las cribas y el borde libre se comprobará para condiciones de caudal máximo horario y 50% del área de cribas obstruida.
- f) El ángulo de inclinación de las barras de las cribas de limpieza manual será entre 45 y 60 grados con respecto a la horizontal.
- g) El cálculo de la cantidad de material cribado se determinará de acuerdo con la siguiente tabla.

Abertura ( mm )	Cantidad (litros de material cribado l/m <sup>3</sup> de agua residual)
20	0,038
25	0,023
35	0,012
40	0,009

- h) Para facilitar la instalación y el mantenimiento de las cribas de limpieza manual, las rejillas serán instaladas en guías

laterales con perfiles metálicos en "U", descansando en el fondo en un perfil "L" o sobre un tope formado por una pequeña grada de concreto.

### **5.3.2 DESARENADORES**

- 5.3.2.1** La inclusión de desarenadores es obligatoria en las plantas que tienen sedimentadores y digestores. Para sistemas de lagunas de estabilización el uso de desarenadores es opcional.
- 5.3.2.2** Los desarenadores serán preferentemente de limpieza manual, sin incorporar mecanismos, excepto en el caso de desarenadores para instalaciones grandes. Según el mecanismo de remoción, los desarenadores pueden ser a gravedad de flujo horizontal o helicoidal. Los primeros pueden ser diseñados como canales de forma alargada y de sección rectangular.
- 5.3.2.3** Los desarenadores de flujo horizontal serán diseñados para remover partículas de diámetro medio igual o superior a 0,20 mm. Para el efecto se debe tratar de controlar y mantener la velocidad del flujo alrededor de 0.3 m/s con una tolerancia + 20%. La tasa de aplicación deberá estar entre 45 y 70 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/h, debiendo verificarse para las condiciones del lugar y para el caudal máximo horario. A la salida y entrada del desarenador se preverá, a cada lado, por lo menos una longitud adicional equivalente a 25% de la longitud teórica. La relación entre el largo y la altura del agua debe ser como mínimo 25. La altura del agua y borde libre debe comprobarse para el caudal máximo horario.
- 5.3.2.4** El control de la velocidad para diferentes tirantes de agua se efectuará con la instalación de un vertedero a la salida del desarenador. Este puede ser de tipo proporcional (sutro), trapezoidal o un medidor de régimen crítico (Parshall o Palmer Bowlus). La velocidad debe comprobarse para el caudal mínimo, promedio y máximo.
- 5.3.2.5** Se deben proveer dos unidades de operación alterna como mínimo.
- 5.3.2.6** Para desarenadores de limpieza manual se deben incluir las facilidades necesarias (compuertas) para poner fuera de funcionamiento cualquiera de las unidades. Las dimensiones de la parte destinada a la acumulación de arena deben ser determinadas en función de la cantidad prevista de material y la frecuencia de limpieza deseada. La frecuencia mínima de limpieza será de una vez por semana.
- 5.3.2.7** Los desarenadores de limpieza hidráulica no son recomendables a menos que se diseñen facilidades adicionales para el secado de la arena (estanques o lagunas).

**5.3.2.8** Para el diseño de desarenadores de flujo helicoidal (o Geiger), los parámetros de diseño serán debidamente justificados ante el organismo competente.

### **5.3.3 MEDIDOR Y REPARTIDOR DE CAUDAL**

**5.3.3.1** Después de las cribas y desarenadores se debe incluir en forma obligatoria un medidor de caudal de régimen crítico, pudiendo ser del tipo Parshall o Palmer Bowlus. No se aceptará el uso de vertederos.

**5.3.3.2** El medidor de caudal debe incluir un pozo de registro para la instalación de un limnógrafo. Este mecanismo debe estar instalado en una caseta con apropiadas medidas de seguridad.

**5.3.3.3** Las estructuras de repartición de caudal deben permitir la distribución del caudal considerando todas sus variaciones, en proporción a la capacidad del proceso inicial de tratamiento para el caso del tratamiento convencional y en proporción a las áreas de las unidades primarias, en el caso de lagunas de estabilización. En general estas facilidades no deben permitir la acumulación de arena.

**5.3.3.4** Los repartidores pueden ser de los siguientes tipos:

- cámara de repartición de entrada central y flujo ascendente, con vertedero circular o cuadrado e instalación de compuertas manuales, durante condiciones de mantenimiento correctivo.
- repartidor con tabiques en régimen crítico, el mismo que se ubicará en el canal.
- otros debidamente justificados ante el organismo competente.

**5.3.3.5** Para las instalaciones antes indicadas el diseño se efectuará para las condiciones de caudal máximo horario, debiendo comprobarse su funcionamiento para condiciones de caudal mínimo al inicio de la operación.

## **5.4 TRATAMIENTO PRIMARIO**

### **5.4.1 Generalidades**

**5.4.1.1** El objetivo del tratamiento primario es la remoción de sólidos orgánicos e inorgánicos sedimentables, para disminuir la carga en el tratamiento biológico. Los sólidos removidos en el proceso tienen que ser procesados antes de su disposición final.

5.4.1.2 Los procesos del tratamiento primario para las aguas residuales pueden ser: tanques Imhoff, tanques de sedimentación y tanques de flotación.

#### 5.4.2 TANQUES IMHOFF

5.4.2.1 Son tanques de sedimentación primaria en los cuales se incorpora la digestión de lodos en un compartimiento localizado en la parte inferior.

5.4.2.2 Para el diseño de la zona de sedimentación se utilizará los siguientes criterios:

- a) El área requerida para el proceso se determinará con una carga superficial de  $1 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ , calculado en base al caudal medio.
- b) El período de retención nominal será de 1,5 a 2,5 horas. La profundidad será el producto de la carga superficial y el período de retención.
- c) El fondo del tanque será de sección transversal en forma de V y la pendiente de los lados, con respecto al eje horizontal, tendrá entre 50 y 60 grados.
- d) En la arista central se dejará una abertura para el paso de sólidos de 0,15 m a 0,20 m. Uno de los lados deberá prolongarse de modo que impida el paso de gases hacia el sedimentador; esta prolongación deberá tener una proyección horizontal de 0,15 a 0,20 m.
- e) El borde libre tendrá un valor mínimo de 0.30m.
- f) Las estructuras de entrada y salida, así como otros parámetros de diseño, serán los mismos que para los sedimentadores rectangulares convencionales.

5.4.2.3 Para el diseño del compartimiento de almacenamiento y digestión de lodos (zona de digestión) se tendrá en cuenta los siguientes criterios:

- a) El volumen lodos se determinará considerando la reducción de 50% de sólidos volátiles, con una densidad de 1,05 kg/l y un contenido promedio de sólidos de 12,5% (al peso). El compartimiento será dimensionado para almacenar los lodos durante el proceso de digestión de acuerdo a la temperatura. Se usarán los siguientes valores:

TEMPERATURA (°C)	TIEMPO DE DIGESTIÓN (DÍAS)
5	110
10	76
15	55
20	40
25	30

- b) Alternativamente se determinará el volumen del compartimiento de lodos considerando un volumen de 70 litros por habitante para la temperatura de 15°C. Para otras temperaturas este volumen unitario se debe multiplicar por un factor de capacidad relativa de acuerdo a los valores de la siguiente tabla:

TEMPERATURA (°C)	FACTOR DE CAPACIDAD RELATIVA
5	2,0
10	1,4
15	1,0
20	0,7
25	0,5

- c) La altura máxima de lodos deberá estar 0,50 m por debajo del fondo del sedimentador.  
d) El fondo del compartimiento tendrá la forma de un tronco de pirámide, cuyas paredes tendrán una inclinación de 15 grados; a 30 grados; con respecto a la horizontal.

**5.4.2.4** Para el diseño de la superficie libre entre las paredes del digestor y las del sedimentador (zona de espumas) se seguirán los siguientes criterios:

- a) El espaciamiento libre será de 1,00 m como mínimo.  
b) La superficie libre total será por lo menos 30% de la superficie total del tanque.

**5.4.2.5** Las facilidades para la remoción de lodos digeridos deben ser diseñadas en forma similar los sedimentadores primarios, considerando que los lodos son retirados para secado en forma intermitente. Para el efecto se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- a) El diámetro mínimo de las tuberías de remoción de lodos será de 200 mm.  
b) La tubería de remoción de lodos debe estar 15 cm por encima del fondo del tanque.  
c) Para la remoción hidráulica del lodo se requiere por lo menos una carga hidráulica de 1,80 m.

#### 4.4.3 TANQUES DE SEDIMENTACIÓN

**5.4.3.1** Los tanques de sedimentación pequeños, de diámetro o lado no mayor deben ser proyectados sin equipos mecánicos. La forma puede ser rectangular, circular o cuadrado; los rectangulares podrán tener varias tolvas y los circulares o cuadrados una tolva central, como es el caso de los sedimentadores tipo Dormund. La inclinación de las

paredes de las tolvas de lodos será de por lo menos 60 grados con respecto a la horizontal. Los parámetros de diseño son similares a los de sedimentadores con equipos mecánicos.

**5.4.3.2** Los tanques de sedimentación mayores usarán equipo mecánico para el barrido de lodos y transporte a los procesos de tratamiento de lodos.

**5.4.3.3** Los parámetros de diseño del tanque de sedimentación primaria y sus eficiencias deben preferentemente ser determinados experimentalmente. Cuando se diseñen tanques convencionales de sedimentación primaria sin datos experimentales se utilizarán los siguientes criterios de diseño:

- a) Los canales de repartición y entrada a los tanques deben ser diseñados para el caudal máximo horario.
- b) Los requisitos de área deben determinarse usando cargas superficiales entre 24 y 60 m<sup>3</sup>/d basado en el caudal medio de diseño, lo cual equivale a una velocidad de sedimentación de 1,00 a 2,5 m/h.
- c) El período de retención nominal será de 1,5 a 2,5 horas (recomendable < 2 horas), basado en el caudal máximo diario de diseño.
- d) La profundidad es el producto de la carga superficial y el período de retención y debe estar entre 2 y 3,5 m. (recomendable 3 m).
- e) La relación largo/ancho debe estar entre 3 y 10 (recomendable 4) y la relación largo/profundidad entre 5 y 30.
- f) La carga hidráulica en los vertederos será de 125 a 500 m<sup>3</sup>/d por metro lineal (recomendable 250), basado en el caudal máximo diario de diseño.
- g) La eficiencia de remoción del proceso de sedimentación puede estimarse de acuerdo con la tabla siguiente:

**PORCENTAJE DE REMOCIÓN RECOMENDADO**

PERIODO DE RETENCION NOMINAL (HORAS)	DBO 100 A 200 mg/l		DBO 200 A 300 mg/l	
	DBO	SS*	DBO	SS*
1,5	30	50	32	56
2,0	33	53	36	60
3,0	37	58	40	64
4,0	40	60	42	66

SS\* = sólidos en suspensión totales.

h) El volumen de lodos primarios debe calcularse para el final del período de diseño (con el caudal medio) y



evaluarse para cada 5 años de operación. La remoción de sólidos del proceso se obtendrá de la siguiente tabla:

TIPO DE LODO PRIMARIO	GRAVEDAD ESPECÍFICA	CONCENTRACION DE SÓLIDOS	
		RANGO	% RECOMENDADO
Con alcantarillado sanitario	1,03	4 - 12	
Con alcantarillado combinado	1,05	4 - 12	6,0
Con lodo activado de exceso	1,03	3 - 10	6,5
			4,0

i) El retiro de los lodos del sedimentador debe efectuarse en forma cíclica e idealmente por gravedad. Donde no se disponga de carga hidráulica se debe retirar por bombeo en forma cíclica. Para el lodo primario se recomienda:

- bombas rotativas de desplazamiento positivo;
- bombas de diafragma;
- bombas de pistón; y
- bombas centrífugas con impulsor abierto.

Para un adecuado funcionamiento de la planta, es recomendable instalar motores de velocidad variable e interruptores cíclicos que funcionen cada 0,5 a 4 horas. El sistema de conducción de lodos podrá incluir, de ser necesario, un dispositivo para medir el caudal.

j) El volumen de la tolva de lodos debe ser verificado para el almacenamiento de lodos de dos ciclos consecutivos. La velocidad en la tubería de salida del lodo primario debe ser por lo menos 0,9 m/s.

5.4.3.4 El mecanismo de barrido de lodos de tanques rectangulares tendrá una velocidad entre 0,6 y 1,2 m/min.

5.4.3.5 Las características de los tanques circulares de sedimentación serán los siguientes:

- profundidad: de 3 a 5 m
- diámetro: de 3,6 a 4,5 m
- pendiente de fondo: de 6% a 16% (recomendable 8%).

5.4.3.6 El mecanismo de barrido de lodos de los tanques circulares tendrá una velocidad periférica tangencial comprendida entre 1,5 y 2,4 m/min o una velocidad de rotación de 1 a 3 revoluciones por hora, siendo dos un valor recomendable.

5.4.3.7 El sistema de entrada al tanque debe garantizar la distribución uniforme del líquido a través de la sección transversal y debe diseñarse en forma tal que se eviten cortocircuitos.

5.4.3.8 La carga hidráulica en los vertederos de salida será de 125

a 500 m<sup>3</sup>/d por metro lineal (recomendable 250), basado en el caudal máximo diario de diseño

**5.4.3.10** La pendiente mínima de la tolva de lodos será 1,7 vertical a 1,0 horizontal. En caso de sedimentadores rectangulares, cuando la tolva sea demasiado ancha, se deberá proveer un barredor transversal desde el extremo hasta el punto de extracción de lodos.

#### **5.4.4 TANQUES DE FLOTACIÓN**

El proceso de flotación se usa en aguas residuales para remover partículas finas en suspensión y de baja densidad, usando el aire como agente de flotación. Una vez que los sólidos han sido elevados a la superficie del líquido, son removidos en una operación de desnatado. El proceso requiere un mayor grado de mecanización que los tanques convencionales de sedimentación; su uso deberá ser justificado ante el organismo competente.

### **5.5 TRATAMIENTO SECUNDARIO**

#### **5.5.1 GENERALIDADES**

**5.5.1.1** Para efectos de la presente norma de diseño se considerarán como tratamiento secundario los procesos biológicos con una eficiencia de remoción de DBO soluble mayor a 80%, pudiendo ser de biomasa en suspensión o biomasa adherida, e incluye los siguientes sistemas: lagunas de estabilización, lodos activados (incluidas las zanjas de oxidación y otras variantes), filtros biológicos y módulos rotatorios de contacto.

**5.5.1.2** La selección del tipo de tratamiento secundario, deberá estar debidamente justificada en el estudio de factibilidad.

**5.5.1.3** Entre los métodos de tratamiento biológico con biomasa en suspensión se preferirán aquellos que sean de fácil operación y mantenimiento y que reduzcan al mínimo la utilización de equipos mecánicos complicados o que no puedan ser reparados localmente. Entre estos métodos están los sistemas de lagunas de estabilización y las zanjas de oxidación de operación intermitente y continua. El sistema de lodos activados convencional y las plantas compactas de este tipo podrán ser utilizados sólo en el caso en que se demuestre que las otras alternativas son inconvenientes técnica y económicamente.

**5.5.1.4** Entre los métodos de tratamiento biológico con biomasa adherida se preferirán aquellos que sean de fácil operación y que carezcan de equipos complicados o de difícil reparación. Entre ellos están los filtros percoladores y los módulos rotatorios de contacto.

## **5.5.2 LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN**

### **5.5.2.1 ASPECTOS GENERALES**

- a) Las lagunas de estabilización son estanques diseñados para el tratamiento de aguas residuales mediante procesos biológicos naturales de interacción de la biomasa (algas, bacterias, protozoarios, etc.) y la materia orgánica contenida en el agua residual.
- b) El tratamiento por lagunas de estabilización se aplica cuando la biomasa de las algas y los nutrientes que se descargan con el efluente pueden ser asimilados por el cuerpo receptor. El uso de este tipo de tratamiento se recomienda especialmente cuando se requiere un alto grado de remoción de organismos patógenos

Para los casos en los que el efluente sea descargado a un lago o embalse, deberá evaluarse la posibilidad de eutroficación del cuerpo receptor antes de su consideración como alternativa de descarga o en todo caso se debe determinar las necesidades de postratamiento.

- c) Para el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales se considerarán únicamente los sistemas de lagunas que tengan unidades anaerobias, aeradas, facultativas y de maduración, en las combinaciones y número de unidades que se detallan en la presente norma.
- d) No se considerarán como alternativa de tratamiento las lagunas de alta producción de biomasa (conocidas como lagunas aerobias o fotosintéticas), debido a que su finalidad es maximizar la producción de algas y no el tratamiento del desecho líquido.

### **5.5.2.2 LAGUNAS ANAEROBIAS**

- a) Las lagunas anaerobias se emplean generalmente como primera unidad de un sistema cuando la disponibilidad de terreno es limitada o para el tratamiento de aguas residuales domésticas con altas concentraciones y desechos industriales, en cuyo caso pueden darse varias unidades anaerobias en serie. No es recomendable el uso lagunas anaerobias para temperaturas menores de 15°C y presencia de alto contenido de sulfatos en las aguas residuales (mayor a 250 mg/l).
- b) Debido a las altas cargas de diseño y a la reducida eficiencia, es necesario el tratamiento adicional para alcanzar el grado de tratamiento requerido. En el caso de emplear lagunas facultativas secundarias su carga orgánica superficial no debe estar por encima de los

valores límite para lagunas facultativas. Por lo general el área de las unidades en serie del sistema no debe ser uniforme.

- c) En el dimensionamiento de lagunas anaerobias se puede usar las siguientes recomendaciones para temperaturas de 20°C:
- carga orgánica volumétrica de 100 a 300 g DBO/ (m<sup>3</sup>.d);
  - período de retención nominal de 1 a 5 días;
  - profundidad entre 2,5 y 5 m;
  - 50% de eficiencia de remoción de DBO;
  - carga superficial mayor de 1000 kg DBO/ha.día.
- d) Se deberá diseñar 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) La acumulación de lodo se calculará con un aporte no menor de 40 l/hab/año. Se deberá indicar, en la memoria descriptiva y manual de operación y mantenimiento, el período de limpieza asumido en el diseño. En ningún caso se deberá permitir que el volumen de lodos acumulado supere 50% del tirante de la laguna.
- f) Para efectos del cálculo de la reducción bacteriana se asumirá una reducción nula en lagunas anaerobias.
- g) Deberá verificarse los valores de carga orgánica volumétrica y carga superficial para las condiciones de inicio de operación y de limpieza de lodos de las lagunas. Dichos valores deben estar comprendidos entre los recomendados en el punto 3 de este artículo.

### 5.5.2.3 LAGUNAS AERADAS

- a) Las lagunas aeradas se emplean generalmente como primera unidad de un sistema de tratamiento en donde la disponibilidad del terreno es limitada o para el tratamiento de desechos domésticos con altas concentraciones o desechos industriales cuyas aguas residuales sean predominantemente orgánicas. El uso de las lagunas aeradas en serie no es recomendable.
- b) Se distinguen los siguientes tipos de lagunas aeradas:
- Lagunas aeradas de mezcla completa: las mismas que mantienen la biomasa en suspensión, con una alta densidad de energía instalada (>15 W/m<sup>3</sup>). Son consideradas como un proceso incipiente de lodos activados sin separación y recirculación de lodos y la presencia de algas no es aparente. En este tipo de lagunas la profundidad varía entre 3 y 5 m y el período

de retención entre 2 y 7 días. Para estas unidades es recomendable el uso de aeradores de baja velocidad de rotación. Este es el único caso de laguna aerada para el cual existe una metodología de dimensionamiento.

- Lagunas aeradas facultativas: las cuales mantienen la biomasa en suspensión parcial, con una densidad de energía instalada menor que las anteriores (1 a 4 W/m<sup>3</sup>, recomendable 2 W/m<sup>3</sup>). Este tipo de laguna presenta 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 este tipo de lagunas los períodos de retención varían entre 7 y 20 días (variación promedio entre 10 y 15 días) y las profundidades son por lo menos 1,50 m. En climas cálidos y con buena insolación se observa un apreciable crecimiento de algas en la superficie de la laguna.
  - Lagunas facultativas con agitación mecánica: se aplican exclusivamente a unidades sobrecargadas del tipo facultativo en climas cálidos. Tienen una baja densidad de energía instalada (del orden de 0,1 W/m<sup>3</sup>), la misma que sirve para vencer los efectos adversos de la estratificación termal, en ausencia del viento. Las condiciones de diseño de estas unidades son las mismas que para lagunas facultativas. El uso de los aeradores puede ser intermitente.
- c) Los dos primeros tipos de lagunas aeradas antes mencionados, pueden ser seguidas de lagunas facultativas diseñadas con la finalidad de tratar el efluente de la laguna primaria, asimilando una gran cantidad de sólidos en suspensión.
- d) Para el diseño de lagunas aeradas de mezcla completa se observarán las siguientes recomendaciones:
- Los criterios de diseño para el proceso (coeficiente cinético de degradación, constante de autooxidación y requisitos de oxígeno para síntesis) deben idealmente ser determinados a través de experimentación.
  - Alternativamente se dimensionará la laguna aerada para la eficiencia de remoción de DBO soluble establecida en condiciones del mes más frío y con una constante de degradación alrededor de 0,025 (1/(mg/l Xv.d)) a 20°C, en donde Xv es la concentración de sólidos volátiles activos en la laguna.
  - Los requisitos de oxígeno del proceso (para síntesis y respiración endógena) se determinará para condiciones del mes más caliente. Estos serán corregidos a condiciones estándar, por temperatura y elevación, según lo indicado en el numeral 5.5.3.1 ítem 6.
  - Se seleccionará el tipo de aerador más conveniente,

prefiriéndose los aereadores mecánicos superficiales, de acuerdo con sus características, velocidad de rotación, rendimiento y costo. La capacidad de energía requerida e instalada se determinará seleccionando un número par de aeradores de igual tamaño y eficiencias especificadas.

- Para la remoción de coliformes se usará el mismo coeficiente de mortalidad neto que el especificado para las lagunas facultativas. La calidad del efluente se determinará para las condiciones del mes más frío. Para el efecto podrá determinarse el factor de dispersión por medio de la siguiente relación:

$$d = \frac{2881 \times PR}{L^2}$$

En donde:

PR es el período de retención nominal expresado en horas y L es la longitud entre la entrada y la salida en metros.

En caso de utilizarse otra correlación deberá ser justificada ante la autoridad competente.

#### **5.5.2.4 LAGUNAS FACULTATIVAS**

a) Su ubicación como unidad de tratamiento en un sistema de lagunas puede ser:

- Como laguna 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 o terciaria (normalmente referida como laguna de maduración), y
- Como una unidad secundaria después de lagunas anaerobias o aeradas para procesar sus efluentes a un grado mayor.

b) Los criterios de diseño referidos a temperaturas y mortalidad de bacterias se deben determinar en forma experimental. Alternativamente y cuando no sea posible la experimentación, se podrán usar los siguientes criterios:

- La temperatura de diseño será el promedio del mes más frío (temperatura del agua), determinada a través de correlaciones de las temperaturas del aire y agua existentes.
- En caso de no existir esos datos, se determinará la temperatura del agua sumando a la temperatura del aire un valor que será justificado debidamente ante el organismo competente, el mismo que depende de las condiciones meteorológicas del lugar.
- En donde no exista ningún dato se usará la temperatura promedio del aire del mes más frío.

- El coeficiente de mortalidad bacteriana (neto) será adoptado entre el intervalo de 0,6 a 1,0 (l/d) para 20°C.

c) La carga de diseño para lagunas facultativas se determina con la siguiente expresión:

$$C_d = 250 \times 1,05^{T-20}$$

En donde:

C<sub>d</sub> es la carga superficial de diseño en kg DBO / (ha.d)

T es la temperatura del agua promedio del mes más frío en °C.

d) Alternativamente puede utilizarse otras correlaciones que deberán ser justificadas ante la autoridad competente.

e) El proyectista deberá adoptar una carga de diseño menor a la determinada anteriormente, si existen factores como:

- la existencia de variaciones bruscas de temperatura,
- la forma de la laguna (las lagunas de forma alargada son sensibles a variaciones y deben tener menores cargas),
- la existencia de desechos industriales,
- el tipo de sistema de alcantarillado, etc.

f) Para evitar el crecimiento de plantas acuáticas con raíces en el fondo, la profundidad de las lagunas debe ser mayor de 1,5 m. Para el diseño de una laguna facultativa primaria, el proyectista deberá proveer una altura adicional para la acumulación de lodos entre períodos de limpieza de 5 a 10 años.

g) Para lagunas facultativas primarias se debe determinar el volumen de lodo acumulado teniendo en cuenta un 80% de remoción de sólidos en suspensión en el efluente, con una reducción de 50% de sólidos volátiles por digestión anaerobia, una densidad del lodo de 1,05 kg/l y un contenido de sólidos de 15% a 20% al peso. Con estos datos se debe determinar la frecuencia de remoción del lodo en la instalación

h) Para el diseño de lagunas facultativas que reciben el efluente de lagunas aeradas se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- el balance de oxígeno de la laguna debe ser positivo, teniendo en cuenta los siguientes componentes:
- 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, y el consumo neto de oxígeno de los sólidos anaerobios.

- Se debe determinar el volumen de lodo acumulado a partir de la concentración de sólidos en suspensión en el efluente de la laguna aereada, con una reducción de 50% de sólidos volátiles por digestión anaerobia, una densidad del lodo de 1,03 kg/l y un contenido de sólidos 10% al peso. Con estos datos se debe determinar la frecuencia de remoción del lodo en la instalación.
- i) En el cálculo de remoción de la materia orgánica (DBO) se podrá emplear cualquier metodología debidamente sustentada, 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, se debe tener 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 se debe tomar en consideración que en la laguna primaria se produce la mayor remoción de materia orgánica. La concentración de DBO en las lagunas siguientes no es predecible, debido a la influencia de las poblaciones de algas de cada unidad.

#### **5.5.2.5 DISEÑO DE LAGUNAS PARA REMOCIÓN DE ORGANISMOS PATÓGENOS**

- a) Las disposiciones que se detallan se aplican para cualquier tipo de lagunas (en forma individual o para lagunas en serie), dado que la mortalidad bacteriana y remoción de parásitos ocurre en todas las unidades y no solamente en las lagunas de maduración.
- b) Con relación a los parásitos de las aguas residuales, los nematodos intestinales se consideran como indicadores, de modo que su remoción implica la remoción de otros tipos de parásitos. Para una adecuada remoción de nematodos intestinales en un sistema de laguna se requiere un período de retención nominal de 10 días como mínimo en una de las unidades.
- c) La reducción de bacterias en cualquier tipo de lagunas debe, en lo posible, ser determinada en términos de coliformes fecales, como indicadores. Para tal efecto, el proyectista debe usar el modelo de flujo disperso con los coeficientes de mortalidad netos para los diferentes tipos de unidades. El uso del modelo de mezcla completa con coeficientes globales de mortalidad no es aceptable para el diseño de las lagunas en serie.
- d) El factor de dispersión en el modelo de flujo disperso puede determinarse según la forma de la laguna y el valor de la temperatura.



El proyectista deberá justificar la correlación empleada.

Los siguientes valores son referenciales para la relación largo/ancho:

Relación largo – ancho	Factor de dispersión
1	1
2	0.50
4	0.25
8	0.12

- e) El coeficiente de mortalidad neto puede ser corregido con la siguiente relación de dependencia de la temperatura.

$$K_T = K_{20} \times 1,05^{(T - 20)}$$

En donde:

$K_T$  es el coeficiente de mortalidad neto a la temperatura del agua  
T promedio del mes más frío, en °C

$K_{20}$  es el coeficiente de mortalidad neto a 20 °C.

#### 5.5.2.6 Normas generales para el diseño de sistemas de lagunas

- a) El período de diseño de la planta de tratamiento debe estar comprendido entre 20 y 30 años, con etapas de implementación de alrededor de 10 años.
- b) En la concepción del proyecto se deben seguir las siguientes consideraciones:
- El diseño debe concebirse por lo menos con dos unidades en paralelo para permitir la operación de una de las unidades durante la limpieza.
  - La conformación de unidades, geometría, forma y número de celdas debe escogerse en función de la topografía del sitio, y en particular de un óptimo movimiento de tierras, es decir de un adecuado balance entre el corte y relleno para los diques.
  - La forma de las lagunas depende del tipo de cada una de las unidades. Para las lagunas anaerobias y aeradas se recomiendan formas cuadradas o ligeramente rectangulares. Para las lagunas facultativas se recomienda formas alargadas; se sugiere que la relación largo-ancho mínima sea de 2.
  - En general, el tipo de entrada debe ser lo más simple posible y no muy alejada del borde de los taludes, debiendo proyectarse con descarga sobre la superficie.
  - En la salida se debe instalar un dispositivo de medición de caudal (vertedero o medidor de régimen crítico), con la finalidad de poder evaluar el funcionamiento de la

unidad.

- Antes de la salida de las lagunas primarias se recomienda la instalación de una pantalla para la retención de natas.
  - La interconexión entre las lagunas puede efectuarse mediante usando simples tuberías después del vertedero o canales con un medidor de régimen crítico. Esta última alternativa es la de menor pérdida de carga y de utilidad en terrenos planos.
  - Las esquinas de los diques deben redondearse para minimizar la acumulación de natas.
  - El ancho de la berma sobre los diques debe ser por lo menos de 2,5 m para permitir la circulación de vehículos. En las lagunas primarias el ancho debe ser tal que permita la circulación de equipo pesado, tanto en la etapa de construcción como durante la remoción de lodos.
  - No se recomienda el diseño de tuberías, válvulas, compuertas metálicas de vaciado de las lagunas debido a que se deterioran por la falta de uso. Para el vaciado de las lagunas se recomienda la instalación temporal de sifones u otro sistema alternativo de bajo costo.
- c) El borde libre recomendado para las lagunas de estabilización es de 0,5 m. Para el caso en los cuales se puede producir oleaje por la acción del viento se deberá calcular una mayor altura y diseñar la protección correspondiente para evitar el proceso de erosión de los diques.
- d) Se debe comprobar en el diseño el funcionamiento de las lagunas para las siguientes condiciones especiales:
- Durante las condiciones de puesta en operación inicial, el balance hídrico de la laguna (afluente - evaporación - infiltración > efluente) debe ser positivo durante los primeros meses de funcionamiento.
  - Durante los períodos de limpieza, la carga superficial aplicada sobre las lagunas en operación no debe exceder la carga máxima correspondiente a las temperaturas del período de limpieza.
- e) Para el diseño de los diques se debe tener en cuenta las siguientes disposiciones:
- Se debe efectuar el número de sondajes necesarios para determinar el tipo de suelo y de los estratos a cortarse en el movimiento de tierras. En esta etapa se efectuarán las pruebas de mecánica de suelos que se requieran (se debe incluir la permeabilidad en el sitio) para un adecuado diseño de los diques y formas de impermeabilización. Para determinar el número de calicatas se tendrá en consideración la topografía y

geología del terreno, observándose como mínimo las siguientes criterios:

- El número mínimo de calicatas es de 4 por hectárea.
- Para los sistemas de varias celdas el número mínimo de calicatas estará determinado por el número de cortes de los ejes de los diques más una perforación en el centro de cada unidad. Para terrenos de topografía accidentada en los que se requieren cortes pronunciados se incrementarán los sondeos cuando sean necesarios.
- Los diques deben diseñarse comprobando que no se produzca volcamiento y que exista estabilidad en las condiciones más desfavorables de operación, incluido un vaciado rápido y sismo.
- Se deben calcular las subpresiones en los lados exteriores de los taludes para comprobar si la pendiente exterior de los diques es adecuada y determinar la necesidad de controles como: impermeabilización, recubrimientos o filtros de drenaje.
- En general los taludes interiores de los diques deben tener una inclinación entre 1:1,5 y 1:2. Los taludes exteriores son menos inclinados, entre 1:2 y 1:3 (vertical: horizontal).
- De los datos de los sondeos se debe especificar el tipo de material a usarse en la compactación de los diques y capa de impermeabilización, determinándose además las canteras de los diferentes materiales que se requieren.
- La diferencia de cotas del fondo de las lagunas y el nivel freático deberá determinarse considerando las restricciones constructivas y de contaminación de las aguas subterráneas de acuerdo a la vulnerabilidad del acuífero.
- Se deberá diseñar, si fuera necesario, el sistema de impermeabilización del fondo y taludes, debiendo justificar la solución adoptada.

f) Se deben considerar las siguientes instalaciones adicionales:

- Casa del operador y almacén de materiales y herramientas.
- Laboratorio de análisis de aguas residuales para el control de los procesos de tratamiento, para ciudades con más de 75000 habitantes y otras de menor tamaño que el organismo competente considere necesario.
- Para las lagunas aeradas se debe considerar adicionalmente la construcción de una caseta de operación, con área de oficina, taller y espacio para los controles mecánico-eléctricos, en la cual debe instalarse un tablero de operación de los motores y demás controles que sean necesarios.
- Una estación meteorológica básica que permita la

medición de la temperatura ambiental, dirección y velocidad de viento, precipitación y evaporación.

- Para las lagunas aeradas se debe considerar la iluminación y asegurar el abastecimiento de energía en forma continua. Para el efecto se debe estudiar la conveniencia de instalar un grupo electrógeno.
- El sistema de lagunas debe protegerse contra daños por efecto de la escorrentía, diseñándose cunetas de intercepción de aguas de lluvia en caso de que la topografía del terreno así lo requiera.
- La planta debe contar con cerco perimétrico de protección y letreros adecuados.

### **5.5.3 TRATAMIENTO CON LODOS ACTIVADOS**

#### **5.5.3.1 Aspectos generales**

- a) A continuación se norman aspectos comunes tanto del proceso convencional con lodos activados como de todas sus variaciones.
- b) Para efectos de las presentes normas se consideran como opciones aquellas que tengan una eficiencia de remoción de 75 a 95% de la DBO. Entre las posibles variaciones se podrá seleccionar la aeración prolongada por zanjas de oxidación, en razón a su bajo costo. La selección del tipo de proceso se justificará mediante un estudio técnico económico, el que considerará por lo menos los siguientes aspectos:
  - calidad del efluente;
  - requerimientos y costos de tratamientos preliminares y primarios;
  - requerimientos y costos de tanques de aeración y sedimentadores secundarios;
  - requerimientos y costos del terreno para las instalaciones (incluye unidades de tratamiento de agua residual y lodo, áreas libres, etc.);
  - costo del tratamiento de lodos, incluida la cantidad de lodo generado en cada uno de los procesos;
  - costo y vida útil de los equipos de la planta;
  - costos operacionales de cada alternativa (incluido el monitoreo de control de los procesos y de la calidad de los efluentes);
  - dificultad de la operación y requerimiento de personal calificado.
- c) Para el diseño de cualquier variante del proceso de lodos activados, se tendrán en consideración las siguientes disposiciones generales:
  - Los criterios fundamentales del proceso como: edad del lodo, requisitos de oxígeno, producción de lodo, eficiencia y densidad de la biomasa deben ser

determinados en forma experimental de acuerdo a lo indicado en el artículo 4.4.4.

- En donde no sea requisito desarrollar estos estudios, se podrán usar criterios de diseño.
- Para determinar la eficiencia se considera al proceso de lodos activados conjuntamente con el sedimentador secundario o efluente líquido separado de la biomasa.
- El diseño del tanque de aeración se efectúa para las condiciones de caudal medio. El proceso deberá estar en capacidad de entregar la calidad establecida para el efluente en las condiciones del mes más frío.

d) Para el tanque de aeración se comprobará los valores de los siguientes parámetros:

- período de retención en horas;
- edad de lodos en días;
- carga volumétrica en kg DBO/m<sup>3</sup>;
- remoción de DBO en %;
- concentración de sólidos en suspensión volátiles en el tanque de aeración (SSVTA), en kg SSVTA/m<sup>3</sup> (este parámetro también se conoce como sólidos en suspensión volátiles del licor mezclado - SSVLM);
- carga de la masa en kg DBO/Kg SSVTA. día;
- tasa de recirculación o tasa de retorno en %.

e) En caso de no requerirse los ensayos de tratabilidad, podrán utilizarse los siguientes valores referenciales:

TIPO DE PROCESO	Período de Retención (h)	Edad del lodo (d)	Carga Volumétrica kg (DBO/m <sup>3</sup> .día).
Convencional	4 - 8	4 - 15	0,3 - 0,6
Aeración	3 - 6	5 - 15	0,6 - 0,9
escalonada	2 - 4	2 - 4	1,1 - 3,0
Alta carga	16 - 48	20 - 60	0,2 - 0,3
Aeración	3 - 5	5 - 15	0,8 - 2,0
prolongada	20 - 36	30 - 40	0,2 - 0,3
Mezcla completa			
Zanja de oxidación			

Adicionalmente se deberá tener en consideración los siguientes parámetros:

TIPO DE PROCESO	Remoción de DBO	Concentración de SSTA (kg/m <sup>3</sup> )	Carga de la masa kg DBO/ (kg SSVTA.día)	Tasa de recirculación (%)
Convencional	85 – 90	1,5 - 3,0	0,20 - 0,40	25 – 50
Aeración	85 – 95	2,0 - 3,5	0,20 - 0,40	25 – 75
escalonada	75 – 90	4,0 – 10	0,40 - 1,50	30 – 500
Alta carga	75 – 95	3,0 - 6,0	0,05 - 0,50	75 – 300
Aeración prolongada	85 – 95	3,0 - 6,0	0,20 - 0,60	25 – 100
Mezcla completa	75 - 95	3,0 - 6,0	0,05 - 0,15	75 - 300
Zanja de oxidación				

**NOTA:** La selección de otro proceso deberá justificarse convenientemente.

f) Para la determinación de la capacidad de oxigenación del proceso se deberán tener en cuenta las siguientes disposiciones:

- Los requisitos de oxígeno del proceso deben calcularse para las condiciones de operación de temperatura promedio mensual más alta y deben ser suficientes para abastecer oxígeno para la síntesis de la materia orgánica (remoción de DBO), para la respiración endógena y para la nitrificación
- Estos requisitos están dados en condiciones de campo y deben ser corregidos a condiciones estándar de cero por ciento de saturación, temperatura estándar de 20°C y una atmósfera de presión, con el uso de las siguientes relaciones:

$$N_{20} = N_c / F$$

$$F = \alpha \times Q^{T-20} (C_{sc} \times \beta - C_i) / 9.02$$

$$C_{sc} = C_s (P - p) / (760 - p)$$

$$p = \exp (1,52673 + 0,07174 T - 0,000246 T^2)$$

$$P = 760 \exp (- E / 8005)$$

$$C_s = 14,652 - 0,41022T + 0,007991T^2 - 0,000077774 T^3$$

En donde:

$N_{20}$  = requisitos de oxígeno en condiciones estándares kg O<sub>2</sub>/d

$N_c$  = requisitos de oxígeno en condiciones de campo, kg O<sub>2</sub>/ d

$F$  = factor de corrección

$\alpha$  = factor de corrección que relaciona los coeficientes de transferencia de oxígeno del desecho y el agua. Su valor será debidamente justificado según el tipo de aeración. Generalmente este valor se encuentra en el rango de 0,8 a 0,9.

$Q$  = factor de dependencia de temperatura cuyo valor se toma como 1,02 para aire comprimido y 1,024 por aeración mecánica.

$C_{sc}$  = concentración de saturación de oxígeno en condiciones de campo (presión P y temperatura T).

$\beta$  = factor de corrección que relaciona las

concentraciones de saturación del desecho y el agua (en condiciones de campo). Su valor será debidamente justificado según el tipo de sistema de aeración. Normalmente se asume un valor de 0,95 para la aeración mecánica.

$C_i$  = nivel de oxígeno en el tanque de aeración. Normalmente se asume entre 1 y 2 mg/l. Bajo ninguna circunstancia de operación se permitirá un nivel de oxígeno menor de 0,5 mg/l.

$C_S$  = concentración de saturación de oxígeno en condiciones al nivel del mar y temperatura  $T$ .

$P$  = Presión atmosférica de campo (a la elevación del lugar), mm Hg.

$p$  = presión de vapor del agua a la temperatura  $T$ , mm Hg.

$E$  = Elevación del sitio en metros sobre el nivel del mar.

- El uso de otras relaciones debe justificarse debidamente ante el organismo competente.
- La corrección a condiciones estándares para los sistemas de aeración con aire comprimido será similar a lo anterior, pero además debe tener en cuenta las características del difusor, el flujo de aire y las dimensiones del tanque.

**g)** La selección del tipo de aereador deberá justificarse debidamente técnica y económicamente.

**h)** Para los sistemas de aeración mecánica se observarán las siguientes disposiciones:

- La capacidad instalada de energía para la aeración se determinará relacionando los requerimientos de oxígeno del proceso (kg  $O_2$ /d) y el rendimiento del aereador seleccionado (kg  $O_2$ /Kwh) ambos en condiciones estándar, con la respectiva corrección por eficiencia en el motor y reductor. El número de equipos de aeración será como mínimo dos y preferentemente de igual capacidad teniendo en cuenta las capacidades de fabricación estandarizadas.
- El rendimiento de los aereadores debe determinarse en un tanque con agua limpia y una densidad de energía entre 30 y 50 W/m<sup>3</sup>. Los rendimientos deberán expresarse en kg  $O_2$ /Kwh y en las siguientes condiciones:
  - una atmósfera de presión;
  - cero por ciento de saturación;
  - temperatura de 20 °C.
- El conjunto motor-reductor debe ser seleccionado para un régimen de funcionamiento de 24 horas. Se recomienda un factor de servicio de 1,0 para el motor.
- La capacidad instalada del equipo será la anteriormente

determinada, pero sin las eficiencias del motor y reductor de velocidad.

- El rotor de aeración debe ser de acero inoxidable u otro material resistente a la corrosión y aprobado por la autoridad competente.
- La densidad de energía (W/m<sup>3</sup>) se determinará relacionando la capacidad del equipo con el volumen de cada tanque de aeración. La densidad de energía debe permitir una velocidad de circulación del licor mezclado, de modo que no se produzca la sedimentación de sólidos.
- La ubicación de los aeradores debe ser tal que exista una interacción de sus áreas de influencia.

i) Para sistemas con difusión de aire comprimido se procederá en forma similar, pero teniendo en cuenta los siguientes factores:

- el tipo de difusor (burbuja fina o gruesa);
- las constantes características de cada difusor;
- el rendimiento de cada unidad de aeración;
- el flujo de aire en condiciones estándares;
- la localización del difusor respecto a la profundidad del líquido, y el ancho del tanque
- altura sobre el nivel del mar.

La potencia requerida se determinará considerando la carga sobre el difusor más la pérdida de carga por el flujo del aire a través de las tuberías y accesorios. La capacidad de diseño será 1,2 veces la capacidad nominal.

### 5.5.3.2 Sedimentador Secundario

a) Los criterios de diseño para los sedimentadores secundarios deben determinarse experimentalmente.

b) En ausencia de pruebas de sedimentación, se debe tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- el diseño se debe efectuar para caudales máximos horarios;
- para todas las variaciones del proceso de lodos activados (excluyendo aeración prolongada) se recomienda los siguientes parámetros:

TIPO DE TRATAMIENTO	CARGA DE SUPERFICIE m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d		CARGA kg/m <sup>2</sup> .h		PROFUNDIDA D (m)
	Media	Máx.	Media	Máx.	



Sedimentación a continuación de lodos activados (excluida la aeración prolongada)	16-32	40-48	3,0-6,0	9,0	3,5-5
Sedimentación a continuación de aeración prolongada	8-16	24-32	1,0-5,0	7,0	3,5-5

Las cargas hidráulicas anteriormente indicadas están basadas en el caudal del agua residual sin considerar la recirculación, puesto que la misma es retirada del fondo al mismo tiempo y no tiene influencia en la velocidad ascensional del sedimentador.

c) Para decantadores secundarios circulares se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Los decantadores con capacidades de hasta 300 m<sup>3</sup> pueden ser diseñados sin mecanismo de barrido de lodos, debiendo ser de tipo cónico o piramidal, con una inclinación mínima de las paredes de la tolva de 60 grados (tipo Dormund). Para estos casos la remoción de lodos debe ser hecha a través de tuberías con un diámetro mínimo de 200 mm.
- Los decantadores circulares con mecanismo de barrido de lodos deben diseñarse con una tolva central para acumulación de lodos de por lo menos 0,6 m de diámetro y profundidad máxima de 4 m. Las paredes de la tolva deben tener una inclinación de por lo menos 60 grados.
- El fondo de los decantadores circulares debe tener una inclinación de alrededor de 1:12 (vertical: horizontal).
- El diámetro de la zona de entrada en el centro del tanque debe ser aproximadamente 15 a 20% del diámetro del decantador. Las paredes del pozo de ingreso no deben profundizarse más de 1 m por debajo de la superficie para evitar el arrastre de los lodos.
- La velocidad periférica del barredor de lodos debe estar comprendida entre 1,5 a 2,5 m/min y no mayor de 3 revoluciones por hora.

d) Los decantadores secundarios rectangulares serán la segunda opción después de los circulares. Para estos casos se debe tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- La relación largo/ancho debe ser 4/1 como mínimo.
- La relación ancho/profundidad debe estar comprendida

- entre 1 y 2.
- Para las instalaciones pequeñas (hasta 300 m<sup>3</sup>) se podrá diseñar sedimentadores rectangulares sin mecanismos de barrido de lodos, en cuyo caso se diseñarán pirámides invertidas con ángulos mínimos de 60° respecto a la horizontal.
- e) Para zanjas de oxidación se admite el diseño de la zanja con sedimentador secundario incorporado, para lo cual el proyectista deberá justificar debidamente los criterios de diseño.
- f) Para facilitar el retorno de lodos, se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:
- Para decantadores circulares, el retorno del lodo será continuo y se podrá usar bombas centrífugas o de desplazamiento positivo. La capacidad instalada de la estación de bombeo de lodos de retorno será por lo menos 100% por encima de la capacidad operativa. La capacidad de bombeo será suficientemente flexible (con motores de velocidad variable o número de bombas) de modo que se pueda operar la planta en todas las condiciones a lo largo de la vida de la planta.
  - Para decantadores rectangulares con mecanismo de barrido de movimiento longitudinal, se considerará la remoción de lodos en forma intermitente, entre períodos de viajes del mecanismo.
  - El lodo de retorno debe ser bombeado a una cámara de repartición con compuertas manuales y vertederos para separar el lodo de exceso.
  - Alternativamente se puede controlar el proceso descargando el lodo de exceso directamente del tanque de aeración, usando la edad de lodo como parámetro de control. Por ejemplo si la edad del lodo es de 20 días, se deberá desechar 1/20 del volumen del tanque de aeración cada día. Esta es la única forma de operación en el caso de zanjas de oxidación con sedimentador incorporado. En este caso el licor mezclado debe ser retirado en forma intermitente (de 6 a 8 retiros) a un tanque de concentración (en el caso de zanja de oxidación) o a un espesador, en el caso de otros sistemas de baja edad del lodo.

#### **5.5.3.3 Zanjas de oxidación**

- a) Las zanjas de oxidación son adecuadas para pequeñas y

grandes comunidades y constituyen una forma especial de aeración prolongada con bajos costos de instalación por cuanto no es necesario el uso de decantación primaria y el lodo estabilizado en el proceso puede ser desaguado directamente en lechos de secado. Este tipo de tratamiento es además de simple operación y capaz de absorber variaciones bruscas de carga.

- b) Los criterios de diseño para las zanjas de oxidación son los mismos que se ha enunciado en el capítulo anterior (lodos activados) en lo que se refiere a parámetros de diseño del reactor y sedimentador secundario y requisitos de oxígeno. En el presente capítulo se dan recomendaciones adicionales propias de este proceso.
- c) Para las poblaciones de hasta 10000 habitantes se pueden diseñar zanjas de tipo convencional, con rotores horizontales. Para este caso se debe tener en cuenta las siguientes recomendaciones:
- La forma de la zanja convencional es ovalada, con un simple tabique de nivel soportante en la mitad. Para una adecuada distribución de las líneas de flujo, se recomienda la instalación de por lo menos dos tabiques semicirculares localizados en los extremos, a  $1/3$  del ancho del canal.
  - La entrada puede ser un simple tubo con descarga libre, localizado preferiblemente antes del rotor. Si se tiene más de dos zanjas se deberá considerar una caja de repartición de caudales.
  - El rotor horizontal a seleccionarse debe ser de tal característica que permita la circulación del líquido con una velocidad de por lo menos 25 cm/seg. En este caso la profundidad de la zanja no deberá ser mayor de 1.50 m para una adecuada transferencia de momento. No es necesario la profundización del canal debajo de la zona de aeración
  - Los rotores son cuerpos cilíndricos de varios tipos, apoyados en cajas de rodamiento en sus extremos, por lo cual su longitud depende de la estructura y estabilidad de cada modelo. Para rotores de longitud mayor de 3,0 m se recomienda el uso de apoyos intermedios. Los apoyos en los extremos deben tener obligatoriamente cajas de rodetes autoalineantes, capaces de absorber las deflexiones del rotor sin causar problemas mecánicos.
  - La determinación de las características del rotor como diámetro, longitud, velocidad de rotación y profundidad de inmersión, debe efectuarse de modo que se puedan suministrar los requisitos de oxígeno al proceso en todas las condiciones operativas posibles. Para el efecto se debe disponer de las curvas características del

rendimiento del modelo considerado en condiciones estándar. Los rendimientos estándares de rotores horizontales son del orden de 1,8 a 2,8 kg O<sub>2</sub>/Kwh.

- El procedimiento normal es diseñar primero el vertedero de salida de la zanja, el mismo que puede ser de altura fija o regulable y determinar el intervalo de inmersiones del rotor para las diferentes condiciones de operación.
  - Para instalaciones de hasta 20 l/s se puede considerar el uso de zanjas de operación intermitente, sin sedimentadores secundarios. En este caso se debe proveer almacenamiento del desecho por un período de hasta 2 horas, ya sea en el interceptor o en una zanja accesoria.
  - El conjunto motor-reductor debe ser escogido de tal manera que la velocidad de rotación sea entre 60 y 110 RPM y que la velocidad periférica del rotor sea alrededor de 2,5 m/s.
- d) Para poblaciones mayores de 10000 habitantes se deberá considerar obligatoriamente la zanja de oxidación profunda (reactor de flujo orbital) con aeradores de eje vertical y de baja velocidad de rotación. Estos aereadores tienen la característica de transferir a la masa líquida en forma eficiente de modo que imparten una velocidad adecuada y un flujo de tipo helicoidal. Para este caso se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:
- La profundidad de la zanja será de 5 m y el ancho de 10 m como máximo. La densidad de energía deberá ser superior a 10 W/m<sup>3</sup>
  - Los reactores pueden tener formas variadas, siempre que se localicen los aeradores en los extremos y en forma tangencial a los tabiques de separación. Se dan como guía los siguientes anchos y profundidades de los canales:

Habitantes Equivalentes	Ancho (m)	Profundidad (m)
10000	5.00	1.50
25000	6.25	2.00
50000	8.00	3.50
75000	8.00	4.00
100000	9.00	4.50
200000	10.00	5.00

Con relación a la forma de los canales se dan las siguientes recomendaciones:

- la profundidad del canal debe ser entre 0,8 y 1,4 veces el diámetro del rotor seleccionado;
- el ancho de los canales debe ser entre 2 y 3 veces el diámetro del rotor seleccionado;
- la longitud desarrollada del canal no debe sobrepasar 250 m;

Para los aereadores de eje vertical se dan las siguientes recomendaciones:

- La velocidad de rotación para los aereadores pequeños debe ser de 36 a 40 RPM y para los aereadores grandes de 25 a 40 RPM.
- La distancia entre el fin del tabique divisorio y los extremos de las paletas del rotor debe ser alrededor de 1,5% del diámetro total del rotor (incluidas las paletas).
- La profundidad de inmersión del rotor debe ser de 0,15 a 0,20 m.
- La densidad de energía en la zona de mezcla total debe ser de 20 a 60 W/m<sup>3</sup>.

Se pueden considerar zanjas de oxidación de funcionamiento continuo con zonas de denitrificación antes de una zona de aeración. Para el efecto hay que considerar los siguientes aspectos:

- En el diseño de sedimentadores secundarios, para zanjas con denitrificación se debe asegurar un rápido retiro del lodo, para impedir la flotación del mismo.
- El vertedero de salida debe estar localizado al final de la zona de denitrificación.

#### 5.5.4 FILTROS PERCOLADORES

**5.5.4.1** Los filtros percoladores deberán diseñarse de modo que se reduzca al mínimo la utilización de equipo mecánico. Para ello se preferirá las siguientes opciones: lechos de piedra, distribución del efluente primario (tratado en tanques Imhoff) por medio de boquillas o mecanismos de brazo giratorios autopropulsados, sedimentadores secundarios sin mecanismos de barrido (con tolvas de lodos) y retorno del lodo secundario al tratamiento primario.

**5.5.4.2** El tratamiento previo a los filtros percoladores será: cribas, desarenadores y sedimentación primaria.

**5.5.4.3** Los filtros podrán ser de alta o baja carga, para lo cual se tendrán en consideración los siguientes parámetros de diseño:

PARAMETRO	TIPO DE CARGA	
	BAJA	ALTA
Carga hidráulica, m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /d	1,00 - 4,00	8,00 -
Carga orgánica, kg DBO/m <sup>3</sup> /d	0,08 - 0,40	40,00
Profundidad (lecho de piedra), m	1,50 - 3,00	0,40 - 4,80
(medio plástico), m	Hasta 12 m.	1,00 - 2,00
Razón de recirculación	0	1,00 - 2,00

**5.5.4.4** En los filtros de baja carga la dosificación debe efectuarse por medio de sifones, con un intervalo de 5 minutos. Para los filtros de alta carga la dosificación es continua por efecto de la

recirculación y en caso de usarse sifones, el intervalo de dosificación será inferior de 15 segundos.

- 5.5.4.5** Se utilizará cualquier sistema de distribución que garantice la repartición uniforme del efluente primario sobre la superficie del medio de contacto.
- 5.5.4.6** Cuando se usen boquillas fijas, se las ubicará en los vértices de triángulos equiláteros que cubran toda la superficie del filtro. El dimensionamiento de las tuberías dependerá de la distribución, la que puede ser intermitente o continua.
- 5.5.4.7** Se permitirá cualquier medio de contacto que promueva el desarrollo de la mayor cantidad de biopelícula y que permita la libre circulación del líquido y del aire, sin producir obstrucciones. Cuando se utilicen piedras pequeñas, el tamaño mínimo será de 25 mm y el máximo de 75 mm. Para piedras grandes, su tamaño oscilará entre 10 y 12 cm.
- 5.5.4.8** Se diseñará un sistema de ventilación de modo que exista una circulación natural del aire, por diferencia de temperatura, a través del sistema de drenaje y a través del lecho de contacto.
- 5.5.4.9** El sistema de drenaje debe cumplir con los siguientes objetivos:
- proveer un soporte físico al medio de contacto;
  - recolectar el líquido, para lo cual el fondo debe tener una pendiente entre 1 y 2%;
  - permitir una recirculación adecuada de aire.
- 5.5.4.10** El sistema de drenaje deberá cumplir con las siguientes recomendaciones:
- Los canales de recolección de agua deberán trabajar con un tirante máximo de 50% con relación a su máxima capacidad de conducción, y para tirantes mínimos deberá asegurar velocidades de arrastre.
  - Deben ubicarse pozos de ventilación en los extremos del canal central de ventilación.
  - En caso de filtros de gran superficie deben diseñarse pozos de ventilación en la periferia de la unidad. La superficie abierta de estos pozos será de 1 m<sup>2</sup> por cada 250 m<sup>2</sup> de superficie de lecho.
  - El falso fondo del sistema de drenaje tendrá un área de orificios no menor a 15% del área total del filtro.
  - En filtros de baja carga sin recirculación, el sistema de drenaje deberá diseñarse de modo que se pueda inundar el lecho para controlar el desarrollo de insectos.
- 5.5.4.11** Se deben diseñar instalaciones de sedimentación secundaria. El propósito de estas unidades es separar la biomasa en exceso producida en el filtro. El diseño podrá ser similar al de los sedimentadores primarios con la condición de que la carga de diseño se base en el flujo de la planta más el flujo de recirculación. La carga superficial no debe

exceder de  $48 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$  basada en el caudal máximo.

## **5.5.5 SISTEMAS BIOLÓGICOS ROTATIVOS DE CONTACTO**

**5.5.5.1** Son unidades que tienen un medio de contacto colocado en módulos discos o módulos cilíndricos que rotan alrededor de su eje. Los módulos discos o cilíndricos generalmente están sumergidos hasta 40% de su diámetro, de modo que al rotar permiten que la biopelícula se ponga en contacto alternadamente con el efluente primario y con el aire. Las condiciones de aplicación de este proceso son similares a las de los filtros biológicos en lo que se refiere a eficiencia

**5.5.5.2** Necesariamente el tratamiento previo a los sistemas biológicos de contacto será: cribas, desarenadores y sedimentador primario.

**5.5.5.3** Los módulos rotatorios pueden tener los siguientes medios de contacto:

- discos de madera, material plástico o metal ubicados en forma paralela de modo que provean una alta superficie de contacto para el desarrollo de la biopelícula;
- mallas cilíndricas rellenas de material liviano

**5.5.5.4** Para el diseño de estas unidades se observará las siguientes recomendaciones:

- carga hidráulica entre  $0.03$  y  $0.16 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ .
- la velocidad periférica de rotación para aguas residuales municipales debe mantenerse alrededor de  $0.3 \text{ m/s}$ .
- el volumen mínimo de las unidades deben ser de  $4,88$  litros por cada  $\text{m}^2$  de superficie de medio de contacto.
- para módulos en serie se utilizará un mínimo de cuatro unidades.

**5.5.5.5** El efluente de estos sistemas debe tratarse en un sedimentador secundario para separar la biomasa proveniente del reactor biológico. Los criterios de diseño de esta unidad son similares a los del sedimentador secundario de filtros biológicos.

## **5.6 OTROS TIPOS DE TRATAMIENTO**

### **5.6.1 Aplicación sobre el terreno y reuso agrícola**

**5.6.1.1** La aplicación en el terreno de aguas residuales pretratadas es un tipo de tratamiento que puede o no producir un efluente final. Si existe reuso agrícola se deberá cumplir con los requisitos de la legislación vigente.

**5.6.1.2** El estudio de factibilidad de estos sistemas debe incluir los aspectos agrícola y de suelos considerando por lo menos lo siguiente:

- evaluación de suelos: problemas de salinidad, infiltración, drenaje, aguas subterráneas, etc.;
- evaluación de la calidad del agua: posibles problemas de toxicidad, tolerancia de cultivos, etc.;
- tipos de cultivos, formas de irrigación, necesidades de almacenamiento, obras de infraestructura, costos y rentabilidad.

**5.6.1.3** Los tres principales procesos de aplicación en el terreno son: riego a tasa lenta, infiltración rápida y flujo superficial.

**5.6.1.4** Para sistemas de riego de tasa lenta se sugieren los siguientes parámetros de diseño:

- a) Se escogerán suelos que tengan un buen drenaje y una permeabilidad no mayor de 5 cm/d.
- b) Pendiente del terreno: para cultivos 20% como máximo y para bosques hasta 40%.
- c) Profundidad de la napa freática: mínimo 1,5 m y preferiblemente más de 3 m.
- d) Pretratamiento requerido: según los lineamientos del numeral anterior.
- e) Requisitos de almacenamiento: se debe analizar cuidadosamente efectuando un balance hídrico. Las variables a considerarse son por lo menos:
  - capacidad de infiltración
  - régimen de lluvias
  - tipo de suelo y de cultivo
  - evapotranspiración y evaporación
  - carga hidráulica aplicable
  - períodos de descanso
  - tratamiento adicional que se produce en el almacenamiento.
- f) La carga de nitrógeno se comprobará de modo que al efectuar el balance hídrico, la concentración calculada de nitratos en las aguas subterráneas sea inferior de 10 mg/l (como nitrógeno).
- g) La carga orgánica será entre 11 y 28 kg DBO / (ha.d), para impedir el desarrollo exagerado de biomasa. Las cargas bajas se utilizarán con efluentes secundarios y las cargas altas con efluentes primarios.
- h) Los períodos de descanso usualmente varía entre 1 y 2 semanas.
- i) Para defensa de la calidad del agua subterránea se preferirán los cultivos con alta utilización de nitrógeno.

**5.6.1.5** Para los sistemas de infiltración rápida se recomiendan los



siguientes parámetros:

- a) Se requieren suelos capaces de infiltrar de 10 a 60 cm/d, como arena, limos arenosos, arenas limosas y grava fina. Se requiere también un adecuado conocimiento de las variaciones del nivel freático.
- b) El pretratamiento requerido es primario como mínimo.
- c) La capa freática debe estar entre 3 y 4,5 m de profundidad como mínimo.
- d) La carga hidráulica puede variar entre 2 y 10 cm por semana, dependiendo de varios factores.
- e) Se debe determinar el almacenamiento necesario considerando las variables indicadas en el numeral anterior. Se debe mantener períodos de descanso entre 5 y 20 días para mantener condiciones aerobias en el suelo. Los períodos de aplicación se escogerán manteniendo una relación entre 2:1 a 7:1 entre el descanso y la aplicación.
- f) La carga orgánica recomendada debe mantenerse entre 10 y 60 kg DBO/(ha.d).

**5.6.1.6** Para los sistemas de flujo superficial se recomiendan los siguientes parámetros:

- a) Se requieren suelos arcillosos de baja permeabilidad.
- b) La pendiente del terreno debe estar entre 2 y 8% (preferiblemente 6%). Se requiere una superficie uniforme sin quebradas o cauces naturales, de modo que las aguas residuales puedan distribuirse en una capa de espesor uniforme en toda el área de aplicación. La superficie deberá cubrirse con pasto o cualquier otro tipo de vegetación similar que sea resistente a las condiciones de inundación y que provea un ambiente adecuado para el desarrollo de bacterias.
- c) El nivel freático debe estar 0,6 m por debajo como mínimo, para permitir una adecuada aeración de la zona de raíces.
- d) El pretratamiento requerido es primario como mínimo.
- e) Se pueden usar cargas orgánicas de hasta 76 kg DBO / (ha.d).  
El sistema de aplicación debe ser intermitente, con una relación de 2:1 entre los períodos de descanso y de aplicación. Antes del corte o utilización de la vegetación para alimento de animales se debe permitir un período de descanso de 2 semanas como mínimo.

## **5.6.2 FILTROS INTERMITENTES DE ARENA**

**5.6.2.1** Son unidades utilizadas para la remoción de sólidos, DBO y algunos tipos de microorganismos.

**5.6.2.2** En caso de utilizarse este proceso, se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- a) Pretratamiento: primario como mínimo y recomendable

secundario.

- b) Carga hidráulica: de 0,08 a 0,2 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d para efluente primario y de 0,2 a 0,4 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d para efluente secundario.
- c) Lecho filtrante: material granular lavado con menos 1% por peso de materia orgánica. La arena tendrá un tamaño efectivo de 0,35 a 1,0 mm y un coeficiente de uniformidad menor que 4 (preferiblemente 3,5). La profundidad del lecho podrá variar entre 0,60 y 0,90 m.
- d) El sistema de drenaje consiste en tubos con juntas abiertas o con perforaciones y un tubo de ventilación al extremo aguas arriba. La pendiente de los tubos será de 0,5 y 1%. Bajo las tuberías se colocará un lecho de soporte constituido por grava o piedra triturada de 0,6 a 3,8 cm de diámetro.
- e) La distribución del afluente se efectuará por medio de canaletas o por aspersion. Se deben colocar placas protectoras de hormigón para impedir la erosión del medio filtrante.
- f) El afluente debe dosificarse con una frecuencia mínima de 2 veces al día, inundando el filtro hasta 5 cm de profundidad.
- g) El número mínimo de unidades es dos. Para operación continua, una de las unidades debe ser capaz de tratar todo el caudal, mientras la otra unidad está en mantenimiento o alternativamente se debe proveer almacenamiento del desecho durante el período de mantenimiento.

### 5.6.3 TRATAMIENTOS ANAEROBIOS DE FLUJO DE ASCENDENTE

**5.6.3.1** El tratamiento anaerobio de flujo ascendente es una modificación del proceso de contacto anaerobio desarrollado hace varias décadas y consiste en un reactor en el cual el efluente es introducido a través de un sistema de distribución localizado en el fondo y que fluye hacia arriba atravesando un medio de contacto anaerobio. En la parte superior existe una zona de separación de fase líquida y gaseosa y el efluente clarificado sale por la parte superior. Los tiempos de permanencia de estos procesos son relativamente cortos. Existen básicamente diversos tipos de reactores, los más usuales son:

- a) El de lecho fluidizado, en el cual el medio de contacto es un material granular (normalmente arena). El efluente se aplica en el fondo a una tasa controlada (generalmente se requiere de recirculación) para producir la fluidización del medio de contacto y la biomasa se desarrolla alrededor de los granos del medio.
- b) El reactor de flujo ascendente con manto de lodos (conocido como RAFA o UASB por las siglas en inglés) en el cual el desecho fluye en forma ascendente a través de

una zona de manto de lodos.

**5.6.3.2** Para determinar las condiciones de aplicación se requiere analizar las ventajas y desventajas del proceso. Las principales ventajas del proceso son:

- eliminación del proceso de sedimentación;
  - relativamente corto período de retención;
  - producción de biogas; y
  - aplicabilidad a desechos de alta concentración.
- Las principales desventajas del proceso son:
- control operacional especializado y de alto costo;
  - muy limitada remoción de bacterias y aparentemente nula remoción de parásitos;
  - sensibilidad de los sistemas anaerobios a cambios bruscos de carga y temperatura;
  - difícil aplicación del proceso a desechos de baja concentración;
- 
- problemas operativos que implican la necesidad de operación calificada para el control del proceso;
  - deterioro de la estructura por efecto de la corrosión;
  - necesidad de tratamiento posterior, principalmente porque el proceso transforma el nitrógeno orgánico a amoníaco, lo cual impone una demanda de oxígeno adicional y presenta la posibilidad de toxicidad;
  - insuficiente información para aguas residuales de baja carga.

Luego de un análisis realista de gran cantidad de información sobre el proceso se establecen las siguientes condiciones de aplicación:

- a) La práctica de estos procesos en el tratamiento de aguas residuales de ciudades de varios tamaños no tiene un historial suficientemente largo como para considerarlos como una tecnología establecida. La variante de lechos fluidizados presenta menor experiencia que la variante de flujo ascendente con manto de lodos.
- b) Sin embargo, el uso de los mismos para el tratamiento de desechos industriales concentrados parece aceptable actualmente.
- c) Previo al diseño definitivo es recomendable que los criterios de diseño sean determinados experimentalmente mediante el uso de plantas piloto.

**5.6.3.3** Dado que los sistemas de lechos anaerobios fluidizados requieren de un mayor grado de mecanización y operación especializada, su uso deberá ser justificado ante la autoridad competente. Los criterios de diseño se determinarán a través de plantas piloto.

**5.6.3.4** Para orientar el diseño de reactores anaerobios de flujo

ascendente se dan los siguientes parámetros referenciales:

a) El tratamiento previo debe ser cribas y desarenadores.

**b) Cargas del diseño.**

- 1,5 a 2,0 kg DQO / (m<sup>3</sup>.día) para aguas residuales domésticas.
- 15 a 20 kg DQO / (m<sup>3</sup>.día) para desechos orgánicos concentrados (desechos industriales).

**c) Sedimentador**

- Carga superficial 1,2 a 1,5 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>.h), calculada en base al caudal medio.

**Altura:**

- 1,5 m para aguas residuales domésticas.
- 1,5 a 2,0 m para desechos de alta carga orgánica.

**Inclinación de paredes: 50 a 60 &deg;**

- Deflectores de gas: en la arista central de los sedimentadores se dejará una abertura para el paso de sólidos de 0,15 a 0,20 m uno de los lados deberá prolongarse de modo que impida el paso de gases hacia el sedimentador; esta prolongación deberá tener una proyección horizontal de 0,15 a 0,20 m.

- **Velocidad de paso por las aberturas:**

3 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>.h) para desechos de alta carga orgánica, calculado en base al caudal máximo horario.

5 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>.h) para aguas residuales domésticas, calculado en base al caudal máximo horario.

**d) Reactor anaerobio**

- Velocidad ascensional: 1,0 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>.h), calculado en base al caudal máximo horario.
- Altura del reactor:  
5 a 7 m para desechos de alta carga orgánica  
3 a 5 m para aguas residuales domésticas.

**e) Sistema de alimentación:**

Se deberá lograr una distribución uniforme del agua residual en el fondo del reactor. Para tal efecto deberá proveerse de una cantidad mínima de puntos de alimentación:

- 2 a 5 m<sup>2</sup>/punto de alimentación, para efluentes de alta

carga orgánica.

- 0,5 a 2 m<sup>2</sup>/punto de alimentación, para aguas residuales domésticas.

Las tuberías de alimentación deben estar a una altura de 0,20 m sobre la base del reactor.

#### **f) Colectores de gas**

En la parte superior del sistema debe existir un área para liberar el gas producido. Esta área podrá estar localizada alrededor del sedimentador en la dirección transversal o longitudinal. La velocidad del gas en esta área debe ser lo suficientemente alta para evitar la acumulación de espumas y la turbulencia excesiva que provoque el arrastre de sólidos.

La velocidad de salida del gas se encontrará entre los siguientes valores:

- 3 a 5 m<sup>3</sup> de gas/(m<sup>2</sup>.h), para desechos de alta carga orgánica.
- 1 m<sup>3</sup> de gas/(m<sup>2</sup>.h), para aguas residuales domésticas.

De no lograrse estas velocidades se deberá proveer al reactor de sistemas de dispersión y retiro de espumas.

**g)** La altura total del reactor anaerobio (RAFA) de flujo ascendente será la suma de la altura del sedimentador, la altura del reactor anaerobio y un borde libre.

**h)** Volumen del RAFA: para aguas residuales domésticas se recomienda diseñar un sistema modular con unidades en paralelo. Se recomienda módulos con un volumen máximo de 400 m<sup>3</sup>. En ningún caso deberá proyectarse módulos de más de 1500 m<sup>3</sup> para favorecer la operación y mantenimiento de los mismos.

**5.6.3.5** Para el diseño de estas unidades el proyectista deberá justificar la determinación de valores para los siguientes aspectos:

- a) Eficiencias de remoción de la materia orgánica, de coliformes y nematodos intestinales.
- b) La cantidad de lodo biológico producido y la forma de disposición final.
- c) Distribución uniforme de la descarga.
- d) La cantidad de gas producida y los dispositivos para control y manejo.
- e) Los requisitos mínimos de postratamiento.
- f) Para este tipo de proceso se deberá presentar el manual de operación y mantenimiento, con indicación de los parámetros de control del proceso, el dimensionamiento del personal y las calificaciones mínimas del personal de

operación y mantenimiento.

## **5.7 DESINFECCIÓN**

**5.7.1** La reducción de bacterias se efectuará a través de procesos de tratamiento. Solamente en el caso que el cuerpo receptor demande una alta calidad bacteriológica, se considerará la desinfección de efluentes secundarios o terciarios, en forma intermitente o continua. La desinfección de desechos crudos o efluentes primarios no se considera una opción técnicamente aceptable.

**5.7.2** Para el diseño de instalaciones de cloración el proyectista deberá sustentar los diferentes aspectos:

- la dosis de cloro;
- el tiempo de contacto y el diseño de la correspondiente cámara;
- los detalles de las instalaciones de dosificación, inyección, almacenamiento y dispositivos de seguridad.

**5.7.3** La utilización de otras técnicas de desinfección (radiación ultravioleta, ozono y otros) deberán sustentarse en el estudio de factibilidad.

## **5.8 TRATAMIENTO TERCIARIO DE AGUAS RESIDUALES**

Cuando el grado del tratamiento fijado de acuerdo con las condiciones del cuerpo receptor o de aprovechamiento sea mayor que el que se pueda obtener mediante el tratamiento secundario, se deberán utilizar métodos de tratamiento terciario o avanzado.

La técnica a emplear deberá estar sustentada en el estudio de factibilidad. El proyectista deberá sustentar sus criterios de diseño a través de ensayos de tratabilidad

Entre estos métodos se incluyen los siguientes:

- a) Ósmosis Inversa
- b) Electrodialisis
- c) Destilación
- d) Coagulación
- e) Adsorción
- f) Remoción por espuma
- g) Filtración
- h) Extracción por solvente
- i) Intercambio iónico
- j) Oxidación química
- k) Precipitación
- l) Nitrificación – Denitrificación

## **5.9 TRATAMIENTO DE LODOS**

### **5.9.1 Generalidades**

**5.9.1.1** Para proceder al diseño de instalaciones de tratamiento de lodos, se realizará un cálculo de la producción de lodos en los procesos de tratamiento de la planta, debiéndose tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- El cálculo se realizará para caudales y concentraciones medias y temperaturas correspondientes al mes más frío.
- Para lodos primarios se determinará el volumen y masa de sólidos en suspensión totales y volátiles teniendo en consideración los porcentajes de remoción, contenido de sólidos y densidades.
- Para procesos de tratamiento biológico como los de lodos activados y filtros biológicos se determinará la masa de lodos biológicos producido por síntesis de la materia orgánica menos la cantidad destruida por respiración endógena.
- En los procesos de lodos activados con descarga de lodos directamente desde el tanque de aeración, se determinará el volumen de lodo producido a partir del parámetro de edad del lodo. En este caso la concentración del lodo de exceso es la misma que la del tanque de aeración.
- En los procesos de lodos activados con descarga del lodo de exceso antes del tanque de aeración, se determinará el volumen de lodo producido a partir de la concentración de lodo recirculado del fondo del sedimentador secundario.

**5.9.1.2** Se tendrá en consideración además las cantidades de lodos de fuentes exteriores, como tanques sépticos.

**5.9.1.3** Los lodos de zanjas de oxidación y aeración prolongada no requieren otro proceso de tratamiento que el de deshidratación, generalmente en lechos de secado.

**5.9.1.4** Los lodos de otros sistemas de tratamiento de lodos activados y filtros biológicos necesitan ser estabilizados. Para el efecto se escogerán procesos que sean de bajo costo y de operación y mantenimiento sencillos.

**5.9.1.5** La estabilización de lodos biológicos se sustentará con un estudio técnico económico.

**5.9.1.6** Para la digestión anaerobia se considerará las siguientes alternativas:

- digestión anaerobia en dos etapas con recuperación de gas.
- sistemas de digestión anaerobia abiertos (sin recuperación de gas), como: digestores convencionales abiertos y lagunas de lodos.

**5.9.1.7** Para la disposición de lodos estabilizados se considerarán las siguientes opciones:

- lechos de secado;
- lagunas de secado de lodos;
- disposición en el terreno del lodo sin deshidratar; y
- otros con previa justificación técnica.

**5.9.1.8** El proyectista deberá justificar técnica y económicamente el sistema de almacenamiento, disposición final y utilización de lodos deshidratados.

## **5.9.2 DIGESTIÓN ANAEROBIA**

**5.9.2.1** La digestión anaerobia es un proceso de tratamiento de lodos que tiene por objeto la estabilización, reducción del volumen e inactivación de organismos patógenos de los lodos. El lodo ya estabilizado puede ser procesado sin problemas de malos olores. Se evaluará cuidadosamente la aplicación de este proceso cuando la temperatura sea menor de 15°C o cuando exista presencia de tóxicos o inhibidores biológicos.

**5.9.2.2** Se deberá considerar el proceso de digestión anaerobia para los siguientes casos:

- para lodos de plantas primarias;
- para lodo primario y secundario de plantas de tratamiento con filtros biológicos;
- para lodo primario y secundario de plantas de lodos activados, exceptuando los casos de plantas de aeración prolongada.

**5.9.2.3** Cuando desea recuperar el gas del proceso, se puede diseñar un proceso de digestión de dos etapas, teniendo en cuenta las siguientes recomendaciones:

- El volumen de digestión de la primera etapa se determinará adoptando una carga de 1,6 a 8,0 kg SSV/(m<sup>3</sup>.d), las mismas que corresponden a valores de tasas altas. En climas cálidos se usarán cargas más altas y en climas templados se usarán cargas más bajas.
- El contenido de sólidos en el lodo tiene gran influencia en el tiempo de retención de sólidos. Se comprobará el tiempo de retención de sólidos de la primera etapa, de acuerdo con los valores que se indican y si es necesario se procederá a reajustar la carga:



Temperatura, °C Promedio del mes más frío	Tiempo de Retención (días)
18	28
24	20
30	14
35 (*)	10
40 (*)	10

- Los digestores abiertos pueden ser tanques circulares cuadrados o lagunas de lodos y en ningún caso deberá proponerse sistemas con calentamiento.
- No es recomendable la aplicación de estos sistemas para temperaturas promedio mensuales menores de 15°C.

### 5.9.3 LAGUNAS DE LODOS

**5.9.3.1** Las lagunas de lodos pueden emplearse como digestores o para almacenamiento de lodos digeridos. Su profundidad está comprendida entre 3 y 5 m y su superficie se determinará con el uso de una carga superficial entre 0,1 y 0,25 kg SSV / (m<sup>2</sup>.d). Para evitar la presencia de malos olores se deben usar cargas hacia el lado bajo.

**5.9.3.2** Los parámetros de dimensionamiento de una laguna de digestión de lodos son los de digestores de baja carga.

**5.9.3.3** Las lagunas de lodos deben diseñarse teniendo en cuenta lo siguiente:

- los diques y fondos de estas lagunas tendrán preferiblemente recubrimiento impermeabilizante;
- los taludes de los diques pueden ser más inclinados que los de lagunas de estabilización;
- se deben incluir dispositivos para la remoción del lodo digerido en el fondo y del sobrenadante, en por lo menos tres niveles superiores;
- se deberán incluir dispositivos de limpieza y facilidades de circulación de vehículos, rampas de acceso, etc.

### 5.9.4 Aplicación de lodos sobre el terreno

**5.9.4.1** Los lodos estabilizados contienen nutrientes que pueden ser aprovechados como acondicionador de suelos.

**5.9.4.2** Los lodos estabilizados pueden ser aplicados en estado líquido directamente sobre el terreno, siempre que se haya removido por lo menos 55% de los sólidos volátiles suspendidos.

**5.9.4.3** Los terrenos donde se apliquen lodos deberán estar ubicados por lo menos a 500 m de la vivienda más cercana. El terreno

deberá estar protegido contra la escorrentía de aguas de lluvias y no deberá tener acceso del público.

**5.9.4.4** El terreno deberá tener una pendiente inferior de 6% y su suelo deberá tener una tasa de infiltración entre 1 a 6 cm/h con buen drenaje, de composición química alcalina o neutra, debe ser profundo y de textura fina. El nivel freático debe estar ubicado por lo menos a 10 m de profundidad.

**5.9.4.5** Deberá tenerse en cuenta por lo menos los siguientes aspectos:

- concentración de metales pesados en los lodos y compatibilidad con los niveles máximos permisibles;
- cantidad de cationes en los lodos y capacidad de intercambio iónico;
- tipos de cultivo y formas de riego, etc.

## **5.9.5 REMOCIÓN DE LODOS DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN**

**5.9.5.1** Para la remoción de lodos de las lagunas primarias, se procederá al drenaje mediante el uso de sifones u otro dispositivo. Las lagunas deberán drenarse hasta alcanzar un nivel que permita la exposición del lodo al ambiente. La operación de secado debe efectuarse en la estación seca. Durante esta operación el agua residual debe idealmente tratarse sobrecargando otras unidades en paralelo.

**5.9.5.2** El lodo del fondo debe dejarse secar a la intemperie. El mecanismo de secado es exclusivamente por evaporación y su duración depende de las condiciones ambientales, principalmente de la temperatura.

**5.9.5.3** El lodo seco puede ser removido en forma manual o con la ayuda de equipo mecánico. En el diseño de lagunas deberá considerarse las rampas de acceso de equipo pesado para la remoción de lodos.

**5.9.5.4** El lodo seco debe almacenarse en pilas de hasta 2 m por un tiempo mínimo de 6 meses, previo a su uso como acondicionador de suelos. De no usarse deberá disponerse en un relleno sanitario

**5.9.5.5** Alternativamente se podrá remover el lodo de lagunas primarias por dragado o bombeo a una laguna de secado de lodos.

**5.9.5.6** El proyectista deberá especificar la frecuencia del período de remoción de lodos, este valor deberá estar consignado en el manual de operación de la planta.

## **5.9.6 LECHOS DE SECADO**

**5.9.6.1** Los lechos de secado son generalmente el método más simple y económico de deshidratar los lodos estabilizados.

**5.9.6.2** Previo al dimensionamiento de los lechos se calculará la masa y volumen de los lodos estabilizados.

En el caso de zanjas de oxidación el contenido de sólidos en el lodo es conocido. En el caso de lodos digeridos anaerobiamente, se determinará la masa de lodos considerando una reducción de 50 a 55% de sólidos volátiles. La gravedad específica de los lodos digeridos varía entre 1,03 y 1,04. Si bien el contenido de sólidos en el lodo digerido depende del tipo de lodo, los siguientes valores se dan como guía:

- para el lodo primario digerido: de 8 a 12% de sólidos.
- para el lodo digerido de procesos biológicos, incluido el lodo primario: de 6 a 10% de sólidos.

**5.9.6.3** Los requisitos de área de los lechos de secado se determinan adoptando una profundidad de aplicación entre 20 y 40 cm y calculando el número de aplicaciones por año. Para el efecto se debe tener en cuenta los siguientes períodos de operación:

- período de aplicación: 4 a 6 horas;
- período de secado: entre 3 y 4 semanas para climas cálidos y entre 4 y 8 semanas para climas más fríos;
- período de remoción del lodo seco: entre 1 y 2 semanas para instalaciones con limpieza manual (dependiendo de la forma de los lechos) y entre 1 y 2 días para instalaciones pavimentadas en las cuales se pueden remover el lodo seco, con equipo.

**5.9.6.4** Adicionalmente se comprobarán los requisitos de área teniendo en cuenta las siguientes recomendaciones:

<b>Tipo de Lodo Digerido</b>	<b>(Kg sólidos/(m<sup>2</sup>.año))</b>
Primario	120 - 200
Primario y filtros percoladores	100 - 160
Primario y lodos activados	60 - 100
Zanjas de oxidación	110 – 200

**5.9.6.5** Para el diseño de lechos de secado se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Pueden ser construidos de mampostería, de concreto o de tierra (con diques), con profundidad total útil de 50 a 60 cm. El ancho de los lechos es generalmente de 3 a 6 m., pero para instalaciones grandes puede sobrepasar los 10 m.

- El medio de drenaje es generalmente de 0.3 de espesor y debe tener los siguientes componentes:

El medio de soporte recomendado está constituido por una capa de 15 cm. formada por ladrillos colocados sobre el medio filtrante, con una separación de 2 a 3cm. llena de arena. La arena es el medio filtrante y debe tener un tamaño efectivo de 0,3 a 1,3mm., y un coeficiente de uniformidad entre 2 y 5. Debajo de la arena se debe colocar un estrato de grava graduada entre 1,6 y 51mm.(1/6" y 2"), de 0.20m. de espesor.

Los drenes deben estar constituidos por tubos de 100mm. de diámetro instalados debajo de la grava.

Alternativamente, se puede diseñar lechos pavimentados con losas de concreto o losas prefabricadas, con una pendiente de 1,5% hacia el canal central de drenaje. Las dimensiones de estos lechos son: de 5 a 15m. de ancho, por 20 a 45m. de largo.

Para cada lecho se debe proveer una tubería de descarga con su respectiva válvula de compuerta y losa en el fondo, para impedir la destrucción del lecho.