

Anexo No.2**Reglamento Técnico de Agua y Saneamiento Básico – RAS
Título E - TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES****Fichas de tecnologías de tratamiento de agua residual****LISTADO DE TECNOLOGIAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

La siguiente es la lista de fichas técnicas para las diferentes tecnologías de tratamiento de aguas residuales:

1. Biorreactor de membrana (MBR)
2. Contactor biológico rotativo (CBR)
3. Desarenadores
4. Desbaste
5. Desinfección con cloro
6. Desinfección con radiación ultravioleta
7. Electrocoagulación
8. Embalses de estabilización
9. Emisarios submarinos
10. Filtración por membrana (FM)
11. Filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA)
12. Filtro anaerobio de flujo descendente
13. Filtro de arena (FAR)
14. Filtro percolador
15. Flotación con aire disuelto (DAF)
16. Humedales construidos de flujo subsuperficial (SSFW)
17. Humedales construidos de flujo superficial (FWSW)
18. Humedales construidos de flujo vertical (VFW)
19. Lagunas aireadas
20. Lagunas anaerobias
21. Lagunas de maduración
22. Lagunas facultativas
23. Lodos activados aireación de alta carga
24. Lodos activados aireación graduada
25. Lodos activados aireación modificada
26. Lodos activados aireación extendida
27. Lodos activados alimentación escalonada
28. Lodos activados contacto estabilización
29. Lodos activados convencionales
30. Lodos activados doble etapa
31. Lodos activados mezcla completa
32. Lodos activados proceso Kraus
33. Lodos activados utilización de oxígeno puro
34. Militamices giratorios (MG)

- 35. Neutralización
- 36. Oxidación química
- 37. Ozonización
- 38. Reactores anaeróbicos de flujo ascendente (RAFA)
- 39. Reactores de adsorción
- 40. Reactores de biopelícula
- 41. Reactores secuenciales por tandas (SBR)
- 42. Remoción de fósforo
- 43. Remoción de nitrógeno
- 44. Sedimentador primario
- 45. Sedimentador secundario
- 46. Tanque séptico
- 47. Tanques anaeróbicos híbridos
- 48. Tanques imhoff
- 49. Trampa de grasas
- 50. Tratamiento primario químicamente asistido (TPQA)
- 51. Zanjón de oxidación

No. 1	FICHA TÉCNICA	BIOREACTOR DE MEMBRANA (MBR)
Descripción general del sistema		
<p>El bio-reactor de membrana (MBR por sus siglas en inglés), consiste en una combinación de un reactor de lodos activados con un sistema de membrana de micro o ultrafiltración, de donde el agua filtrada que pasa a través de las paredes es extraída mediante las bombas, mientras que la biomasa se queda en el reactor o retorna a este (según la configuración). El reactor cuenta con un sistema de aireación con inyección de aire a través de difusores que suministra oxígeno a la biomasa y lo mantiene en suspensión. La capacidad de retención de partículas y sólidos depende del tamaño del poro de las membranas.</p> <p>Existen dos configuraciones básicas. En una de ellas (membrana interna) el sistema de membranas se encuentra sumergido en el reactor aireado, y el agua filtrada es extraída de ellas mediante la succión de las bombas, que puede llegar a ser de 4 a 50 KPa y está limitada por la presión atmosférica. La aireación mantiene relativamente limpia la superficie de las membranas. El tipo de membrana utilizado es el de microfiltración, que tiene poros entre 0.1 μm y 1 μm. La limpieza química se realiza generalmente en un tanque aparte, a donde se llevan los módulos de membranas.</p> <p>Existe otra alternativa (membrana externa), en la cual el sistema de membranas se encuentra encapsulado dentro de tubos situados fuera del reactor a donde se lleva el agua por bombeo a una presión más alta, y el permeado retorna al reactor. Este esquema facilita la limpieza química, pues se puede aislar el sistema de membranas del reactor durante esta operación. En este caso se utilizan membranas de micro y ultrafiltración, esta última con poros en el rango de 0.1 μm a 0.01 μm, y por lo tanto tiene mejor capacidad de remoción. Esto se compara favorablemente con la filtración convencional, que retiene partículas suspendidas en el rango de 1 a 10 micras.</p>		
<p>Figura Indicativa</p> <p>Bioreactor de Membrana - Alternativa de Membrana Externa</p>		

BIOREACTOR DE MEMBRANA (MBR)

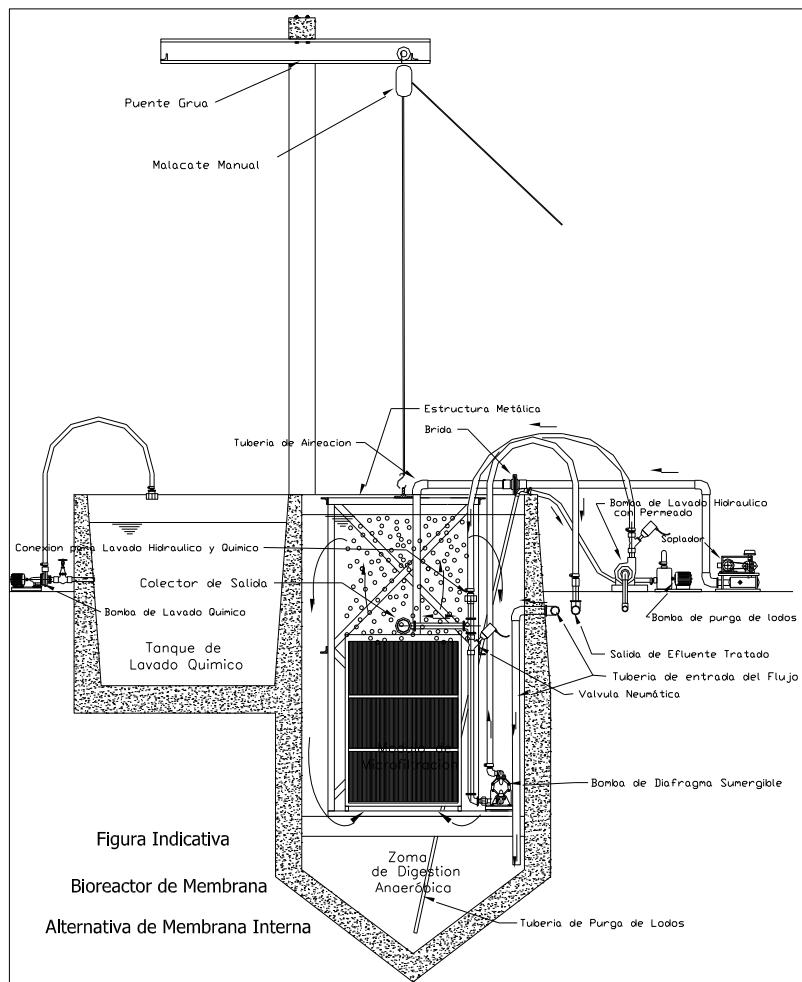
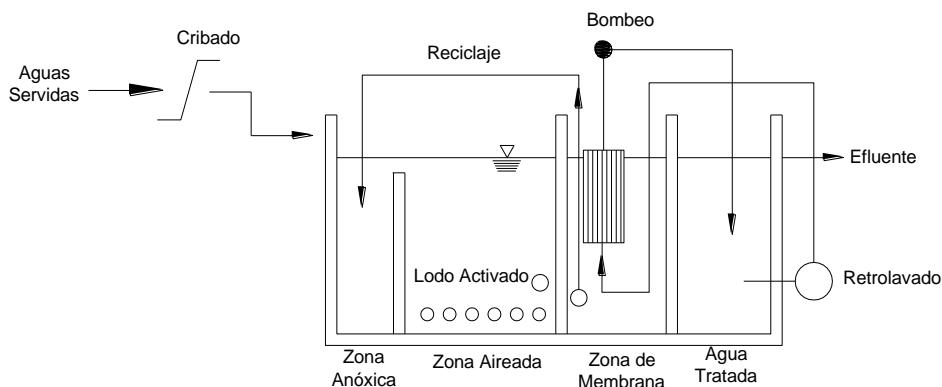


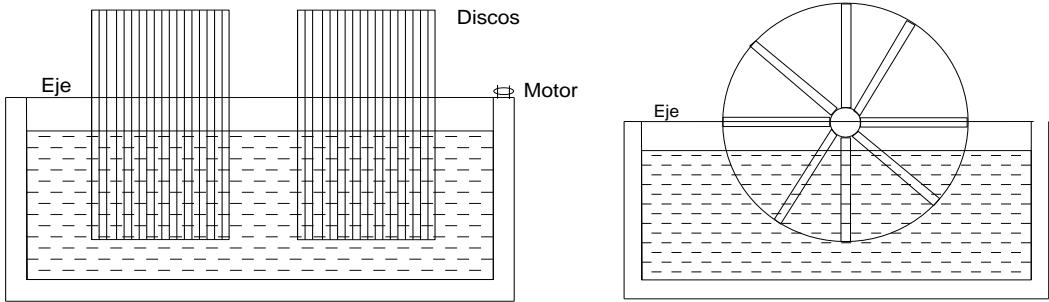
Figura Indicativa – Alternativa Membrana Interna

No. 1	FICHA TÉCNICA	BIOREACTOR DE MEMBRANA (MBR)
Sistemas de Pretratamiento necesarios		
<p>Para el adecuado funcionamiento de biorreactores de membranas, y prevenir que las membranas sean dañadas por partículas duras y cortantes, se requiere realizar pretratamientos para remover los sólidos decantables en las aguas residuales. Es necesario adecuar el pH y la temperatura a los rangos de operación de las membranas, de acuerdo con su material.</p> <p>Pueden requerirse pretratamientos biológicos y químicos previos al MBR para reducir el ensuciamiento, el taponamiento por álcalis, y mejorar la estabilidad química y mecánica de las membranas.</p>		
Aplicabilidad		
<p>Por ser un sistema de tratamiento muy compacto y eficiente en la remoción de carga orgánica, es recomendable su utilización para instalaciones industriales urbanas que manejen productos orgánicos y no dispongan de grandes espacios.</p>		
Ventajas y desventajas		
<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Operación de la planta con concentraciones de lodos superiores, con concentraciones de sólidos suspendidos SSLM de 10 a 20 g/l, mientras que las del tratamiento convencional son de 3 a 4 g/l. • Lo anterior implica que el volumen del reactor es más reducido que otros tipos de reactores aeróbicos, y además se prescinde del decantador secundario. • El MBR requiere menos mano de obra, menos energía, menos productos químicos, y proporciona un agua de alta calidad en el tratamiento de las aguas potables, residuales domésticas o industriales. • La filtración por membrana es independiente de la decantabilidad del lodo. Las membranas retienen los sólidos en suspensión y sustancias coloidales, lo que permite su reutilización para diversos usos. • Flexibilidad de operación: la edad de los lodos y el tiempo de retención hidráulico se pueden controlar independientemente y con ello se puede mantener una edad del lodo elevada que permita el desarrollo de microorganismos de crecimiento lento, especialmente los nitrificantes. • La oferta de nutrientes en el biorreactor respecto a la biomasa puede ser regulada, de forma que se generen tiempos de permanencia prolongados de la biomasa y de los nutrientes en el sistema, minimizando así la formación de lodos excedentes. 		
<p>Desventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Elevado costo de la implantación y la operación. • La vida útil de las membranas es reducida, pero puede aumentarse con nuevos materiales, pretratamientos adecuados, y medidas de operación y lavado químico. • Para mantener las condiciones aeróbicas se requiere un alto suministro de aire. • Por ser un proceso esencialmente aeróbico, se genera gran cantidad de lodos. Las altas concentraciones de lodos pueden influir de forma negativa en el rendimiento de la membrana. 		
Aspectos de diseño		
<p>El rendimiento de cada cartucho depende del área filtrante, la porosidad, el tamaño de poro y la</p>		

No. 1	FICHA TÉCNICA	BIOREACTOR DE MEMBRANA (MBR)
<p>presión a través de la membrana (TPM por sus siglas en inglés <i>Transmembrane Pressure</i>). Las membranas usadas para la microfiltración tienen un tamaño de poro de 0.1 – 1 μm. Estas membranas de microfiltración retienen todas las bacterias, y parte de la contaminación viral, puesto que los virus se pueden acoplar a las bacterias. Para la eliminación completa de los virus, se requiere la ultrafiltración. El caudal de suministro por membranas de ultrafiltración oscila entre 5 y 200 L/m²*hr, mientras que las membranas de microfiltración suministran más de 200 L/m²*hr.</p> <p>Por su forma, las membranas se clasifican en tubulares y las de placa y marco. Las primeras pueden ser de tubos, de capilares, o de fibras huecas. Las membranas de placa y marco pueden ser espirales o almohadiformes. El tipo de membrana más utilizado es el de fibra hueca, donde los elementos filtrantes son pequeños tubos o fibras de membrana presurizadas de adentro hacia fuera, o viceversa en el caso del MBR sumergido. El permeado que se filtra a través de la fibra es recolectado y fluye hacia la salida. Estas fibras se encuentran en haces llamados cartuchos, en cuyo extremo se encuentra el sistema de alimentación o recolección, y los cartuchos se agrupan en módulos que comparten las tuberías de entrada y salida. Los materiales de las membranas más utilizados son polisulfonatos, fluoruro de polivildieno, poliacrilonitrilos, acetato de celulosa, y cerámica, que ofrecen diferentes rangos de pH y temperatura de operación.</p> <p>El afluente aporta gran cantidad de elementos que obstruyen los poros de la membrana, como son los sólidos suspendidos que son retenidos en los poros, las sales disueltas, especialmente las de calcio, que tienden a incrustarse en la superficie de la membrana, y la biopelícula que se desarrolla en ésta gracias a las condiciones aeróbicas. Todos estos elementos tienden a obstruir los poros, requiriendo un aumento de la presión y generando una disminución del flujo de permeado. Por lo tanto, periódicamente se requiere realizar un retrolavado, suspendiendo la filtración e inyectando una solución en sentido inverso, que puede contener ácidos para remover incrustaciones de álcalis (en inglés <i>scaling</i>), o desinfectantes para remover la biopelícula.</p> <p>La aireación se diseña para proporcionar el oxígeno requerido para que se mantengan las condiciones aeróbicas en el reactor, y para suministrar el oxígeno necesario para la digestión de la carga orgánica y la nitrificación del amoniaco. Los cálculos de este proceso son similares a los de un reactor de lodos activados. En los sistemas de membrana interna, la inyección de aire se diseña para que las burbujas que ascienden mantengan limpia las fibras huecas u otros elementos que constituyen la membrana. En este caso los difusores generalmente hacen parte de los módulos de membrana.</p>		
Rendimientos esperados		
<p>En sistemas de tratamiento tipo MBR generalmente se utilizan membranas de microfiltración que remueven todas las partículas de tamaños entre 0.1 y 1 μm, las cuales incluyen sólidos suspendidos, bacterias y la parte de los virus que se acoplan a éstas. El rendimiento en la filtración es de más de 200 L/hr por metro cuadrado de membrana.</p>		
Generación de efectos		

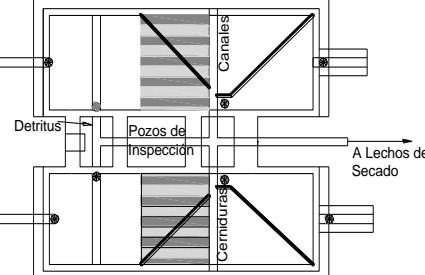
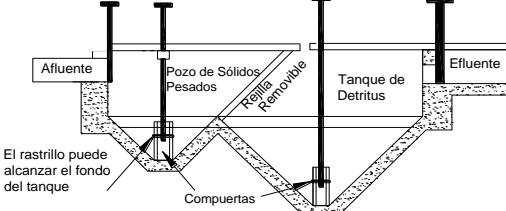
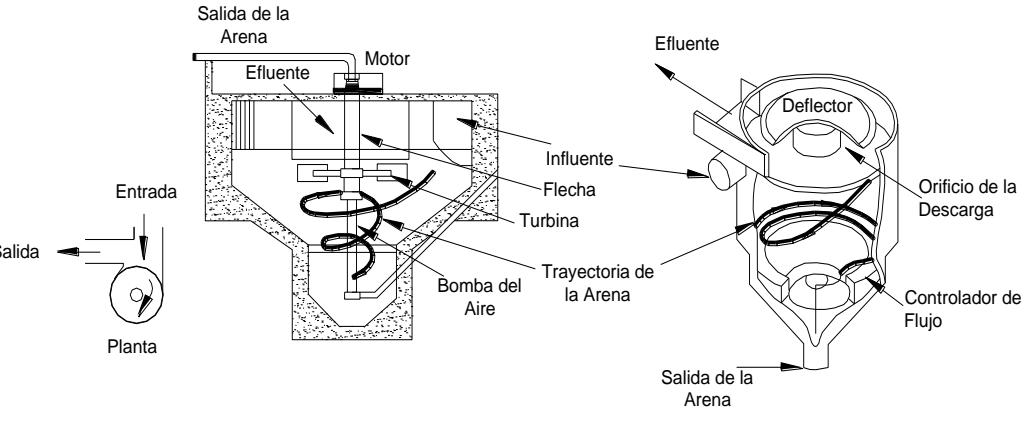
No. 1	FICHA TÉCNICA	BIOREACTOR DE MEMBRANA (MBR)
		Por ser un sistema de tratamiento aeróbico, el MBR no presenta generación de olores. Se puede presentar ruido procedente de los sopladores en plantas de mayor tamaño. La producción de lodos es reducida porque existe una edad de lodos bastante alta. El agua de lavado contiene ácidos y sustancias desinfectantes, por lo cual debe ser tratada antes de verterla.
Aspectos particulares de operación y mantenimiento		
El ciclo de filtración se alterna con un corto retrolavado, en el que se invierte el sentido del flujo con el objeto de forzar el paso del agua filtrada desde el interior al exterior de la membrana para limpiarla. Periódicamente, en función del grado de ensuciamiento, se realizan limpiezas químicas en profundidad de las membranas mediante su inmersión en una solución que contiene agentes desinfectantes, tales como el peróxido de hidrógeno (H_2O_2), el ácido clorhídrico y el dióxido de cloro, que remueven la biopelícula, y con ácidos clorhídrico, cítrico o nítrico que remueven las incrustaciones de materiales alcalinos que taponan los poros (<i>scaling</i> en inglés). Después de la limpieza química se hace un lavado para remover los agentes químicos que pueden interferir con los procesos biológicos. Las fibras huecas son susceptibles a la rotura, y por lo tanto se requiere frecuente inspección y sellado de las que se han roto.		
Referencias bibliográficas		
Metcalf y Eddy. 2003. <i>Wastewater Engineering: Treatment and Reuse</i> . Ed.4 ^a AECOM Press & McGraw Hill Professional. Estados Unidos.		
Romero R., Jairo. 2002. Tratamiento de aguas residuales: teoría y principios de diseño. Ed.2 ^a Escuela Colombiana de Ingeniería. Colombia.		
<i>American Water Works Association</i> . 1999. Tratamiento del agua por procesos de membrana: principios, procesos y aplicaciones. 1 ^a Mc Graw Hill. España.		
Blasco A. 2001. Biomembranas. Ed 2 ^a Asecorp On-Line. www.asecorp-online.com .		
Torove L. y Hallvard O. 2005. <i>The development of a biofilm membrane bioreactor</i> . Norwegian University of Science and Technology. Elsevier. Noruega.		
Zuconi P., et al. 2005. <i>Optimizing the Operational Conditions of a Membrane Bioreactor Used for Domestic Wastewater Treatment</i> . Brazilian Archives of Biology and Technology. Brasil.		
Nerenberg R. 2005. <i>Membrane Biofilm Reactors for Water and Wastewater Treatment</i> . Borchardt Conference: A Seminar on Advances in Water and Wastewater Treatment. Conference Proceedings. Estados Unidos.		
Rodríguez A., et al. 2006. Tratamientos Avanzados de Aguas Residuales Industriales. Colección dirigida por José de la Sota Ríus y coordinada por la Fundación para el conocimiento CEIM. España.		
<i>Water Environment Federation</i> . 2007. <i>Cost trends of mbr systems for municipal wastewater</i>		

No. 1	FICHA TÉCNICA	BIOREACTOR DE MEMBRANA (MBR)
		<i>treatment.</i> Estados Unidos.
		Rittmann B. 2006. <i>The Membrane Biofilm Reactor: The Natural Partnership of Membranes and Biofilm.</i> Arizona State University. Estados Unidos.
		Bergamasco R., et al. 1997. <i>The Use of Bioreactors Coupled With Membranes for the Treatment of Effluents.</i> Brazilian Journal of Chemical Engineering. Brasil.
		DeCarolis J., et al. 2007. <i>Cost Trends of MBR Systems for Municipal Wastewater Treatment.</i> Water Environment Foundation. WEFTEC. Estados Unidos.

No. 2	FICHA TÉCNICA	CONTACTOR BIOLÓGICO ROTATIVO (CBR)
Descripción general del sistema		
<p>El contactor biológico rotativo es un sistema de tratamiento de aguas residuales secundario o terciario de tipo Biológico de Biomasa Fija, que permite alcanzar altos rendimientos en la eliminación de DBO₅, Sólidos en Suspensión y Nitrógeno Amoniacal.</p> <p>En operación, hay crecimiento biológico adherido a la superficie de los discos formando una capa conocida como <i>biofilm</i>. La rotación de los discos, hace que se alterne el contacto con la materia orgánica de las aguas residuales y luego con el ambiente permitiendo el intercambio de oxígeno y las condiciones aerobias del sistema. Esta rotación también permite el desprendimiento y renovación del <i>biofilm</i>.</p>		
<p>Los contactores biológicos se clasifican en dos tipos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Biodiscos: Consisten en una serie de discos sumergidos parcialmente, que giran alrededor de un eje situado horizontalmente sobre un tanque. Los discos sirven como medio de soporte para la fijación de biomasa y su rotación permite que ésta tenga contacto tanto con el agua residual como el aire. • Biocilindros: consisten en una jaula cilíndrica perforada rellena de material plástico al que se fija la biomasa y la cual gira sumergida parcialmente sobre un tanque, permitiendo el contacto tanto con el agua residual como con el aire. 		
		
Sistema de Pretratamiento necesario		
<p>Requiere que el agua residual haya pasado por procesos de desbaste, desarenado, desengrasado y decantación (Sedimentador primario).</p>		
Aplicabilidad		
<p>Este sistema es aplicable para remover materia orgánica soluble y lograr la conversión de amonio a nitrato, por la acción de microorganismos adheridos a discos giratorios que permiten la transferencia de oxígeno para la degradación aerobia de la materia orgánica de las aguas residuales</p>		
Ventajas y desventajas		

No. 2	FICHA TÉCNICA	CONTACTOR BIOLÓGICO ROTATIVO (CBR)					
Dentro de las ventajas se encuentran:							
<ul style="list-style-type: none"> • Consumo bajo de energía. • Requerimiento de área bajo. • No requiere la recirculación de lodos del sedimentador secundario a la zona biológica, al ser suficiente la concentración de biomasa bacteriana que se haya adherida al soporte. • Construcción modular permitiendo su ampliación en función del caudal a tratar. • Es menos sensible a las variaciones de carga orgánica. • Tiene mejor comportamiento ante la presencia de tóxicos ya que la biopelícula no permanece sumergida en el agua residual, permitiendo su recuperación al contacto con el aire. • No es necesario un control del nivel de oxígeno ni de sólidos en suspensión. • Bajo nivel de generación de ruido. • Se pueden adaptar a pequeñas comunidades. 							
Dentro de las desventajas se encuentran:							
<ul style="list-style-type: none"> • Costos de inversión elevados • Aumento de costos debido a la necesidad de estabilización de los lodos generados. • Necesidad de pretratamiento eficaz, ya que son muy sensibles al taponamiento. 							
Aspectos de diseño							
<ul style="list-style-type: none"> • Deben operar bajo cubierta para evitar daños en la biomasa por la acción de los agentes meteorológicos • Los discos o biocilindros, deben estar sumergidos en un 40% en el tanque que contiene el agua residual. • Una variación de este sistema consiste en discos o biocilindros sumergidos a un 70-90%, que requieren inyección de oxígeno y rotación. • Generalmente se utilizan varias unidades en serie o en paralelo para obtener la eficiencia de remoción deseada. • Los discos se fabrican en polietileno de alta densidad y son de 2 a 3 m de diámetro. • Los discos giran a una velocidad de 1 a 1.6 r.p.m. 							
Parámetro	Unidad	Nivel de tratamiento					
		Remoción de DBO	Remoción de DBO y nitrificación	Separación nitrificación			
Carga hidráulica	m ³ /m ² -d	0.08 - 0.16	0.03 - 0.08	0.04 - 0.1			
Carga orgánica	g DBOs/m ² -d	4 - 10	2.5 - 8	0.5 - 1			
	g DBO/m ² -d	8 - 20	5 - 16	1 - 2			
Carga orgánica máxima	g DBOs/m ² -d	12 - 15	12 - 15				
	g DBO/m ² -d	24 - 30	24 - 30				
Carga NH ₃	g N/m ² -d		0.75 - 1.5				
Tiempo de retención hidráulica	H	0.7 - 1.5	1.5 - 4	1.2 - 3			
DBO efluente	mg/L	15 - 30	7 - 15	7 - 15			
NH ₄ -N efluente	mg/L		<2	1-2			

No. 2	FICHA TÉCNICA	CONTACTOR BIOLÓGICO ROTATIVO (CBR)
<i>Fuente: Metcalf y Eddy, 2003</i>		
Rendimientos esperados		
Remociones del 80-90% de sólidos en suspensión, 80-90% de DBO, 20-35% de nitrógeno, 10-30% de fósforo, 80-90% de coliformes		
Generación de efectos		
Se deben retirar de forma periódica los lodos sedimentados en el fondo del tanque, y estabilizarlos antes de su disposición.		
Aspectos particulares de operación y mantenimiento		
<ul style="list-style-type: none"> • No se debe recircular el lodo después de la clarificación del efluente. • Debe controlarse el crecimiento de algas. • Deben protegerse los discos de plástico de los efectos de la exposición a radiación ultravioleta. • Debe retirarse el lodo de forma periódica para evitar atascamientos. 		
Referencias bibliográficas		
Metcalf y Eddy. 2003. <i>Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. Ed.4^a</i> AECOM Press & McGraw Hill Professional. Estados Unidos.		
Leslie G. 1999. Hardcover. <i>Biological wastewater treatment Ed.2^a</i> Hardcover. Estados Unidos.		
Henze M. 2002. <i>Wastewater treatment: biological and chemical processes. Ed.3^a</i> Hardcover. Estados Unidos.		

No. 3	FICHA TÉCNICA	DESARENADORES
Descripción general del sistema		
<p>Los desarenadores son estructuras hidráulicas que tienen como función remover las partículas de cierto tamaño que la captación de agua de una fuente superficial permite pasar. En tratamiento de aguas residuales, se usan para remover arena, grava, partículas u otro material sólido pesado que tenga velocidad de asentamiento o peso específico mayor que el de los sólidos orgánicos degradables (Romero, 2002).</p>		
<p>Pueden ser de tres tipos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Desarenadores de flujo horizontal o convencionales: El agua pasa a lo largo del tanque en dirección longitudinal. Las partículas se sedimentan al reducirse la velocidad con que son transportadas por el agua. Son generalmente de forma rectangular y alargada. • Desarenadores de flujo inducido: Desarenador rectangular aireado en el cual el aire injectado provoca una rotación del líquido, favoreciendo la separación de la materia orgánica y el intercambio de oxígeno a la masa de agua, ayudando a mantener las condiciones aeróbicas. • Desarenadores de vórtice o vertical: consisten en un tanque cilíndrico en el cual el agua a tratar ingresa de forma tangencial permitiendo la sedimentación de arenas en el fondo, mientras que las partículas orgánicas y demás partículas continúan en el efluente. 		
		
Sistemas de Pretratamiento necesarios		
<p>Retención de sólidos gruesos mediante cribado.</p>		

No. 3	FICHA TÉCNICA	DESARENADORES
Aplicabilidad		
En todo caso, deben emplearse desarenadores cuando sea necesario cumplir con lo siguiente:		
<ul style="list-style-type: none"> • Protección de equipos mecánicos contra la abrasión • Reducción de la formación de depósitos pesados en tuberías, conductos y canales • Reducción de la frecuencia de limpieza de la arena acumulada en tanques de sedimentación primaria y digestores de lodos. • Minimización de pérdida de volumen en tanques de tratamiento biológico. • Antes de las centrífugas, intercambiadores de calor y bombas de diafragma de alta presión. 		
Ventajas y desventajas		
Tipo de desarenador	Ventajas	Desventajas
Desarenador de flujo inducido	<ul style="list-style-type: none"> • Misma eficiencia para una variación amplia del flujo • Pérdidas de carga mínimas al pasar por el desarenador. • Controlar la tasa de aireación permite remover una baja cantidad de materia orgánica. • Puede ser utilizado para mezcla química, pre-aireación y floculación después del tratamiento preliminar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Puede generar malos olores. • Se requiere mantenimiento del sistema de aireación. • Consumo de energía elevado.
Desarenadores de vórtice	<ul style="list-style-type: none"> • Efectivo cuando existen variaciones de flujo. • No hay equipos sumergidos que necesiten mantenimiento. • Espacio reducido. • Remoción de un alto porcentaje de partículas finas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño patentado. • Costos de adquisición del equipo. • Las paletas pueden recoger trapos y basura que destruyen el mecanismo de funcionamiento. • Se puede saturar el colector de arena e impedir su correcto funcionamiento. • Necesita limpieza y supervisión continua.
Desarenadores de flujo horizontal	<ul style="list-style-type: none"> • No necesitan un diseño complejo que dificulte su construcción. • Con un control adecuado del flujo no se necesita hacer una clasificación posterior de residuos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Es difícil mantener óptima la velocidad del flujo. • Si no se controla el flujo, el tanque remueve grandes cantidades de materia orgánica, requiriendo lavar los residuos y clasificarlos.
Fuente: WEF, 1992		
Aspectos de diseño		

No. 3	FICHA TÉCNICA	DESARENADORES
--------------	--------------------------	----------------------

Para los diferentes tipos de desarenadores se recomienda tener en cuenta la siguiente geometría:

Parámetro	Desarenador de flujo horizontal	Desarenador de flujo inducido	Desarenadores de vórtice
Profundidad (m)	2-5	2-5	2.5-5
Longitud (m)	-----	8-20	-----
Ancho (m)	-----	2.5-7	-----
Relación Largo: Ancho	2.5:1 – 5:1	3:1 – 5:1	-----
Relación Ancho : Profundidad	1:1 – 5:1	1:1 – 5:1	-----
Cámara superior	-----	-----	1.-7
Cámara inferior	-----	-----	1-2

La aireación de fondo puede ser utilizada para evitar la sedimentación de materia orgánica por descenso de velocidad.

Rendimientos esperados

La eficiencia de remoción de los desarenadores para DBO y DQO se encuentran entre el 0-5% y para sólidos suspendidos entre el 0-10%. No remueven Fósforo, Nitrógeno ni patógenos.

Generación de efectos

Con este sistema de tratamiento se generan arenas, que deben ser tratadas y dispuestas con prontitud ya que su almacenamiento puede generar malos olores, proliferación de insectos y roedores.

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

Aspectos particulares de operación y mantenimiento

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

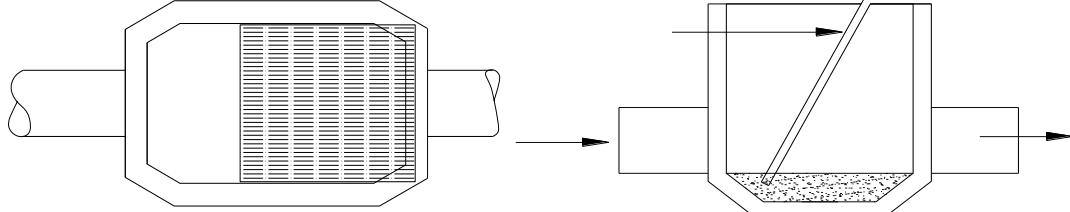
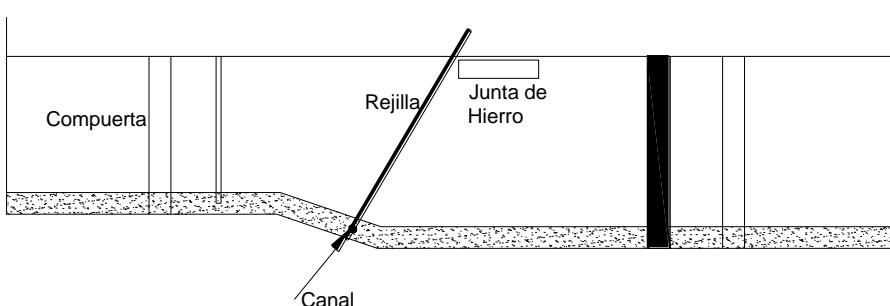
En desarenadores de limpieza manual que se usen con aguas residuales combinadas debe llevarse a cabo lo siguiente:

1. Medición periódica del lecho de arena acumulado.
2. Suspensión de la operación del desarenador en el momento en que la arena ocupe 2/3 del volumen.
3. Drenaje del agua residual en la cámara. Este se puede realizar, en algunas instalaciones, por

No. 3	FICHA TÉCNICA	DESARENADORES
		<p>medio de canalizaciones que devuelven el líquido drenado al afluente o a una unidad del sistema de tratamiento adoptado.</p> <ol style="list-style-type: none"> 4. Remoción periódica y programada de la arena. 5. Estimación de la cantidad de arena removida para los registros en las fichas de operación. 6. Transporte del material removido hacia el sitio de disposición. 7. Lavado del desarenador para ser utilizado nuevamente. 8. Analizar una muestra de la arena removida determinando la concentración de sólidos volátiles. Adopción de medidas de corrección para las muestras que presenten alta concentración de estos. 9. Verificación de la cantidad de arena en las unidades subsecuentes. 10. Remoción de la arena, si fuera el caso, retenida en las demás unidades de tratamiento. <p>Para los desarenadores de limpieza mecánica, la operación debe ser similar a los de limpieza manual, cumpliendo además con lo siguiente:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Mantenimiento preventivo de los equipos de acuerdo con el manual de instrucciones del fabricante. 2. Mantenimiento del movimiento del equipo libre de obstrucciones. 3. Lavado diario, con chorros de agua, de las paredes y los raspadores. 4. Vaciado y revisión, por lo menos una vez por año, de las unidades. Debe ensayarse el equipo que se encuentre inmerso, así como la condición de la estructura. <p>Con el fin de evitar excesos de materia orgánica en el material removido se recomienda lo siguiente:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Aumentar la velocidad de flujo. 2. Disminuir el tiempo de retención. Para lograr esto puede reducirse el área de la sección transversal. <p>Para evitar el arrastre de arena en el efluente se recomienda:</p> <ol style="list-style-type: none"> a) Remover con mayor frecuencia la arena acumulada. b) Colocar en funcionamiento otro vertedero. c) Aumentar el área de la sección transversal de la cámara. Se recomienda además que el desarenador cuente con un sistema de desvío del flujo o paso directo.

Referencias bibliográficas

Metcalf y Eddy. 2003. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse.* Ed.4^a AECOM Press & McGraw Hill Professional. Estados Unidos.

No. 4	FICHA TÉCNICA	DESBASTE
Descripción general del sistema		
Sistema para la remoción de sólidos gruesos que pueden ser limpiados manualmente, mecánicamente, en forma de canasta o retenedoras de fibra. Incluyen cribas de barra y tamices.		
<p>Deben colocarse aguas arriba de las estaciones de bombeo o de cualquier dispositivo de tratamiento subsecuente que sea susceptible de obstruirse por el material grueso que trae el agua residual sin tratar. El canal de aproximación a la criba de barras o rejilla debe ser diseñado para prevenir la acumulación de arena u otro material pesado aguas arriba de ésta. Además, debe tener preferiblemente una dirección perpendicular a las barras de la rejilla. El sitio en que se encuentren las rejillas debe ser provisto con escaleras de acceso, iluminación y ventilación adecuada.</p>		
<p>Las rejillas se clasifican de acuerdo con su colocación en horizontales, verticales, inclinadas y curvas, y de acuerdo a la separación entre barras en finas (separación libre inferior a 1.5 cm), medias (separación libre entre 1.5 y 5.0 cm) y gruesas (separación libre entre 5 y 15 cm).</p>		
<p>Los tamices pueden ser fijos, inclinados, rotatorios, deslizantes y centrífugos.</p>		
<p>Otro tipo de configuración, son las rejillas de discos que consiste en una serie de ejes giratorios que mueven discos solapados que forman una malla con separaciones libres entre 2.5 y 9 mm.</p>		
 		
Sistemas de Pretratamiento necesarios		
Ninguno		
Aplicabilidad		
Las rejillas se implementan en la mayoría de los sistemas de tratamiento preliminar para la retención de sólidos gruesos, evitando obstrucciones en canales, tuberías y conducciones en general, para aumentar la eficiencia de los tratamientos posteriores. Se recomienda el uso de los		

No. 4	FICHA TÉCNICA	DESBASTE														
dispositivos de tiempo como sistemas de control. Todas las unidades mecánicas operadas por dispositivos de tiempo deben estar provistas de controles automáticos auxiliares que pongan en marcha el mecanismo de limpieza cuando el nivel de agua llegue al máximo predeterminado.																
Ventajas y desventajas																
Retención de material grueso antes de la implementación de una tecnología de tratamiento aumentando su eficiencia de remoción.																
Aspectos de diseño																
Se recomienda un espaciamiento entre las barras de la rejilla de 15 a 50 mm para rejillas limpiadas manualmente, y entre 3 y 77 mm para rejillas limpiadas mecánicamente.																
Para garantizar un área de acumulación adecuada, la velocidad del agua en el canal de aproximación a las rejillas debe estar entre 0.3 y 0.6 m/s para rejillas limpiadas manualmente, entre 0.3 y 0.9 m/s para rejillas limpiadas mecánicamente.																
La pendiente vertical de colocación de las rejillas en el canal debe estar entre 0º y 30º para rejillas de limpieza mecánica y entre 30º y 45º para rejillas de limpieza manual.																
El canal en el que se encuentra la rejilla debe diseñarse de tal manera que la velocidad de las aguas residuales no se reduzca a menos de 0.60 m/s para evitar la sedimentación de materiales pétreos.																
El número de rejillas depende del criterio del ingeniero; sin embargo, por cuestiones de mantenimiento es recomendable instalar 2 o más rejillas. Para plantas de tratamiento pequeñas, la segunda rejilla debe ser simple y de limpieza manual, ésta última se empleará en caso de emergencia y, además, se debe instalar un canal para derivar el caudal e impedir el paso del flujo a través de las rejillas cuando así se requiera.																
Para las rejillas de discos, las características son:																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Parámetro</th><th style="text-align: center;">Descripción</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">Material de los discos</td><td style="text-align: center;">polímeros</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">Espesor de los discos</td><td style="text-align: center;">entre 3 y 13 mm</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">Profundidad útil</td><td style="text-align: center;">200 a 1000 mm</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">Caudales</td><td style="text-align: center;">25-600 Lt/s</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">Velocidad del giro del eje</td><td style="text-align: center;">5-8 r.p.m.</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">Velocidad máxima giro del motor</td><td style="text-align: center;">65 r.p.m.</td></tr> </tbody> </table>			Parámetro	Descripción	Material de los discos	polímeros	Espesor de los discos	entre 3 y 13 mm	Profundidad útil	200 a 1000 mm	Caudales	25-600 Lt/s	Velocidad del giro del eje	5-8 r.p.m.	Velocidad máxima giro del motor	65 r.p.m.
Parámetro	Descripción															
Material de los discos	polímeros															
Espesor de los discos	entre 3 y 13 mm															
Profundidad útil	200 a 1000 mm															
Caudales	25-600 Lt/s															
Velocidad del giro del eje	5-8 r.p.m.															
Velocidad máxima giro del motor	65 r.p.m.															
Fuente: Hernandez, 2001																
Rendimientos esperados																
Remoción de sólidos gruesos en un 80%.																
Generación de efectos																
Generación de sólidos gruesos que son retenidos en las rejillas.																

No. 4	FICHA TÉCNICA	DESBASTE
Aspectos particulares de operación y mantenimiento		
<ul style="list-style-type: none"> • Para la implementación de este tipo de sistema, se recomienda el uso de los dispositivos de tiempo como sistemas de control. Todas las unidades mecánicas operadas por dispositivos de tiempo deben estar provistas de controles automáticos auxiliares que pongan en marcha el mecanismo de limpieza cuando el nivel de agua llegue al máximo predeterminado. • Debe realizarse limpieza del material retenido en las rejillas de forma manual o automática. 		
Referencias bibliográficas		
<p>Metcalf y Eddy. 2003. <i>Wastewater Engineering: Treatment and Reuse.</i> Ed.4^a AECOM Press & McGraw Hill Professional. Estados Unidos.</p> <p>Hernández M., Aurelio. 2001. Depuración y desinfección de aguas residuales. Ed. 5^a Colegio de ingenieros de caminos, canales y puertos. España.</p>		

No. 5	FICHA TÉCNICA	DESINFECCIÓN CON CLORO
Descripción general del sistema		
Es el tratamiento mediante el cual se desactivan o eliminan los microorganismos patógenos, a través de la oxidación celular, utilizando cloro en forma gaseosa, soluciones de hipoclorito y compuestos clorinados en forma líquida o sólida.		
La eliminación de estos microorganismos depende del tipo de procedimiento, duración, temperatura, pH, tipo y concentración del desinfectante, concentración de materia orgánica, concentración y tipo de microorganismos.		
Un sistema de desinfección con cloro debe operar con flujo en pistón y ser muy turbulento para lograr una mezcla inicial en menos de un segundo. El objetivo de un mezclado apropiado es el fomentar la desinfección al iniciar una reacción entre el cloro libre en la corriente de solución de cloro con el nitrógeno amoniacal. Esto previene que concentraciones elevadas de cloro persistan y formen otros compuestos clorinados. (EPA, 1999).		
El proceso de desinfección a utilizar debe seleccionarse después de la debida consideración de:		
<ul style="list-style-type: none"> • Caudal de aguas residuales a tratar. • Calidad final deseada de desinfección. • Razón de aplicación y demanda. • El pH del agua que va a desinfectarse. • Costos del equipo y suministros. • Disponibilidad. 		
<p>Dispositivo de desagüe de Carga Constante</p> <p>Solución Química</p> <p>Llave de Cierre</p> <p>Conexión hacia Tanque de Reemplazo</p> <p>Conexión hacia Tanque de Reemplazo</p>		

No. 5	FICHA TÉCNICA	DESINFECCIÓN CON CLORO
<p>Convenciones</p> <ul style="list-style-type: none"> Líneas al Vacío Señales de Control 		
<h3>Sistemas de Pretratamiento necesarios</h3>		
<p>Previo a la implementación de sistemas de desinfección, deben haberse eliminado compuestos orgánicos, ya que interfieren en la remoción de las bacterias y por lo tanto pueden requerirse tiempos de contacto mayores.</p>		
<h3>Aplicabilidad</h3>		
<p>El proceso de desinfección debe realizarse en el efluente de las plantas de tratamiento cuando éste último pueda crear peligros de salud en las comunidades aguas abajo de la descarga.</p>		
<p>En lo posible los cloradores deben ser de capacidad adecuada y tipo automático. Deben proveerse instalaciones adicionales automáticas para regular y registrar gráficamente el cloro residual. El sistema de cloración automática depende del cuerpo de agua receptor del efluente de la planta y será controlado por el caudal.</p>		
<h3>Ventajas y desventajas</h3>		
<p>Dentro de las ventajas se encuentran:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El cloro residual que permanece en el efluente del agua residual puede prolongar el efecto de desinfección. • El cloro puede eliminar ciertos olores molestos durante la desinfección. • La desinfección con cloro es confiable y efectiva para un amplio espectro de organismos patógenos. • El cloro es efectivo en la oxidación de ciertos compuestos orgánicos e inorgánicos. • La cloración permite un control flexible de la dosificación. 		
<p>Dentro de las desventajas se encuentran:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El cloro residual, aún a bajas concentraciones, es tóxico a los organismos acuáticos y por ello 		

No. 5	FICHA TÉCNICA	DESINFECCIÓN CON CLORO														
puede requerirse la descloración.																
<ul style="list-style-type: none"> • El cloro oxida cierto tipos de materiales orgánicos del agua residual generando compuestos más peligrosos (tales como los metanos trihalogenados [MTH]). • El nivel total de sólidos disueltos se incrementa en el agua efluente. • El cloro residual es inestable en presencia de altas concentraciones de materiales con demanda de cloro, por lo cual pueden requerirse mayores dosis para lograr una desinfección adecuada. • En presencia de compuestos orgánicos que interfieren en el proceso, el cloro residual total no puede utilizarse para la evaluación de la eficiencia. • Para lograr reducciones elevadas de microorganismos patógenos en presencia de compuestos orgánicos se requerirán dosis adicionales de cloro y tiempo de contactos mayores. • Se desconocen los efectos a largo plazo de la descarga de compuestos de la cloración al medio ambiente. • No es aconsejable la reutilización de aguas desinfectadas con cloro. 																
Aspectos de diseño																
<ul style="list-style-type: none"> • La dosis de cloro varía con base en la demanda de cloro, las características del agua residual y los requisitos de descarga del efluente. • La dosis generalmente tiene un rango de 5 a 20 mg/L. • Todos los criterios clave de diseño deben ser evaluados en estudios piloto del sistema de desinfección. • Debe hacerse la descloración del agua residual antes de verterse a un cuerpo de agua, con el fin de reducir la toxicidad residual luego de la cloración y antes de su descarga. • La dosificación de cloro se realizará de acuerdo con: 																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Tratamiento</th><th style="text-align: center;">Dosis de cloro para diseño mg/L</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">Precloración</td><td style="text-align: center;">20 – 25</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">Agua residual no tratada, dependiendo de la edad</td><td style="text-align: center;">6 – 15 fresca 12 – 30 séptica</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">Efluente primario</td><td style="text-align: center;">8 – 20</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">Efluente del filtro percolador</td><td style="text-align: center;">3 – 15</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">Efluente de lodos activados</td><td style="text-align: center;">2-8</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">Efluente de filtros de arena</td><td style="text-align: center;">1-6</td></tr> </tbody> </table>			Tratamiento	Dosis de cloro para diseño mg/L	Precloración	20 – 25	Agua residual no tratada, dependiendo de la edad	6 – 15 fresca 12 – 30 séptica	Efluente primario	8 – 20	Efluente del filtro percolador	3 – 15	Efluente de lodos activados	2-8	Efluente de filtros de arena	1-6
Tratamiento	Dosis de cloro para diseño mg/L															
Precloración	20 – 25															
Agua residual no tratada, dependiendo de la edad	6 – 15 fresca 12 – 30 séptica															
Efluente primario	8 – 20															
Efluente del filtro percolador	3 – 15															
Efluente de lodos activados	2-8															
Efluente de filtros de arena	1-6															
<ul style="list-style-type: none"> • Los sistemas de tubería deben ser tan simples como sea posible, seleccionados y manufacturados especialmente para el servicio de cloro, con un mínimo de juntas, y bien sujetados. • Deben utilizarse el peso y espesor adecuados en las tuberías de hierro forjado ó acero cuando se use cloro seco ó en solución líquida ó gaseosa. Aun cantidades mínimas de agua, añadidas al cloro, causan corrosión en estos tipos de tubería. • Tuberías para baja presión hechas de caucho endurecido, forradas de cauchos, de polietileno, cloruro de polivinilo (PVC) son apropiadas para cloro líquido. • Todas las líneas diseñadas para manejar cloro seco deben ser protegidos de la entrada de agua ó aire húmedo. 																

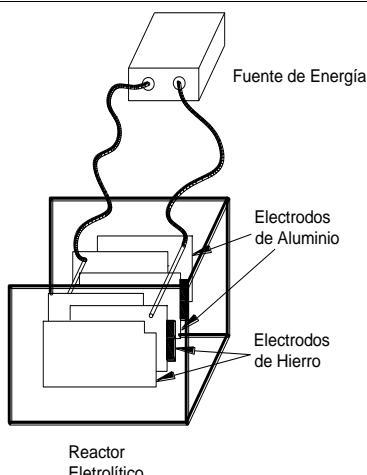
No. 5	FICHA TÉCNICA	DESINFECCIÓN CON CLORO
<ul style="list-style-type: none"> • El tanque de contacto de cloro debe ser construido de manera que reduzca al mínimo los cortocircuitos. Deben proveerse tabiques de direccionamiento de flujo con este fin. El desagüe debe estar provisto de válvula. El punto de descarga debe asegurar tratamiento adecuado al agua de desagüe, lo cual puede requerir bombeo. Deben proveerse unidades duales para el contacto de cloro. Se instalarán instalaciones de lavado para estas cámaras. La cámara de contacto se divide en dos secciones con el propósito de no suspender la operación mientras se limpia una de ellas. • Los cálculos para la selección de la capacidad del clorador se basan en una concentración mínima de cloro residual de dos partes por millón y por lo menos, tres veces la capacidad normal. 		
Rendimientos esperados		
Eliminación de bacterias, protozoos, virus y esporas, relacionada con la cantidad de cloro utilizada, su forma y el tiempo de contacto.		
Generación de efectos		
Generación de trihalometanos (debido a la presencia de concentraciones significativas de amonio en el agua), acido acético halogenito, haloacetonitrilos, cloro hidratado, cloropicrin, clorofenoles, N-cloraminas, halofuranos, bromohydrins, clorato (particularmente en la aplicación de hipoclorito), aldehídos, ácidos alcánicos, benceno, acido carboxílico.		
Aspectos particulares de operación y mantenimiento		
Debe proveerse un manual de operación y mantenimiento que contemple los siguientes aspectos:		
<ul style="list-style-type: none"> • Arranque del proceso. • Control de la dosificación de cloro. • Monitoreo del cloro residual en el efluente. • Operación bajo diferentes condiciones hidráulicas. • Programa de mantenimiento preventivo de los equipos dosificadores. • Plan de contingencia en caso de fallar algún equipo. • Medidas de seguridad necesarias para los operarios. 		
Incluye las siguientes actividades:		
<ul style="list-style-type: none"> • Desensamble y limpieza de los diversos componentes del sistema, tales como los metros y flotas una vez cada seis meses. • Remoción de depósitos de hierro y manganeso usando, por ejemplo, ácido muriático. • Mantenimiento de las bombas de rebombeo. • Inspección y limpieza anual de las válvulas y resortes. • Cumplimiento de las recomendaciones de O/M de los fabricantes. • Evaluación y calibración de equipos tal como lo recomienda el fabricante de éstos. • Formulación y desarrollo de un plan de respuesta a emergencias para el almacenaje del gas de cloro. 		
Referencias bibliográficas		

No. 5	FICHA TÉCNICA	DESINFECCIÓN CON CLORO
		Seoanez, M. 2005. Depuración de las aguas residuales por tecnologías ecológicas y de bajo costo. Ed.1 ^a Mundi-Prensa Libros. España.
		Fonfría S. et al. 1989. Ingeniería ambiental: contaminación y tratamientos. Ed. 1 ^a MarcomboAlfaomega Grupo Editor. España.
		Metcalf y Eddy. 2003. <i>Wastewater Engineering: Treatment and Reuse</i> . Ed.4 ^a AECOM Press & McGraw Hill Professional. Estados Unidos.
		Hernández M., Aurelio. 2001. Depuración y desinfección de aguas residuales. Ed. 5 ^a Colegio de ingenieros de caminos, canales y puertos. España.
		<i>United States Environmental Protection Agency</i> . 1999. 832-F-99-062.Folleto informativo de tecnología de aguas residuales: Desinfección con cloro. EPA. Estados Unidos.

No. 6	FICHA TÉCNICA	DESINFECCIÓN CON RADIACIÓN ULTRAVIOLETA
Descripción general del sistema		
<p>La radiación UV se utiliza para atacar la estructura genética de las bacterias, virus, y otros patógenos, haciéndolos incapaces de reproducirse. Cuando la luz ultravioleta incide sobre la cadena de ADN de los seres vivos provoca una unión de varios nucleótidos adyacentes, destruyendo dicha cadena. Se utiliza para eliminar una amplia gama de patógenos, algunos de los cuales no son removidos por cloración como es el caso de la Giardia y el Cryptosporidium.</p> <p>Las lámparas de vapor de mercurio de baja presión y baja intensidad tienen una longitud de onda en un rango estrecho cerca de la óptima para la desinfección, que es de 254 nm, operan a una presión 0.007 mm Hg y una temperatura 40° C, y se instalan generalmente como balastos de tubos de cuarzo sobre los canales de agua, con una cubierta para protegerlas y para reflejar la radiación, o también se cuentan con lámparas sumergibles que se pueden instalar tanto en canales como en cámaras cerradas que se instalan en tuberías. Las lámparas de presión media y alta intensidad producen una gran cantidad de radiación, que, a pesar de tener un espectro más ancho, llegan a producir mayor cantidad de radiación en el rango óptimo para desinfección. El porcentaje de radiación en el rango germicida es de 22 a 44%, contra valores de 85% a 88 en las de baja presión. A pesar de que son menos eficientes, se utilizan cuando se requiere aplicar mayor radiación en poco espacio. En las lámparas de presión baja y alta intensidad, la radiación ultravioleta se genera mediante vapores de mercurio e indio, lo cual permite aumentar notablemente la intensidad. Un desarrollo reciente son los sistemas de generación de radiación ultravioleta mediante microondas, que no requieren de electrodos ni aumentos de temperatura. Debe garantizarse un suministro eléctrico permanente para evitar fallos en el tratamiento.</p>		

No. 6	FICHA TÉCNICA	DESINFECCIÓN CON RADIACIÓN ULTRAVIOLETA
Sistemas de Pretratamiento necesarios		
La radiación ultravioleta es un tratamiento terciario que se aplica luego de otros tratamientos físicos y biológicos. Es necesario reducir los sólidos suspendidos a valores menores de 20 mg/L para que sea efectiva.		
Aplicabilidad		
Este es un tratamiento relativamente económico y sencillo de operar que remueve patógenos, los cuales causan numerosas enfermedades en personas y animales. Por esta razón se recomienda su utilización como complemento de los sistemas de tratamiento, en los efluentes de los sistemas de tratamiento de aguas, especialmente cuando éste tenga un uso recreacional o para riego, siempre que el agua no tenga la turbidez que impida su aplicación.		
Ventajas y desventajas		
<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • La radiación UV no produce residuos tóxicos como los métodos químicos • Es un método relativamente efectivo, económico y confiable, cuya utilización para la desinfección de aguas residuales es creciente. <p>Desventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Necesidad del mantenimiento y del reemplazo frecuentes de la lámpara • El agua a tratar no debe tener turbiedad para que la radiación UV llegue a todos los microorganismos suspendidos. Los sólidos presentes en el agua pueden proteger microorganismos contra la luz UV • No tiene un efecto protector sobre el agua tratada como es el caso del cloro residual. 		
Aspectos de diseño		
<p>Para el diseño de un sistema de radiación ultravioleta debe determinarse en primer lugar la dosis requerida de acuerdo con los microorganismos a eliminar, la cual se calcula como el tiempo de exposición en segundos por la intensidad de radiación en milivatios por centímetro cuadrado, lo cual da en unidades mW.s/cm^2. La mayoría de los equipos tienen una dosis mínima de 30 mW.s/cm^2, pero se ha estimado que para destruir la totalidad de virus, bacterias, protozoos y huevos de nemátodos podrían requerirse dosis de 100 mW.s/cm^2.</p> <p>El tiempo de exposición es el de tránsito del agua por la zona sujeta a radiación, el cual normalmente se encuentra entre 10 y 20 segundos. Por lo tanto, es importante el grado de dispersión de la luz UV en las aguas.</p> <p>La efectividad de la radiación UV como desinfectante depende de la transmisión de la luz a través del agua residual, la cual es afectada por la turbiedad, y por la profundidad. Se recomienda que esta profundidad sea inferior a 75 mm. En el caso de canales, esta profundidad es controlada mediante vertederos o alguna otra estructura.</p> <p>La concentración de los sólidos suspendidos en el agua residual – Los sólidos suspendidos pueden reducir la transmitancia de la luz UV y proteger a los microorganismos de la radiación. Usualmente, el efluente tratado debe tener una concentración de sólidos suspendidos menor a</p>		

No. 6	FICHA TÉCNICA	DESINFECCIÓN CON RADIACIÓN ULTRAVIOLETA
		20mg/L para que la desinfección UV sea adecuada.
		Durante el uso de las lámparas la transmisión de luz UV se reduce por dos razones. La primera es el ensuciamiento de los balastos, por lo cual deben ser limpiados periódicamente. Además, los balastos se desgastan y deben ser cambiados cuando solo entreguen una intensidad de 70 a 75% de la original, lo cual ocurre normalmente a los 9 meses o 1 año de su instalación.
		Rendimientos esperados
		En condiciones de diseño óptimas, la desinfección con UV puede reducir los coliformes totales a menos de 500 NMP/100ml, los coliformes fecales a menos de 100 NMP/100ml, y los estreptococos fecales a menos de 100 NMP/100ml, con un consumo de energía del orden de 22 vatios.hora por cada metro cúbico de agua tratada.
		Generación de efectos
		El tratamiento con radiación ultravioleta no genera ninguna clase de efectos tales como ruido, lodos y olores.
		Aspectos particulares de operación y mantenimiento
		Las labores de operación y mantenimiento son mínimas, y se reducen a mantener la limpieza de la lámpara y al recambio periódico del balasto donde se produce la radiación, para garantizar la dosis establecida.
		Referencias bibliográficas
		<i>New York State Energy Research y Development Authority. 2004. Evaluation of Ultraviolet (UV) Radiation Disinfection Technologies for Wastewater Treatment Plant Effluent. NYSERDA. Estados Unidos.</i>
		<i>Salveson, A. 2007. Media Filtration, Membranes, Ozone, and UV. A Comparison of Disinfection Performance and Cost for Various Process Combinations to Disinfect Reclaimed Water. Water Environment Foundation. WEFTEC. Estados Unidos.</i>
		<i>Devine D., et al. 2001. Ultraviolet disinfection with a novel microwave-powered device. Journal of Applied Microbiology. Estados Unidos.</i>
		<i>Bircher K., et al. UV Experience for Inactivating Cryptosporidium in Surface Water Plants". Calgon Carbon Corporation. Pittsburgh. Estados Unidos.</i>
		<i>Rodríguez A. 1992. Programa Regional HPE/OPS/CEPIS de Mejoramiento de la Calidad del Agua. Capítulo 4. Radiación Ultravioleta. CEPIS. Perú.</i>
		<i>Ashok J., et al. 1995. To Drink Without Risk: The Use of Ultraviolet Light to Disinfect Drinking Water in Developing Countries. Center for Building Science. Lawrence Berkeley Laboratory. Estados Unidos.</i>

No. 7	FICHA TÉCNICA	ELECTROCOAGULACIÓN
Descripción general del sistema		
La electrocoagulación es un proceso que aplica los principios de la coagulación–floculación en un reactor electrolítico. Este es un recipiente dotado de una fuente de corriente y varios electrodos encargados de aportar los iones desestabilizadores de partículas coloidales que reemplazan las funciones de los compuestos químicos que se usan en el tratamiento convencional (Morante, 2002).		
El proceso de electrocoagulación, puede ser definido como la desestabilización de especies químicas suspendidas o disueltas presentes en una solución, producto de la aplicación de una diferencia de potencial eléctrico a través de un sistema cátodo-ánodo inmerso en la solución de agua a tratar.		
El proceso consiste en pasar el agua residual procedente de un proceso determinado de forma continua a través de los electrodos de un equipo especialmente diseñado para este fin que está conectado a una fuente de corriente continua. El agua residual debe poseer una cantidad suficiente de sales neutras para que puedan tener lugar las múltiples reacciones electroquímicas.		
		
Sistemas de Pretratamiento necesarios		
Tratamiento preliminar		
Aplicabilidad		
Se ha aplicado la electrocoagulación para la remoción de especies químicas suspendidas o disueltas presentes en diversos tipos de aguas residuales. En muchos casos se hace una combinación de esta técnica con flotación promovida también por electrólisis (electroflotación), cuya finalidad es aumentar la eficiencia de remoción del contaminante. Esto se realiza en un proceso en la misma celda, o en celdas consecutivas. La electrocoagulación también ha sido utilizada en el tratamiento de las aguas residuales de la industria alimentaria, estas aguas se caracterizan por altos contenidos de DBO y DQO además de altos porcentajes de grasas.		
Ventajas y desventajas		
Dentro de las ventajas se encuentran:		
<ul style="list-style-type: none"> • Tratamiento instantáneo que no requiere la adición de productos químicos • Puede ampliarse por módulos • No requiere obra civil 		

No. 7	FICHA TÉCNICA	ELECTROCOAGULACIÓN
<ul style="list-style-type: none"> • Es un sistema automático que necesita poco espacio. • Los costos de operación son menores comparativamente con los de procesos convencionales que usan polímeros. • Requiere de equipos simples y de fácil operación. • Elimina el requerimiento de almacenamiento y el uso de productos químicos. • Genera lodos más compactos y en menor cantidad, lo que involucra menor problemática de disposición de estos lodos. • Produce flóculos más grandes que aquellos formados en la coagulación química y contienen menos agua ligada. • Alta efectividad en la remoción de un amplio rango de contaminantes. • Purifica el agua y permite su reciclaje. • El paso de la corriente eléctrica favorece el movimiento de las partículas de contaminante más pequeñas, incrementando la coagulación. • Reduce la contaminación en los cuerpos de agua. • El agua tratada por electrocoagulación contiene menor cantidad de sólidos disueltos que aquellas tratadas con productos químicos, situación que disminuye los costos de tratamiento de estos efluentes en el caso de ser reusados. • Puede generar aguas potables, incoloras e inodoras. • Los contaminantes son arrastrados por las burbujas a la superficie del agua tratada, donde pueden ser removidos con mayor facilidad. 		
Dentro de las desventajas se encuentran:		
<ul style="list-style-type: none"> • Es necesario reponer los electrodos de sacrificio. • Los lodos contienen altas concentraciones de hierro y aluminio, dependiendo del material del electrodo de sacrificio utilizado. • Puede ser un tratamiento costoso en regiones en las cuales el costo de la energía eléctrica sea alto. • El óxido formado en el ánodo puede, en muchos casos, formar una capa que impide el paso de la corriente eléctrica, disminuyendo de esta forma la eficiencia del proceso. 		
Aspectos de diseño		
Deben tenerse en cuenta los siguientes parámetros:		
<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de afluente y efluente y su grado de contaminación. • Volúmenes de entrada y de salida. • Circuito hidráulico conectado al afluente o efluente. • Determinar si el sistema trabajará solo o requerirá equipos periféricos para formar un sistema completo. • Realizar análisis químicos de inicio y fin de cada verificación. • Reportes técnicos finales y / o de avance del proyecto. • Las condiciones de operación de un sistema de electrocoagulación son altamente dependientes de las condiciones químicas, pH, tamaño de partículas del agua a tratar y especialmente de su conductividad. El tratamiento general de las aguas residuales requiere aplicaciones bajas de voltaje (<50 Volts) con amperaje variable, de acuerdo con las características químicas del agua. 		
Rendimientos esperados		

No. 7	FICHA TÉCNICA	ELECTROCOAGULACIÓN																			
Los porcentajes de remoción de esta tecnología se muestran a continuación																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Parámetros</th><th>% Remoción</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Molibdeno</td><td>83 – 87</td></tr> <tr><td>Arsénico</td><td>95 - 98</td></tr> <tr><td>Aluminio</td><td>> 99</td></tr> <tr><td>Bario</td><td>>98</td></tr> <tr><td>Calcio</td><td>96 – 99</td></tr> <tr><td>Cadmio</td><td>> 98</td></tr> <tr><td>Cobalto</td><td>60 - 65</td></tr> <tr><td>Cromo</td><td>> 99</td></tr> <tr><td>Cobre</td><td>> 99</td></tr> </tbody> </table>		Parámetros	% Remoción	Molibdeno	83 – 87	Arsénico	95 - 98	Aluminio	> 99	Bario	>98	Calcio	96 – 99	Cadmio	> 98	Cobalto	60 - 65	Cromo	> 99	Cobre	> 99
Parámetros	% Remoción																				
Molibdeno	83 – 87																				
Arsénico	95 - 98																				
Aluminio	> 99																				
Bario	>98																				
Calcio	96 – 99																				
Cadmio	> 98																				
Cobalto	60 - 65																				
Cromo	> 99																				
Cobre	> 99																				
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Parámetros</th><th>% Remoción</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Hierro</td><td>> 99</td></tr> <tr><td>Magnesio</td><td>98 – 99</td></tr> <tr><td>Manganoso</td><td>83 – 85</td></tr> <tr><td>Níquel</td><td>> 99</td></tr> <tr><td>Selenio</td><td>> 99</td></tr> <tr><td>Vanadio</td><td>95 – 98</td></tr> <tr><td>Zinc</td><td>> 99</td></tr> <tr><td>Sólidos suspendidos</td><td>> 95</td></tr> </tbody> </table>		Parámetros	% Remoción	Hierro	> 99	Magnesio	98 – 99	Manganoso	83 – 85	Níquel	> 99	Selenio	> 99	Vanadio	95 – 98	Zinc	> 99	Sólidos suspendidos	> 95		
Parámetros	% Remoción																				
Hierro	> 99																				
Magnesio	98 – 99																				
Manganoso	83 – 85																				
Níquel	> 99																				
Selenio	> 99																				
Vanadio	95 – 98																				
Zinc	> 99																				
Sólidos suspendidos	> 95																				
Generación de efectos																					
La producción o generación de lodos está directamente relacionado con el nivel de contaminación del agua residual y de las especies catiónicas (hierro) que se disuelven en el agua de acuerdo con la corriente aplicada a los electrodos. En todo caso la generación de lodos es menor que un sistema químico o biológico convencional. Se obtiene un lodo más compacto (dados el hierro o aluminio) con un nivel de humedad entre un 97 a 99%.																					
Aspectos particulares de operación y mantenimiento																					
<ul style="list-style-type: none"> • Los consumos de energía varían entre 0.1 a 1.0 Kwh/m³ • Deben reemplazarse los electrodos una a dos veces por año • Funciona en forma automática, mediante controles electrónicos que regulan la corriente y voltaje, de acuerdo con los cambios en la calidad del agua residual a tratar, dados por su resistividad. 																					
Referencias bibliográficas																					
Mollah M. 2001. <i>Electrocoagulation (EC) – Science and applications. Journal of Hazardous Materials.</i> Estados Unidos.																					
Ecosystems S.A. 2002. Tratamiento de las Aguas Residuales Mediante "Electrocoagulación". Chile.																					

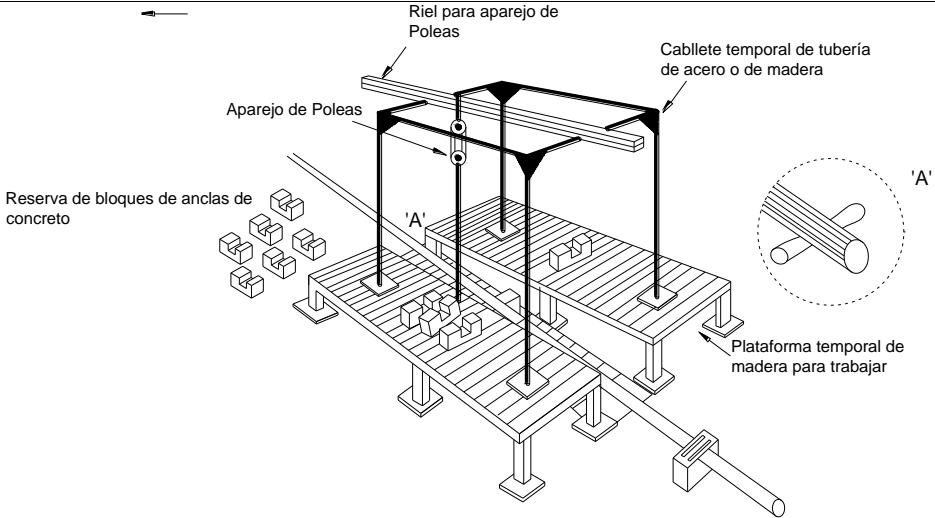
No. 8	FICHA TÉCNICA	EMBALSES DE ESTABILIZACIÓN
Descripción general del sistema		
<p>Los embalses de estabilización son lagunas de gran profundidad (4 a 15 metros) que se utilizan para una combinación de dos objetivos: (i) almacenar aguas residuales parcialmente tratadas durante un largo periodo, a fin de descargarlas durante un periodo específico del año, bajo condiciones óptimas, estrictamente controladas; y (ii) mejorar la calidad de las aguas almacenadas durante el largo tiempo de residencia dentro del embalse. La necesidad de la descarga controlada surge del clima tropical tipo "invierno (lluvias) - verano (estación seca)" que ocurre en varias regiones del mundo y que genera una demanda de grandes volúmenes de agua para riego durante la estación seca. En algunos casos se pueden almacenar las aguas residuales en embalses durante el verano para su descarga al mar o a un lago durante el invierno. También, en caso de descarga de efluentes a ríos, los embalses pueden almacenar el efluente durante la estación de caudal mínimo en el río (estación seca), a fin de descargarlo cuando el caudal del río y su capacidad de dilución son máximas. La necesidad de mejorar la calidad del efluente durante su almacenamiento surge de los requerimientos de protección ambiental y de los criterios de calidad de efluentes utilizados para riego (Libhaber, 2004).</p>		
<p>Los embalses o reservorios con profundidades que pueden llegar hasta los 15 metros, son sistemas muy comúnmente utilizados en países donde se presenta escasez de agua como en Israel donde se reporta la existencia de más de 200 reservorios que son utilizados con una doble función, por un lado se utilizan como sistema de pulimiento de aguas residuales previamente tratadas con lagunas anaeróbicas y facultativas o con sistemas de lodos activados y por otro lado para almacenar agua que posteriormente es utilizada para riego ya sea de cultivos no comestibles o si se utiliza algún sistema de desinfección se puede utilizar para regar frutales y otros productos comestibles. La posibilidad de utilización del agua residual tratada como apoyo a la agricultura permitirá preservar las corrientes naturales como fuente de agua potable</p>		
<p>Los embalses de estabilización, simulan las interacciones físicas y bioquímicas que ocurren en los lagos naturales y representan interesantes opciones costo-efectivas de post-tratamiento de ARD. La reutilización de las aguas residuales para la irrigación no es un método de tratamiento sino más bien un concepto combinado de tratamiento y disposición (Libhaber, 2004). Los Embalses de Estabilización ofrecen una alternativa de disposición final de las ARD que es mejor que las convencionales, pues genera ventajas económicas y agrícolas. La reutilización de las aguas residuales para la agricultura se asocia generalmente a tecnologías altamente sofisticadas de tratamiento de aguas residuales con un efluente de calidad muy alta, similar a la del agua potable. La realidad es que se pueden producir efluentes con la calidad necesaria, incluso para la irrigación sin restricción (es decir, para cosechas que se comen sin cocción).</p>		
<pre> graph LR A[Aguas Servidas Urbanas] --> B[PRETRATAMIENTO: Tanques de Sedimentación, Lagunas Anaeróbicas, Lagunas de Oxidación, Lagunas aireadas, Lodos activados] B --> C[EMBALSE] C --> D[Efluente para Reuso] C --> E[Máx: Principio estación de riego] C --> F[Mín: Fin estación de riego] </pre>		

No. 8	FICHA TÉCNICA	EMBALSES DE ESTABILIZACIÓN
Sistemas de Pretratamiento necesarios		
<p>Los Embalses de Estabilización son pues un sistema de post-tratamiento (exige un tratamiento primario y/o secundario previo) que permite el reuso de las ARD en la irrigación de cosechas durante la temporada seca, al producir un tratamiento adicional que mejora la calidad del ARD recibida.</p>		
<p>El sistema está constituido por las tres unidades básicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Un sistema de tratamiento preliminar (compuesto por tamices giratorios y desarenadores) • Un tratamiento secundario, que en el caso del ejemplo se decidió que el más apropiado es el TPQA (Canaleta Parshall, sedimentador, espesador de lodos) y • El embalse de Estabilización. 		
Aplicabilidad		
<p>Actualmente el uso de embalses de estabilización se está aplicando a nivel mundial, especialmente por la posibilidad del reuso del efluente para la irrigación de terrenos. En regiones donde se presentan prolongados períodos de sequía y cortos períodos de lluvia, los embalses sirven para regular la cantidad de agua disponible para riego, almacenando en invierno y suministrando en verano, es por esto que se planea implantarlos en zonas áridas de países como España (comunidad Valenciana, provincia de Castellón) y en el Perú.</p>		
<p>Israel comenzó a aplicar riego con aguas residuales en forma masiva a comienzos de los años 70 para la producción de algodón. Mucho se ha adelantado en ese aspecto desde entonces hasta ahora, al punto que hoy en día todo tipo de cultivos son regados con estas aguas, siempre que se garantice un grado de tratamiento acorde con el tipo de cultivo. Actualmente existen más de 200 embalses en Israel y varios proyectos nuevos están en construcción, un ejemplo de estos reservorios es el complejo Ha Kishun en el área metropolitana de Haifa</p>		
Ventajas y desventajas		
<p>La disposición final del agua de los Embalses de Estabilización es principalmente para riego, lo que trae las siguientes ventajas, (Libhaber, 2004).</p> <ul style="list-style-type: none"> • El riego resulta necesario en áreas donde el agua es escasa y las aguas servidas tratadas debidamente pueden servir como fuente adicional de agua. 		

No. 8	FICHA TÉCNICA	EMBALSSES DE ESTABILIZACIÓN
<ul style="list-style-type: none"> • La agricultura requiere de grandes cantidades de agua, las cuales son usadas una sola vez, debido a que el riego es un uso consuntivo. • La agricultura puede aprovechar no solo el agua sino además otros elementos que se encuentran en las aguas servidas, tales como la materia orgánica y los nutrientes (nitrógeno y fósforo), que de esta forma son elementos ventajosos, en lugar de constituir un inconveniente ecológico. • El riego de cultivos agrícolas presenta un uso flexible con respecto a los requerimientos de calidad de agua, pues algunos cultivos pueden ser regados con agua de baja calidad, mientras otros exigen mejor calidad. • Aprovechando los grandes volúmenes que proporcionan prolongados tiempos de retención, los reservorios pueden garantizar remociones de carga orgánica superiores al 90% medidas como remoción de DBO_5, también logran remover detergentes, coliformes fecales y otros contaminantes. • Con el uso de aguas servidas para riego se evita la descarga de las mismas a cuerpos receptores de agua y, por lo tanto, su contaminación. 		
<p>Las desventajas asociadas con el reuso de ARD tratadas pueden ser divididas en dos categorías:</p> <ul style="list-style-type: none"> • La salud pública es el problema de mayor preocupación y está relacionada con el reuso de las aguas servidas, pues puede poner en peligro a los consumidores de cultivos regados con efluentes, a los agricultores, y a los residentes en la cercanía de los campos regados. • Los problemas agrotécnicos que pueden ser provocados por reuso inadecuado de efluentes se refieren básicamente al daño a cultivos y al suelo. 		
Aspectos de diseño		
<p>Los Embalses de Estabilización basan su diseño en conceptos similares a los de las lagunas, a saber: (i) la carga superficial, LS, kg $\text{DBO}/\text{ha-d}$, (ii) el tiempo de detención, y (iii) la temperatura. El régimen hidráulico es muy importante y, especialmente, se debe definir si (i) es de flujo continuo o por lotes, y (ii) es completamente mezclado o flujo pistón.</p> <p>El diseño de embalses de estabilización emplea el llamado tiempo de detención medio, $tdMj$. A diferencia del tiempo empleado en las lagunas que se operan en condiciones estables de flujo continuo (entrada y salida al tiempo: $td = V/Q$), el tiempo de detención de los EE que operan en condiciones no estables (el embalse se llena durante todo el año y se descarga en tres meses, más parecido a un reactor por lotes secuencial)</p> <p>La forma geométrica depende principalmente de la profundidad (H), que debe estar entre 4 y 15m, aunque existen Embalses de Estabilización de 20m de profundidad. Es importante tener en cuenta que la profundidad, así como los taludes permisibles, depende además de la topografía y de la geología. Una vez definidos la profundidad y los taludes, el volumen se debe calcular, teniendo en cuenta que se debe dejar un volumen muerto de 1m de profundidad en el fondo, que no se puede bombejar sin descargar sedimentos; además debe tener un borde libre, que también puede ser de 1m.</p> <p>El volumen de agua residual doméstica a recoger, debe ser el volumen total anual de irrigación</p>		

No. 8	FICHA TÉCNICA	EMBALSES DE ESTABILIZACIÓN
necesario durante la estación seca (que depende de las siembras). Si se desea ser exacto se debe calcular además el balance precipitación-evaporación mes a mes, y si no se impermeabiliza el fondo, las filtraciones del embalse. El área superficial variará entonces con el nivel del embalse. La situación ideal será tener todo el embalse impermeabilizado con geomembrana.		
Se debe calcular como media anual, de mediciones diarias que tengan en cuanto a la variación del área superficial con el nivel del embalse. La carga superficial (LS) debe ser menor de 50 kgDBO ₅ /ha.año, aunque datos recientes proponen valores entre 20 y 40. Si no existe área suficiente para dar la carga recomendada, es necesario utilizar aireadores superficiales para el manejo de olores y el suministro de oxígeno en la capa superficial.		
Para el diseño de un embalse de estabilización es necesario investigar dos variables fundamentales: (i) tipo de cosecha que se desea regar, especialmente en lo relacionado con su uso restringido o no-restringido; y (ii) el volumen necesario del embalse, que depende de las necesidades de riego de las cosechas. Debe recordarse que los embalses de estabilización, EE, son lagunas de gran profundidad que se utilizan para dos objetivos: (i) almacenar aguas residuales parcialmente tratadas durante un largo periodo, a fin de descargarlas durante un periodo específico del año, bajo condiciones óptimas, estrictamente controladas; y (ii) mejorar la calidad de las aguas almacenadas durante el largo tiempo de residencia dentro del embalse. Es decir, el EE recibe aguas tratadas a nivel primario o secundario, y las almacena y las mejoras de acuerdo con las siguientes prioridades de tratamiento: (i) remoción máxima de helmintos y protozoos; (ii) remoción efectiva de patógenos bacteriales y virales; y (iii) reducción efectiva de DBO a fin de evitar olores y apariencia desagradable del efluente, (Libhaber, 2004).		
Rendimientos esperados		
Un sistema de embalses de estabilización adecuadamente diseñado y operado produce efluentes con una DBO ₅ de 5-10 mg/L, los sólidos suspendidos están entre 5 y 20 mg/L, los coliformes fecales entre 102-103 NMP/100 mL y el sistema puede remover el NH ₃ del 25 al 50%. Se puede incluso conseguir niveles de reducción más altos si el afluente se detiene antes del período de la irrigación. La reducción de bacterias entéricas y de virus se explica por la influencia de la radiación solar y de la depredación por otros organismos. En términos de la calidad del agua para la irrigación, el parámetro crítico de la calidad es la concentración de los organismos patógenos.		
Generación de efectos		
Acumulación de sedimentos en el fondo y generación de olores.		
Aspectos particulares de operación y mantenimiento		
El operador debe asegurarse que el embalse no reciba su carga hidráulica completa al inicio de la operación:		
<ul style="list-style-type: none"> • Se alimenta alrededor de 2 a 5 metros de agua residual, dependiendo de la profundidad del embalse. • Se da un descanso por una semana, hasta que se observe una población apropiada de algas. • Se procede a llenar el estanque añadiendo cantidades pequeñas de agua residual para mantener el nivel indicado de algas. • Esta actividad de llenado puede tomar de 2 a 3 semanas. 		

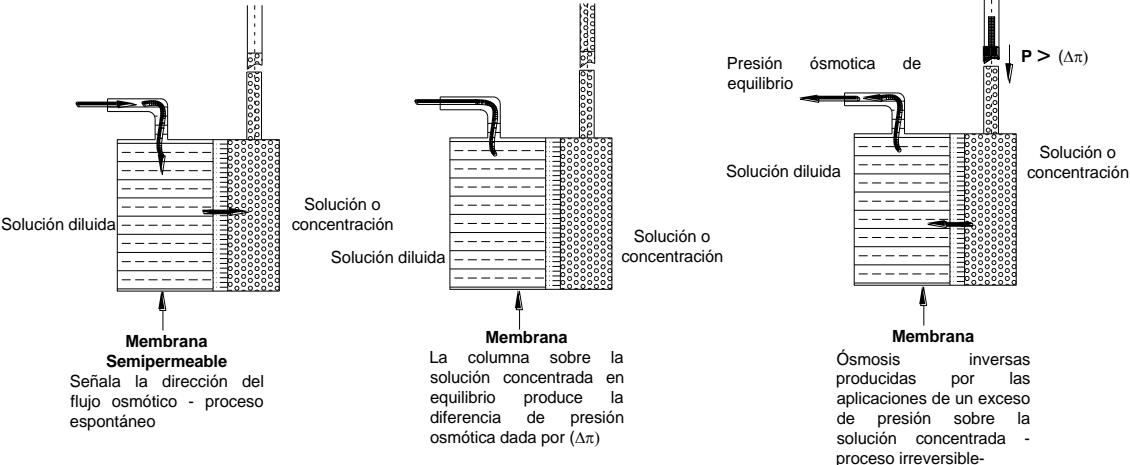
No. 8	FICHA TÉCNICA	EMBALSES DE ESTABILIZACIÓN
Asegurarse de la impermeabilización del embalse:		
<ul style="list-style-type: none"> • A medida que se llena el embalse, es necesario observar y reportar los niveles de agua ya que puede haber una ruptura en la geomembrana. • En caso de encontrar una ruptura o rasgadura en la geomembrana, es necesario que el operador contacte lo antes posible al responsable de la instalación de la geomembrana. Este arreglo debe realizarse lo antes posible. 		
Referencias bibliográficas		
Libhaber. 2004. <i>Wastewater Treatment in Developing Countries: Use of Physico-Chemical Processes for Achieving Affordable Disposal Schemes</i> , The World Bank, Munich wastewater technical seminar. Colombia.		
Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2008. Estudios conducentes a determinar las tecnologías para tratamiento de aguas residuales municipales, aplicables a poblaciones menores de 300.000 habitantes. Consorcio HIMEC–ESSERE. Colombia.		

No. 9	FICHA TÉCNICA	EMISARIOS SUBMARINOS
Descripción general del sistema		
<p>Son sistemas de disposición de aguas residuales en el mar, que consisten esencialmente en tuberías adecuadamente acopladas y ancladas al lecho marino, con el fin de realizar una descarga de aguas residuales en un lugar del cuerpo de agua donde la hidrodinámica favorezca la dilución y dispersión del efluente. Esta disposición se hace a través de una serie de difusores con boquillas instaladas al final de la línea del emisario.</p> <p>La selección del sitio de descarga de las aguas residuales debe tener en cuenta las corrientes marinas que producen dispersión y dilución que reducen la concentración y la llevan hacia zonas profundas donde el impacto sobre las especies marina debe ser mínimo.</p> <p>Para lograr una mejor dispersión, el agua sale del emisario a través de múltiples difusores provistos de boquillas que distribuyan uniformemente el efluente, formando una pluma donde la concentración de agua residual es mayor.</p>		
 <p>ESQUEMA DE UNA PLATAFORMA TÍPICA DE TRABAJO PARA ACOPLAR LOS LASTRES DEC ONCRETO AL EMISARIO SUBMARINO NDE HDPE</p>		
Sistemas de Pretratamiento necesarios		
<p>Se recomiendan tratamientos previos para remover sólidos sedimentables y suspendidos, aceites y grasas. Los tratamientos usuales son trampas de grasas, militamices y tanques sépticos.</p>		
Aplicabilidad		
<p>Este es un sistema aplicable a zonas costeras donde el mar alcanza suficiente profundidad y existan corrientes marinas que arrastren las aguas residuales lejos de las costas y de ecosistemas marinos de interés.</p>		
Ventajas y desventajas		
<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se trata de un sistema que no tiene costos de operación importantes, aunque la inversión inicial 		

No. 9	FICHA TÉCNICA	EMISARIOS SUBMARINOS
		puede ser importante.
Desventajas		
<ul style="list-style-type: none"> En el mundo existe una gran preocupación por los impactos ambientales de este sistema, los cuales no se pueden determinar de una forma concluyente, especialmente si se considera que dicho sistema está siendo utilizado por muchas grandes ciudades costeras, que albergan una población creciente con intensa actividad industrial. Es necesario establecer programas rigurosos de control y monitoreo definidos previamente con la autoridad ambiental competente. 		
Aspectos de diseño		
<p>En el diseño de un emisario submarino se establecen su longitud, diámetro, ubicación y profundidad de descarga. Asimismo, se especifican los materiales de tubería, las técnicas de construcción el sistema de anclaje en el fondo.</p> <p>Los emisarios pueden estar anclados sobre el lecho marino. La tubería se coloca en zanjas excavadas por medio de dragas, que pueden ser mecánicas ó hidráulicas, de acuerdo con la consistencia del lecho, o directamente sobre el lecho. Los bloques de anclaje que sirven de lastre deben colocarse a poca distancia entre ellos para limitar la deformación por las fuerzas de flotación, y para evitar manejar lastres de gran tamaño que dificultan la colocación. El peso del lastre necesario se calcula para evitar la flotación y prevenir el movimiento horizontal debido a corrientes. En la zona rompiente del oleaje, el cálculo se hace buscando prevenir el movimiento durante las peores condiciones de tormenta. La relación entre el peso del emisario junto con el lastre, y las fuerzas de flotación varía entre 1.1 y 1.5.</p> <p>El cálculo del diámetro de la tubería para emisarios submarinos se hace de la misma forma que una conducción, teniendo en cuenta el caudal, la pendiente hidráulica y el coeficiente de rugosidad. Es necesario evitar velocidades muy bajas que puedan ocasionar deposiciones de sólidos o grasa y crecimiento de bacterias en las paredes. Cuando esto ocurre, debe hacerse un lavado elevando la velocidad mediante la circulación de agua marina.</p> <p>Para el diseño del emisario y la planificación de su construcción deben realizarse estudios detallados sobre la batimetría, la geotecnia y el suelo a lo largo de la ruta propuesta. Entre las fuentes de información se encuentran las cartas náuticas, los sondeos de sonar, y muestras del fondo. Estos estudios se verifican mediante inspección con buzos a fin de determinar la mejor ruta, evitando al máximo formaciones de rocas irregulares y de corales. Las zonas problemáticas y el trazado se pueden señalizar mediante boyas numeradas o marcadores de fondo. También se estudian las corrientes marinas, y su correlación con los vientos.</p> <p>La distribución de la concentración de contaminantes que ocasiona un emisario submarino es función de la difusión, del transporte por el régimen de corrientes locales, de la dispersión turbulenta (mezcla lateral causada por corrientes turbulentas), y de la degradación biológica.</p> <p>A través de difusores y con la ayuda de la hidrodinámica se busca tener una dilución inicial mínima de 100:1 de agua marina a agua residual. La difusión inicial es la que ocurre al cabo de los primeros</p>		

No. 9	FICHA TÉCNICA	EMISARIOS SUBMARINOS
minutos, y se produce por el ascenso del agua residual debido a la velocidad ocasionada por la boquilla, y a que la densidad del agua residual es menor que la del agua marina. Para alcanzar el mayor grado de dilución inicial es fundamental el diseño de los difusores, con boquillas que tengan la adecuada distribución, separación, orientación y diámetro.	Posteriormente ocurre la dispersión horizontal debido a las corrientes marinas. El estudio de las corrientes se puede hacer mediante trazadores y derivadores con posicionamiento a través de equipos GPS, que determinan velocidades, direcciones y trayectorias, las cuales se pueden analizar mediante diversos modelos matemáticos. Los trazadores más utilizados son isótopos radiactivos, Roadmina WT o fluoresceína, con los cuales se puede hacer seguimiento de la dispersión y dilución de las aguas residuales. En los estudios para establecer el sitio del lecho marino en el cual pueden ser vertidas las aguas residuales en forma segura, es importante el parámetro denominado T90, que es el tiempo en el cual decae el 90% de la carga bacteriana. El T90 puede medirse mediante botellones con una dilución similar a la inicial, que se colocan en el medio marino para mantener condiciones ambientales correspondientes al emisario. Se toman muestras periódicamente en el botellón para determinar coliformes totales o fecales. Existen otros métodos para determinar el T90 en manchas producidas artificialmente o en la mancha existente.	Es necesario investigar la afectación a los ecosistemas marinos y las zonas costeras por la descarga de aguas residuales de la calidad, y establecer un sistema de vigilancia bacterial del agua en las principales playas de la zona de influencia, en el cual se monitoreen coliformes totales y fecales u otro indicador. Cuando existe la posibilidad de eutroficación, como en el caso de la descarga en una bahía con limitado intercambio con el mar, los parámetros adicionales de monitoreo pueden ser nitrógeno orgánico y amoniacial, fósforo, clorofila y DBO.
Generación de efectos	Los principales efectos que pueden generarse son principalmente el aumento en la concentración de DBO ₅ y coliformes fecales, que en caso de que haya una corriente hacia la costa puede afectar la zona de protección del litoral (ZPL). También puede haber presencia de heces y restos orgánicos en el litoral, que son arrastradas desde profundidades de más de 20 m a las que se ubican las descargas.	

No. 9	FICHA TÉCNICA	EMISARIOS SUBMARINOS
<p>Para evitar estos efectos se debe establecer la longitud del emisario en función del T90, la profundidad y la ubicación del emisario. Se debe hacer un diseño hidráulico del difusor, y un análisis del lecho marino (filmación del fondo, planos, tipo de fondo, profundidad y tipo de sustrato). Los parámetros ambientales más importantes en el diseño de emisarios submarinos generalmente son la estructura de la densidad de las aguas de mar recipientes, el régimen de corrientes, profundidad mínima de entrega de 20 m y el T90 para aguas cloacales. Por lo tanto, las campañas de recolección de datos deben concentrarse en obtener mediciones buenas de estos fenómenos.</p> <p>Los emisarios submarinos no generan ningún efecto relativo a olores o ruido, y los lodos producidos quedan dispuestos en el fondo del mar.</p>		
Aspectos particulares de operación y mantenimiento		
<p>Las actividades de operación de emisarios submarinos son mínimas. Se deben implementar programas de vigilancia para monitorear la calidad del agua y sus efectos en el medio ambiente en la zona de influencia.</p>		
Referencias bibliográficas		
<p>Carrión Y. 2006. Los Emisarios Submarinos, Una Alternativa Viable para el Manejo Ambiental de las Aguas Residuales en las Zonas Costeras. 1^a Universidad del Bosque. Colombia.</p> <p>Reiff F. 2002. Emisarios submarinos de pequeño diámetro de polietileno de alta densidad. CEPIS. Colombia.</p> <p>Salas, Henry. 2000. Emisarios submarinos enfoque general, conceptos básicos de diseño y requerimiento de datos para América Latina y el Caribe. CEPIS. Perú.</p> <p>Salas, H. (2000). Emisarios Submarinos: alternativas viables para la disposición de aguas negras de ciudades costeras en América Latina y el Caribe (Original en Español). En CEPIS, OPS, OMS (Eds.).</p>		

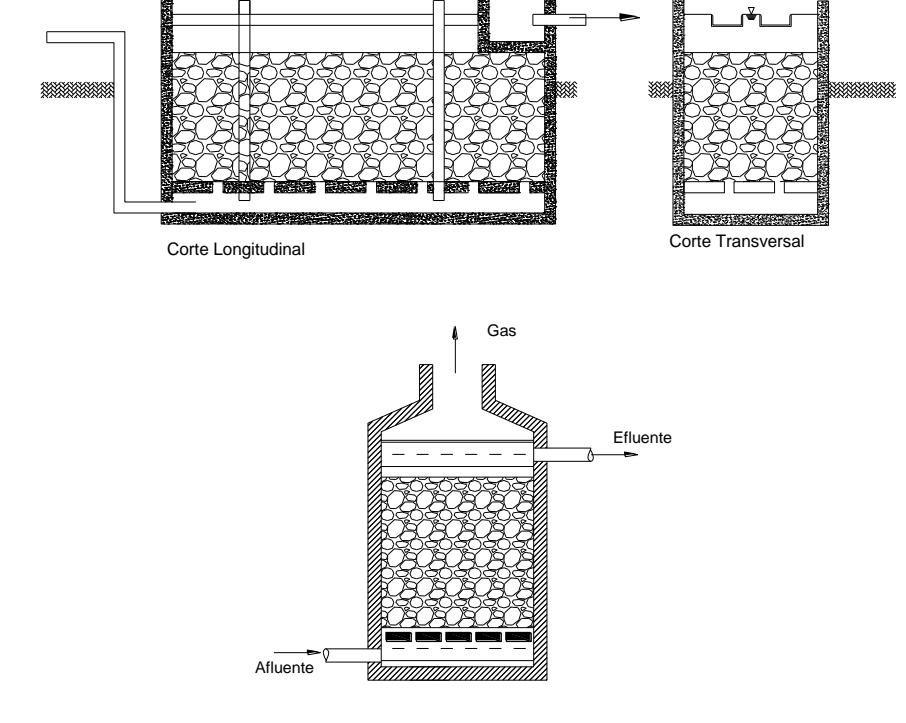
No. 10	FICHA TÉCNICA	FILTRACIÓN POR MEMBRANA (FM)
Descripción general del sistema		
Este tratamiento se basa en la utilización de membranas semi-permeables para la filtración del agua residual, implicando la separación de las partículas y la materia coloidal de un líquido.		
Para que el agua pase a través de ella existen tres métodos: aplicación de alta presión, el mantenimiento de un gradiente de concentración en ambos lados de la membrana y la introducción de un potencial eléctrico.		
Aunque hay una serie de diferentes métodos de filtración, que incorporan la tecnología de membranas, la más utilizada es la de filtración por presión. Hay cuatro procesos de filtración por membrana para la separación de líquidos de acuerdo al tamaño de partículas: ósmosis inversa, nanofiltración, ultrafiltración y microfiltración.		
La configuración de las membranas puede ser de tipo tubular o en espiral. El tipo tubular, es la más utilizada, donde una serie de tubos (ya sea por separado o en un paquete) se colocan en un recipiente a presión adecuada. Estas unidades se utilizan generalmente para el agua con alto contenido de sólidos en suspensión.		
Las de tipo espiral, consisten en un espaciador de permeado flexible que se coloca entre dos láminas de membrana plana, mientras que el lado abierto se conecta a un tubo perforado. Estas son utilizadas solamente para aplicaciones de nanofiltración y ósmosis inversa (RO).		
La operación de los procesos de membrana es muy simple. Una bomba se utiliza para presionar la solución de alimentación y distribuirla a través del módulo.		
 <p>The diagram illustrates three modes of membrane filtration:</p> <ul style="list-style-type: none"> Spontaneous osmosis: On the left, a semipermeable membrane separates a "Solución diluida" (dilute solution) from a "Solución o concentración" (concentrated solution). Arrows indicate water molecules moving from the dilute side through the membrane to the concentrated side. Equilibrium osmosis: In the middle, a semipermeable membrane separates two compartments, both labeled "Solución diluida". Arrows indicate water molecules moving from the left compartment to the right. A note states: "La columna sobre la solución concentrada en equilibrio produce la diferencia de presión osmótica dada por $(\Delta\pi)$". Reverse osmosis: On the right, a semipermeable membrane separates a "Solución diluida" from a "Solución o concentración". An external pressure source labeled "Presión equilíbrio ósmotica de" and "P > (\Delta\pi)" is applied to the concentrated side. Arrows indicate water molecules being forced through the membrane from the concentrated side back towards the dilute side. 		
Sistemas de Pretratamiento necesarios		
<ul style="list-style-type: none"> Pretratamiento del efluente secundario con clarificación química Para limitar la actividad bacteriana, es necesaria la desinfección del agua (cloro, ozono, radiación ultravioleta). 		

No. 10	FICHA TÉCNICA	FILTRACIÓN POR MEMBRANA (FM)				
Aplicabilidad						
La filtración por membrana se puede utilizar como una alternativa a la floculación, las técnicas de purificación de sedimentos, la adsorción (filtros de arena y filtros de carbón activado, intercambiadores iónicos), extracción y destilación.						
Se puede utilizar para separar las aguas residuales de la biomasa activa en un proceso de lodos activados, en un reactor de mezcla completa, y para extraer moléculas orgánicas perjudiciales de compuestos inorgánicos de los tratamientos biológicos.						
Se utiliza como filtración para aguas residuales tratadas que van a ser reutilizadas.						
Ventajas y desventajas						
Dentro de las ventajas se encuentran:						
<ul style="list-style-type: none"> • No requiere la adición de productos químicos. • Uso bajo de energía • Su capacidad puede ser fácilmente ampliado 						
Dentro de las desventajas se encuentran:						
<ul style="list-style-type: none"> • Limitada vida útil de la membrana • Disminución del flujo • Limitada capacidad de tratamiento • Limitados tipos de materia que pueden ser eliminados. • La densidad del empaquetamiento de las membranas tubulares es baja, lo que resulta en un mayor precio por módulo. 						
Aspectos de diseño						
Para su selección se debe tener en cuenta el tipo de contaminante que se desea remover de acuerdo con la siguiente tabla:						
Proceso	Fuerza motriz de la membrana	Mecanismo de separación	Tamaño del poro	Rango típico de operación	Descripción del permeado	Constituyentes típicos removidos
Microfiltración	Diferencia de presión hidrostática	Tamiz	Macroporos (>50nm)	0.08-2.0	Agua + sólidos disueltos	SST, Turbiedad, protozoos, algunas bacterias y virus.
Ultrafiltración	Diferencia de presión hidrostática	Tamiz	Mesoporos (2-50 nm)	0.005-0.2	Agua + moléculas pequeñas	Macromoléculas, coloides, bacterias, algunos virus y proteínas.
Nanofiltración	Diferencia de presión hidrostática	Tamiz + solución/difusión + exclusión	Microporos (<2 nm)	0.001-0.01	Agua + moléculas muy pequeñas, sólidos iónicos	Moléculas pequeñas, virus, dureza.

No. 10	FICHA TÉCNICA		FILTRACIÓN POR MEMBRANA (FM)				
Proceso	Fuerza motriz de la membrana	Mecanismo de separación	Tamaño del poro	Rango típico de operación	Descripción del permeado	Constituyentes típicos removidos	
Osmosis inversa	Diferencia de presión hidrostática	Tamiz + solución/difusión + exclusión	Denso (<2 nm)	0.0001-0.001	Aqua + moléculas muy pequeñas, sólidos iónicos	Moléculas muy pequeñas, color, dureza, sulfatos, nitratos, sodio, otros iones.	
Dialisis	Diferencia de concentración	Difusión	Mesoporos (2-50 nm)	-----	Aqua + moléculas pequeñas	Macromoléculas, coloides, bacterias, algunos virus y proteínas.	
Electrodialisis	Fuerza electromotiva	Intercambio iónico con membranas selectivas	Microporos (<2 nm)	-----	Aqua sólidos iónicos	iones de sal ionizada	
Rendimientos esperados							
Eliminación de sólidos disueltos, remoción de materia orgánica de alrededor del 99% y nitrificación completa.							
Generación de efectos							
Generación de lodos.							
Aspectos particulares de operación y mantenimiento							
Para realizar el mantenimiento de las membranas puede utilizarse uno de los siguientes métodos para su lavado:							
<ul style="list-style-type: none"> Lavado por chorro delantero: elimina la capa de contaminantes formada en la membrana por medio de la creación de turbulencias. Durante el lavado con chorro de agua delantero se tiene alto gradiente de presión hidráulica. Lavado por chorro trasero: Cuando se aplica un flujo desde atrás, los poros de la membrana son lavados del revés. La presión en la parte del permeado de la membrana es mayor que la presión dentro de las membranas, haciendo que los poros se limpien. El lavado con chorro trasero se realiza bajo una presión sobre 2.5 veces mayor que la presión de producción. Lavado por chorro de aire: se añade aire al chorro de agua delantero, provocando la formación de burbujas, que producen una mayor turbulencia. Debido a esta turbulencia la suciedad se desprende de la superficie de la membrana. La ventaja del lavado con chorro de aire frente al lavado con chorro de agua delantero es que usa una menor capacidad de bombeo durante el proceso de limpieza. Limpieza química: se añaden productos químicos como el cloruro de hidrógeno (HCl) y el ácido nítrico (HNO₃), o agentes desinfectantes, como el peróxido de hidrógeno (H₂O₂). 							

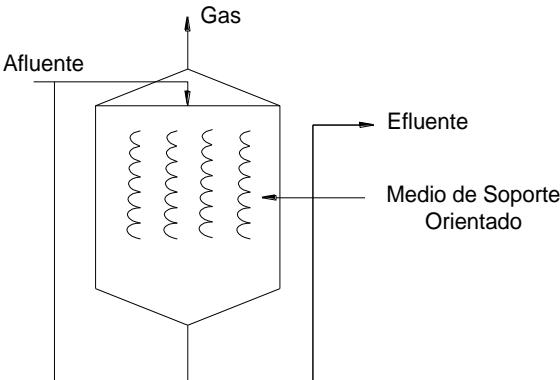
No. 10	FICHA TÉCNICA	FILTRACIÓN POR MEMBRANA (FM)
Referencias bibliográficas		
Tchobanoglous, G., Burton, F.L., Stensel, H.D., 2003. <i>Wastewater Engineering, Treatment and Reuse.</i>		
Metcalf y Eddy. 2003. <i>Wastewater Engineering: Treatment and Reuse.</i> Ed.4 ^a AECOM Press & McGraw Hill Professional. Estados Unidos.		

No. 11	FICHA TÉCNICA	FILTRO ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE (FAFA)
Descripción general del sistema		
<p>Los filtros anaerobios de flujo ascendente (FAFA), son reactores de medio fijo, en los cuales las bacterias anaerobias crecen en parte adheridas a un medio filtrante de rocas o en medios plásticos. El tratamiento ocurre a medida que el ARD atraviesa el medio filtrante, donde las bacterias entran en contacto con las aguas residuales y consumen la materia orgánica contenida en ella. Un filtro anaerobio se puede describir como el equivalente anaerobio de un filtro percolador. Los filtros tienen una variedad de formas.</p> <p>Se necesita que el material de empaque tenga una alta porosidad con lo que se maximiza la superficie específica de contacto entre el agua residual a tratar y los microorganismos que se encuentran fijos en el medio de soporte. Con miras a evitar la obstrucción del filtro, el sistema contempla la implementación de una combinación de procesos como tamices giratorios, como sistema de tratamiento preliminar seguido por un digestor anaerobio previo al FAFA.</p> <p>Los microorganismos anaerobios se forman en flóculo o gránulos atrapados entre los poros de los medios filtrantes. Con la acumulación creciente de la biomasa, partes de ella se separan de las partículas del medio filtrante y son arrastradas con el efluente. A pesar de este proceso de separación, el tiempo de residencia media de la biomasa en el reactor es de más de 20 días. Los filtros de flujo ascendente son más comunes que los filtros de flujo descendente. El tiempo de retención elevado de la biomasa en el filtro (lo que da lugar a una alta concentración de microorganismos en el reactor), asociada al tiempo de detención hidráulico corto y al contacto eficiente entre el líquido y el lodo da como resultado una alta remoción de materia orgánica, (Libhaber, 2004).</p> <p>Uno de los factores determinantes del éxito en la aplicación de esta tecnología es el cuidado con que se diseñe. La zona de entrada por la parte inferior del FAFA puede ser con o sin falso fondo, lo importante es que garantice una buena distribución del caudal afluente con el fin de evitar zonas muertas dentro del reactor. La zona empacada que es el eje funcional del sistema debe tener un área superficial alta (del orden de $100 \text{ m}^2/\text{m}^3$ de material filtrante). La función del lecho de soporte además de servir de medio de adherencia de los microorganismos es la de actuar como separador líquido-gas y facilitar el flujo uniforme a través del filtro evitando los cortos circuitos. El medio retiene la biomasa adherida generando altos tiempos de retención celular. La zona de salida también debe garantizar una recolección homogénea del agua residual, para evitar las zonas muertas en el reactor.</p>		

No. 11	FICHA TÉCNICA	FILTRO ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE (FAFA)
		
<h3>Sistemas de Pretratamiento necesarios</h3>		
<p>Remoción previa de sólidos en suspensión para evitar obstrucciones.</p>		
<h3>Aplicabilidad</h3> <p>Su aplicación en Colombia ha estado orientada al sector rural y a las pequeñas poblaciones en donde se combina con tanques sépticos como tratamiento preliminar, con eficiencias de remoción de orden del 50% para una eficiencia neta del Sistema TS + FAFA entre 70 y 85%.</p>		
<p>Es aconsejable para aguas residuales con carga orgánica moderada soluble o que se degrade fácilmente en compuestos solubles y, también, para aguas con elevada carga orgánica soluble que pueda ser diluida con recirculación de efluente.</p>		
<h3>Ventajas y desventajas</h3> <p>Las principales ventajas son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El área requerida para su implementación es menor que la requerida en procesos aeróbicos. • No requieren el suministro de oxígeno, y por tanto tiene bajo consumo de energía. • El gas que se produce, principalmente metano, puede ser recogido y utilizado para generar energía, o puede ser quemado, reduciendo así las emisiones de gases efecto invernadero, por lo que se puede obtener ventajas del fondo del Carbón para la reducción de emisiones, aumentando las ventajas financieras. • Los lodos de exceso que se producen en los FAFA son mucho menores en volumen y más estabilizados que los generados en los procesos aerobios; así, los costos de tratamiento y 		

No. 11	FICHA TÉCNICA	FILTRO ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE (FAFA)																				
disposición de lodos y los efectos ambientales negativos son menores.																						
<ul style="list-style-type: none"> • La construcción es simple y se utilizan sobre todo materiales locales. • El costo de inversión, de operación y de mantenimiento son menores que los de los procesos aerobios. • Bajo requerimiento de nutrientes. • El equipo electromecánico requerido es solamente el de tratamiento preliminar o sea los Militamices Giratorios, si se escoge este proceso. Con un adecuado aprovechamiento de la topografía y carga hidráulica disponible es posible contar con sistemas de tratamiento compactos, sin requerimientos de bombeo, con lo que el equipo electromecánico requerido es mínimo y los requerimientos energéticos mínimos. 																						
Algunas de las desventajas son:																						
<ul style="list-style-type: none"> • Se corre el riesgo de asociar la aparente simplicidad del sistema con una simplicidad conceptual en los procesos, con lo que se pueden presentar diseños defectuosos y más aun una operación inadecuada. • Producción de malos olores que se magnifican cuando el sistema se desestabiliza. • Son menos eficientes que el sistema aeróbico y no remueve patógenos lo que constituye una limitante en su utilización • Lentitud del arranque y la estabilización del proceso. • Baja remoción de nitrógeno y fósforo. • Alta sensibilidad del proceso a los cambios de temperatura. • Requiere generalmente un pulimento aeróbico 																						
Aspectos de diseño																						
Los principales parámetros de diseño son el tiempo de detención - td (V/Q, h), la carga volumétrica - Lv (S0/td, kgDQO/m ³ .d) y la carga hidráulica - qa (m ³ /m ² .d).																						
El filtro de flujo ascendente debe tener una altura entre 1,2 y 3,0 m, y el medio filtrante puede ser roca o un medio plástico con un área neta, a, mayor de 100 m ² /m ³ de material filtrante.																						
Los valores típicos de diseño son:																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th><th>Tiempo de detención, td</th><th>Carga volumétrica, LV</th><th>Carga hidráulica, qa</th><th>Altura, h</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Unidades</td><td>horas</td><td>kgDQO/m³.d</td><td>m³/m².d</td><td>m</td></tr> <tr> <td>Rango</td><td>4-12</td><td>10-16</td><td>6-15</td><td>1,2-3,0</td></tr> <tr> <td>Valor típico</td><td>6</td><td>12</td><td>10</td><td>2,5</td></tr> </tbody> </table>				Tiempo de detención, td	Carga volumétrica, LV	Carga hidráulica, qa	Altura, h	Unidades	horas	kgDQO/m ³ .d	m ³ /m ² .d	m	Rango	4-12	10-16	6-15	1,2-3,0	Valor típico	6	12	10	2,5
	Tiempo de detención, td	Carga volumétrica, LV	Carga hidráulica, qa	Altura, h																		
Unidades	horas	kgDQO/m ³ .d	m ³ /m ² .d	m																		
Rango	4-12	10-16	6-15	1,2-3,0																		
Valor típico	6	12	10	2,5																		
*La temperatura está dada para 25°C para otras es necesario corregir los valores de LV																						
El Tiempo de Detención, td en días, del FAFA en una combinación de Sistema Digestor Anaerobio (o Tanque Séptico) + FAFA según la población y la temperatura es:																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>POBLACIÓN, hab</th><th colspan="3">TIEMPO DE DETENCIÓN PARA TEMPERATURAS, °C</th></tr> <tr> <th></th><th>< 15°C</th><th>15 a 25°C</th><th>>25°C</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1500</td><td>1,17</td><td>1,00</td><td>0,92</td></tr> <tr> <td>1501-3000</td><td>1,08</td><td>0,92</td><td>0,83</td></tr> </tbody> </table>			POBLACIÓN, hab	TIEMPO DE DETENCIÓN PARA TEMPERATURAS, °C				< 15°C	15 a 25°C	>25°C	1500	1,17	1,00	0,92	1501-3000	1,08	0,92	0,83				
POBLACIÓN, hab	TIEMPO DE DETENCIÓN PARA TEMPERATURAS, °C																					
	< 15°C	15 a 25°C	>25°C																			
1500	1,17	1,00	0,92																			
1501-3000	1,08	0,92	0,83																			

No. 11		FICHA TÉCNICA		FILTRO ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE (FAFA)						
	3001-4500	1,09	0,83	0,75						
	4501-6000	0,92	0,75	0,67						
	6001-7500	0,83	0,67	0,58						
	7501-9000	0,75	0,58	0,50						
	> 9000	0,75	0,50	0,50						
Rendimientos esperados										
Las eficiencias de remoción están usualmente en el rango del 40 al 80% para la DBO ⁵ y los Sólidos Suspensidos Totales (SST), con concentraciones en los efluentes de alrededor de 30 mg/L de DBO ⁵ , para ARD a 25°C. El costo aproximado de estas estructuras es del orden de USD 10 a 25/hab.										
Generación de efectos										
En el tratamiento anaerobio, se presenta una bioconversión del sustrato (el ARD) al pasar por una matriz de biomasa (es decir la población bacteriana) que efectúa la bioconversión principalmente a metano (CH ₄) y a más biomasa (muy poca), y también CO ₂ y H ₂ O.										
Generación de lodos.										
Aspectos particulares de operación y mantenimiento										
<ul style="list-style-type: none"> • Debe realizarse la inoculación antes del arranque con el fin de disminuir el tiempo de estabilización del sistema. • Debe realizarse limpieza de sobrenadantes y purga de lodos para evitar taponamientos. • Se debe realizar la evacuación y lavado de material de empaque cuando presenta problemas de colmatación del lecho que no se resuelven mediante purgado de fondo. • Debe realizarse la inoculación antes del arranque con el fin de disminuir el tiempo de estabilización del sistema. 										
Referencias bibliográficas										
Arthur J. 1983. <i>Notes on the design and operation of waste stabilization ponds in warm climates in developing countries. World Bank Technical paper</i> . Estados Unidos.										
Libhaber. 2004. <i>Wastewater Treatment in Developing Countries: Use of Physico-Chemical Processes for Achieving Affordable Disposal Schemes, The World Bank, Munich wastewater technical seminar</i> . Colombia.										
Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2008. Estudios conducentes a determinar las tecnologías para tratamiento de aguas residuales municipales, aplicables a poblaciones menores de 300.000 habitantes. Consorcio HIMEC–ESSERE. Colombia.										
Rojas C. 2002. Consideraciones sobre diseño, arranque, operación y mantenimiento de filtros anaeróbicos de flujo ascendente. <i>Scientia et technica</i> . Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia.										

No. 12	FICHA TÉCNICA	FILTRO ANAEROBIO DE FLUJO DESCENDENTE
Descripción general del sistema		
En este tipo de filtro el agua residual entra por la parte superior del filtro y se retira por la parte inferior y las bacterias se adhieren a las paredes del material de soporte para formar una biopelícula.		
El proceso es similar al filtro anaerobio de flujo ascendente ya que el tratamiento ocurre a medida que el ARD atravesía el medio filtrante, donde las bacterias entran en contacto con las aguas residuales y consumen la materia orgánica contenida en ella.		
		
Sistemas de Pretratamiento necesarios		
Debe instalarse un tanque de sedimentación antes del filtro para prevenir la mayoría de los sólidos sedimentables en la unidad.		
Aplicabilidad		
Se utiliza para la remoción de sólidos suspendidos del agua residual.		
Ventajas y desventajas		
<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Soporta cargas volumétricas altas con tiempos hidráulicos de retención bajos. • Resistente a las cargas de choque orgánicos e hidráulicos. • No requiere energía eléctrica. • Puede ser construido y reparado con materiales disponibles localmente. • Larga vida de servicio. • Alta reducción de la DBO y sólidos. 		
<p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Presencia de sólidos suspendidos en el efluente. • Debe realizarse recirculación elevando los costos de tratamiento. • Requiere fuente constante de agua. • Los efluentes requieren un tratamiento secundario. • Baja reducción de patógenos y nutrientes. • Requiere expertos para realizar el diseño y la construcción. • Largo tiempo de puesta en marcha. 		

No. 12	FICHA TÉCNICA	FILTRO ANAEROBIO DE FLUJO DESCENDENTE
Aspectos de diseño		
El dimensionamiento comúnmente tiene las siguientes características:		
Forma	Cilíndrico o rectangular	
Diámetro	6 – 26 m	
Altura	3 – 13 m	
Volumen	100 – 1000 m ³	
Volumen ocupado por el lecho	50 -70%	
Fuente: Lemos Chernicharo, 2007		
El medio de soporte deberá tener las siguientes características		
Requerimiento	Objetivo	
Estructuralmente resistente	Soportar su propio peso más el añadido por la biopelícula	
Biológica y químicamente inertes	No permitir la reacción entre el lecho y los microorganismos	
suficientemente ligera	Permite la construcción de más filtros en un área reducida para el sistema	
Área específica grande	Permitir conexión de gran cantidad de sólidos biológicos	
Alta porosidad	Dejar espacio libre de acumulación de biomasa y reducción de la obstrucción	
Permitir la colonización acelerada de microorganismos	Permitir rápida puesta en marcha del reactor	
Presentar una superficie rugosa y no plana	Asegurar una buena inserción y de alta porosidad	
Reducción del costo	Hacer económicamente factible el proyecto	
Fuente. Lemos Chernicharo, 2007		
Rendimientos esperados		
Alcanza remociones del 96% de la concentración de sólidos suspendidos totales, y de DBO entre 50% y 80%.		
Generación de efectos		
Generación de lodos y olores.		
Aspectos particulares de operación y mantenimiento		
<ul style="list-style-type: none"> • El flujo debe aumentarse gradualmente con el tiempo, y el filtro debe estar funcionando a su máxima capacidad dentro de los seis a nueve meses. • Debe realizarse la inoculación antes del arranque, con el fin de disminuir el tiempo de estabilización del sistema. 		

No. 12	FICHA TÉCNICA	FILTRO ANAEROBIO DE FLUJO DESCENDENTE
		<ul style="list-style-type: none"> • Debe realizarse limpieza de sobrenadantes y purga de lodos para evitar taponamientos. • Se debe realizar la evacuación y lavado de material de empaque cuando presenta problemas de colmatación del lecho que no se resuelven mediante purgado de fondo.
Referencias bibliográficas		
<p>Christopher F. Forster. 2003. <i>Wastewater treatment and technology</i>. British Library. Londres.</p> <p>Michael F. Torpy. 1988. <i>Anaerobic treatment of industrial wastewaters</i>. Estados Unidos.</p> <p>Libhaber. 2004. <i>Wastewater Treatment in Developing Countries: Use of Physico-Chemical Processes for Achieving Affordable Disposal Schemes</i>, The World Bank, Munich wastewater technical seminar. Colombia.</p>		

No. 13	FICHA TÉCNICA	FILTRO DE ARENA (FAR)
Descripción general del sistema		
<p>Aplicación de agua residual previamente sedimentada, en un lecho de material granular (arena, grava, etc) que es drenado para recoger y descargar el efluente final. Remueven contaminantes del agua residual mediante procesos de tratamiento físicos, químicos y biológicos.</p>		
<p>Se recomienda su localización aguas abajo del tanque séptico y/o aguas arriba de la desinfección (si es necesario), en lugares con escasa cobertura vegetal y de tasas de percolación rápidas, en lotes de área limitada pero apropiada para tratamientos de disposición en sitio, y aislados de la vivienda para evitar problemas de olores.</p>		
<p>La arena es el medio comúnmente más utilizado, pero la antracita, residuos de minería, ceniza de fondo de incineradores y otros, también han sido usados. La superficie del lecho se dosifica en forma intermitente con efluente, el cual se percola en un paso simple hasta el fondo del filtro a través de la arena.</p>		
<p>Después de ser recolectado en el desagüe inferior, el efluente tratado es conducido a una tubería para tratamiento adicional o para su disposición.</p>		
<p>Estos filtros se clasifican de acuerdo con la forma de descarga del agua tratada en:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Filtros de descarga por gravedad. • Filtros de descarga por bombeo • Filtros sin fondo 		

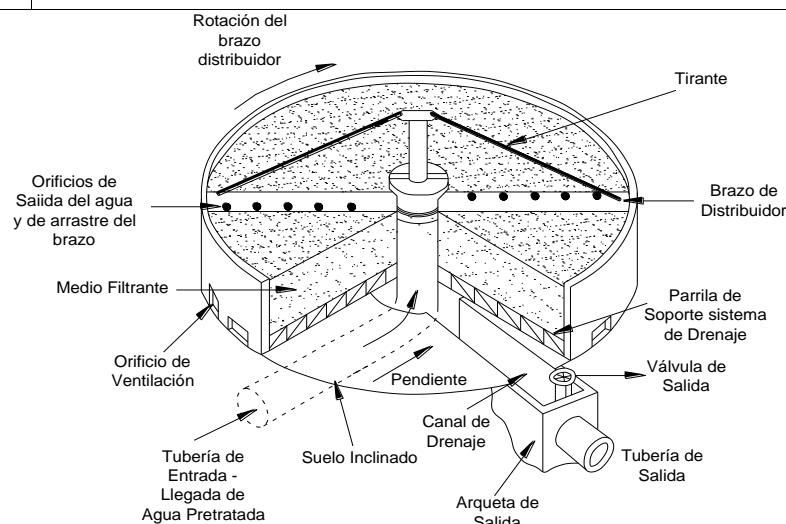
No. 13	FICHA TÉCNICA	FILTRO DE ARENA (FAR)
Sistemas de Pretratamiento necesarios		
<p>Eliminación de sólidos para evitar su colmatación.</p>		
Aplicabilidad		
<p>Los filtros de arena son efectivos para filtrar tanto contaminantes orgánicos, como inorgánicos.</p>		
Ventajas y desventajas		
<p>Dentro de las ventajas se encuentran:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Producen un efluente de alta calidad que puede ser usado para irrigación por goteo, o puede ser descargado a aguas superficiales después de ser desinfectado. • Los campos de drenaje pueden ser pequeños y poco profundos. • Tienen requisitos moderados de energía. • Son fácilmente accesibles para el monitoreo y no requieren personal calificado para su operación. • No requieren compuestos químicos. • Si la arena no está disponible, se puede reemplazar con otros medios de filtrado aceptables, los cuales pueden estar disponibles localmente. • Los costos de construcción son moderadamente bajos, y el trabajo es casi todo manual. • La capacidad de tratamiento puede aumentarse usando un diseño modular. • Pueden ser instalados para que se incorporen visualmente al paisaje. 		
<p>Dentro de las desventajas se encuentran:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los requisitos de área pueden ser una limitación. • Se requiere un mantenimiento rutinario (si bien es mínimo). • Se pueden presentar problemas de olores como resultado de las configuraciones de filtro abiertas, y se pueden requerir zonas de separación con áreas habitadas. • Si un medio adecuado de filtración no está disponible localmente, los costos pueden ser altos. • La obstrucción del medio filtrante es posible. 		

No. 13	FICHA TÉCNICA	FILTRO DE ARENA (FAR)
<ul style="list-style-type: none"> • La operación puede ser sensible a temperaturas extremadamente frías. 		
Aspectos de diseño		
<ul style="list-style-type: none"> • El medio de filtrado debe ser material granular durable pre-lavado con un tamaño efectivo de 0.25 a 0.75 mm. • El sistema de desagüe consiste en tubería de 3 a 4 pulgadas con ranuras o perforaciones, con pendientes entre 0 a 0.1%. • Se asume una carga hidráulica de 0.3 – 0.6 m³/m²/d • La frecuencia de dosificación se encuentra entre 12 a 48 veces por día y el volumen del tanque dosificador de 0.5 a 1.5 del caudal diario. • La carga orgánica se asume entre 0.002 - 0.010 KgDBO₅/m²/d. • En general, entre más alta sea la carga hidráulica, la calidad del efluente para un medio determinado tiende a desmejorarse. Las tasas hidráulicas altas se usan generalmente en filtros con un medio de mayor tamaño, o en sistemas que reciben agua residual de mejor calidad. • Para la distribución de presión se recomiendan utilizar el tipo de bombas apropiado para el caso. • Se recomienda utilizar tuberías de diámetros entre 25.4 y 50.8 mm, con tamaño de orificio entre 3.2 a 6.35 mm, y una cabeza en el orificio entre 0.91 y 1.52 m de columna de agua. Se recomienda un rango de espaciamientos laterales y entre orificios de 0.46 a 1.22 m. 		
Rendimientos esperados		
<p>Los filtros de arena producen un efluente de alta calidad con remociones de DBO y sólidos suspendidos entre el 90 y el 95%, así como una nitrificación igual o mayor al 80% del amoníaco aplicado. La remoción del fósforo es limitada, pero se pueden lograr reducciones significativas de bacterias coliformes fecales.</p>		
Generación de efectos		
<p>Generación de lodos y de olores.</p>		
Aspectos particulares de operación y mantenimiento		
<p>Los requisitos diarios de operación y mantenimiento (O/M) de sistemas de filtro de mayor tamaño generalmente son mínimos cuando han sido dimensionados adecuadamente.</p>		
<p>Las tareas de O/M principales requieren un tiempo mínimo e incluyen el monitoreo del afluente y el efluente, la inspección del equipo de dosificación, el mantenimiento de la superficie del filtro, el chequeo de la carga de paso en los orificios, y la limpieza anual de la tubería múltiple de distribución mediante el paso de agua. Además, las bombas deben ser instaladas con acoplos de desconexión rápida para su remoción fácil.</p>		
<p>En temperaturas extremadamente frías se deben tomar precauciones para prevenir la congelación del sistema de filtrado mediante el uso de cobertores removibles.</p>		
<p>Para realizar el mantenimiento es necesario: 1) suspender la operación por un tiempo, 2) realizar el rastrillado de la superficie para remover la costra que se forma y actúa como inhibidora del proceso y 3) reemplazar la capa superior con material limpio.</p>		

No. 13	FICHA TÉCNICA	FILTRO DE ARENA (FAR)	
		En el momento en que el nivel de encharcamiento por encima de la superficie exceda 30 cm, debe pararse la aplicación de agua residual. Para filtros que reciben efluentes de tanques sépticos, se recomienda rastrillar o cambiar la capa superior en intervalos de 30 y 150 días, para tamaños efectivos de 0.2 mm y 0.6 mm, respectivamente. Para filtros recirculantes con medio grueso (1.0 a 1.5 mm), se recomiendan periodos de hasta un año.	
		Referencias bibliográficas	
		EPA. 1999. Folleto informativo de sistemas descentralizados Filtros intermitentes de arena. Estados Unidos.	
		Metcalf y Eddy. 2007. <i>Water Reuse: Issues, Technologies, and Applications</i> . AECOM Press & McGraw Hill Professional. Estados Unidos.	

No. 14	FICHA TÉCNICA	FILTRO PERCOLADOR
Descripción general del sistema		
También es llamado filtro de goteo, filtro biológico, biofiltro o lecho bacteriano. Es un reactor biológico de tres fases y lecho fijo, para poner en contacto el gas, líquido y microorganismos (Winkler, 2007). Puede ser de baja y alta carga. El primero es un dispositivo sencillo que consigue efluentes estables y altamente nitrificados, mientras que el segundo requiere recirculación para garantizar la autolimpieza del lecho, contribuyendo al desprendimiento de la biopelícula bacteriana y diluir la concentración de las aguas del afluente.		
Cuando este <i>biofilm</i> se desprende es arrastrado por el efluente del filtro percolador, por lo tanto, se requiere como complemento del proceso un sedimentador secundario.		
El agua residual se distribuye en la parte superior del lecho por medio de rociadores fijos o conjuntos móviles de aspersores, y gotea a través del empaque para caer en un tanque colector situado debajo del lecho.		
A medida que las aguas residuales y el aire fluyen a través del lecho, el <i>biofilm</i> hace uso de ellos para obtener de los compuestos orgánicos la energía necesaria para sus procesos, obteniendo así la remoción de la materia orgánica mediante su conversión a masa celular, dióxido de carbono y agua (CEPIS, 2002).		
El material de soporte puede estar compuesto por rocas o material plástico, en cuya superficie se adhieren microorganismos desarrollando una película biológica (<i>biofilm</i>), encargada de la degradación de la materia orgánica.		
Los medios de soporte fabricados pueden ser ordenados o al azar. Los primeros se pueden ensamblar como módulos de láminas verticales, tubos verticales y medios de redes geométricas; mientras que los medios de empaque al azar, consisten en piezas plásticas de forma especial, apiladas sin una especial orientación. Las piezas plásticas son anillos o tubos cortos en PVC o polipropileno, que pretenden aumentar la superficie específica.		
Los filtros se clasifican según su carga en los siguientes:		
<ul style="list-style-type: none"> • Filtros de baja carga. Filtros lentos en los cuales el agua hace un solo paso a través del filtro, con cargas volumétricas bajas, permitiendo además una nitrificación relativamente completa. Este tipo de filtro es seguro y simple de operar. Producen una composición del efluente bastante estable, pero crean problemas de olores y moscas. • Filtros de alta carga. Emplean la recirculación para crear una carga hidráulica más homogénea, diluyendo por otra parte la DBO5 influente. El porcentaje de recirculación puede llegar a 400%. Este sistema de filtración tiene una eficiencia tan buena como la de los filtros de baja tasa, y evita en gran medida el problema de moscas y de olores. 		

No. 14

**FICHA
TÉCNICA****FILTRO PERCOLADOR****Sistemas de Pretratamiento necesarios**

Deben removverse compuestos tóxicos antes de tratar el agua residual con filtros percoladores.

Aplicabilidad

La aplicabilidad de los filtros percoladores se muestra a continuación:

Aplicación	Carga Volumétrica		Calidad del efluente	
	Unidad	Rango	Unidad	Rango
Tratamiento secundario	Kg DBO/m ³ – d*	0.3 – 1.0	DBO, mg/Lt SST, mg/Lt	15 – 30 15 – 30
Combinación de remoción de DBO y nitrificación	Kg DBO/m ³ – d g TKN/m ² – d**	1 – 0.3 0.2 – 1.0	DBO, mg/Lt NH ₄ -N, mg/Lt	<10 <3
Nitrificación terciaria	g NH ₄ -N/m ² – d	0.5 – 2.5	NH ₄ -N, mg/Lt	0.5 – 3
Remoción parcial de DBO	Kg DBO/m ³ – d	1.5 – 4.0	% de remoción de DBO	40 - 70

*Carga volumétrica

** carga basada en área superficial

Fuente: Metcalf and Eddy, 2003

Ventajas y desventajas

Dentro de las ventajas se encuentran.

- Menor consumo de energía.
- No precisa de un control de nivel de oxígeno disuelto ni de sólidos en suspensión en el reactor biológico. Todo ello hace que la explotación sea más simple.
- No se forman aerosoles, con la cual se evita la inhalación de microgotas de agua por los operarios.
- Bajo nivel de ruidos por la escasa potencia instalada.
- Con relación a los contactores biológicos rotativos, los lechos bacterianos presentan menores requisitos energéticos.

No. 14	FICHA TÉCNICA	FILTRO PERCOLADOR																																																			
Dentro de las desventajas se encuentran:																																																					
<ul style="list-style-type: none"> • Costos de instalación elevados. • Generación de lodos en el proceso que deben ser estabilizados antes de su disposición final. • Requieren mantenimiento más complejo. 																																																					
Aspectos de diseño																																																					
Los aspectos que se deberán tener en cuenta para el diseño de un filtro percolador son:																																																					
<ul style="list-style-type: none"> • El medio filtrante puede ser piedra triturada o un medio plástico manufacturado especialmente para tal fin. Debe ser durable, resistente al resquebrajamiento, insoluble, y no debe aportar sustancias indeseables al agua tratada. • Cuando se efectúa la recirculación, es importante determinar si es antes o después del clarificador primario, pues esto afecta significativamente el diseño. Igual consideración debe tenerse con los sedimentadores secundarios. • El diseñador debe sustentar claramente el tipo de recirculación a usar, su objeto, sus ventajas y las implicaciones operacionales, de diseño y económicas que se tienen en cada caso. • Es de gran importancia mantener el filtro en condiciones aerobias. • El sistema de desagüe, canal efluente y tubería de efluentes deben ser diseñados para permitir el libre paso del aire. El tamaño de desagües, canales y tuberías debe ser tal que no más del 50 % de su área de sección esté sumergida durante la carga hidráulica de diseño. Al diseñar los canales efluentes, deben tomarse en consideración la posibilidad de un aumento en la carga hidráulica. • Las condiciones que garantizan una ventilación natural son: los drenajes inferiores y canales no deben llenarse más del 50%, para permitir el paso del aire, deben instalarse pozos de ventilación en la periferia del filtro, los drenajes deben tener aberturas del orden del 15% del área total del filtro. • Deben instalarse sistemas de desagües inferiores, los cuales reciben el agua residual tratada y la conducen a un canal de evacuación principal. Este canal se compone de bloques, con ranuras en la parte superior, para admitir el agua efluente, y canales interiores que la llevan a un canal de descarga central. 																																																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Características de diseño</th><th>Tasa baja o estándar</th><th>Tasa media</th><th>Alta tasa</th><th>Alta tasa</th><th>Desbaste</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Tipo de lecho</td><td>Roca</td><td>Roca</td><td>Roca</td><td>Plástico</td><td>Roca / Plástico</td></tr> <tr> <td>Carga hidráulica m³/m²-d</td><td>1-4</td><td>4-10</td><td>10-40</td><td>10-75</td><td>40-200</td></tr> <tr> <td>Carga orgánica, Kg DBO/m³-d</td><td>0.07-0.22</td><td>0.24-0.48</td><td>0.4-2.4</td><td>0.6-3.2</td><td>>1.5</td></tr> <tr> <td>Radio de recirculación</td><td>0</td><td>0-1</td><td>1-2</td><td>1-2</td><td>0-2</td></tr> <tr> <td>Filtro de moscas</td><td>Muchas</td><td>Variable</td><td>Pocas</td><td>Pocas</td><td>Pocas</td></tr> <tr> <td>Desprendimiento</td><td>Intermitente</td><td>Intermitente</td><td>Continuo</td><td>Continuo</td><td>Continuo</td></tr> <tr> <td>Profundidad, m</td><td>1.8-2.4</td><td>1.8-2.4</td><td>1.8-2.4</td><td>3.0-12.2</td><td>0.9-6</td></tr> </tbody> </table>						Características de diseño	Tasa baja o estándar	Tasa media	Alta tasa	Alta tasa	Desbaste	Tipo de lecho	Roca	Roca	Roca	Plástico	Roca / Plástico	Carga hidráulica m ³ /m ² -d	1-4	4-10	10-40	10-75	40-200	Carga orgánica, Kg DBO/m ³ -d	0.07-0.22	0.24-0.48	0.4-2.4	0.6-3.2	>1.5	Radio de recirculación	0	0-1	1-2	1-2	0-2	Filtro de moscas	Muchas	Variable	Pocas	Pocas	Pocas	Desprendimiento	Intermitente	Intermitente	Continuo	Continuo	Continuo	Profundidad, m	1.8-2.4	1.8-2.4	1.8-2.4	3.0-12.2	0.9-6
Características de diseño	Tasa baja o estándar	Tasa media	Alta tasa	Alta tasa	Desbaste																																																
Tipo de lecho	Roca	Roca	Roca	Plástico	Roca / Plástico																																																
Carga hidráulica m ³ /m ² -d	1-4	4-10	10-40	10-75	40-200																																																
Carga orgánica, Kg DBO/m ³ -d	0.07-0.22	0.24-0.48	0.4-2.4	0.6-3.2	>1.5																																																
Radio de recirculación	0	0-1	1-2	1-2	0-2																																																
Filtro de moscas	Muchas	Variable	Pocas	Pocas	Pocas																																																
Desprendimiento	Intermitente	Intermitente	Continuo	Continuo	Continuo																																																
Profundidad, m	1.8-2.4	1.8-2.4	1.8-2.4	3.0-12.2	0.9-6																																																

No. 14	FICHA TÉCNICA	FILTRO PERCOLADOR				
Características de diseño	Tasa baja o estándar	Tasa media	Alta tasa	Alta tasa	Desbaste	
Eficiencia de remoción de DBO	89-90	50-80	50-90	60-90	40-70	
Calidad del efluente	Bien nitrificado	Algo nitrificado	No nitrificado	No nitrificado	No nitrificado	
Potencia kW/ 10^3 m ³	2-4	2-8	6-10	6-10	6-10	

Fuente: Metcalf and Eddy, 2003

Rendimientos esperados	
Las remociones esperadas con la implementación de una tecnología de este tipo son:	
Parámetro	Remoción
Sólidos en suspensión	75 – 95 %
DBO ₅	80 – 90 %
DQO	70 – 85 %
Nitrógeno	20 – 35%
Fósforo	10 – 30%

La eficiencia de remoción del filtro percolador se ve afectada por la temperatura, ya que la degradación de DBO está directamente relacionada con este parámetro.

Generación de efectos
Debe controlarse la generación de olores con recirculación para rebajar la concentración de DBO ₅ inicial y con aumento de la carga hidráulica, para aumentar el poder abrasivo y eliminar el crecimiento biológico excesivo. Para evitar molestias de olores deben mantenerse las condiciones aerobias. Además, deben tomarse las siguientes medidas:
<ul style="list-style-type: none"> • Hacer recircular el efluente de salida del filtro percolador, si tiene oxígeno disuelto. • Eliminar las obstrucciones en el filtro percolador. • Eliminar depósitos en el fondo, enjuagándolos o raspándolos. • Airear las aguas residuales en la entrada de la sedimentación primaria o del filtro. • Agregar las sustancias químicas adecuadas en la entrada del filtro, bajo dirección técnica.

Aspectos particulares de operación y mantenimiento
Se debe tener un manual de operación y mantenimiento que contemple los siguientes aspectos:
<ul style="list-style-type: none"> • Operación bajo condiciones de caudal mínimo y caudal máximo. • Control de la variación de cargas con el fin de prevenir el desprendimiento biológico. • Control de la recirculación. • Control de la toxicidad del agua residual influente. • Control de nutrientes en el agua residual influente (Nitrógeno y Fósforo). • Control de la temperatura. • Control de la tasa de distribución al medio filtrante.

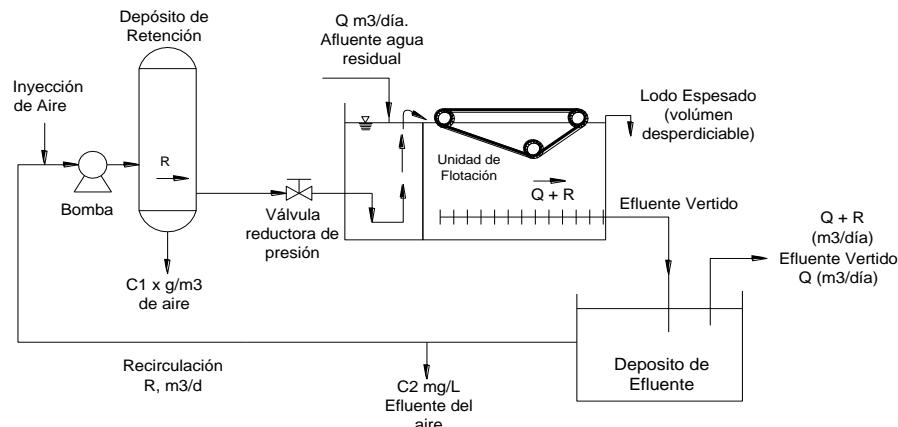
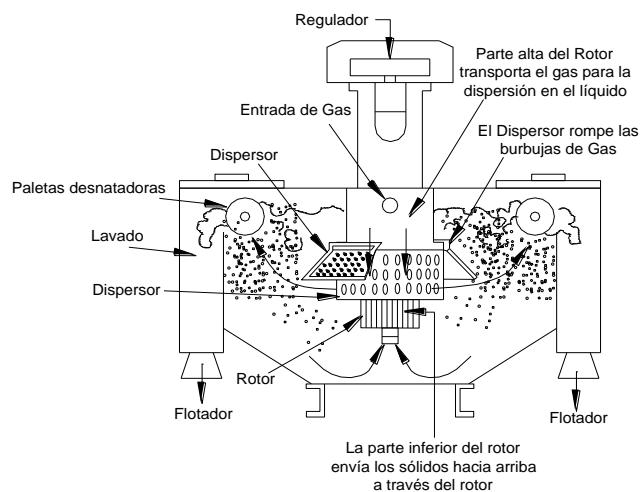
No. 14	FICHA TÉCNICA	FILTRO PERCOLADOR
		<ul style="list-style-type: none"> • Control de olores. • Adecuado plan de mantenimiento preventivo.
Referencias bibliográficas		
Metcalf y Eddy. 2007. <i>Water Reuse: Issues, Technologies, and Applications</i> . AECOM Press & McGraw Hill Professional. Estados Unidos.		
Winkler M. 2007. Tratamiento biológico de aguas de desecho. Limusa. México.		

No. 15

**FICHA
TÉCNICA**
FLOTACION CON AIRE DISUELTO (DAF)
Descripción general del sistema

La flotación por aire disuelto, llamado también DAF por sus siglas en inglés, es un sistema de decantación de sólidos suspendidos, que consiste en disolver aire en el agua inyectándolo a alta presión, la cual pasa después al reactor, donde al descomprimirse el aire se generan pequeñas burbujas que ascienden lentamente. Estas microburbujas se adhieren a los flóculos en cantidad suficiente para aumentar su fuerza ascensional, elevándolos hasta la superficie del agua, donde un barreloido tipo banda sinfín, raspador giratorio u otro mecanismo los arrastra hacia una canaleta de recolección, de donde salen hacia el proceso de tratamiento y disposición de lodos.

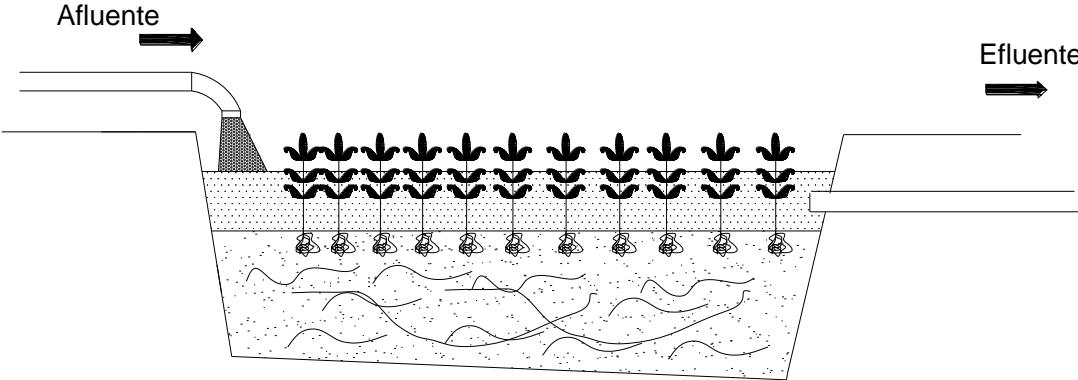
Las unidades que constituyen este sistema son los sistemas de alimentación de agua y aire a presión, el saturador, donde el aire se disuelve en el agua a una presión elevada, la celda de flotación donde se producen las microburbujas y el contacto con los sólidos suspendidos a remover, el sistema mecánico de recolección de lodos en la superficie, y los sistemas de evacuación de los lodos flotados o decantados y del agua tratada.



No. 15	FICHA TÉCNICA	FLOTACION CON AIRE DISUELTO (DAF)
Sistemas de Pretratamiento necesarios		
<p>La flotación por aire disuelto es esencialmente un proceso de decantación, por lo cual se requieren procesos previos de lodos activados, o de tratamientos químicamente asistidos para generar los flóculos.</p>		
Aplicabilidad		
<p>El proceso de espesamiento con flotación por aire disuelto DAF se utiliza para separar los flóculos resultantes de procesos de coagulación, floculación y decantación en un sistema TPQA (tratamiento primario químicamente asistido). Los flóculos provenientes de este tratamiento son más pequeños que cuando se utiliza un decantador por gravedad. Se trata de una tecnología muy compleja y sensible, que requiere un trabajo de diseño y control importante. Se recomienda la realización de ensayos de laboratorio en una celda de flotación para verificar la factibilidad técnica del proceso.</p>		
Ventajas y desventajas		
<p>Ventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> • El proceso de flotación es más rápido que el de decantación por gravedad, y por lo tanto se requiere un tiempo de retención y un volumen de tanque menor. • Los sólidos flotados pueden alcanzar concentraciones superiores a los decantados debido a que están en contacto con el aire, y no permanentemente sumergidos 		
<p>Desventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> • El sistema requiere de un alto nivel de control, pues es sensible a cambios en condiciones que pueden afectar la formación de microburbujas y de flóculos de buen tamaño • No remueve flóculos y partículas muy pesadas, que tienden a sedimentarse a pesar de la flotación. 		
Aspectos de diseño		
<p>En el proceso de creación de micro burbujas normalmente se presuriza entre 5 y 10% del agua clarificada, que se recircula mediante una bomba de alta presión. El proceso de saturación de aire en agua se lleva a cabo en un saturador, que es un tanque hermético sometido a presión elevada que permite disolver aire en el agua, entre 60 y 90 libras por pulgada cuadrada. El saturador es alimentado en forma continua mediante bombas de agua y aire. La disolución de aire en agua depende de la temperatura y presión, de acuerdo con la ley de Henry. En el saturador se mezcla el aire con el agua mediante difusores, entre los cuales se emplea con frecuencia el de placa porosa</p>		

No. 15	FICHA TÉCNICA	FLOTACION CON AIRE DISUELTO (DAF)
		que se encuentra sumergida en el fondo, y tiene un sistema de distribución de agua para mejorar el contacto con el aire.
		La generación de microburbujas se produce en las boquillas situadas en la entrada a la celda de flotación. La capacidad de aireación y la distribución del tamaño de burbujas dependen del diseño de las boquillas, y tienen gran importancia en la eficiencia del DAF. El diámetro de las burbujas oscila entre 10 y 100 micras. La energía transferida en el proceso de expansión y generación de burbujas depende de la tensión superficial líquido/aire y de la presión en el saturador. Esta energía es directamente proporcional a la tensión superficial y a las presiones en el saturador. Después de la expansión, toma un tiempo para alcanzar el tamaño de las burbujas, las cuales tienden a formarse sobre superficies sólidas. La utilización de reactivos, como por ejemplo sustancias que disminuyen la tensión superficial, pueden incrementar la eficiencia en la remoción.
		La separación por sólidos por flotación ocurre en un tanque que recibe la suspensión, el cual está acondicionado para facilitar el contacto y adhesión de micro-burbujas y partículas, y la formación de flóculos flotantes, y para mantener las condiciones de calma para evitar su desintegración. La descarga del agua tratada se hace normalmente por el fondo, mientras que los lodos flotados se extraen mediante un barrelodos mecánico, que gira lentamente sobre la superficie de la unidad de flotación y lleva los lodos hacia canaletas. Parte de los sólidos se pueden decantar hacia abajo, por lo que puede requerirse un barrelodos de fondo.
		Rendimientos esperados
		Para el diseño de la aireación se tiene en cuenta la relación aire/sólidos, en mililitros de aire injectados por cada miligramo de sólidos en suspensión en el agua a tratar, que usualmente tiene un valor entre 0.005 y 0.06.
		Generación de efectos
		Los lodos generados por procesos de flotación con aire disuelto tienen mayor concentración de sólidos, por lo cual son más manejables y su volumen es menor. Los sistemas de aireación son por lo general de poca potencia, y su nivel de ruido generalmente es medio.
		Aspectos particulares de operación y mantenimiento
		El funcionamiento del proceso requiere de niveles altos de supervisión, para controlar las condiciones de entrada del flujo, de la aireación, y la salida del efluente y de los lodos flotados o decantados.
		Referencias bibliográficas
		Metcalf y Eddy. 2007. <i>Water Reuse: Issues, Technologies, and Applications</i> . AECOM Press & McGraw Hill Professional. Estados Unidos.
		Romero R., Jairo. 2002. Tratamiento de aguas residuales: teoría y principios de diseño. Ed.2 ^a Escuela Colombiana de Ingeniería. Colombia.
		John A. 2000. Tratamientos de aguas negras y efluentes industriales. Acribia S.A., España.

No. 16	FICHA TÉCNICA	HUMEDALES CONSTRUIDOS DE FLUJO SUBSUPERFICIAL (SSFW)
Descripción general del sistema		
<p>Son zonas construidas por el hombre en las que, de forma controlada, se reproducen los procesos de eliminación de contaminantes que tienen lugar en los humedales naturales. El carácter artificial de este tipo de humedales viene definido por las siguientes particularidades: (i) El confinamiento del humedal se construye mecánicamente y se impermeabiliza para evitar pérdidas de agua al subsuelo, (ii) Se emplean sustratos diferentes al terreno original para el enraizamiento de las plantas y (iii) Se eligen las plantas que van a colonizar el humedal.</p> <p>El tratamiento de las aguas residuales se consigue haciendo pasar a través de zonas húmedas artificiales, en las que tienen lugar procesos físicos, biológicos y químicos, que conducen a unos efluentes tratados.</p> <p>La tecnología de humedales construidos puede ser considerada como un complejo ecosistema en el que los principales actores son: (i) El sustrato – que sirve de soporte a la vegetación y permite la fijación de la población microbiana en forma de biopelícula, que va a participar en la mayoría de los procesos de eliminación de los contaminantes presentes en las aguas a tratar, (ii) La vegetación (<i>macrófitas</i>) – que contribuye a la oxigenación del sustrato, a la eliminación de nutrientes y en la que también tiene lugar el desarrollo de biopelícula y (iii) El agua a tratar – que circula a través del sustrato y de la vegetación.(Salas Rodríguez et al. 2007)</p> <p>La vegetación que se emplea en este tipo de humedales es la misma que coloniza los humedales naturales, plantas acuáticas emergentes, especies anfibias que se desarrollan en aguas poco profundas, arraigadas al subsuelo.</p> <p>Este tipo de plantas presenta una elevada productividad y tolera bien las condiciones de falta de oxígeno que se producen en los suelos encharcados, al contar con canales o zonas de aireación (aerénquima), que facilitan el paso del oxígeno (producido por fotosíntesis), hasta la zona radicular. En los humedales construidos de flujo subsuperficial el agua circula exclusivamente a través de un material granular (arena, gravilla, grava), de permeabilidad suficiente, confinado en un espacio impermeabilizado, y que sirve de soporte para el enraizamiento de la vegetación.</p> <p>Los humedales de flujo subsuperficial SSFW suelen ser instalaciones de menor tamaño que los humedales FWS, ya que proporcionan una mayor superficie de soporte para la película bacteriana.</p> <p>La alimentación de estos humedales se efectúa de forma continua (Salas Rodríguez et al. 2007), atravesando las aguas horizontalmente el sustrato filtrante en el que se fija la vegetación (que debe tener un espesor acorde a la penetración de las raíces de la especie vegetal seleccionada). A la salida de los humedales, una tubería flexible permite el control del nivel de encharcamiento, que suele mantenerse unos 5 cm por debajo del nivel de los áridos, lo que impide que las aguas sean visibles y estén expuestas a la atmósfera.</p>		

No. 16	FICHA TÉCNICA	HUMEDALES CONSTRUIDOS DE FLUJO SUBSUPERFICIAL (SSFW)
		
Sistemas de Pretratamiento necesarios		
<p>El pretratamiento tiene como objetivo la eliminación de los objetos gruesos, las grasas y flotantes que se encuentran en las aguas residuales a tratar, dado que su presencia puede provocar obturaciones en las conducciones y la rápida colmatación de los sustratos filtrantes. Adicionalmente, para minimizar los riesgos de colmatación en el sustrato filtrante, se requiere la implementación de sistemas de eliminación de sólidos, como fosas sépticas, tanques imhoff, desarenadores o incluso una laguna anaerobia como paso previo a la alimentación a los humedales.</p>		
Aplicabilidad		
<p>Esta tecnología ha demostrado su aplicabilidad a nivel mundial en un amplio rango de climas. Aunque estrictamente la tecnología podría ser aplicable técnicamente a cualquier tamaño de población, al ser una tecnología extensiva puede requerir de grandes áreas.</p>		
Ventajas y desventajas		
<p>Los humedales construidos, como cualquier otro sistema de tratamiento de aguas residuales, presentan una serie de ventajas e inconvenientes, que pueden aconsejar o no su utilización en cada caso concreto.(Salas Rodríguez et al. 2007). Entre las ventajas se destacan:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sencillez de operación, al limitarse las labores de explotación a la retirada de residuos del pretratamiento y al corte y retirada de la vegetación una vez seca o de acuerdo con los esquemas de poda. • Consumo energético nulo, si las aguas residuales a tratar pueden circular por gravedad hasta los humedales. • Inexistencia de averías al carecer de equipos mecánicos. • Al operar con elevados tiempos de retención, toleran bien picos de caudal y carga. • Posible aprovechamiento de la biomasa vegetal generada (ornamentación o alimentación animal). • Perfecta integración ambiental. • En comparación con los humedales FWS requieren una menor área de terreno para su ubicación y no presentan problemas de olores o mosquitos al circular el agua subsuperficialmente. • Al tener un flujo subsuperficial no presenta problemas de olores ni de mosquitos. 		

No. 16	FICHA TÉCNICA	HUMEDALES CONSTRUIDOS DE FLUJO SUBSUPERFICIAL (SSFW)
Como principales desventajas pueden citarse:		
<ul style="list-style-type: none"> • Exigen una mayor superficie de terreno para su implementación que las tecnologías convencionales de tratamiento, lo cual se debe tener en cuenta especialmente en lugares donde los costos de terreno sean elevados. • Requiere de varios meses para su puesta en marcha y funcionamiento a pleno rendimiento. • Pérdidas de agua por evapotranspiración, lo que incrementa la salinidad de los efluentes tratados. • Presentan pocas posibilidades de actuación y control ante modificaciones de las condiciones operativas, por lo que es muy importante que estén bien concebidos, dimensionados y construidos. 		
Aspectos de diseño		
<p>Históricamente, la aproximación más común al diseño de este tipo de sistemas fue mediante un modelo de cinética de primer orden de flujo a pistón. Actualmente se ha demostrado que esto es un error pues este modelo no ajusta al comportamiento real de los sistemas, tendiendo a sobreestimar los rendimientos y a proporcionar tendencias incorrectas. (Kadlec & Wallace 2008)</p> <p>La complejidad del comportamiento de los humedales y por tanto de los cálculos necesarios para su dimensionamiento, hacen que no sea posible escribir una sola ecuación para tal fin. En este punto en la evolución de los sistemas de diseño de humedales construidos, los procedimientos de diseño se mueven hacia el mundo de las hojas de cálculo y los computadores personales, de manera que la aproximación de caja negra, con una sola formula ya no es suficiente.(Kadlec & Wallace 2008)</p> <p>En la actualidad el modelo más aceptado alrededor del mundo es el propuesto en (Kadlec & Wallace 2008) y que tiene dos partes, la primera relativa al dimensionamiento y la segunda relacionada con especificaciones físicas.</p> <p>Para el dimensionamiento se utiliza un modelo $P-k-C^*$ basado en desempeño, que no es tan simple como los métodos anteriores, ya que incluye más aspectos, logrando así una aproximación racional integrada al dimensionamiento de los sistemas. Se asume que el diseñador implementará los pasos mediante una hoja de cálculo en un computador personal. Este modelo tiene en cuenta las constantes de degradación (k), temperatura (Θ), y los efectos combinados de la hidráulica del sistema y los contaminantes atmosféricos (PTIS).</p> <p>Las características claves del procedimiento propuesto son similares al de los humedales FWS, pero más específico a las necesidades y prioridades de los humedales SSF.</p> <p>Básicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Establecer las concentraciones del afluente • Establecer las concentraciones del efluente basándose en la normatividad vigente y los factores de excedencia. • Establecer el caudal de entrada de diseño • Determinar la precipitación, evapotranspiración y temperatura del lugar. • Seleccionar el tipo de humedal construido (En este caso SSF) <p>Selección de parámetros y cálculo</p> <ul style="list-style-type: none"> • Selección de las constantes de reacción (k). • Seleccionar el multiplicador ($1+\Psi$) que representa la variabilidad estacional y estocástica de 		

No. 16	FICHA TÉCNICA	HUMEDALES CONSTRUIDOS DE FLUJO SUBSUPERFICIAL (SSFW)														
acuerdo a los intervalos de cumplimiento exigidos por la normatividad.																
<ul style="list-style-type: none"> • Seleccionar el número PTIS (número aparente de tanques en serie), que involucra la eficiencia hidráulica y los efectos de los contaminantes atmosféricos. Este valor puede ser diferente para cada uno de los contaminantes involucrados en el diseño. • Seleccionar la concentración de fondo C* para cada uno de los contaminantes evaluados. • Ajustar el área calculada hasta que se cumplan todos los objetivos de tratamiento. 																
Comprobación de restricciones e iteración.																
<ul style="list-style-type: none"> • Determinación de los rendimientos esperados para cada uno de los contaminantes estudiados. • Comprobación con gráficos de rendimiento para evaluación del riesgo. • Revisar las demandas básicas propuestas del sistema respecto a las restricciones biogeoquímicas (p.e. transferencia de oxígeno). • Ajustar el área calculada hasta que se cumplan todos los objetivos de tratamiento • Evaluar el impacto de la estacionalidad en los ciclos de crecimiento de las plantas (especialmente importante si la reducción de nitrógeno es uno de los objetivos de diseño). • Ajustar el área calculada de ser necesario, hasta que se cumplan todos los objetivos de tratamiento 																
En cuanto a las especificaciones físicas hay tres aspectos a tener en cuenta: (i) Diseño físico, (ii) construcción y (iii) establecimiento de la vegetación. Estos temas incluyen aspectos como el número de celdas a emplear, la relación de aspecto de las mismas, el tipo y tamaño del medio de soporte, la distribución del flujo, el movimiento de tierras, los diques, bermas, pendientes, impermeabilización, estructuras de control de nivel, estructuras de entrada y salida, selección de las plantas, diversidad de las mismas, densidad y siembra de propágulos.																
Rendimientos esperados																
En la siguiente tabla se presentan los rendimientos típicos de los humedales construidos de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales domésticas.(Salas Rodríguez et al. 2007)																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Constituyente</th> <th style="text-align: right;">%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: left;">SS</td> <td style="text-align: right;">85-95</td> </tr> <tr> <td style="text-align: left;">DBO₅</td> <td style="text-align: right;">80-90</td> </tr> <tr> <td style="text-align: left;">DQO</td> <td style="text-align: right;">75-85</td> </tr> <tr> <td style="text-align: left;">N_{total} (mg/l)</td> <td style="text-align: right;">20-40</td> </tr> <tr> <td style="text-align: left;">P_{total} (mg/l)</td> <td style="text-align: right;">15-30</td> </tr> <tr> <td style="text-align: left;">Coliformes fecales (NMP/100ml)</td> <td style="text-align: right;">90-99</td> </tr> </tbody> </table>			Constituyente	%	SS	85-95	DBO ₅	80-90	DQO	75-85	N _{total} (mg/l)	20-40	P _{total} (mg/l)	15-30	Coliformes fecales (NMP/100ml)	90-99
Constituyente	%															
SS	85-95															
DBO ₅	80-90															
DQO	75-85															
N _{total} (mg/l)	20-40															
P _{total} (mg/l)	15-30															
Coliformes fecales (NMP/100ml)	90-99															
Aspectos particulares de operación y mantenimiento																
<ul style="list-style-type: none"> • Se requiere operación y mantenimiento tradicional del pretratamiento y tratamiento primario. • Periódicamente se procederá a la limpieza de los sistemas de distribución ubicados en la cabecera de los humedales. La frecuencia de esta operación la marcará las condiciones operativas de cada situación concreta. • Se evitará en todo momento que animales puedan alimentarse de las especies vegetales implantadas. • Se evitará en lo posible pisar el sustrato filtrante para evitar la compactación del mismo y por 																

No. 16	FICHA TÉCNICA	HUMEDALES CONSTRUIDOS DE FLUJO SUBSUPERFICIAL (SSFW)
ende la disminución de su conductividad hidráulica.		
<ul style="list-style-type: none"> • En aquellos casos en que el objetivo de tratamiento involucre la remoción de nutrientes es recomendable cosechar la biomasa con el fin de potenciar dicha función. En este caso, la operación se debe hacer al finalizar el período vegetativo para evitar que partes secas caigan sobre el sustrato y liberen los nutrientes retenidos. En climas muy fríos se recomienda no realizar esta operación, ya que la vegetación ejerce un efecto de protección térmica. • Especialmente en los primeros meses de operación deben eliminarse las malas hierbas que hacen competencia a las macrófitas. Estas malas hierbas deben extraerse a mano, evitando en todo momento el uso de herbicidas. • Periódicamente se controlará la aparición de enfermedades en las plantas, si esto ocurre se iniciarán los pertinentes tratamientos, de acuerdo con las indicaciones del personal especializado. 		
Referencias bibliográficas		
<p>Kadlec R.H., y Wallace, S. <i>Treatment Wetlands</i>. Ed.2^a CRC. Estados Unidos.</p> <p>Rodríguez J., et al. 2007. Manual de tecnologías no convencionales para la depuración de aguas residuales. Ed.1^a Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua. España.</p> <p>USEPA. 2000. <i>Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters EPA/625/R-99/010</i>. DIANE Publishing. Estados Unidos.</p>		

No. 17	FICHA TÉCNICA	HUMEDALES CONSTRUIDOS DE FLUJO SUPERFICIAL (FWSW)
Descripción general del sistema		
<p>Son zonas construidas por el hombre en las que, de forma controlada, se reproducen los procesos de eliminación de contaminantes que tienen lugar en los humedales naturales. El carácter artificial de este tipo de humedales viene definido por las siguientes particularidades: (i) El confinamiento del humedal se construye mecánicamente y se impermeabiliza para evitar pérdidas de agua al subsuelo, (ii) Se emplean sustratos diferentes al terreno original para el enraizamiento de las plantas y (iii) Se eligen las plantas que van a colonizar el humedal.</p> <p>El tratamiento de las aguas residuales se consigue haciéndolas pasar a través de zonas húmedas artificiales, en las que tienen lugar procesos físicos, biológicos y químicos, que conducen a unos efluentes tratados.</p> <p>La tecnología de humedales construidos puede ser considerada como un complejo ecosistema en el que los principales actores son: (i) El sustrato – que sirve de soporte a la vegetación y permite la fijación de la población microbiana en forma de biopelícula, que va a participar en la mayoría de los procesos de eliminación de los contaminantes presentes en las aguas a tratar, (ii) La vegetación (<i>macrófitas</i>) – que contribuye a la oxigenación del sustrato, a la eliminación de nutrientes y en la que también tiene lugar el desarrollo de biopelícula y (iii) El agua a tratar – que circula a través del sustrato y de la vegetación.(Salas Rodríguez et al. 2007)</p> <p>La vegetación que se emplea en este tipo de humedales es la misma que coloniza los humedales naturales, plantas acuáticas emergentes, especies anfibias que se desarrollan en aguas poco profundas, arraigadas al subsuelo.</p> <p>Este tipo de plantas presenta una elevada productividad y tolera bien las condiciones de falta de oxígeno que se producen en los suelos encharcados, al contar con canales o zonas de aireación (aerénquima), que facilitan el paso del oxígeno (producido por fotosíntesis), hasta la zona radicular.</p> <p>En los humedales construidos de flujo superficial el agua se encuentra expuesta directamente a la atmósfera y circula, preferentemente, a través de los tallos de las plantas.</p> <p>La alimentación de estos humedales se efectúa de forma continua y el tratamiento tiene lugar en el tránsito de las aguas a través de los tallos y las raíces de la vegetación implantada. Tallos, raíces y hojas caídas sirven de soporte para la fijación de la película bacteriana responsable de los procesos de biodegradación, mientras que las hojas que están por encima de la superficie del agua dan sombra a la masa de agua, limitando el crecimiento de microalgas.(Salas Rodríguez et al. 2007)</p>		

No. 17	FICHA TÉCNICA	HUMEDALES CONSTRUIDOS DE FLUJO SUPERFICIAL (FWSW)
Sistemas de Pretratamiento necesarios		
<p>El pretratamiento tiene como objetivo la eliminación de los objetos gruesos, las grasas y flotantes que se encuentran en las aguas residuales a tratar, dado que su presencia puede provocar obturaciones en las conducciones y la rápida colmatación de los sustratos filtrantes.</p>		
<p>Adicionalmente, para minimizar los riesgos de colmatación en el sustrato filtrante, se requiere la implementación de sistemas de eliminación de sólidos, como fosas sépticas, tanques imhoff, desarenadores o incluso una laguna anaerobia como paso previo a la alimentación a los humedales.</p>		
Aplicabilidad		
<p>Esta tecnología ha demostrado su aplicabilidad a nivel mundial. Aunque estrictamente la tecnología podría ser aplicable técnicamente a cualquier tamaño de población, al ser una tecnología extensiva puede requerir de grandes áreas.</p>		
Ventajas y desventajas		
<p>Los humedales construidos, como cualquier otro sistema de tratamiento de aguas residuales, presentan una serie de ventajas e inconvenientes, que pueden aconsejar o no su utilización en cada caso concreto.(Salas Rodríguez et al. 2007). Entre las ventajas se destacan:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sencillez de operación, al limitarse las labores de explotación a la retirada de residuos del pretratamiento y al corte y retirada de la vegetación una vez seca o de acuerdo a los esquemas de poda. • Consumo energético nulo, si las aguas residuales a tratar pueden circular por gravedad hasta los humedales. • Inexistencia de averías al carecer de equipos mecánicos. • Al operar con elevados tiempos de retención, toleran bien los picos de caudal y carga. 		

No. 17	FICHA TÉCNICA	HUMEDALES CONSTRUIDOS DE FLUJO SUPERFICIAL (FWSW)
<ul style="list-style-type: none"> • Posible aprovechamiento de la biomasa vegetal generada (ornamentación o alimentación animal). • Perfecta integración ambiental 		
Como principales desventajas pueden citarse:		
<ul style="list-style-type: none"> • Exigen una mayor superficie de terreno para su implementación que las tecnologías convencionales de tratamiento, lo cual se debe tener en cuenta especialmente en lugares donde los costos de terreno sean elevados. • Requiere de varios meses para su puesta en marcha y funcionamiento a pleno rendimiento. • Pérdidas de agua por evapotranspiración, lo que incrementa la salinidad de los efluentes tratados. • Posible aparición de mosquitos al estar expuesta la superficie del agua. • Presentan pocas posibilidades de actuación y control ante modificaciones de las condiciones operativas, por lo que es muy importante que estén bien concebidos, dimensionados y construidos. 		
Aspectos de diseño		
<p>Históricamente, la aproximación más común al diseño de este tipo de sistemas fue mediante un modelo de cinética de primer orden de flujo a pistón. Actualmente se ha demostrado que esto es un error pues este modelo no ajusta al comportamiento real de los sistemas, tendiendo a sobreestimar los rendimientos y a proporcionar tendencias incorrectas. (Kadlec & Wallace 2008)</p> <p>La complejidad del comportamiento de los humedales y por tanto de los cálculos necesarios para su dimensionamiento, hacen que no sea posible escribir una sola ecuación para tal fin. En este punto en la evolución de los sistemas de diseño de humedales construidos, los procedimientos de diseño se mueven hacia el mundo de las hojas de cálculo y los computadores personales, de manera que la aproximación de caja negra, con una sola formula ya no es suficiente.(Kadlec & Wallace 2008). En la actualidad el modelo más aceptado alrededor del mundo es el propuesto en (Kadlec & Wallace 2008) y que tiene dos partes, la primera relativa al dimensionamiento y la segunda relacionada con especificaciones físicas.</p> <p>Para el dimensionamiento se utiliza un modelo $P-k-C^*$ basado en desempeño, que no es tan simple como los métodos anteriores, ya que incluye más aspectos, logrando así una aproximación racional integrada al dimensionamiento de los sistemas. Se asume que el diseñador implementará los pasos mediante una hoja de cálculo en un computador personal. Este modelo tiene en cuenta las constantes de degradación (k), temperatura (Θ), y los efectos combinados de la hidráulica del sistema y los contaminantes atmosféricos (PTIS).</p> <p>Las características claves del procedimiento propuesto son:</p> <p>Básicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Establecer las concentraciones del afluente • Establecer las concentraciones del efluente basándose en la normatividad vigente y los factores de excedencia. • Establecer el caudal de entrada de diseño • Determinar la precipitación, evapotranspiración y temperatura del lugar. 		

No. 17	FICHA TÉCNICA	HUMEDALES CONSTRUIDOS DE FLUJO SUPERFICIAL (FWSW)																														
<ul style="list-style-type: none"> • Seleccionar el tipo de humedal construido (En este caso FWS) 																																
<p>Selección de parámetros y cálculo</p> <ul style="list-style-type: none"> • Selección de las constantes de reacción (k) • Seleccionar el número PTIS (número aparente de tanques en serie), que involucra la eficiencia hidráulica y los efectos de los contaminantes atmosféricos. Este valor puede ser diferente para cada uno de los contaminantes involucrados en el diseño. • Ajustar el área calculada hasta que se cumplan todos los objetivos de tratamiento. 																																
<p>Comprobación de restricciones e iteración.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Determinación de los rendimientos esperados para cada uno de los contaminantes estudiados. • Comprobación de consistencia con los ciclos biogeoquímicos. • Comprobación de las limitaciones químicas • Comprobación con gráficos de rendimiento para evaluación del riesgo. • Ajustes por estacionalidad. 																																
<p>En cuanto a las especificaciones físicas hay tres aspectos a tener en cuenta: (i) Diseño físico, (ii) construcción y (iii) establecimiento de la vegetación. Estos temas incluyen aspectos como el número de celdas a emplear, la relación de aspecto de las mismas, la distribución del flujo, el movimiento de tierras, los diques, bermas, impermeabilización, estructuras de control de nivel, estructuras de entrada y salida, selección de las plantas, diversidad de las mismas, densidad y siembra de propágulos.</p>																																
Rendimientos esperados																																
<p>Dado que los humedales construidos de flujo superficial se suelen emplear para tratar aguas influentes de muy diversas características, en función de los rendimientos obtenidos en etapas previas, se presentan las características medias de los afluentes y efluentes de un conjunto de 27 humedales de este tipo sometidos a seguimiento por la (USEPA 2000).</p>																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Constituyente</th> <th>Afluente</th> <th>Efluente</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SS (mg/l)</td> <td>69</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>DBO₅(mg/l)</td> <td>70</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>N-NTK (mg/l)</td> <td>18</td> <td>11</td> </tr> <tr> <td>N-NH₃/NH₄ (mg/l)</td> <td>9</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>N-NO₃ (mg/l)</td> <td>3</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>N_{total} (mg/l)</td> <td>12</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>P_{total} (mg/l)</td> <td>5</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>P_{disuelto} (mg/l)</td> <td>3</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Coliformes fecales (NMP/100ml)</td> <td>73000</td> <td>1320</td> </tr> </tbody> </table>			Constituyente	Afluente	Efluente	SS (mg/l)	69	15	DBO ₅ (mg/l)	70	15	N-NTK (mg/l)	18	11	N-NH ₃ /NH ₄ (mg/l)	9	7	N-NO ₃ (mg/l)	3	1	N _{total} (mg/l)	12	4	P _{total} (mg/l)	5	2	P _{disuelto} (mg/l)	3	2	Coliformes fecales (NMP/100ml)	73000	1320
Constituyente	Afluente	Efluente																														
SS (mg/l)	69	15																														
DBO ₅ (mg/l)	70	15																														
N-NTK (mg/l)	18	11																														
N-NH ₃ /NH ₄ (mg/l)	9	7																														
N-NO ₃ (mg/l)	3	1																														
N _{total} (mg/l)	12	4																														
P _{total} (mg/l)	5	2																														
P _{disuelto} (mg/l)	3	2																														
Coliformes fecales (NMP/100ml)	73000	1320																														
Aspectos particulares de operación y mantenimiento																																
<ul style="list-style-type: none"> • Se requiere operación y mantenimiento tradicional del pretratamiento y tratamiento primario. • Periódicamente se procederá a la limpieza de los sistemas de distribución ubicados en la 																																

No. 17	FICHA TÉCNICA	HUMEDALES CONSTRUIDOS DE FLUJO SUPERFICIAL (FWSW)
cabecera de los humedales. La frecuencia de esta operación la marcará las condiciones operativas de cada situación concreta.		
<ul style="list-style-type: none"> • Debe controlarse la posible aparición de mosquitos, ya que éstos tienden a desarrollarse en aguas poco profundas. Las zonas con mayor riesgo para el desarrollo de estos insectos son las márgenes de los humedales, por lo que es recomendable que estos márgenes se encuentren desprovistos de vegetación, o que ésta se encuentre suficientemente dispersa para permitir el desarrollo de organismos depredadores de las larvas de mosquito. Otra posible medida paliativa pasa por construir los márgenes con una mayor inclinación (3/1 o más), para reducir las zonas potenciales de desarrollo de este tipo de insectos. • En aquellos casos en que el objetivo de tratamiento involucre la remoción de nutrientes es recomendable cosechar la biomasa con el fin de potenciar dicha función. En este caso, se debe tener en cuenta que esta operación provoca la resuspensión de parte de la materia depositada en el fondo del sistema. 		
Referencias bibliográficas		
<p>Kadlec R.H. , y Wallace, S. <i>Treatment Wetlands</i>. Ed.2^a CRC. Estados Unidos.</p> <p>Rodríguez J., et al. 2007. Manual de tecnologías no convencionales para la depuración de aguas residuales. Ed.1^a Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua. España.</p> <p>USEPA. 2000. <i>Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters EPA/625/R-99/010</i>. DIANE Publishing. Estados Unidos.</p>		

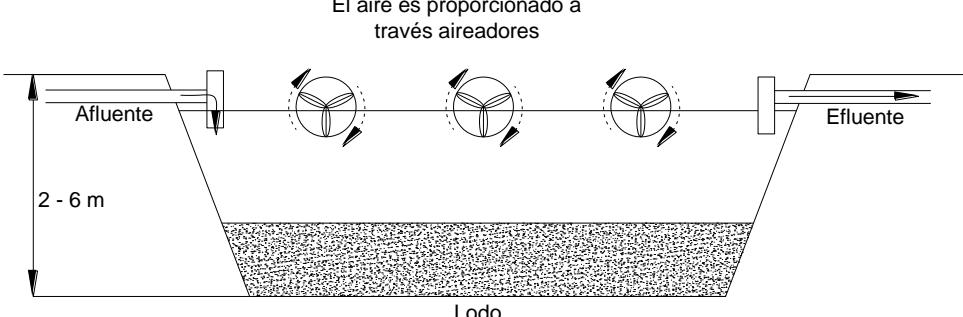
No. 18	FICHA TÉCNICA	HUMEDALES CONSTRUIDOS DE FLUJO VERTICAL (VFW)
Descripción general del sistema		
<p>Un humedal construido de flujo vertical es un lecho filtrante sembrado con plantas acuáticas. El agua residual es dosificada sobre toda la superficie del humedal mediante un sistema de aplicación. El agua fluye en forma vertical, descendiendo a través de la matriz del filtro. La diferencia con los sistemas de humedales construidos de flujo subsuperficial no es solamente la dirección del flujo, sino que en este caso el lecho se encuentra en condiciones aerobias.</p> <p>Mediante la dosificación intermitente de agua residual (entre cuatro y diez veces al día) el filtro pasa por etapas en las que se encuentra saturado y otras en la que no lo está, y por tanto tiene en algunos momentos condiciones aerobias y en otros anaerobias.</p> <p>La frecuencia de dosificación debe ser tal que permita que el agua percole a través de la totalidad del lecho de forma que el oxígeno se difunda por todo el medio filtrante llenando los espacios vacíos.</p> <p>Los humedales deben tener una correcta impermeabilización para evitar filtraciones y un sistema de tuberías para la recolección del agua tratada. El medio filtrante actúa como barrera física removiendo sólidos en suspensión, proporciona la superficie necesaria para que se fijen las bacterias y sirve de medio de soporte para la vegetación.</p> <p>Al igual que para los otros tipos de humedales construidos se utilizan macrófitas acuáticas por su capacidad para vivir en ambientes húmedos, preferiblemente plantas autóctonas de la región del proyecto. Si bien las plantas transfieren una pequeña cantidad de oxígeno a la zona de las raíces, que es colonizada por bacterias aerobias, su principal función en este tipo de humedales es la de ayudar a mantener la permeabilidad del filtro y proporcionar un hábitat para los microorganismos.</p> <p>Tras la aplicación de agua residual el agua percola a través del lecho no saturado y es filtrada por la matriz de arena/grava. Los nutrientes y la materia orgánica son absorbidos y degradados por la densa población de microorganismos fijos a la superficie del medio filtrante y las raíces.</p> <p>Entre las fases de dosificación se fuerza a los microorganismos a un periodo en que no reciben alimento se logra que la biomasa decrezca y la porosidad aumente. Una red de drenaje en la base recolecta las aguas tratadas.(Tilley et al. 2008)</p> <p>Este tipo de sistemas suele incluir la recirculación de efluente desde un sistema anaerobio de pretratamiento (tipo tanque séptico) con lo que se logra la eliminación biológica de nitrógeno, requiriéndose para ello, generalmente, de un bombeo.</p>		

No. 18	FICHA TÉCNICA	HUMEDALES CONSTRUIDOS DE FLUJO VERTICAL (VFW)
Sistemas de Pretratamiento necesarios		
<p>El pretratamiento tiene como objetivo la eliminación de los objetos gruesos, las grasas y flotantes que se encuentran en las aguas residuales a tratar, dado que su presencia puede provocar obturaciones en las conducciones y la rápida colmatación de los sustratos filtrantes.</p> <p>Adicionalmente, para minimizar los riesgos de colmatación en el sustrato filtrante, se requiere la implementación de sistemas de eliminación de sólidos, como fosas sépticas, tanques imhoff, desarenadores o incluso una laguna anaerobia como paso previo a la alimentación a los humedales.</p>		
Aplicabilidad		
<p>Esta tecnología ha demostrado su aplicabilidad a nivel mundial. Aunque estrictamente la tecnología podría ser aplicable técnicamente a cualquier tamaño de población, al ser una tecnología extensiva puede requerir de grandes extensiones de terreno.</p>		
Ventajas y desventajas		
<p>Los humedales construidos, como cualquier otro sistema de tratamiento de aguas residuales, presentan una serie de ventajas e inconvenientes, que pueden aconsejar o no su utilización en cada caso concreto.</p> <p>Entre las ventajas se destacan:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sencillez de operación, al limitarse las labores de explotación a la retirada de residuos del pretratamiento y al corte y retirada de la vegetación una vez seca o de acuerdo a los esquemas de poda. • En comparación con los humedales construidos de flujo horizontal, tiene mayores rendimientos en el proceso de nitrificación. • Al operar con elevados tiempos de retención, toleran bien las puntas de caudal y carga. • Posible aprovechamiento de la biomasa vegetal generada (ornamentación o alimentación animal). • Perfecta integración ambiental • En comparación con los humedales FWS y SSF requieren una menor área de terreno para su ubicación y no presentan problemas de olores o mosquitos al circular el agua 		

No. 18	FICHA TÉCNICA	HUMEDALES CONSTRUIDOS DE FLUJO VERTICAL (VFW)
subsuperficialmente.		
Como principales desventajas pueden citarse:		
<ul style="list-style-type: none"> • Necesita una fuente constante de energía eléctrica en caso de que los objetivos de tratamiento incluyan eliminación de nitrógeno, en cuyo caso se requiere bombeo para la recirculación del efluente. Una recirculación del 100% logra una desnitrificación del 50% (Brix & Arias 2005) • Exigen una mayor superficie de terreno para su implementación que las tecnologías convencionales de tratamiento, lo cual se debe tener en cuenta especialmente en lugares donde los costos de terreno sean elevados. • Presentan pocas posibilidades de actuación y control ante modificaciones de las condiciones operativas, por lo que es muy importante que estén bien concebidos, dimensionados y construidos. 		
Aspectos de diseño		
Varios países europeos como Austria, Dinamarca, Francia y Alemania han producido guías oficiales de diseño y construcción de humedales construidos de flujo vertical. En general el diseño se basa en el caudal y carga afluente, y en recomendaciones relacionadas con la profundidad y la granulometría de las distintas capas de medio de soporte, el tipo de impermeabilización, pendientes a emplear y especificaciones de las tuberías de distribución, aireación y drenaje, que incluyen diámetros, materiales.(Brix & Arias 2005), (Tilley et al. 2008), (ATV 1998)		
Rendimientos esperados		
Todos los tipos de humedales construidos remueven sólidos suspendidos eficientemente, con concentraciones en el efluente generalmente por debajo de 20 mg/l y con frecuencia por debajo de 10 mg/l aunque se tengan altas concentraciones en el afluente y siempre y cuando el sistema de pretratamiento funcione adecuadamente.		
Los humedales construidos remueven DBO eficientemente con concentraciones típicas en el efluente de menos de 20 mg/l, con rendimientos que pueden alcanzar perfectamente entre 90 y 95%. Debe tenerse en cuenta que todos los humedales, tanto naturales como construidos, tienen un ciclo del carbono interno que produce bajas concentraciones de DBO (1-3 mg/l), que fijan el límite inferior que puede lograrse en el efluente(Kadlec & Knight 1996).		
La remoción de nitrógeno y fósforo es más variable y depende del diseño y de las cargas afluentes. Los Humedales remueven más eficientemente nitrógeno que fósforo, específicamente los humedales construidos de flujo vertical son los más eficientes en la remoción de nitrógeno, alcanzando rendimientos del 90% de nitrificación y 50% de desnitrificación con la recirculación adecuada, con concentraciones típicas en el efluente por debajo de 5 mg/l de nitrógeno amoniacal debido a que son los únicos que pueden proporcionar la suficiente oxigenación que requiere el proceso biológico.		
Este tipo de sistemas remueve patógenos mediante diversos mecanismos con remociones de alrededor de dos unidades logarítmicas (90-99%).(Brix & Arias 2005).		
Aspectos particulares de operación y mantenimiento		

No. 18	FICHA TÉCNICA	HUMEDALES CONSTRUIDOS DE FLUJO VERTICAL (VFW)
<ul style="list-style-type: none"> • Se requiere operación y mantenimiento tradicional del pretratamiento y tratamiento primario. • Se establecerán los ciclos de operación, duración y frecuencia de los pulsos de alimentación de agua, de acuerdo con diseño y dependiendo de las cargas hidráulicas y orgánicas a aplicar. • Periódicamente se procederá a la limpieza de los sistemas de distribución ubicados en la superficie de los humedales para remover el lodo y el biofilm que puede tapar algunos agujeros. La frecuencia de esta operación la marcará las condiciones operativas de cada situación concreta. • Se evitará en todo momento que animales puedan alimentarse de las especies vegetales implantadas. • Se evitará en lo posible pisar el sustrato filtrante para evitar la compactación del mismo y por ende la disminución de su conductividad hidráulica. • Especialmente en los primeros meses de operación deben eliminarse las malas hierbas que hacen competencia a las macrófitas. Estas malas hierbas deben extraerse a mano, evitando en todo momento el uso de herbicidas. • Periódicamente se controlará la aparición de enfermedades en las plantas, si esto ocurre se iniciarán los pertinentes tratamientos, de acuerdo con las indicaciones del personal especializado. 		
Referencias bibliográficas		
ATV, 1998. <i>Principles For The Dimensioning, Construction And Operation Of Plant Beds For Communal Wastewater With Capacities Up To 1000 Total Number Of Inhabitants And Population Equivalents. ATV-A 262E.</i> ,		
Brix, H. & Arias, C.A., 2005. <i>The use of vertical flow constructed wetlands for on-site treatment of domestic wastewater: New Danish guidelines. Ecological Engineering</i> , 25(5), 491-500.		
Kadlec R.H. , y Wallace, S. <i>Treatment Wetlands</i> . Ed.2 ^a CRC. Estados Unidos.		
Tilley, E. et al., 2008. <i>Compendium of Sanitation Systems and Technologies</i> , Dübendorf, Switzerland.: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag).		

No. 19	FICHA TÉCNICA	LAGUNAS AIREADAS
Descripción general del sistema		
La tecnología de lagunaje consiste en un medio artificial diseñado y construido para que en él se den, de forma controlada, los procesos autodepuradores que tienen lugar de forma natural en ríos y lagos.		
Una laguna aireada es un gran reactor aerobio situado a la intemperie y que se encuentra mezclado. La aireación artificial de la laguna permite que esta pueda ser más profunda y tolere mayores cargas orgánicas que una laguna de maduración. Así mismo esta aireación permite tener mayor degradación de materia orgánica y mayor remoción de patógenos. Adicionalmente aumenta la turbiedad, lo que impide la penetración de la luz solar y por ende prácticamente elimina la actividad algal.		
Dados los cortos tiempos de retención la comunidad biológica en las lagunas aireadas no es tan diversa como en las lagunas facultativas, predominando las bacterias.		
Para prevenir la infiltración, la laguna debe contar con una buena impermeabilización.		
Generalmente se utiliza el material de la excavación para construir bermas alrededor de la laguna que ayudan a protegerla de la erosión causada por la escorrentía superficial. (Tilley et al. 2008)		
Los principales tipos de lagunas aireadas clasificados de acuerdo con la forma como se manejan los sólidos son(Metcalf & Eddy Inc et al. 2002):		
<ul style="list-style-type: none"> • Lagunas facultativas parcialmente aireadas (los sólidos se acumulan en el fondo de la laguna) • Lagunas aerobias con mezcla parcial (Los lodos se separan en un decantador secundario externo y deben ser tratados posteriormente) • Lagunas aerobias completamente mezcladas y con recirculación de sólidos. (Los sólidos se separan en un decantador secundario, una parte es recirculada y los lodos en exceso se envían a tratamiento). 		
En las lagunas facultativas parcialmente aireadas la energía suministrada solamente suple las necesidades de oxígeno para el tratamiento biológico, pero no es suficiente para mantener los sólidos en suspensión, de manera que parte de los sólidos del afluente y parte de los sólidos biológicos producidos se sedimentan y con el tiempo sufren una descomposición por vía anaerobia.		
En las lagunas aerobias con mezcla parcial la energía suministrada suple los requerimientos de oxígeno, pero es insuficiente para mantener todos los sólidos en suspensión. Operacionalmente los tiempos de retención hidráulico y de sólidos son iguales. Los sólidos en el efluente son removidos mediante decantación secundaria.		
Las lagunas aerobias completamente mezcladas y con recirculación de sólidos son esencialmente lo mismo que el proceso de lodos activados por aireación extendida que se trata en otra ficha, aunque con tiempos de retención hidráulicos mayores.		
La aireación mecánica provee oxígeno, mantiene a los organismos aerobios en suspensión y asegura una mezcla completa que permite obtener altas tasas de remoción de materia orgánica y nutrientes. Comúnmente tienen una profundidad de entre 2 y 5 m.(Metcalf & Eddy Inc et al. 2002).		

No. 19	FICHA TÉCNICA	LAGUNAS AIREADAS
Se emplean cuando se tiene una limitada disponibilidad de terreno o se desea un control estricto de olores. Dado que los equipos de aireación mezclan la laguna, se requiere complementarlos con la instalación de un sedimentador secundario para separar el efluente de los sólidos biológicos.		
 <p>El aire es proporcionado a través aireadores</p>		
Sistemas de Pretratamiento necesarios		
<p>El pretratamiento tiene como objetivo la eliminación de los objetos gruesos, las grasas y flotantes que se encuentran en las aguas residuales a tratar, dado que su presencia puede provocar obturaciones en las conducciones y problemas con los equipos de aireación.</p> <p>Normalmente sistema de pretratamiento para la tecnología de lagunaje está constituido por un desbaste de gruesos, un desarenado y un desengrasado.(Salas Rodríguez et al. 2007)</p>		
Aplicabilidad		
<p>Esta tecnología ha demostrado su aplicabilidad a nivel mundial en un amplio rango de climas. Aunque estrictamente la tecnología podría ser aplicable técnicamente a cualquier tamaño de población, al ser una tecnología extensiva puede requerir de grandes extensiones de terreno.</p>		
Ventajas y desventajas		
<p>Las ventajas de este tipo de lagunas son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Requiere una menor área en comparación con las lagunas de maduración. • Alta reducción de patógenos • Alta eficiencia en la remoción de carga orgánica. • Pueden recibir y contener grandes cantidades de agua residual, soportando sobrecargas hidráulicas y orgánicas. • Debido a los tiempos de retención prolongados y a los mecanismos del proceso, son sistemas altamente eficaces para la remoción de bacterias, virus y parásitos, comparativamente con otros tratamientos. • Mínimo mantenimiento y bajo costo de operación. • No presenta problemas de olores o insectos si se diseña adecuadamente. 		
<p>Las desventajas de estas lagunas son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los lodos biológicos presentes en el efluente requieren instalaciones adicionales y tratamiento posterior. • Requiere personal calificado para la operación y mantenimiento. 		

No. 19	FICHA TÉCNICA	LAGUNAS AIREADAS		
<ul style="list-style-type: none"> • Se requiere un suministro constante de energía eléctrica. • Tiene costos de capital y operación mayores que otros sistemas extensivos de tratamiento. • Requieren grandes áreas de terreno para su implantación. • Puede producir vectores de enfermedades si el manejo no es adecuado. • Permite pocas modificaciones en las condiciones de proceso. 				
Aspectos de diseño				
<p>A continuación se tratarán los aspectos a tener en cuenta para el diseño de lagunas aerobias con mezcla parcial, ya que los otros dos tipos se asimilan bien a sistemas de lagunas facultativas tradicionales o a sistemas de lodos activados.</p> <p>Los factores que se deben considerar en el proceso de diseño de este tipo de lagunas son (Metcalf & Eddy Inc et al. 2002):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Remoción de DBO: Ya que este tipo de lagunas se puede considerar como un reactor de mezcla completa sin recirculación, el diseño se basa en el tiempo de retención de sólidos que en este caso es igual al tiempo de retención hidráulico. El tiempo de retención de sólidos se debe seleccionar teniendo en cuenta que los microorganismos en suspensión deben flocular para su fácil remoción en la decantación secundaria y que se debe emplear un adecuado factor de seguridad. Típicamente se emplean tiempos de retención de sólidos de entre 3 y 6 días. • Características requeridas en el efluente: Los sólidos suspendidos en el efluente están compuestos por una pequeña cantidad de los sólidos del afluente, los sólidos biológicos producidos y ocasionalmente pequeñas cantidades de algas. Esto debe tenerse en cuenta porque estos sólidos aportan DBO y SST al efluente y pueden requerir de un proceso de decantación secundaria para separarlos y poder cumplir con los estándares de descarga exigidos. • Temperatura: Se debe tener en cuenta la relación entre la temperatura y la velocidad de reacción en los procesos biológicos, viéndose esta última afectada en climas fríos. La temperatura del agua en la laguna depende de la temperatura del agua afluente, la temperatura del aire, el área superficial de la laguna y el caudal de agua residual. • Requerimientos de oxígeno: Se debe proporcionar el oxígeno necesario para que las bacterias aerobias degraden la materia orgánica. • Requerimientos de energía para la mezcla: La energía requerida para mantener los sólidos en suspensión es función del tipo y diseño del sistema de aireación, de la concentración y naturaleza de los sólidos en suspensión, de la temperatura en la laguna y de la forma y geometría de la laguna. En general un mayor número de pequeños equipos de aireación es más eficiente que un pequeño número de equipos más grandes. • Separación de sólidos: Se puede hacer en un decantador secundario tradicional o en una laguna poco profunda diseñada para tal fin. En este último caso se debe tener en cuenta que puede que se produzcan malos olores como resultado de la descomposición anaerobia de los lodos. 				
Rendimientos esperados				
<p>Los rendimientos típicos de este tipo de sistemas son (Seoanez 1999):</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>Constituyente</td> <td>%</td> </tr> </table>			Constituyente	%
Constituyente	%			

No. 19	FICHA TÉCNICA	LAGUNAS AIREADAS	
		SS	70-92
		DBO ₅	60-97
		N _{total}	10-60
		P _{total}	25-40
		Coliformes fecales	99-99.5
		Generación de subproductos	
		Eventualmente es necesario extraer los lodos acumulados en las lagunas facultativas parcialmente aireadas y darles un tratamiento adecuado.	
		En los otros dos tipos de lagunas aireadas se debe proporcionar un tratamiento adecuado a los lodos biológicos provenientes del decantador secundario.	
		Aspectos particulares de operación y mantenimiento	
		<ul style="list-style-type: none"> • Se requiere operación y mantenimiento tradicional del pretratamiento y tratamiento primario. • Se requiere contar de manera permanente con personal calificado para las labores de mantenimiento de los equipos mecánicos de aireación. • Se deben retirar los lodos acumulados en las lagunas (parcialmente aireadas) periódicamente. 	
		Referencias bibliográficas	
		Metcalf & Eddy Inc et al., 2002. <i>Wastewater Engineering: Treatment and Reuse</i> 4º ed., McGraw Hill Higher Education.	
		Salas Rodríguez, J.J. et al., 2007. Manual de tecnologías no convencionales para la depuración de aguas residuales 1º ed., Sevilla: Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua.	
		Seoanez, M., 1999. Aguas Residuales Tratamiento Por Humedales Artificiales. Fundamentos científicos, Tecnologías, Diseño., Mundiprensa.	
		Tilley, E. et al., 2008. <i>Compendium of Sanitation Systems and Technologies</i> , Dübendorf, Switzerland.: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag).	

No. 20	FICHA TÉCNICA	LAGUNAS ANAEROBIAS
Descripción general del sistema		
<p>La tecnología de lagunas de estabilización consiste en un medio artificial diseñado y construido para que en él se den, de forma controlada, los procesos autodepuradores que tienen lugar de forma natural en ríos y lagos.</p> <p>Las lagunas anaerobias tienen profundidades de entre 3 y 5 m en las que imperan en toda la masa líquida, salvo en una delgada capa superficial, condiciones de ausencia de oxígeno disuelto, por lo que los microorganismos que en ellas se desarrollan son casi exclusivamente bacterias anaerobias. Entre los mecanismos que contribuyen a mantener el ambiente anaerobio en estas lagunas destacan:</p> <ul style="list-style-type: none"> (i) Las elevadas cargas orgánicas con las que se opera, que hacen que el posible oxígeno introducido en las lagunas con las aguas afluentes se consuma rápidamente. (ii) La generación de sulfuros, vía reducción de los sulfatos presentes en las aguas residuales que son tóxicos para las microalgas y que, además, al oscurecer las aguas, dificultan la penetración de la luz solar, imposibilitando su desarrollo. (iii) Su escasa superficie, lo que limita los fenómenos de reaireación superficial. <p>Las aguas residuales pretratadas ingresan en las lagunas anaerobias, en las que tiene lugar la decantación de la materia sedimentable, que se va acumulando en su fondo. Los lodos decantados experimentan reacciones de degradación anaerobia, por lo que se van mineralizando, a la vez que disminuyen su volumen.(Salas Rodríguez et al. 2007)</p>		
Sistemas de Pretratamiento necesarios		
<p>El pretratamiento tiene como objetivo la eliminación de los objetos gruesos, las grasas y flotantes que se encuentran en las aguas residuales a tratar, dado que su presencia puede provocar obturaciones en las conducciones.</p> <p>Normalmente el pretratamiento en la tecnología de lagunaje está constituido por un desbaste de gruesos, un desarenado y un desengrasado.(Salas Rodríguez et al. 2007)</p>		
Aplicabilidad		
<p>Esta tecnología ha demostrado su aplicabilidad a nivel mundial en un amplio rango de climas. Aunque estrictamente la tecnología podría ser aplicable técnicamente a cualquier tamaño de población, al ser una tecnología extensiva puede requerir de grandes áreas.</p>		
Ventajas y desventajas		
<p>El tratamiento por lagunas de estabilización anaerobias, como cualquier otro sistema de tratamiento de aguas residuales, presenta una serie de ventajas e inconvenientes, que pueden aconsejar o no su utilización en cada situación concreta.</p>		

No. 20	FICHA TÉCNICA	LAGUNAS ANAEROBIAS		
Las ventajas de este tipo de lagunas son:				
<ul style="list-style-type: none"> • Bajo costo de inversión (que es función básicamente del costo del terreno). • Facilidad constructiva, siendo el movimiento de tierras la actividad principal de construcción. • Consumo energético nulo, si el agua a tratar puede llegar por gravedad hasta la planta de tratamiento. Las únicas fuentes de energía son el sol y el viento. • Ausencia de averías electromecánicas al carecer de equipos. • Con la observación visual y olfativa de la laguna se puede tener una primera estimación de su estado operativo. • Escaso y simple mantenimiento, que se limita a retirar los residuos del pretratamiento y a mantener las superficies de las lagunas libres de flotantes para evitar la proliferación de mosquitos. • Escasa producción de lodos, experimentando éstos una alta mineralización a consecuencia de los elevados tiempos de retención con que se opera, lo que facilita enormemente su manipulación y evacuación. • Gran inercia por los elevados volúmenes, y por tanto largos tiempos de detención, lo que le permite una fácil adaptación a cambios de caudal y de carga orgánica, muy habituales en las poblaciones de pequeño tamaño. • Se puede emplear para tratar aguas residuales industriales con elevados contenidos biodegradables. Las lagunas anaerobias constituyen un excelente pretratamiento para vertidos con elevados contenidos en materia orgánica y sólidos en suspensión.(Salas Rodríguez et al. 2007) 				
Los principales inconvenientes de la tecnología son:				
<ul style="list-style-type: none"> • Elevados requisitos de terreno para su instalación. • La implantación del sistema de tratamiento puede verse imposibilitada en zonas frías o de baja radiación solar. • Generación de olores desagradables • Posible proliferación de mosquitos. • Pérdidas de agua por evaporación.(Salas Rodríguez et al. 2007) 				
Aspectos de diseño				
Actualmente no hay un acuerdo sobre la mejor forma de diseñar lagunas anaerobias, los sistemas se diseñan en base a carga superficial, carga volumétrica y tiempo de retención hidráulico. Aunque se emplea con frecuencia, el diseño basado en la carga superficial no es adecuado. Es preferible diseñar basado en la carga volumétrica, la temperatura del líquido, y el tiempo de retención hidráulico.(Crites et al. 2005).				
Rendimientos esperados				
Los rendimientos típicos de este tipo de sistemas son (Seoanez 2005)(Mara 1996):				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left; padding: 5px;">Constituyente</th> <th style="text-align: right; padding: 5px;">%</th> </tr> </thead> </table>			Constituyente	%
Constituyente	%			

No. 20	FICHA TÉCNICA	LAGUNAS ANAEROBIAS	
		SS	60-80
		DBO ₅	40-70
		N _{total}	30-40
		P _{total}	10-20
		Coliformes fecales	99-99.9
		Generación de subproductos	
		Tras un período de operación, que suele oscilar entre 5 y 10 años, se produce la purga de los lodos en exceso que al encontrarse altamente mineralizados tan solo precisan ser deshidratados antes de su disposición final.	
		Como subproducto de las reacciones anaerobias que tienen lugar en estas lagunas se genera biogás, mezcla de metano y anhídrido carbónico, que se desprende en forma de burbujas a través de la superficie de las lagunas.(Salas Rodríguez et al. 2007)	
		Aspectos particulares de operación y mantenimiento	
		<ul style="list-style-type: none"> • Periódicamente se debe proceder a la retirada de los flotantes que aparezcan en la superficie de las lagunas, empleando para ello un recoge hojas de piscina y aprovechando los momentos en que los vientos reinantes acumulen los residuos en los bordes. • Con una frecuencia que en principio puede fijarse entre 5 y 10 años, se llevará a cabo la purga de los lodos que se han ido acumulando en el fondo de las lagunas en operación. Esta extracción se llevará a cabo preferiblemente en húmedo, empleando para ello una bomba sumergible, que se irá desplazando por todo el fondo de la laguna, teniendo cuidado de no dañar la impermeabilización. Si la topografía lo permite se debe diseñar un sistema de vaciado a la fuente receptora. • Se debe hacer una inspección periódica del estado de la impermeabilización y de los taludes para en caso de que se encuentren dañados proceder a su reparación inmediata.(Salas Rodríguez et al. 2007) 	
		Referencias bibliográficas	
		Crites, R.W., Middlebrooks, E.J. & Reed, S.C., 2005. <i>Natural Wastewater Treatment Systems</i> 1º ed., CRC.	
		Mara, D., 1996. <i>Low Cost Urban Sanitation</i> , Wiley.	
		Salas Rodríguez, J.J. et al., 2007. Manual de tecnologías no convencionales para la depuración de aguas residuales 1º ed., Sevilla: Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua.	
		Seoanez, M., 2005. Depuración de las aguas residuales por tecnologías ecológicas y de bajo costo, Mundi-Prensa Libros.	

No. 21	FICHA TÉCNICA	LAGUNAS DE MADURACIÓN
Descripción general del sistema		
<p>La tecnología de lagunaje consiste en un medio artificial diseñado y construido para que en él se den, de forma controlada, los procesos autodepuradores que tienen lugar de forma natural en ríos y lagos.</p> <p>En estas lagunas de maduración, con espesores de lámina de agua entre 0.8 y 1.0 m, al soportar bajas cargas orgánicas (se sitúan al final de la línea de tratamiento), y darse en ellas las condiciones propicias para la penetración de la luz solar, (aguas relativamente claras y poco profundas), adecuadas por tanto para el desarrollo de microalgas, predominan condiciones de suficiencia de oxígeno y, en consecuencia, en ellas predominan los microorganismos heterótrofos aerobios.</p> <p>El principal objetivo de las lagunas de maduración se centra en conseguir un elevado grado de desinfección de las aguas, mediante abatimiento de un gran número de organismo presentes, a la vez que logran también reducir la presencia de microalgas en el efluente depurado(Salas Rodríguez et al. 2007), lo que permite su reutilización en agricultura o acuicultura.</p> <p>Las lagunas de maduración pueden entonces colocarse al final de línea de otros sistemas de tratamiento de aguas residuales urbanas con el objeto de mejorar los efluentes tratados, especialmente en lo referente al abatimiento de microorganismos patógenos.</p> <p>Las lagunas de maduración cumplen además una triple función:</p> <ul style="list-style-type: none"> (i) Reducir la DBO y los SS del efluente de una laguna facultativa. (ii) Remover bacterias fecales (iii) Reducir la concentración de nitrógeno amoniacal (Mara 2006). 		
Sistemas de Pretratamiento necesarios		
<p>Las lagunas de maduración se emplean como un proceso de pulimento, y específicamente para desinfección por lo que deben estar precedidas por un sistema secundario de tratamiento.</p>		
Aplicabilidad		
<p>Esta tecnología ha demostrado su aplicabilidad a nivel mundial en un amplio rango de climas. Aunque estrictamente la tecnología podría ser aplicable técnicamente a cualquier tamaño de población, al ser una tecnología extensiva puede requerir de grandes áreas.</p>		
Ventajas y desventajas		
<p>Las lagunas de maduración, como cualquier otro sistema de tratamiento de aguas residuales, presentan una serie de ventajas e inconvenientes, que pueden aconsejar o no su utilización en cada situación concreta.</p>		

No. 21	FICHA TÉCNICA	LAGUNAS DE MADURACIÓN
Las ventajas de este tipo de lagunas son:		
<ul style="list-style-type: none"> • Bajo costo de inversión (que es función básicamente del costo del terreno). • Facilidad constructiva, siendo el movimiento de tierras la actividad principal de construcción. • Consumo energético nulo, si el agua a tratar puede llegar por gravedad hasta la planta de tratamiento. Las únicas fuentes de energía son el sol y el viento. • Ausencia de averías electromecánicas al carecer de equipos. • Con la observación visual y olfativa de la laguna se puede tener una primera estimación de su estado operativo. • Escaso y simple mantenimiento, que se limita a retirar los residuos del pretratamiento y a mantener las superficies de las lagunas libres de flotantes para evitar la proliferación de mosquitos. • Escasa producción de lodos, experimentando éstos una alta mineralización a consecuencia de los elevados tiempos de retención con que se opera, lo que facilita enormemente su manipulación y evacuación. • Gran inercia por los elevados volúmenes, y por tanto largos tiempos de detención, lo que le permite una fácil adaptación a cambios de caudal y de carga orgánica, muy habituales en las poblaciones de pequeño tamaño. • Alto poder de abatimiento de microorganismos patógenos. • Buena integración medioambiental.(Salas Rodríguez et al. 2007) 		
Los principales inconvenientes de la tecnología son:		
<ul style="list-style-type: none"> • Elevados requisitos de terreno para su instalación. • La implantación del sistema de tratamiento puede verse imposibilitada en zonas frías o de baja radiación solar. • Posible proliferación de mosquitos. • Pérdidas de agua por evaporación. • Elevadas concentraciones de sólidos en suspensión en el efluente como consecuencia de la proliferación de microalgas (Salas Rodríguez et al. 2007), por lo que puede requerirse un pulimiento final para cumplir con los requerimientos normativos. 		
Aspectos de diseño		
El diseño de las lagunas de maduración se basa en la reducción bacteriana y su finalidad es eliminar los microorganismos patógenos. Los factores que de una u otra forma influyen en la muerte de microorganismos son: (i) La temperatura, (ii) el pH, (iii) la disponibilidad de nutrientes, (iv) la sedimentación, (v) la radiación ultravioleta, (vi) la presencia de organismos depredadores, (vii) las sustancias tóxicas, (viii) la carga microbiana, (ix) la dilución y (x) la acción del viento.(Alamancos et al. 1999)		
El tiempo de retención y la temperatura son los principales factores involucrados en el diseño de las lagunas de maduración, diseño que se basa en modelos cinéticos para la eliminación de organismos patógenos, representados generalmente por medio de los coliformes fecales. La mayoría de los modelos proponen cinéticas de primer orden, siendo la ecuación de diseño más utilizada la		

No. 21	FICHA TÉCNICA	LAGUNAS DE MADURACIÓN														
desarrollada por Marais en 1974. (Salas Rodríguez et al. 2007)																
El método de Marais al igual que la gran mayoría de los empleados en el diseño de lagunas de maduración, parte de una serie de supuestos y adopta la Ley de Chick para representar la degradación bacteriana, la cual manifiesta una cinética de primer orden. El problema de emplear estos métodos es que la constante de degradación bacteriana, no refleja los factores que influyen en la muerte de los microorganismos y que se citaron anteriormente.																
Finalmente, la OMS recomienda un tiempo mínimo de retención de 5 días si se tiene una sola laguna y de 3 días para cada laguna si son varias en serie. Tras el dimensionamiento debe comprobarse que la laguna de maduración no supere la carga orgánica superficial de la laguna facultativa precedente, recomendándose que no supere el 75% de esta última carga.(Salas Rodríguez et al. 2007)																
Rendimientos esperados																
Los rendimientos o eficiencias típicos de este tipo de sistemas se ven en la siguiente tabla (Mara 2004) y dependen del tiempo de retención hidráulico en las lagunas y del número de lagunas de maduración en serie que se emplee.																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Constituyente</th><th style="text-align: center;">%</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SS</td><td style="text-align: center;">18-40</td></tr> <tr> <td>DBO₅</td><td style="text-align: center;">45-60</td></tr> <tr> <td>N Amoniacal</td><td style="text-align: center;">25-70</td></tr> <tr> <td>P_{soluble}</td><td style="text-align: center;">8-35</td></tr> <tr> <td>Coliformes fecales</td><td style="text-align: center;">95-99.99</td></tr> <tr> <td>Rotavirus</td><td style="text-align: center;">99.9-99.97</td></tr> </tbody> </table>			Constituyente	%	SS	18-40	DBO ₅	45-60	N Amoniacal	25-70	P _{soluble}	8-35	Coliformes fecales	95-99.99	Rotavirus	99.9-99.97
Constituyente	%															
SS	18-40															
DBO ₅	45-60															
N Amoniacal	25-70															
P _{soluble}	8-35															
Coliformes fecales	95-99.99															
Rotavirus	99.9-99.97															
En sistemas de lagunas de estabilización se da también una muy buena remoción de huevos de helminto, pero se considera que esta ocurre principalmente en las primeras dos lagunas en serie, que podrían ser en el esquema tradicional una laguna anaerobia y una laguna facultativa (Mara 2004).																
Generación de subproductos																
Tras un período de operación, que suele oscilar entre 10 y 20 años, se produce la purga de los lodos en exceso que al encontrarse altamente mineralizados tan solo precisan ser deshidratados antes de su disposición final (Tilley et al. 2008).																
Aspectos particulares de operación y mantenimiento																
<ul style="list-style-type: none"> • Se requiere operación y mantenimiento tradicional del pretratamiento y tratamiento primario. • Periódicamente se debe proceder a la retirada de los flotantes que aparezcan en la superficie de las lagunas, empleando para ello un recoge hojas de piscina y aprovechando los momentos en que los vientos reinantes acumulen los residuos en los bordes. • Con una frecuencia que en principio puede fijarse entre 10 y 20 años, se llevará a cabo la purga 																

No. 21	FICHA TÉCNICA	LAGUNAS DE MADURACIÓN
		<p>de los lodos que se han ido acumulando en el fondo de las lagunas en operación. Esta extracción se llevará a cabo preferiblemente en húmedo, empleando para ello una bomba sumergible, que se irá desplazando por todo el fondo de la laguna, teniendo cuidado de no dañar la impermeabilización.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se debe hacer una inspección periódica del estado de la impermeabilización y de los taludes para en caso de que se encuentren dañados proceder a su reparación inmediata.(Salas Rodríguez et al. 2007)
Referencias bibliográficas		
Alamancos, J.M., Llórens, M. & Sáez, J., 1999. Diseño de sistemas de depuración de aguas residuales por lagunaje., Murcia: DM.		
Mara, D., 2004. <i>Domestic Wastewater Treatment in Developing Countries</i> , Earthscan Publications Ltd.		
Mara, D., 2006. <i>Natural Wastewater treatment. Good practice in water and environmental management.</i> , CIWEM.		
Salas Rodríguez, J.J. et al., 2007. Manual de tecnologías no convencionales para la depuración de aguas residuales 1º ed., Sevilla: Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua.		
Tilley, E. et al., 2008. <i>Compendium of Sanitation Systems and Technologies</i> , Dübendorf, Switzerland.: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag).		

No. 22	FICHA TÉCNICA	LAGUNAS FACULTATIVAS
Descripción general del sistema		
<p>La tecnología de lagunaje consiste en un medio artificial diseñado y construido para que en él se den, de forma controlada, los procesos autodepuradores que tienen lugar de forma natural en ríos y lagos.</p> <p>Las lagunas facultativas pueden servir de tratamiento primario, cuando provienen del pretratamiento o secundarias cuando reciben el efluente de lagunas anaerobias o tanques sépticos. En ambos casos con profundidades de 1 a 2m, usualmente 1.5 m(Mara 2006). Se establecen, de forma natural, tres estratos claramente diferenciados:</p> <ul style="list-style-type: none"> (i) En el fondo de estas lagunas, donde se acumulan los sedimentos, se establecen condiciones de anaerobiosis. (ii) En la zona intermedia, en la que se dan condiciones muy variables, se establece una zona en la que predominan las bacterias de tipo facultativo, de las que toman el nombre este tipo de lagunas. (iii) En la zona superficial se instauran condiciones aerobias, gracias a la actividad fotosintética de las microalgas que en ella se desarrollan y, en menor medida, a fenómenos de reaireación superficial inducidos por el viento. <p>El espesor de estos estratos depende de:</p> <ul style="list-style-type: none"> (i) El momento del día. Durante la noche, al cesar la actividad fotosintética, decrece el espesor de la capa aerobia, incrementándose la anaerobia. (ii) El nivel de carga orgánica aplicada a la laguna. Si se sobrecarga la laguna, la zona anaerobia puede extenderse a todo su volumen. <p>En las lagunas facultativas se puede encontrar múltiples tipos de microorganismos, desde anaerobios estrictos en el lodo de fondo, hasta aerobios estrictos en la zona intermedia adyacente a la superficie. Pero los seres mejor adaptados son los microorganismos facultativos, dado que pueden sobrevivir a las condiciones cambiantes de oxígeno disuelto típicas de estas lagunas a lo largo del día y del año. Además de bacterias y protozoos, es esencial la presencia de microalgas, que son la principal fuente de oxígeno.(Salas Rodríguez et al. 2007)</p>		

No. 22	FICHA TÉCNICA	LAGUNAS FACULTATIVAS
Sistemas de Pretratamiento necesarios		
<p>El pretratamiento tiene como objetivo la eliminación de los objetos gruesos, las grasas y flotantes que se encuentran en las aguas residuales a tratar, dado que su presencia puede provocar obturaciones en las conducciones.</p> <p>Normalmente el pretratamiento en la tecnología de lagunas de estabilización está constituido por un desbaste de gruesos, un desarenador y un desengrasado.(Salas Rodríguez et al. 2007)</p>		
Aplicabilidad		
<p>La tecnología de lagunas de estabilización facultativas ha demostrado su aplicabilidad a nivel mundial en un amplio rango de climas. Aunque estrictamente la tecnología podría ser aplicable técnicamente a cualquier tamaño de población, al ser una tecnología extensiva puede requerir de grandes áreas.</p>		
Ventajas y desventajas		
<p>El lagunaje como cualquier otro sistema de tratamiento de aguas residuales, presenta una serie de ventajas e inconvenientes, que pueden aconsejar o no su utilización en cada situación concreta.</p> <p>Las ventajas de este tipo de lagunas son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bajo costo de inversión (que es función básicamente del costo del terreno). • Facilidad constructiva, siendo el movimiento de tierras la actividad principal de construcción. • Consumo energético nulo, si el agua a tratar puede llegar por gravedad hasta la planta de tratamiento. Las únicas fuentes de energía requeridas son el sol y el viento. • Ausencia de averías electromecánicas al carecer de equipos. • Con la observación visual y olfativa de la laguna se puede tener una primera estimación de su estado operativo. • Escaso y simple mantenimiento, limitado a retirar los residuos del pretratamiento y a mantener las superficies de las lagunas libres de flotantes para evitar la proliferación de mosquitos. • Escasa producción de lodos, experimentando éstos una alta mineralización a consecuencia de los elevados tiempos de retención con que se opera, lo que facilita enormemente su manipulación y evacuación. • Gran inercia por los elevados volúmenes, y por tanto largos tiempos de detención, lo que le permite una fácil adaptación a cambios de caudal y de carga orgánica, muy habituales en las poblaciones de pequeño tamaño. • Alto poder de abatimiento de microorganismos patógenos. • Buena integración medioambiental.(Salas Rodríguez et al. 2007) <p>Los principales inconvenientes de la tecnología son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Elevados requisitos de terreno para su instalación. • La implantación del sistema de tratamiento puede verse imposibilitada en zonas frías o de baja radiación solar. • Posible proliferación de mosquitos. • Pérdidas de agua por evaporación. • Elevadas concentraciones de sólidos en suspensión en el efluente como consecuencia de la proliferación de microalgas (Salas Rodríguez et al. 2007), por lo que puede requerirse un pulimiento final para cumplir con los requerimientos normativos. 		
Aspectos de diseño		

No. 22	FICHA TÉCNICA	LAGUNAS FACULTATIVAS
		<p>Las lagunas facultativas se diseñan con la finalidad de que puedan aceptar cualquiera de los afluentes procedentes de una laguna anaerobia, tanque séptico, o tanque de sedimentación convencional, o bien, recibir aguas residuales crudas, lo cual es muy común en EE.UU. (Salas Rodríguez et al. 2007)</p> <p>En el dimensionamiento de lagunas facultativas cabe distinguir entre métodos racionales, matemáticos y empíricos. Los métodos racionales intentan explicar en términos científicos lo que ocurre en las lagunas, asumiendo hipótesis restrictivas, como la composición constante de la alimentación durante todo el año, un régimen hidráulico ideal de flujo, y una cinética de reacción de primer orden, con una constante de velocidad que varía exponencialmente con la temperatura. Los métodos matemáticos si bien, pueden ser considerados como una subcategoría de los métodos racionales, se diferencian de los mismos por hacer uso de hipótesis muy diferentes, considerando las lagunas como sistemas dinámicos, con cinéticas complejas y regímenes de flujo no ideales. Por último, los métodos empíricos son relaciones matemáticas sencillas, deducidas de la observación experimental (Salas Rodríguez et al. 2007) y que se deben emplear con cuidado dependiendo de las condiciones locales en que se realizó la experimentación y su posible extrapolación a otros lugares.</p> <p>Los parámetros de diseño más utilizados para el diseño de lagunas facultativas son: (Alamancos et al. 1999)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Carga superficial para la DBO5, kg DBO5/ha.día: La adopción de algún valor para la carga orgánica basado en experiencias locales exitosas, constituye una aproximación empírica de diseño. A pesar de ello, viene siendo el método preferido por la mayoría de diseñadores ya que, existe una considerable evidencia de que la carga superficial es un parámetro apropiado y útil para el diseño de este tipo de lagunas. • Profundidad de la laguna, m: La profundidad de una laguna facultativa debe elegirse cuidadosamente. Sería poco profundo si tanto las raíces de hierbas como los filamentos de las algas se depositan en el fondo, lo que ocasionaría la interrupción del flujo, acumulación de detritus e inhibiría la mezcla. Si la laguna fuera muy profunda, se inhibiría la mezcla favorable y la tan beneficiosa radiación solar únicamente penetraría una fracción limitada de la profundidad total de la laguna. • Tiempo de retención hidráulico, días: Está directamente relacionado con la temperatura de operación del sistema, requiriéndose mayores tiempos de retención y por ende mayores superficies de terreno en los climas más fríos. <p>Se considera que la mejor forma de diseñar lagunas facultativas es basándose en la carga superficial de DBO₅ (λ_s, kg/ha día). Se utiliza la carga superficial y no la carga volumétrica como en las lagunas anaerobias, porque la luz necesaria para la fotosíntesis de las algas llega a la laguna desde el sol a la superficie de la laguna. Entonces la producción de oxígeno por parte de las algas es función del área y por ende la carga de DBO, que es una demanda de oxígeno, es también función del área superficial (Mara 2004).</p> <p>El valor admisible de esta carga superficial se incrementa con la temperatura, pero debe ser elegido con cuidado, ya que si se aplica una carga excesiva a la laguna esta se volverá anaerobia.</p> <p>Todos los métodos de diseño presentan una serie de limitaciones a la hora de utilizarlos en un</p>

No. 22	FICHA TÉCNICA	LAGUNAS FACULTATIVAS												
proyecto que involucre lagunas facultativas. La principal limitación es la selección de la constante velocidad de reducción para la DBO ₅ , existen además otros parámetros difíciles de estimar, como por ejemplo, el valor del módulo adimensional de dispersión para los modelos que involucran las características fluidodinámicas de la laguna (Alamancos et al. 1999).														
Rendimientos esperados														
Los rendimientos típicos de este tipo de sistemas son (Seoanez 2005):														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Constituyente</th><th>%</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SS</td><td>50-90</td></tr> <tr> <td>DBO₅(filtrada)</td><td>60-96</td></tr> <tr> <td>N_{total}</td><td>60-70</td></tr> <tr> <td>P_{total}</td><td>10-40</td></tr> <tr> <td>Coliformes fecales, NMP/100 ml</td><td>99-99.9</td></tr> </tbody> </table>			Constituyente	%	SS	50-90	DBO ₅ (filtrada)	60-96	N _{total}	60-70	P _{total}	10-40	Coliformes fecales, NMP/100 ml	99-99.9
Constituyente	%													
SS	50-90													
DBO ₅ (filtrada)	60-96													
N _{total}	60-70													
P _{total}	10-40													
Coliformes fecales, NMP/100 ml	99-99.9													
Generación de subproductos														
Tras un período de operación, que suele oscilar entre 10 y 20 años, se produce la purga de los lodos en exceso que al encontrarse altamente mineralizados tan solo precisan ser deshidratados antes de su disposición final (Tilley et al. 2008).														
Aspectos particulares de operación y mantenimiento														
<ul style="list-style-type: none"> • Se requiere operación y mantenimiento tradicional del pretratamiento y tratamiento primario que preceden a la laguna facultativa. • Periódicamente se debe proceder a la retirada de los flotantes que aparezcan en la superficie de las lagunas, empleando para ello un recoge hojas de piscina y aprovechando los momentos en que los vientos reinantes acumulen los residuos en los bordes. • Con una frecuencia que en principio puede fijarse entre 10 y 20 años, se llevará a cabo la purga de los lodos que se han ido acumulando en el fondo de las lagunas en operación. Esta extracción se llevará a cabo preferiblemente en húmedo, empleando para ello una bomba sumergible, que se irá desplazando por todo el fondo de la laguna, teniendo cuidado de no dañar la impermeabilización. • Se debe realizar una inspección periódica del estado de la impermeabilización y de los taludes para en caso de que se encuentren dañados proceder a su reparación inmediata.(Salas Rodríguez et al. 2007) 														
Referencias bibliográficas														
Alamancos, J.M., Llórens, M. & Sáez, J., 1999. Diseño de sistemas de depuración de aguas residuales por lagunaje., Murcia: DM.														
Mara, D., 2004. <i>Domestic Wastewater Treatment in Developing Countries</i> , Earthscan Publications Ltd.														
Mara, D., 2006. <i>Natural Wastewater treatment. Good practice in water and environmental management.</i> , CIWEM.														

No. 22	FICHA TÉCNICA	LAGUNAS FACULTATIVAS
<p>Salas Rodríguez, J.J. et al., 2007. Manual de tecnologías no convencionales para la depuración de aguas residuales 1º ed., Sevilla: Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua.</p> <p>Seoanez, M., 2005. Depuración de las aguas residuales por tecnologías ecológicas y de bajo costo, Mundi-Prensa Libros.</p> <p>Tilley, E. et al., 2008. <i>Compendium of Sanitation Systems and Technologies</i>, Dübendorf, Switzerland.: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag).</p>		

No. 23	FICHA TÉCNICA	LODOS ACTIVADOS – AIREACIÓN DE ALTA CARGA
Descripción general del sistema		
<p>Consiste en procesos de tratamiento biológico de aguas residuales en ambiente aerobio, donde las aguas residuales son aireadas en un tanque que contiene una alta concentración de microorganismos degradadores. Este sistema es importante, para la absorción de materia coloidal, iónica y en suspensión, contenida en el agua residual y para la separación rápida, eficiente y económica de la masa microbiana del agua residual tratada. Sus principales objetivos son la oxidación de la materia biodegradable en el tanque de aireación y la floculación que permite la separación de la biomasa nueva del efluente tratado.</p> <p>Esta tecnología es una modificación del proceso convencional de lodos activados, en el que se combinan altas concentraciones de sólidos en el reactor con elevadas cargas volumétricas. Permite trabajar con cargas másicas muy elevadas y elevada edad del lodo, pero con tiempos de retención hidráulicos cortos. Es importante garantizar una buena mezcla.</p>		
Sistemas de Pretratamiento necesarios		
<p>El agua residual debe haber pasado por un proceso primario de tratamiento, para la remoción de arenas, materiales aceitosos y grasosos y materia sólida gruesa, por métodos físicos como el cribado y la sedimentación.</p>		
Aplicabilidad		
<p>El proceso de lodos activados y sus varias modificaciones pueden ser empleados para conseguir varios grados de remoción de sólidos suspendidos y reducción de la DBO₅.</p>		
<p>Se utiliza en aplicaciones generales con aireadores de turbina para transferir oxígeno y controlar el tamaño de los flóculos.</p>		
Ventajas y desventajas		
<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Flexibilidad de operación y control. • Área superficial mínima. • Ahorro potencial de inversión de capital por la eliminación de sedimentadores y otros equipos. • Resistencia a cargas de choque. 		

No. 23	FICHA TÉCNICA	LODOS ACTIVADOS – AIREACIÓN DE ALTA CARGA																		
Desventajas:																				
<ul style="list-style-type: none"> • Pueden presentarse problemas de operación por la baja concentración de oxígeno. • Mezcla insuficiente • Demasiada turbulencia • Formación de espumas • Arrastre de sólidos en el efluente. • Requiere de instalaciones costosas • Requiere la instalación de equipos electromecánicos con un alto costo energético. • Produce un mayor volumen de lodos que requieren de un tratamiento. • El sistema es susceptible a crecimiento de organismos filamentosos. 																				
Aspectos de diseño																				
Se deben tener en cuenta los siguientes criterios de diseño:																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Parámetro</th><th style="text-align: center;">Valor</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">Θ_c días</td><td style="text-align: center;">2-4</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">T_R Horas</td><td style="text-align: center;">2-4</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">Carga másica Kg DBO₅ / Kg MLSSV . d</td><td style="text-align: center;">0.4-1</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">Carga volumétrica kg DBO₅/m³</td><td style="text-align: center;">1.1-3.0</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">MLSSV mg/Lt</td><td style="text-align: center;">1000-3000</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">O.C. Kg O₂/Kg DBO₅</td><td style="text-align: center;">0.7-0.9</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">Q_r/Q</td><td style="text-align: center;">0.25-1</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">MG O₂ g . MLSS . h</td><td style="text-align: center;">0.5-0.7</td></tr> </tbody> </table>			Parámetro	Valor	Θ_c días	2-4	T_R Horas	2-4	Carga másica Kg DBO ₅ / Kg MLSSV . d	0.4-1	Carga volumétrica kg DBO ₅ /m ³	1.1-3.0	MLSSV mg/Lt	1000-3000	O.C. Kg O ₂ /Kg DBO ₅	0.7-0.9	Q_r/Q	0.25-1	MG O ₂ g . MLSS . h	0.5-0.7
Parámetro	Valor																			
Θ_c días	2-4																			
T_R Horas	2-4																			
Carga másica Kg DBO ₅ / Kg MLSSV . d	0.4-1																			
Carga volumétrica kg DBO ₅ /m ³	1.1-3.0																			
MLSSV mg/Lt	1000-3000																			
O.C. Kg O ₂ /Kg DBO ₅	0.7-0.9																			
Q_r/Q	0.25-1																			
MG O ₂ g . MLSS . h	0.5-0.7																			
<small>* MLSSV Sólidos en Suspensión Volátiles en el Licor Mezcla Fuente: Hernandez, 2001</small>																				
Los factores operacionales que están envueltos en la selección del tipo de reactor son:																				
<ul style="list-style-type: none"> • Las reacciones cinéticas que gobiernan el proceso de tratamiento. • Los requerimientos de transferencia de oxígeno. • Naturaleza del agua residual que va a tratarse: Cuando existan problemas de sustancias tóxicas para los microorganismos se recomienda el uso de un reactor completamente mezclado en lugar de uno de flujo pistón. • Las condiciones ambientales locales más importantes son la temperatura, el pH y la alcalinidad. Los cambios de temperatura en el agua residual pueden afectar las tasas de reacción biológicas. La alcalinidad y el pH son muy importantes en la operación de procesos de nitrificación. • Costos de construcción, operación y mantenimiento 																				
El dimensionamiento, diseño y dotación de los tanques de sedimentación secundaria deben hacerse de tal forma que satisfagan los siguientes requisitos:																				
<ul style="list-style-type: none"> • Separar el lodo activado de las aguas residuales por medio de sedimentación. • Concentrar y remover el lodo activado sedimentado para su retorno al tanque de aireación • Almacenar temporalmente el lodo activado que, como consecuencia de un mayor caudal, especialmente durante épocas de lluvia, es desplazado del tanque de aireación. Por lo tanto, se 																				

No. 23	FICHA TÉCNICA	LODOS ACTIVADOS – AIREACIÓN DE ALTA CARGA
		<p>requiere un espacio de almacenamiento adecuado para tal objeto.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Evitar condiciones de velocidades de corriente que puedan producir el arrastre de lodos. <p>Para prevenir la formación de olores en los tanques de sedimentación secundaria, debe evitarse la acumulación de espumas en la superficie, la acumulación de lodos en las paredes de los tanques y materia orgánica en los vertederos efluentes. Aunque debe mantenerse una concentración de lodos de retorno, los olores pueden minimizarse si el licor mezclado sedimentado se remueve del piso del tanque tan rápido como sea posible y se devuelve a los tanques de aireación. El operador debe controlar el tiempo de retención de los sólidos en el clarificador secundario para prevenir la generación de gas sulfídrico.</p>
		Rendimientos esperados
		Estos sistemas presentan eficiencias de remoción de DBO del 75% al 90%.
		Generación de efectos
		Espumas, lodos y olores.
		Aspectos particulares de operación y mantenimiento
		Se debe tener un manual de operación y mantenimiento que contemple los siguientes aspectos :
		<ul style="list-style-type: none"> • Control de olores • Procedimiento de arranque del proceso. • Control del sistema de aireación y del oxígeno disuelto. • Programa de mantenimiento preventivo. • Ensayos de laboratorio adecuadamente programados. • Control de lodos. • Control de la recirculación. • Control del abultamiento • Control de espumas. • Operación bajo condiciones de caudal mínimo y caudal máximo.
		Referencias bibliográficas
		Winkler M. 2007. Tratamiento biológico de aguas de desecho. Limusa. México.
		Metcalf y Eddy. 2003. <i>Wastewater Engineering: Treatment and Reuse.</i> Ed.4 ^a AECOM Press & McGraw Hill Professional. Estados Unidos.
		Hernández M., Aurelio. 2001. Depuración y desinfección de aguas residuales. Ed. 5 ^a Colegio de ingenieros de caminos, canales y puertos. España.

No 24	FICHA TÉCNICA	LODOS ACTIVADOS – AIREACIÓN GRADUADA
Descripción general del sistema		
<p>Consiste en procesos de tratamiento biológico de aguas residuales en ambiente aerobio, donde las aguas residuales son aireadas en un tanque que contiene una alta concentración de microorganismos degradadores. Este sistema es importante, para la absorción de materia coloidal, iónica y en suspensión, contenida en el agua residual y para la separación rápida, eficiente y económica de la masa microbiana del agua residual tratada. Sus principales objetivos son la oxidación de la materia biodegradable en el tanque de aireación y la floculación que permite la separación de la biomasa nueva del efluente tratado</p>		
<p>Esta es una modificación al proceso convencional de flujo a pistón, donde se regula la entrada de aire graduando su proporción a lo largo del tanque. De esta forma se reduce en la parte final del tanque, donde la demanda ha decrecido en relación a la demanda al comienzo del tanque. La mayor cantidad de oxígeno se suministra a la entrada del tanque y las cantidades aportadas disminuyen conforme el líquido mezcla se aproxima al extremo de salida.</p>		
<pre> graph LR A((Sedimentador primario)) -- "Afluente" --> B[Suministro gradual de aire] B --> C((Sedimentador secundario)) C -- "Efluente" --> D B -- "Retorno de Lodos" --> B </pre>		
Sistemas de Pretratamiento necesarios		
<p>El agua residual debe haber pasado por un proceso primario de tratamiento, para la remoción de arenas, materiales aceitosos y grasosos y materia sólida gruesa, por métodos físicos como el cribado y la sedimentación.</p>		
Aplicabilidad		
<p>El proceso de lodos activados y sus varias modificaciones pueden ser empleados para conseguir varios grados de remoción de sólidos suspendidos y reducción de la DBO_5.</p>		
Ventajas y desventajas		
<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Flexibilidad de operación y control. • Área superficial mínima. • Ahorro potencial de inversión de capital por la eliminación de sedimentadores y otros equipos. • Resistencia a cargas de choque. <p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pueden presentarse problemas de operación por la baja concentración de oxígeno. • Mezcla insuficiente • Demasiada turbulencia • Formación de espumas 		

No 24	FICHA TÉCNICA	LODOS ACTIVADOS – AIREACIÓN GRADUADA										
<ul style="list-style-type: none"> • Arrastre de sólidos en el efluente. • Requiere de instalaciones costosas • Requiere la instalación de equipos electromecánicos con un alto costo energético. • Produce un mayor volumen de lodos que requieren de un tratamiento. • El sistema es susceptible a crecimiento de organismos filamentosos. 												
Aspectos de diseño												
Se deben tener en cuenta los siguientes criterios de diseño:												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Parámetro</th><th style="text-align: center;">Valor</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">Θ_c días</td><td style="text-align: center;">4-8</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">Carga másica Kg DBO₅ / Kg MLSSV . d</td><td style="text-align: center;">0.2-0.4</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">Carga volumétrica kg DBO₅/m³</td><td style="text-align: center;">300-600</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">MLSSV mg/Lt</td><td style="text-align: center;">1500-3000</td></tr> </tbody> </table>			Parámetro	Valor	Θ _c días	4-8	Carga másica Kg DBO ₅ / Kg MLSSV . d	0.2-0.4	Carga volumétrica kg DBO ₅ /m ³	300-600	MLSSV mg/Lt	1500-3000
Parámetro	Valor											
Θ _c días	4-8											
Carga másica Kg DBO ₅ / Kg MLSSV . d	0.2-0.4											
Carga volumétrica kg DBO ₅ /m ³	300-600											
MLSSV mg/Lt	1500-3000											
<small>* MLSSV Sólidos en Suspensión Volátiles en el Licor Mezcla</small>												
Fuente: Romero, 2002												
Los factores operacionales que están envueltos en la selección del tipo de reactor son:												
<ul style="list-style-type: none"> • Las reacciones cinéticas que gobiernan el proceso de tratamiento. • Los requerimientos de transferencia de oxígeno. • Naturaleza del agua residual que va a tratarse: Cuando existan problemas de sustancias tóxicas para los microorganismos se recomienda el uso de un reactor completamente mezclado en lugar de uno de flujo pistón. • Las condiciones ambientales locales más importantes son la temperatura, el pH y la alcalinidad. Los cambios de temperatura en el agua residual pueden afectar las tasas de reacción biológicas. La alcalinidad y el pH son muy importantes en la operación de procesos de nitrificación. • Costos de construcción, operación y mantenimiento 												
El dimensionamiento, diseño y dotación de los tanques de sedimentación secundaria deben hacerse de tal forma que satisfagan los siguientes requisitos:												
<ul style="list-style-type: none"> • Separar el lodo activado de las aguas residuales por medio de sedimentación. • Concentrar y remover el lodo activado sedimentado para su retorno al tanque de aireación • Almacenar temporalmente el lodo activado que, como consecuencia de un mayor caudal, especialmente durante épocas de lluvia, es desplazado del tanque de aireación. Por lo tanto, se requiere un espacio de almacenamiento adecuado para tal objeto. • Evitar condiciones de velocidades de corriente que puedan producir el arrastre de lodos. 												
Para prevenir la formación de olores en los tanques de sedimentación secundaria, debe evitarse la acumulación de espumas en la superficie, la acumulación de lodos en las paredes de los tanques y materia orgánica en los vertederos efluentes. Aunque debe mantenerse una concentración de lodos de retorno, los olores pueden minimizarse si el licor mezclado sedimentado se remueve del piso del tanque tan rápido como sea posible y se devuelve a los tanques de aireación. El operador debe controlar el tiempo de retención de los sólidos en el clarificador secundario para prevenir la generación de gas sulfídrico.												

No 24	FICHA TÉCNICA	LODOS ACTIVADOS – AIREACIÓN GRADUADA
Rendimientos esperados		
Estos sistemas presentan eficiencias de remoción de DBO del 85% al 95%.		
Generación de efectos		
Espumas, lodos y olores.		
Aspectos particulares de operación y mantenimiento		
Se debe tener un manual de operación y mantenimiento que contemple los siguientes aspectos :		
<ul style="list-style-type: none"> • Control de olores • Procedimiento de arranque del proceso. • Control del sistema de aireación y del oxígeno disuelto. • Programa de mantenimiento preventivo. • Ensayos de laboratorio adecuadamente programados. • Control de lodos. • Control de la recirculación. • Control del abultamiento • Control de espumas. • Operación bajo condiciones de caudal mínimo y caudal máximo. 		
Referencias bibliográficas		
Winkler, Michael, 2007. Tratamiento biológico de aguas de desecho. Editorial Limusa: México.		
Metcalf & Eddy Inc et al., 2003. <i>Wastewater Engineering: Treatment and Reuse</i> 4º ed., McGraw Hill Higher Education.		
Hernandez M, Aurelio, 2001. Depuración y desinfección de aguas residuales. 5ª ed., Colegio de ingenieros de caminos, canales y puertos: España.		

No. 25	FICHA TÉCNICA	LODOS ACTIVADOS – AIREACIÓN MODIFICADA
Descripción general del sistema		
Consiste en procesos de tratamiento biológico de aguas residuales en ambiente aerobio, donde las aguas residuales son aireadas en un tanque que contiene una alta concentración de microorganismos degradadores. Este sistema es importante, para la absorción de materia coloidal, iónica y en suspensión, contenida en el agua residual y para la separación rápida, eficiente y económica de la masa microbiana del agua residual tratada. Sus principales objetivos son la oxidación de la materia biodegradable en el tanque de aireación y la floculación que permite la separación de la biomasa nueva del efluente tratado		
Esta variante de lodos activados es similar al proceso de flujo a pistón convencional, con la diferencia que se emplean tiempos de detención y valores de carga másica más elevados.		
Sistemas de Pretratamiento necesarios		
El agua residual debe haber pasado por un proceso primario de tratamiento, para la remoción de arenas, materiales aceitosos y grasosos y materia sólida gruesa, por métodos físicos como el cribado y la sedimentación.		
Aplicabilidad		
El proceso de lodos activados y sus varias modificaciones pueden ser empleados para conseguir varios grados de remoción de sólidos suspendidos y reducción de la DBO ₅ .		
Se utiliza para obtener grados intermedios de tratamiento cuando la presencia de tejido celular en el efluente es aceptable.		
Ventajas y desventajas		
<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Flexibilidad de operación y control. • Área superficial mínima. • Ahorro potencial de inversión de capital por la eliminación de sedimentadores y otros equipos. • Resistencia a cargas de choque. <p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pueden presentarse problemas de operación por la baja concentración de oxígeno. • Mezcla insuficiente • Demasiada turbulencia • Formación de espumas • Arrastre de sólidos en el efluente. • Requiere de instalaciones costosas • Requiere la instalación de equipos electromecánicos con un alto costo energético. • Produce un mayor volumen de lodos que requieren de un tratamiento. • El sistema es susceptible a crecimiento de organismos filamentosos. 		
Aspectos de diseño		
Se deben tener en cuenta los siguientes criterios de diseño:		

No. 25	FICHA TÉCNICA	LODOS ACTIVADOS – AIREACIÓN MODIFICADA
	Parámetro	Valor
	T _R Horas	1.5-3.0
	Carga másica Kg DBO ₅ / Kg MLSSV . d	1.5-5.0
	Carga volumétrica kg DBO ₅ /m ³	1200-2400
	MLSSV mg/Lt	200-1000
* MLSSV Sólidos en Suspensión Volátiles en el Licor Mezcla Fuente: Romero, 2002		
<p>Los factores operacionales que están envueltos en la selección del tipo de reactor son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Las reacciones cinéticas que gobiernan el proceso de tratamiento. • Los requerimientos de transferencia de oxígeno. • Naturaleza del agua residual que va a tratarse: Cuando existan problemas de sustancias tóxicas para los microorganismos se recomienda el uso de un reactor completamente mezclado en lugar de uno de flujo pistón. • Las condiciones ambientales locales más importantes son la temperatura, el pH y la alcalinidad. Los cambios de temperatura en el agua residual pueden afectar las tasas de reacción biológicas. La alcalinidad y el pH son muy importantes en la operación de procesos de nitrificación. • Costos de construcción, operación y mantenimiento 		
<p>El dimensionamiento, diseño y dotación de los tanques de sedimentación secundaria deben hacerse de tal forma que satisfagan los siguientes requisitos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Separar el lodo activado de las aguas residuales por medio de sedimentación. • Concentrar y remover el lodo activado sedimentado para su retorno al tanque de aireación • Almacenar temporalmente el lodo activado que, como consecuencia de un mayor caudal, especialmente durante épocas de lluvia, es desplazado del tanque de aireación. Por lo tanto, se requiere un espacio de almacenamiento adecuado para tal objeto. • Evitar condiciones de velocidades de corriente que puedan producir el arrastre de lodos. 		
<p>Para prevenir la formación de olores en los tanques de sedimentación secundaria, debe evitarse la acumulación de espumas en la superficie, la acumulación de lodos en las paredes de los tanques y materia orgánica en los vertederos efluentes. Aunque debe mantenerse una concentración de lodos de retorno, los olores pueden minimizarse si el licor mezclado sedimentado se remueve del piso del tanque tan rápido como sea posible y se devuelve a los tanques de aireación. El operador debe controlar el tiempo de retención de los sólidos en el clarificador secundario para prevenir la generación de gas sulfídrico.</p>		
Rendimientos esperados		
<p>Estos sistemas presentan eficiencias de remoción de DBO entre el 60% y el 75%.</p>		
Generación de efectos		
<p>Espumas, lodos y olores.</p>		
Aspectos particulares de operación y mantenimiento		

No. 25	FICHA TÉCNICA	LODOS ACTIVADOS – AIREACIÓN MODIFICADA
Se debe tener un manual de operación y mantenimiento que contemple los siguientes aspectos :		
<ul style="list-style-type: none"> • Control de olores • Procedimiento de arranque del proceso. • Control del sistema de aireación y del oxígeno disuelto. • Programa de mantenimiento preventivo. • Ensayos de laboratorio adecuadamente programados. • Control de lodos. • Control de la recirculación. • Control del abultamiento • Control de espumas. • Operación bajo condiciones de caudal mínimo y caudal máximo. 		
Referencias bibliográficas		
Winkler, Michael, 2007. Tratamiento Biológico De Aguas De Desecho. Editorial Limusa: México.		
Metcalf & Eddy Inc Et Al., 2003. <i>Wastewater Engineering: Treatment and Reuse 4º Ed., McGraw Hill Higher Education.</i>		
Hernandez M, Aurelio, 2001. Depuración Y Desinfección De Aguas Residuales. 5ª Ed., Colegio De Ingenieros De Caminos, Canales Y Puertos: España.		
Romero, Jairo, 2002. Tratamiento de aguas residuales: Teoría y principios de diseño. 2ª Ed., Escuela colombiana de ingeniería: Colombia.		

No. 26	FICHA TÉCNICA	LODOS ACTIVADOS – AIREACIÓN EXTENDIDA
Descripción general del sistema		
<p>Consiste en procesos de tratamiento donde las aguas residuales son aireadas en un tanque que contiene una alta concentración de microorganismos degradadores. Este sistema es importante, para la absorción de materia coloidal, iónica y en suspensión, contenida en el agua residual y para la separación rápida, eficiente y económica de la masa microbiana del agua residual tratada. Sus principales objetivos son la oxidación de la materia biodegradable en el tanque de aireación y la floculación que permite la separación de la biomasa nueva del efluente tratado</p> <p>Esta variante de lodos activados se realiza con tiempos de retención hidráulica y de retención celular muy elevados. De esta forma, el lodo llega a estabilizarse aeróbicamente, debido a los prolongados períodos de aireación y el desequilibrio entre la cantidad de lodo en el tanque y la cantidad de materia orgánica que llega, (se trabaja con valores muy bajos de carga másica).</p> <p>El proceso funciona en la fase de respiración endógena de la curva de crecimiento, lo cual precisa una carga orgánica reducida y un largo período de aireación. Esta aireación se puede llevar a cabo con aireadores mecánicos o difusores de aire.</p>		
Sistemas de Pretratamiento necesarios		
<p>El agua residual debe haber pasado por un proceso primario de tratamiento, para la remoción de arenas, materiales aceitosos y grasosos y materia sólida gruesa, por métodos físicos como el cribado y la sedimentación.</p>		
Aplicabilidad		
<p>El proceso de lodos activados y sus varias modificaciones pueden ser empleados para conseguir varios grados de remoción de sólidos suspendidos y reducción de la DBO₅.</p> <p>Se utiliza en pequeñas comunidades y en plantas prefabricadas.</p>		
Ventajas y desventajas		
<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Flexibilidad de operación y control. • Área superficial mínima. • Ahorro potencial de inversión de capital por la eliminación de sedimentadores y otros equipos. • Resistencia a cargas de choque. 		

No. 26	FICHA TÉCNICA	LODOS ACTIVADOS – AIREACIÓN EXTENDIDA																				
Desventajas:																						
<ul style="list-style-type: none"> • Pueden presentarse problemas de operación por la deficiencia de oxígeno. • Mezcla insuficiente • Demasiada turbulencia • Formación de espumas • Arrastre de sólidos en el efluente. • Requiere de instalaciones costosas • Requiere la instalación de equipos electromecánicos con un alto costo energético. • Produce un mayor volumen de lodos que requieren de un tratamiento. • El sistema es susceptible a crecimiento de organismos filamentosos. 																						
Aspectos de diseño																						
Se deben tener en cuenta los siguientes criterios de diseño:																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Parámetro</th><th style="text-align: center;">Valor</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">Θ_c días</td><td style="text-align: center;">≥ 30</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">T_R Horas</td><td style="text-align: center;">16-24</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">Carga másica Kg DBO₅ / Kg MLSSV . d</td><td style="text-align: center;">0.05-0.15</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">Carga volumétrica kg DBO₅/m³</td><td style="text-align: center;">0.16-0.3</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">MLSSV mg/Lt</td><td style="text-align: center;">2000-6000</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">O.C. Kg O₂/Kg DBO₅</td><td style="text-align: center;">1.4-1.6</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">Q_r/Q</td><td style="text-align: center;">1.3</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">MG O₂ g . MLSS . h</td><td style="text-align: center;">3-8</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">Exceso de lodos Kg/Kg DBO</td><td style="text-align: center;">0.15-0.3</td></tr> </tbody> </table>			Parámetro	Valor	Θ_c días	≥ 30	T_R Horas	16-24	Carga másica Kg DBO ₅ / Kg MLSSV . d	0.05-0.15	Carga volumétrica kg DBO ₅ /m ³	0.16-0.3	MLSSV mg/Lt	2000-6000	O.C. Kg O ₂ /Kg DBO ₅	1.4-1.6	Q_r/Q	1.3	MG O ₂ g . MLSS . h	3-8	Exceso de lodos Kg/Kg DBO	0.15-0.3
Parámetro	Valor																					
Θ_c días	≥ 30																					
T_R Horas	16-24																					
Carga másica Kg DBO ₅ / Kg MLSSV . d	0.05-0.15																					
Carga volumétrica kg DBO ₅ /m ³	0.16-0.3																					
MLSSV mg/Lt	2000-6000																					
O.C. Kg O ₂ /Kg DBO ₅	1.4-1.6																					
Q_r/Q	1.3																					
MG O ₂ g . MLSS . h	3-8																					
Exceso de lodos Kg/Kg DBO	0.15-0.3																					
<small>* MLSSV Sólidos en Suspensión Volátiles en el Licor Mezcla Fuente: Hernández, 2001</small>																						
Los factores operacionales que están envueltos en la selección del tipo de reactor son:																						
<ul style="list-style-type: none"> • Las reacciones cinéticas que gobiernan el proceso de tratamiento. • Los requerimientos de transferencia de oxígeno. • Naturaleza del agua residual que va a tratarse: cuando existan problemas de sustancias tóxicas para los microorganismos se recomienda el uso de un reactor completamente mezclado en lugar de uno de flujo pistón. • Las condiciones ambientales locales más importantes son la temperatura, el pH y la alcalinidad. Los cambios de temperatura en el agua residual pueden afectar las tasas de reacción biológicas. La alcalinidad y el pH son muy importantes en la operación de procesos de nitrificación. • Costos de construcción, operación y mantenimiento 																						
El dimensionamiento, diseño y dotación de los tanques de sedimentación secundaria deben hacerse de tal forma que satisfagan los siguientes requisitos:																						
<ul style="list-style-type: none"> • Separar el lodo activado de las aguas residuales por medio de sedimentación. • Concentrar y remover el lodo activado sedimentado para su retorno al tanque de aireación • Almacenar temporalmente el lodo activado que, como consecuencia de un mayor caudal, especialmente durante épocas de lluvia, es desplazado del tanque de aireación. Por lo tanto, se 																						

No. 26	FICHA TÉCNICA	LODOS ACTIVADOS – AIREACIÓN EXTENDIDA
<p>requiere un espacio de almacenamiento adecuado para tal objeto.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Evitar condiciones de velocidades de corriente que puedan producir el arrastre de lodos. <p>Para prevenir la formación de olores en los tanques de sedimentación secundaria, debe evitarse la acumulación de espumas en la superficie, la acumulación de lodos en las paredes de los tanques y materia orgánica en los vertederos efluentes. Aunque debe mantenerse una concentración de lodos de retorno, los olores pueden minimizarse si el licor mezclado sedimentado se remueve del piso del tanque tan rápido como sea posible y se devuelve a los tanques de aireación. El operador debe controlar el tiempo de retención de los sólidos en el clarificador secundario para prevenir la generación de gas sulfídrico.</p>		
Rendimientos esperados		
Estos sistemas presentan eficiencias de remoción de DBO del 92%.		
Generación de efectos		
Espumas, lodos y olores.		
Aspectos particulares de operación y mantenimiento		
Se debe tener un manual de operación y mantenimiento que contemple los siguientes aspectos :		
<ul style="list-style-type: none"> • Control de olores • Procedimiento de arranque del proceso. • Control del sistema de aireación y del oxígeno disuelto. • Programa de mantenimiento preventivo. • Ensayos de laboratorio adecuadamente programados. • Control de lodos. • Control de la recirculación. • Control del abultamiento • Control de espumas. • Operación bajo condiciones de caudal mínimo y caudal máximo. 		
Referencias bibliográficas		
Winkler, Michael, 2007. Tratamiento biológico de aguas de desecho. Editorial Limusa: México.		
Metcalf & Eddy Inc et al., 2003. <i>Wastewater Engineering: Treatment and Reuse 4^a ed.</i> , McGraw Hill Higher Education.		
Hernandez M, Aurelio, 2001. Depuración y desinfección de aguas residuales. 5 ^a ed., Colegio de ingenieros de caminos, canales y puertos: España.		

No. 27	FICHA TÉCNICA	LODOS ACTIVADOS – ALIMENTACIÓN ESCALONADA
Descripción general del sistema		
<p>Consiste en procesos de tratamiento donde las aguas residuales son aireadas en un tanque que contiene una alta concentración de microorganismos degradadores. Este sistema es importante, para la absorción de materia coloidal, iónica y en suspensión, contenida en el agua residual y para la separación rápida, eficiente y económica de la masa microbiana del agua residual tratada. Sus principales objetivos son la oxidación de la materia biodegradable en el tanque de aireación y la floculación que permite la separación de la biomasa nueva del efluente tratado</p> <p>Esta es una variación del sistema de lodos activados convencionales, en la cual se regula la alimentación del agua, graduándola a lo largo del tanque para igualar la carga mísica en todo el tanque. La aireación puede hacerse de forma uniforme o también graduada mediante difusores de aire.</p>		
Sistemas de Pretratamiento necesarios		
<p>El agua residual debe haber pasado por un proceso primario de tratamiento, para la remoción de arenas, materiales aceitosos y grasosos y materia sólida gruesa, por métodos físicos como el cribado y la sedimentación.</p>		
Aplicabilidad		
<p>El proceso de lodos activados y sus varias modificaciones pueden ser empleados para conseguir varios grados de remoción de sólidos suspendidos y reducción de la DBO₅.</p>		
<p>Se utiliza en aplicaciones generales y en un amplio tipo de aguas residuales.</p>		
Ventajas y desventajas		
<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Flexibilidad de operación y control. • Área superficial mínima. • Ahorro potencial de inversión de capital por la eliminación de sedimentadores y otros equipos. • Resistencia a cargas de choque. 		
<p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pueden presentarse problemas de operación por la baja concentración de oxígeno. • Mezcla insuficiente • Demasiada turbulencia • Formación de espumas • Arrastre de sólidos en el efluente. 		

No. 27	FICHA TÉCNICA	LODOS ACTIVADOS – ALIMENTACIÓN ESCALONADA																				
<ul style="list-style-type: none"> • Requiere de instalaciones costosas • Requiere la instalación de equipos electromecánicos con un alto costo energético. • Produce un mayor volumen de lodos que requieren de un tratamiento. • El sistema es susceptible a crecimiento de organismos filamentosos. 																						
Aspectos de diseño																						
Se deben tener en cuenta los siguientes criterios de diseño:																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Parámetro</th><th style="text-align: center;">Valor</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">Θ_c días</td><td style="text-align: center;">4-10</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">T_R Horas</td><td style="text-align: center;">4-8</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">Carga másica Kg DBO₅ / Kg MLSSV . d</td><td style="text-align: center;">0.2-0.4</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">Carga volumétrica kg DBO₅/m³</td><td style="text-align: center;">0.64-0.96</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">MLSSV mg/Lt</td><td style="text-align: center;">2000-3500</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">O.C. Kg O₂/Kg DBO₅</td><td style="text-align: center;">0.8-1.2</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">Q_r/Q</td><td style="text-align: center;">1.25-0.75</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">MG O₂ g . MLSS . h</td><td style="text-align: center;">7-15</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">Exceso de lodos Kg/Kg DBO</td><td style="text-align: center;">0.4-0.6</td></tr> </tbody> </table>			Parámetro	Valor	Θ_c días	4-10	T_R Horas	4-8	Carga másica Kg DBO ₅ / Kg MLSSV . d	0.2-0.4	Carga volumétrica kg DBO ₅ /m ³	0.64-0.96	MLSSV mg/Lt	2000-3500	O.C. Kg O ₂ /Kg DBO ₅	0.8-1.2	Q_r/Q	1.25-0.75	MG O ₂ g . MLSS . h	7-15	Exceso de lodos Kg/Kg DBO	0.4-0.6
Parámetro	Valor																					
Θ_c días	4-10																					
T_R Horas	4-8																					
Carga másica Kg DBO ₅ / Kg MLSSV . d	0.2-0.4																					
Carga volumétrica kg DBO ₅ /m ³	0.64-0.96																					
MLSSV mg/Lt	2000-3500																					
O.C. Kg O ₂ /Kg DBO ₅	0.8-1.2																					
Q_r/Q	1.25-0.75																					
MG O ₂ g . MLSS . h	7-15																					
Exceso de lodos Kg/Kg DBO	0.4-0.6																					
<small>* MLSSV Sólidos en Suspensión Volátiles en el Licor Mezcla</small>																						
Fuente: Hernandez, 2001																						
Los factores operacionales que están envueltos en la selección del tipo de reactor son:																						
<ul style="list-style-type: none"> • Las reacciones cinéticas que gobiernan el proceso de tratamiento. • Los requerimientos de transferencia de oxígeno. • Naturaleza del agua residual que va a tratarse: Cuando existan problemas de sustancias tóxicas para los microorganismos se recomienda el uso de un reactor completamente mezclado en lugar de uno de flujo pistón. • Las condiciones ambientales locales más importantes son la temperatura, el pH y la alcalinidad. Los cambios de temperatura en el agua residual pueden afectar las tasas de reacción biológicas. La alcalinidad y el pH son muy importantes en la operación de procesos de nitrificación. • Costos de construcción, operación y mantenimiento 																						
El dimensionamiento, diseño y dotación de los tanques de sedimentación secundaria deben hacerse de tal forma que satisfagan los siguientes requisitos:																						
<ul style="list-style-type: none"> • Separar el lodo activado de las aguas residuales por medio de sedimentación. • Concentrar y remover el lodo activado sedimentado para su retorno al tanque de aireación • Almacenar temporalmente el lodo activado que, como consecuencia de un mayor caudal, especialmente durante épocas de lluvia, es desplazado del tanque de aireación. Por lo tanto, se requiere un espacio de almacenamiento adecuado para tal objeto. • Evitar condiciones de velocidades de corriente que puedan producir el arrastre de lodos. 																						
Para prevenir la formación de olores en los tanques de sedimentación secundaria, debe evitarse la acumulación de espumas en la superficie, la acumulación de lodos en las paredes de los tanques y materia orgánica en los vertederos efluentes. Aunque debe mantenerse una concentración de lodos																						

No. 27	FICHA TÉCNICA	LODOS ACTIVADOS – ALIMENTACIÓN ESCALONADA
de retorno, los olores pueden minimizarse si el licor mezclado sedimentado se remueve del piso del tanque tan rápido como sea posible y se devuelve a los tanques de aireación. El operador debe controlar el tiempo de retención de los sólidos en el clarificador secundario para prevenir la generación de gas sulfídrico.		
Rendimientos esperados		
Estos sistemas presentan eficiencias de remoción de DBO del 85% al 95%.		
Generación de efectos		
Espumas, lodos y olores.		
Aspectos particulares de operación y mantenimiento		
El proceso de lodos activados se opera usualmente de modo que el flujo sea continuo. Se utiliza a veces un proceso de carga parcial conocido como “Carga y extracción”. En este sistema se aísla un tanque lleno de licor mezclado hasta que se haya obtenido el grado de tratamiento que se desea. Se extrae parte del licor para proceder a la separación, se llena el tanque con aguas residuales no tratadas y se repite el proceso. Se puede también llevar a cabo la separación por sedimentación de los lodos en el propio tanque de aireación. Esto representa 100% de reciclaje efectivo de los lodos, de modo que éstos se acumulan en el tanque y se debe extraer periódicamente parte de estos.		
Se debe tener un manual de operación y mantenimiento que contemple los siguientes aspectos:		
<ul style="list-style-type: none"> • Control de olores • Procedimiento de arranque del proceso. • Control del sistema de aireación y del oxígeno disuelto. • Programa de mantenimiento preventivo. • Ensayos de laboratorio adecuadamente programados. • Control de lodos. • Control de la recirculación. • Control del abultamiento. • Control de espumas. • Operación bajo condiciones de caudal mínimo y caudal máximo. 		
Referencias bibliográficas		
Winkler, Michael, 2007. Tratamiento biológico de aguas de desecho. Editorial Limusa: México.		
Metcalf & Eddy Inc et al., 2003. <i>Wastewater Engineering: Treatment and Reuse 4º ed.</i> , McGraw Hill Higher Education.		
Hernández M, Aurelio, 2001. Depuración y desinfección de aguas residuales. 5ª ed., Colegio de ingenieros de caminos, canales y puertos: España.		

No. 28	FICHA TÉCNICA	LODOS ACTIVADOS – CONTACTO ESTABILIZACIÓN
Descripción general del sistema		
<p>Consiste en procesos de tratamiento donde las aguas residuales son aireadas en un tanque que contiene una alta concentración de microorganismos degradadores. Este sistema es importante, para la absorción de materia coloidal, iónica y en suspensión, contenida en el agua residual y para la separación rápida, eficiente y económica de la masa microbiana del agua residual tratada. Sus principales objetivos son la oxidación de la materia biodegradable en el tanque de aireación y la floculación que permite la separación de la biomasa nueva del efluente tratado.</p> <p>El tanque de aireación queda dividido en dos partes. Una de ellas donde se realiza el contacto o mezcla del agua y el lodo (tanque de floculación) y otro llamado de estabilización, que recibe el lodo del decantador, donde se aísla sin presencia de sustancias orgánicas de nuevo aporte, agotándose las reservas de materia orgánica presente en el proceso. Cuando el lodo llega a la cámara de mezcla se acelera de forma sensible el proceso.</p> <p>La aireación se puede llevar a cabo con aireadores mecánicos o mediante difusores. Los volúmenes de aire suelen ser 50% inferiores a los necesarios en el proceso convencional de flujo a pistón.</p>		
Sistemas de Pretratamiento necesarios		
<p>El agua residual debe haber pasado por un proceso primario de tratamiento, para la remoción de arenas, materiales aceitosos y grasosos y materia sólida gruesa, por métodos físicos como el cribado y la sedimentación.</p>		
Aplicabilidad		
<p>El proceso de lodos activados y sus varias modificaciones pueden ser empleados para conseguir varios grados de remoción de sólidos suspendidos y reducción de la DBO₅.</p>		
<p>Se utiliza en aplicaciones generales y en un amplio tipo de aguas residuales.</p>		
Ventajas y desventajas		
<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Flexibilidad de operación y control. • Área superficial mínima. • Ahorro potencial de inversión de capital por la eliminación de sedimentadores y otros equipos. • Resistencia a cargas de choque. 		
<p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pueden presentarse problemas de operación por la baja concentración de oxígeno. • Mezcla insuficiente. 		

No. 28	FICHA TÉCNICA	LODOS ACTIVADOS – CONTACTO ESTABILIZACIÓN																				
<ul style="list-style-type: none"> • Demasiada turbulencia. • Formación de espumas. • Arrastre de sólidos en el efluente. • Requiere de instalaciones costosas. • Requiere la instalación de equipos electromecánicos con un alto costo energético. • Produce un mayor volumen de lodos que requieren de un tratamiento. • El sistema es susceptible a crecimiento de organismos filamentosos. 																						
Aspectos de diseño																						
Se deben tener en cuenta los siguientes criterios de diseño:																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Parámetro</th><th style="text-align: center;">Valor</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">Θ_c días</td><td style="text-align: center;">3-10</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">T_R Horas</td><td style="text-align: center;">3-6</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">Carga mísica Kg DBO₅ / Kg MLSSV . d</td><td style="text-align: center;">0.5-2</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">Carga volumétrica kg DBO₅/m³</td><td style="text-align: center;">1.5-3</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">MLSSV mg/Lt</td><td style="text-align: center;">1000-3000</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">O.C. Kg O₂/Kg DBO₅</td><td style="text-align: center;">0.4-0.6</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">Q_r/Q</td><td style="text-align: center;">0.25-1</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">MG O₂ g . MLSS . h</td><td style="text-align: center;">10-30</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">Exceso de lodos Kg/Kg DBO</td><td style="text-align: center;">0.4-0.6</td></tr> </tbody> </table>			Parámetro	Valor	Θ_c días	3-10	T_R Horas	3-6	Carga mísica Kg DBO ₅ / Kg MLSSV . d	0.5-2	Carga volumétrica kg DBO ₅ /m ³	1.5-3	MLSSV mg/Lt	1000-3000	O.C. Kg O ₂ /Kg DBO ₅	0.4-0.6	Q_r/Q	0.25-1	MG O ₂ g . MLSS . h	10-30	Exceso de lodos Kg/Kg DBO	0.4-0.6
Parámetro	Valor																					
Θ_c días	3-10																					
T_R Horas	3-6																					
Carga mísica Kg DBO ₅ / Kg MLSSV . d	0.5-2																					
Carga volumétrica kg DBO ₅ /m ³	1.5-3																					
MLSSV mg/Lt	1000-3000																					
O.C. Kg O ₂ /Kg DBO ₅	0.4-0.6																					
Q_r/Q	0.25-1																					
MG O ₂ g . MLSS . h	10-30																					
Exceso de lodos Kg/Kg DBO	0.4-0.6																					
<small>* MLSSV Sólidos en Suspensión Volátiles en el Licor Mezcla</small>																						
Fuente: Hernandez, 2001																						
Los factores operacionales que están envueltos en la selección del tipo de reactor son:																						
<ul style="list-style-type: none"> • Las reacciones cinéticas que gobiernan el proceso de tratamiento. • Los requerimientos de transferencia de oxígeno. • Naturaleza del agua residual que va a tratarse: Cuando existan problemas de sustancias tóxicas para los microorganismos se recomienda el uso de un reactor completamente mezclado en lugar de uno de flujo pistón. • Las condiciones ambientales locales más importantes son la temperatura, el pH y la alcalinidad. Los cambios de temperatura en el agua residual pueden afectar las tasas de reacción biológica. La alcalinidad y el pH son muy importantes en la operación de procesos de nitrificación. • Costos de construcción, operación y mantenimiento. 																						
El dimensionamiento, diseño y dotación de los tanques de sedimentación secundaria deben hacerse de tal forma que satisfagan los siguientes requisitos:																						
<ul style="list-style-type: none"> • Separar el lodo activado de las aguas residuales por medio de sedimentación. • Concentrar y remover el lodo activado sedimentado para su retorno al tanque de aireación • Almacenar temporalmente el lodo activado que, como consecuencia de un mayor caudal, especialmente durante épocas de lluvia, es desplazado del tanque de aireación. Por lo tanto, se requiere un espacio de almacenamiento adecuado para tal objeto. • Evitar condiciones de velocidades de corriente que puedan producir el arrastre de lodos. 																						

No. 28	FICHA TÉCNICA	LODOS ACTIVADOS – CONTACTO ESTABILIZACIÓN
Para prevenir la formación de olores en los tanques de sedimentación secundaria, debe evitarse la acumulación de espumas en la superficie, la acumulación de lodos en las paredes de los tanques y materia orgánica en los vertederos efluentes. Aunque debe mantenerse una concentración de lodos de retorno, los olores pueden minimizarse si el licor mezclado sedimentado se remueve del piso del tanque tan rápido como sea posible y se devuelve a los tanques de aireación. El operador debe controlar el tiempo de retención de los sólidos en el clarificador secundario para prevenir la generación de gas sulfídrico.		
Rendimientos esperados		
Estos sistemas presentan eficiencias de remoción de DBO del 85% al 95%.		
Generación de efectos		
Espumas, lodos y olores.		
Aspectos particulares de operación y mantenimiento		
Se debe tener un manual de operación y mantenimiento que contemple los siguientes aspectos :		
<ul style="list-style-type: none"> • Control de olores. • Procedimiento de arranque del proceso. • Control del sistema de aireación y del oxígeno disuelto. • Programa de mantenimiento preventivo. • Ensayos de laboratorio adecuadamente programados. • Control de lodos. • Control de la recirculación. • Control del abultamiento. • Control de espumas. • Operación bajo condiciones de caudal mínimo y caudal máximo. 		
Referencias bibliográficas		
Winkler, Michael, 2007. Tratamiento biológico de aguas de desecho. Editorial Limusa: México.		
Metcalf & Eddy Inc et al., 2003. <i>Wastewater Engineering: Treatment and Reuse 4º ed.</i> , McGraw Hill Higher Education.		
Hernandez M, Aurelio, 2001. Depuración y desinfección de aguas residuales. 5ª ed., Colegio de ingenieros de caminos, canales y puertos: España.		

No. 29	FICHA TÉCNICA	LODOS ACTIVADOS CONVENCIONALES
Descripción general del sistema		
<p>Consisten en procesos de tratamiento donde las aguas residuales son aireadas en un tanque que contiene una alta concentración de microorganismos degradadores. Esta alta concentración de microorganismos se logra con un sedimentador que retiene los flóculos biológicos y los retorna al tanque aireado.</p> <p>Este sistema es importante, para la absorción de materia coloidal, iónica y en suspensión, contenida en el agua residual y para la separación rápida, eficiente y económica de la masa microbiana del agua residual tratada. Sus principales objetivos son la oxidación de la materia biodegradable en el tanque de aireación y la floculación que permite la separación de la biomasa nueva del efluente tratado.</p> <p>El sistema convencional consiste en tres componentes básicos: (1) un reactor con microorganismos en suspensión responsables del tratamiento; (2) Separación del líquido y el sólido, usualmente en un tanque de sedimentación y (3) Sistema de recirculación.</p> <p>En este sistema, la recirculación se realiza en un solo punto, a la entrada del agua en el tanque de aireación, y esta mezcla recorre el tanque en forma de flujo pistón, con una fuerte tasa de crecimiento microbiano al inicio, que decrece hasta el final del tanque.</p> <p>La aireación se realiza mediante agitadores mecánicos, el suministro de aire suele ser uniforme a lo largo de toda la longitud del canal. Durante el período de aireación se produce adsorción, floculación y oxidación de la materia orgánica.</p>		
<pre> graph LR A[Primario] --> B((B)) B --> C[Biofiltro] C --> D[Tanque de Aireación] D --> E[Tanque de Sedimentación] E --> F[Efluente Secundario] E --> G((B)) G --> H[Recirculación de Lodos] H --> D </pre>		
Sistemas de Pretratamiento necesarios		
<p>El agua residual debe haber pasado por un proceso primario de tratamiento, para la remoción de arenas, materiales aceitosos y grasosos y materia sólida gruesa, por métodos físicos como el cribado y la sedimentación.</p>		
Aplicabilidad		
<p>El proceso de lodos activados y sus varias modificaciones pueden ser empleados para conseguir varios grados de remoción de sólidos suspendidos y reducción de la DBO_5.</p> <p>Este sistema es utilizado para aguas residuales domésticas de baja concentración y es susceptible a</p>		

No. 29	FICHA TÉCNICA	LODOS ACTIVADOS CONVENCIONALES														
cargas de choque.																
Los procesos deben diseñarse con posibilidades de fácil conversión a otras modalidades de tratamiento, así mismo, se debe evaluar la necesidad de tener sistemas de control de organismos filamentosos. Los manuales de operación deben incluir metodologías de control de organismos filamentosos.																
Ventajas y desventajas																
<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Flexibilidad de operación y control. • Área superficial mínima. • Ahorro potencial de inversión de capital por la eliminación de sedimentadores y otros equipos. <p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pueden presentarse problemas de operación por la baja concentración de oxígeno. • Mezcla insuficiente. • Demasiada turbulencia. • Formación de espumas. • Arrastre de sólidos en el efluente. • Requiere de instalaciones costosas. • Requiere la instalación de equipos electromecánicos con un alto costo energético. • Produce un mayor volumen de lodos que requieren de un tratamiento. 																
Aspectos de diseño																
Los factores operacionales que están envueltos en la selección del tipo de reactor son:																
<ul style="list-style-type: none"> • Las reacciones cinéticas que gobiernan el proceso de tratamiento. • Los requerimientos de transferencia de oxígeno. • Naturaleza del agua residual que va a tratarse: Cuando existan problemas de sustancias tóxicas para los microorganismos se recomienda el uso de un reactor completamente mezclado en lugar de uno de flujo pistón. • Las condiciones ambientales locales más importantes son la temperatura, el pH y la alcalinidad. Los cambios de temperatura en el agua residual pueden afectar las tasas de reacción biológicas. La alcalinidad y el pH son muy importantes en la operación de procesos de nitrificación. • Costos de construcción, operación y mantenimiento. 																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Parámetro</th><th style="text-align: center;">Valor</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">Carga orgánica kgDBO5/KgSSVLM/d</td><td style="text-align: center;">0.2 - 0.5</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">Carga Volumétrica KgDBO5/m³/d</td><td style="text-align: center;">0.3 - 1.0</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">Tiempo de detención (horas)</td><td style="text-align: center;">4 -8</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">Edad de lodos (días)</td><td style="text-align: center;">5 - 15</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">SSLM mg/L</td><td style="text-align: center;">1500 - 3000</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">Retorno fracción</td><td style="text-align: center;">0.25 - 0.5</td></tr> </tbody> </table>			Parámetro	Valor	Carga orgánica kgDBO5/KgSSVLM/d	0.2 - 0.5	Carga Volumétrica KgDBO5/m ³ /d	0.3 - 1.0	Tiempo de detención (horas)	4 -8	Edad de lodos (días)	5 - 15	SSLM mg/L	1500 - 3000	Retorno fracción	0.25 - 0.5
Parámetro	Valor															
Carga orgánica kgDBO5/KgSSVLM/d	0.2 - 0.5															
Carga Volumétrica KgDBO5/m ³ /d	0.3 - 1.0															
Tiempo de detención (horas)	4 -8															
Edad de lodos (días)	5 - 15															
SSLM mg/L	1500 - 3000															
Retorno fracción	0.25 - 0.5															
El dimensionamiento, diseño y dotación de los tanques de sedimentación secundaria deben hacerse de tal forma que satisfagan los siguientes requisitos:																

No. 29	FICHA TÉCNICA	LODOS ACTIVADOS CONVENCIONALES
<ul style="list-style-type: none"> • Separar el lodo activado de las aguas residuales por medio de sedimentación. • Concentrar y remover el lodo activado sedimentado para su retorno al tanque de aireación. • Almacenar temporalmente el lodo activado que, como consecuencia de un mayor caudal, especialmente durante épocas de lluvia, es desplazado del tanque de aireación. Por lo tanto, se requiere un espacio de almacenamiento adecuado para tal objeto. • Evitar condiciones de velocidades de corriente que puedan producir el arrastre de lodos. <p>Para prevenir la formación de olores en los tanques de sedimentación secundaria, debe evitarse la acumulación de espumas en la superficie, la acumulación de lodos en las paredes de los tanques y materia orgánica en los vertederos efluentes. Aunque debe mantenerse una concentración de lodos de retorno, los olores pueden minimizarse si el licor mezclado sedimentado se remueve del piso del tanque tan rápido como sea posible y se devuelve a los tanques de aireación. El operador debe controlar el tiempo de retención de los sólidos en el clarificador secundario para prevenir la generación de gas sulfídrico.</p>		
Rendimientos esperados		
Estos sistemas presentan los siguientes porcentajes de remoción: DBO ₅ , DQO y Sólidos suspendidos: 80-95%, fósforo. 10-25%, nitrógeno orgánico: 15-20%, Amoniaco: 8-15%.		
Generación de efectos		
Espumas, lodos y olores.		
Aspectos particulares de operación y mantenimiento		
<p>El proceso de lodos activados se opera usualmente de modo que el flujo sea continuo. Se utiliza a veces un proceso de carga parcial conocido como "Carga y extracción". En este sistema se airea un tanque lleno de licor mezclado hasta que se haya obtenido el grado de tratamiento que se desea. Se extrae parte del licor para proceder a la separación, se llena el tanque con aguas residuales no tratadas y se repite el proceso. Se puede también llevar a cabo la separación por sedimentación de los lodos en el propio tanque de aireación. Esto representa 100% de reciclaje efectivo de los lodos, de modo que éstos se acumulan en el tanque y se debe extraer periódicamente parte de estos.</p> <p>Se debe tener un manual de operación y mantenimiento que contemple los siguientes aspectos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Control de olores • Procedimiento de arranque del proceso. • Control del sistema de aireación y del oxígeno disuelto. • Programa de mantenimiento preventivo. • Ensayos de laboratorio adecuadamente programados. • Control de lodos. • Control de la recirculación. • Control del abultamiento. • Control de espumas. • Operación bajo condiciones de caudal mínimo y caudal máximo. 		
Referencias bibliográficas		

No. 29	FICHA TÉCNICA	LODOS ACTIVADOS CONVENCIONALES
		Winkler, Michael, 2007. Tratamiento biológico de aguas de desecho. Editorial Limusa: México.
		Metcalf & Eddy Inc et al., 2003. <i>Wastewater Engineering: Treatment and Reuse 4º ed., McGraw Hill Higher Education.</i>
		Hernandez M, Aurelio, 2001. Depuración y desinfección de aguas residuales. 5ª ed., Colegio de ingenieros de caminos, canales y puertos: España.

No. 30	FICHA TÉCNICA	LODOS ACTIVADOS – DOBLE ETAPA
Descripción general del sistema		
<p>Consiste en procesos de tratamiento donde las aguas residuales son aireadas en un tanque que contiene una alta concentración de microorganismos degradadores. Este sistema es importante, para la absorción de materia coloidal, iónica y en suspensión, contenida en el agua residual y para la separación rápida, eficiente y económica de la masa microbiana del agua residual tratada. Sus principales objetivos son la oxidación de la materia biodegradable en el tanque de aireación y la floculación que permite la separación de la biomasa nueva del efluente tratado</p> <p>Esta variación del proceso, consiste en la utilización de dos procesos convencionales de lodos activos en serie. Se utiliza en casos de alta carga de DBO inicial, obteniéndose altos rendimientos y consumos energéticos más bajos.</p>		
<pre> graph LR R1((R)) --> B1((B)) B1 --> B2((B)) B2 --> D1((Decantador Intermedio)) D1 --> B3((B)) B3 --> D2((Decantador Secundario)) D2 --> T[Tratamiento de Lodos] T --> E1((Exceso de Fangos)) T --> T1[Tratamiento de Lodos] T1 --> E2((Exceso de Fangos)) R1 --> E1 E1 --> R2((Reja fina de fangos)) R2 --> B1 B1 --> D1 D1 --> B3 B3 --> D2 D2 --> T T --> E1 T --> T1 T1 --> E2 R2 --> R3((Rejilla)) R3 --> B2 B2 --> D2 D2 --> T T --> E2 T1 --> R4((Rejilla)) R4 --> B3 B3 --> D2 D2 --> T T --> E2 </pre>		
Sistemas de Pretratamiento necesarios		
<p>El agua residual debe haber pasado por un proceso primario de tratamiento, para la remoción de arenas, materiales aceitosos y grasosos y materia sólida gruesa, por métodos físicos como el cribado y la sedimentación.</p>		
Aplicabilidad		
<p>El proceso de lodos activados y sus varias modificaciones pueden ser empleados para conseguir varios grados de remoción de sólidos suspendidos y reducción de la DBO₅.</p> <p>Se utiliza en casos de alta carga de DBO inicial, obteniéndose altos rendimientos y consumos energéticos más bajos y para aguas residuales con fuertes variaciones de carga, pH, y componentes tóxicos.</p>		
Ventajas y desventajas		
<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Flexibilidad de operación y control. • Área superficial mínima. • Ahorro potencial de inversión de capital por la eliminación de sedimentadores y otros equipos. • Resistencia a cargas de choque. 		

No. 30	FICHA TÉCNICA	LODOS ACTIVADOS – DOBLE ETAPA										
Desventajas:												
<ul style="list-style-type: none"> • Pueden presentarse problemas de operación por la baja concentración de oxígeno. • Mezcla insuficiente • Demasiada turbulencia • Formación de espumas • Arrastre de sólidos en el efluente. • Requiere de instalaciones costosas • Produce un mayor volumen de lodos que requieren de un tratamiento. 												
Aspectos de diseño												
Se deben tener en cuenta los siguientes criterios de diseño:												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Parámetro</th><th style="text-align: center;">Etapa 1</th><th style="text-align: center;">Etapa 2</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">T_R Horas</td><td style="text-align: center;">2.0-6.0</td><td style="text-align: center;">0.2-0.4</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">Carga másica Kg DBO₅ / Kg MLSSV . d</td><td style="text-align: center;">0.5-1.0</td><td style="text-align: center;">3.0-7.0</td></tr> </tbody> </table>				Parámetro	Etapa 1	Etapa 2	T _R Horas	2.0-6.0	0.2-0.4	Carga másica Kg DBO ₅ / Kg MLSSV . d	0.5-1.0	3.0-7.0
Parámetro	Etapa 1	Etapa 2										
T _R Horas	2.0-6.0	0.2-0.4										
Carga másica Kg DBO ₅ / Kg MLSSV . d	0.5-1.0	3.0-7.0										
Los factores operacionales que están envueltos en la selección del tipo de reactor son:												
<ul style="list-style-type: none"> • Las reacciones cinéticas que gobiernan el proceso de tratamiento. • Los requerimientos de transferencia de oxígeno. • Naturaleza del agua residual que va a tratarse: Cuando existan problemas de sustancias tóxicas para los microorganismos se recomienda el uso de un reactor completamente mezclado en lugar de uno de flujo pistón. • Las condiciones ambientales locales más importantes son la temperatura, el pH y la alcalinidad. Los cambios de temperatura en el agua residual pueden afectar las tasas de reacción biológicas. La alcalinidad y el pH son muy importantes en la operación de procesos de nitrificación. • Costos de construcción, operación y mantenimiento. 												
El dimensionamiento, diseño y dotación de los tanques de sedimentación secundaria deben hacerse de tal forma que satisfagan los siguientes requisitos:												
<ul style="list-style-type: none"> • Separar el lodo activado de las aguas residuales por medio de sedimentación. • Concentrar y remover el lodo activado sedimentado para su retorno al tanque de aireación • Almacenar temporalmente el lodo activado que, como consecuencia de un mayor caudal, especialmente durante épocas de lluvia, es desplazado del tanque de aireación. Por lo tanto, se requiere un espacio de almacenamiento adecuado para tal objeto. • Evitar condiciones de velocidades de corriente que puedan producir el arrastre de lodos. 												
Para prevenir la formación de olores en los tanques de sedimentación secundaria, debe evitarse la acumulación de espumas en la superficie, la acumulación de lodos en las paredes de los tanques y materia orgánica en los vertederos efluentes. Aunque debe mantenerse una concentración de lodos de retorno, los olores pueden minimizarse si el licor mezclado sedimentado se remueve del piso del tanque tan rápido como sea posible y se devuelve a los tanques de aireación. El operador debe controlar el tiempo de retención de los sólidos en el clarificador secundario para prevenir la generación de gas sulfídrico.												

No. 30	FICHA TÉCNICA	LODOS ACTIVADOS – DOBLE ETAPA
Rendimientos esperados		
Estos sistemas presentan eficiencias de remoción de DBO del 90-95%.		
Generación de efectos		
Espumas, lodos y olores.		
Aspectos particulares de operación y mantenimiento		
Se debe tener un manual de operación y mantenimiento que contemple los siguientes aspectos :		
<ul style="list-style-type: none"> • Control de olores. • Procedimiento de arranque del proceso. • Control del sistema de aireación y del oxígeno disuelto. • Programa de mantenimiento preventivo. • Ensayos de laboratorio adecuadamente programados. • Control de lodos. • Control de la recirculación. • Control del abultamiento. • Control de espumas. • Operación bajo condiciones de caudal mínimo y caudal máximo. 		
Referencias bibliográficas		
Winkler, Michael, 2007. Tratamiento biológico de aguas de desecho. Editorial Limusa: México.		
Metcalf & Eddy Inc et al., 2003. <i>Wastewater Engineering: Treatment and Reuse 4º ed.</i> , McGraw Hill Higher Education.		
Hernandez M, Aurelio, 2001. Depuración y desinfección de aguas residuales. 5ª ed., Colegio de ingenieros de caminos, canales y puertos: España.		

No. 31	FICHA TÉCNICA	LODOS ACTIVADOS – MEZCLA COMPLETA
Descripción general del sistema		
<p>Consiste en procesos de tratamiento donde las aguas residuales son aireadas en un tanque que contiene una alta concentración de microorganismos degradadores. Este sistema es importante, para la absorción de materia coloidal, iónica y en suspensión, contenida en el agua residual y para la separación rápida, eficiente y económica de la masa microbiana del agua residual tratada. Sus principales objetivos son la oxidación de la materia biodegradable en el tanque de aireación y la floculación que permite la separación de la biomasa nueva del efluente tratado</p> <p>Esta es una variación del sistema de lodos activados convencionales, en la cual la recirculación se realiza en varios puntos, mezclándose previamente con el agua, logrando así una concentración homogénea en todo el tanque. También se puede obtener el mismo efecto, haciendo la entrada agua-lodo en un solo punto, manteniendo el sistema de agitación de tal forma que se conserve la mezcla completa en todo el tanque.</p>		
<p>El aire se proporciona mediante difusores o aireadores mecánicos.</p>		
Sistemas de Pretratamiento necesarios		
<p>El agua residual debe haber pasado por un proceso primario de tratamiento, para la remoción de arenas, materiales aceitosos y grasosos y materia sólida gruesa, por métodos físicos como el cribado y la sedimentación.</p>		
Aplicabilidad		
<p>El proceso de lodos activados y sus varias modificaciones pueden ser empleados para conseguir varios grados de remoción de sólidos suspendidos y reducción de la DBO₅.</p>		
<p>Se aplica cuando se busca minimizar los desequilibrios biológicos, causados por amplias variaciones horarias en la carga orgánica o hidráulica, en efluentes de pequeñas comunidades.</p>		
Ventajas y desventajas		
<p>Ventajas:</p>		

No. 31	FICHA TÉCNICA	LODOS ACTIVADOS – MEZCLA COMPLETA																				
<ul style="list-style-type: none"> • Flexibilidad de operación y control. • Área superficial mínima. • Ahorro potencial de inversión de capital por la eliminación de sedimentadores y otros equipos. • Resistencia a cargas de choque. 																						
<p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pueden presentarse problemas de operación por la baja concentración de oxígeno. • Mezcla insuficiente. • Demasiada turbulencia. • Formación de espumas. • Arrastre de sólidos en el efluente. • Requiere de instalaciones costosas. • Requiere la instalación de equipos electromecánicos con un alto costo energético. • Produce un mayor volumen de lodos que requieren de un tratamiento. • El sistema es susceptible a crecimiento de organismos filamentosos. 																						
Aspectos de diseño																						
<p>Se deben tener en cuenta los siguientes criterios de diseño:</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Parámetro</th><th style="text-align: center;">Valor</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">Θ_c días</td><td style="text-align: center;">4-10</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">T_R Horas</td><td style="text-align: center;">4-8</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">Carga másica DBO_5 Kg MLSSV . d</td><td style="text-align: center;">0.2-0.6</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">Carga volumétrica kg DBO_5/m^3</td><td style="text-align: center;">0.4-0.9</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">MLSSV mg/Lt</td><td style="text-align: center;">2000-5000</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">O.C. Kg $O_2/Kg DBO_5$</td><td style="text-align: center;">0.8-1.2</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">Q_r/Q</td><td style="text-align: center;">0.25-1</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">MG O_2 g . MLSS . h</td><td style="text-align: center;">7-15</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">Exceso de lodos Kg/Kg DBO</td><td style="text-align: center;">0.4-0.6</td></tr> </tbody> </table>			Parámetro	Valor	Θ_c días	4-10	T_R Horas	4-8	Carga másica DBO_5 Kg MLSSV . d	0.2-0.6	Carga volumétrica kg DBO_5/m^3	0.4-0.9	MLSSV mg/Lt	2000-5000	O.C. Kg $O_2/Kg DBO_5$	0.8-1.2	Q_r/Q	0.25-1	MG O_2 g . MLSS . h	7-15	Exceso de lodos Kg/Kg DBO	0.4-0.6
Parámetro	Valor																					
Θ_c días	4-10																					
T_R Horas	4-8																					
Carga másica DBO_5 Kg MLSSV . d	0.2-0.6																					
Carga volumétrica kg DBO_5/m^3	0.4-0.9																					
MLSSV mg/Lt	2000-5000																					
O.C. Kg $O_2/Kg DBO_5$	0.8-1.2																					
Q_r/Q	0.25-1																					
MG O_2 g . MLSS . h	7-15																					
Exceso de lodos Kg/Kg DBO	0.4-0.6																					
<p>* MLSSV Sólidos en Suspensión Volátiles en el Licor Mezcla Fuente: Hernandez, 2001</p>																						
<p>Los factores operacionales que están envueltos en la selección del tipo de reactor son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Las reacciones cinéticas que gobiernan el proceso de tratamiento. • Los requerimientos de transferencia de oxígeno. • Naturaleza del agua residual que va a tratarse: Cuando existan problemas de sustancias tóxicas para los microorganismos se recomienda el uso de un reactor completamente mezclado en lugar de uno de flujo pistón. • Las condiciones ambientales locales más importantes son la temperatura, el pH y la alcalinidad. Los cambios de temperatura en el agua residual pueden afectar las tasas de reacción biológicas. La alcalinidad y el pH son muy importantes en la operación de procesos de nitrificación. • Costos de construcción, operación y mantenimiento 																						
<p>El dimensionamiento, diseño y dotación de los tanques de sedimentación secundaria deben hacerse</p>																						

No. 31	FICHA TÉCNICA	LODOS ACTIVADOS – MEZCLA COMPLETA
de tal forma que satisfagan los siguientes requisitos:		
<ul style="list-style-type: none"> • Separar el lodo activado de las aguas residuales por medio de sedimentación. • Concentrar y remover el lodo activado sedimentado para su retorno al tanque de aireación. • Almacenar temporalmente el lodo activado que, como consecuencia de un mayor caudal, especialmente durante épocas de lluvia, es desplazado del tanque de aireación. Por lo tanto, se requiere un espacio de almacenamiento adecuado para tal objeto. • Evitar condiciones de velocidades de corriente que puedan producir el arrastre de lodos. 		
<p>Para prevenir la formación de olores en los tanques de sedimentación secundaria, debe evitarse la acumulación de espumas en la superficie, la acumulación de lodos en las paredes de los tanques y materia orgánica en los vertederos efluentes. Aunque debe mantenerse una concentración de lodos de retorno, los olores pueden minimizarse si el licor mezclado sedimentado se remueve del piso del tanque tan rápido como sea posible y se devuelve a los tanques de aireación. El operador debe controlar el tiempo de retención de los sólidos en el clarificador secundario para prevenir la generación de gas sulfídrico.</p>		
Rendimientos esperados		
Estos sistemas presentan eficiencias de remoción de DBO del 92%.		
Generación de efectos		
Espumas, lodos y olores.		
Aspectos particulares de operación y mantenimiento		
<p>El proceso de lodos activados se opera usualmente de modo que el flujo sea continuo. Se utiliza a veces un proceso de carga parcial conocido como “Carga y extracción”. En este sistema se aísla un tanque lleno de licor mezclado hasta que se haya obtenido el grado de tratamiento que se desea. Se extrae parte del licor para proceder a la separación, se llena el tanque con aguas residuales no tratadas y se repite el proceso. Se puede también llevar a cabo la separación por sedimentación de los lodos en el propio tanque de aireación. Esto representa 100% de reciclaje efectivo de los lodos, de modo que éstos se acumulan en el tanque y se debe extraer periódicamente parte de estos.</p>		
Se debe tener un manual de operación y mantenimiento que contemple los siguientes aspectos:		
<ul style="list-style-type: none"> • Control de olores. • Procedimiento de arranque del proceso. • Control del sistema de aireación y del oxígeno disuelto. • Programa de mantenimiento preventivo. • Ensayos de laboratorio adecuadamente programados. • Control de lodos. • Control de la recirculación. • Control del abultamiento. • Control de espumas. • Operación bajo condiciones de caudal mínimo y caudal máximo. 		

No. 31	FICHA TÉCNICA	LODOS ACTIVADOS – MEZCLA COMPLETA
Referencias bibliográficas		
		Winkler, Michael, 2007. Tratamiento biológico de aguas de desecho. Editorial Limusa: México.
		Metcalf & Eddy Inc et al., 2003. <i>Wastewater Engineering: Treatment and Reuse 4º ed.</i> , McGraw Hill Higher Education.
		Hernandez M, Aurelio, 2001. Depuración y desinfección de aguas residuales. 5ª ed., Colegio de ingenieros de caminos, canales y puertos: España.

No. 32	FICHA TÉCNICA	LODOS ACTIVADOS – PROCESO KRAUS
Descripción general del sistema		
<p>Consiste en procesos de tratamiento donde las aguas residuales son aireadas en un tanque que contiene una alta concentración de microorganismos degradadores. Este sistema es importante, para la absorción de materia coloidal, iónica y en suspensión, contenida en el agua residual y para la separación rápida, eficiente y económica de la masa microbiana del agua residual tratada. Sus principales objetivos son la oxidación de la materia biodegradable en el tanque de aireación y la floculación que permite la separación de la biomasa nueva del efluente tratado</p> <p>Esta variación del proceso de lodos activados se utiliza en los casos en que se presenta una carencia de nutrientes en el agua. Consiste en recircular el lodo estabilizado aeróbicamente, cuando se ha producido un proceso de nitrificación.</p>		
<pre> graph LR A[Afluente] --> B[Tanque de Aireación] B --> C[Tanque de Sedimentación] C --> D[Efluente] C --> E[Tanque de Reaireación] E --> F[Sobrenadante del Digestor] E --> G[Lodo Digerido] E --> H[Exceso de Lodos] </pre>		
Sistemas de Pretratamiento necesarios		
<p>El agua residual debe haber pasado por un proceso primario de tratamiento, para la remoción de arenas, materiales aceitosos y grasosos y materia sólida gruesa, por métodos físicos como el cribado y la sedimentación.</p>		
Aplicabilidad		
<p>El proceso de lodos activados y sus varias modificaciones pueden ser empleados para conseguir varios grados de remoción de sólidos suspendidos y reducción de la DBO_5.</p> <p>Se utiliza en aplicaciones generales y en un amplio tipo de aguas residuales. Una de las ventajas de este proceso es la flexibilidad de las operaciones.</p>		
Ventajas y desventajas		
<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Flexibilidad de operación y control. • Área superficial mínima. • Ahorro potencial de inversión de capital por la eliminación de sedimentadores y otros equipos. • Resistencia a cargas de choque. <p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pueden presentarse problemas de operación por la baja concentración de oxígeno. • Mezcla insuficiente. • Demasiada turbulencia. 		

No. 32	FICHA TÉCNICA	LODOS ACTIVADOS – PROCESO KRAUS																
<ul style="list-style-type: none"> • Formación de espumas. • Arrastre de sólidos en el efluente. • Requiere de instalaciones costosas. • Requiere la instalación de equipos electromecánicos con un alto costo energético. • Produce un mayor volumen de lodos que requieren de un tratamiento. • El sistema es susceptible a crecimiento de organismos filamentosos. 																		
Aspectos de diseño																		
Se deben tener en cuenta los siguientes criterios de diseño:																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Parámetro</th><th>Valor</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Θ_c días</td><td>5-15</td></tr> <tr> <td>T_R Horas</td><td>4-8</td></tr> <tr> <td>Carga másica Kg DBO₅ / Kg MLSSV . d</td><td>0.3-0.8</td></tr> <tr> <td>Carga volumétrica kg DBO₅/m³</td><td>0.64-1.6</td></tr> <tr> <td>MLSSV mg/Lt</td><td>2000-3000</td></tr> <tr> <td>Q_r/Q</td><td>0.5-1</td></tr> <tr> <td>MG O₂ g . MLSS . h</td><td>7-15</td></tr> </tbody> </table>			Parámetro	Valor	Θ_c días	5-15	T _R Horas	4-8	Carga másica Kg DBO ₅ / Kg MLSSV . d	0.3-0.8	Carga volumétrica kg DBO ₅ /m ³	0.64-1.6	MLSSV mg/Lt	2000-3000	Q _r /Q	0.5-1	MG O ₂ g . MLSS . h	7-15
Parámetro	Valor																	
Θ_c días	5-15																	
T _R Horas	4-8																	
Carga másica Kg DBO ₅ / Kg MLSSV . d	0.3-0.8																	
Carga volumétrica kg DBO ₅ /m ³	0.64-1.6																	
MLSSV mg/Lt	2000-3000																	
Q _r /Q	0.5-1																	
MG O ₂ g . MLSS . h	7-15																	
<small>* MLSSV Sólidos en Suspensión Volátiles en el Licor Mezcla Fuente: Hernandez, 2001</small>																		
Los factores operacionales que están envueltos en la selección del tipo de reactor son:																		
<ul style="list-style-type: none"> • Las reacciones cinéticas que gobiernan el proceso de tratamiento. • Los requerimientos de transferencia de oxígeno. • Naturaleza del agua residual que va a tratarse: Cuando existan problemas de sustancias tóxicas para los microorganismos se recomienda el uso de un reactor completamente mezclado en lugar de uno de flujo pistón. • Las condiciones ambientales locales más importantes son la temperatura, el pH y la alcalinidad. Los cambios de temperatura en el agua residual pueden afectar las tasas de reacción biológica. La alcalinidad y el pH son muy importantes en la operación de procesos de nitrificación. • Costos de construcción, operación y mantenimiento 																		
El dimensionamiento, diseño y dotación de los tanques de sedimentación secundaria deben hacerse de tal forma que satisfagan los siguientes requisitos:																		
<ul style="list-style-type: none"> • Separar el lodo activado de las aguas residuales por medio de sedimentación. • Concentrar y remover el lodo activado sedimentado para su retorno al tanque de aireación. • Almacenar temporalmente el lodo activado que, como consecuencia de un mayor caudal, especialmente durante épocas de lluvia, es desplazado del tanque de aireación. Por lo tanto, se requiere un espacio de almacenamiento adecuado para tal objeto. • Evitar condiciones de velocidades de corriente que puedan producir el arrastre de lodos. 																		
Para prevenir la formación de olores en los tanques de sedimentación secundaria, debe evitarse la acumulación de espumas en la superficie, la acumulación de lodos en las paredes de los tanques y materia orgánica en los vertederos efluentes. Aunque debe mantenerse una concentración de lodos																		

No. 32	FICHA TÉCNICA	LODOS ACTIVADOS – PROCESO KRAUS
de retorno, los olores pueden minimizarse si el licor mezclado sedimentado se remueve del piso del tanque tan rápido como sea posible y se devuelve a los tanques de aireación. El operador debe controlar el tiempo de retención de los sólidos en el clarificador secundario para prevenir la generación de gas sulfídrico.		
Rendimientos esperados		
Estos sistemas presentan eficiencias de remoción de DBO del 90% al 95%.		
Generación de efectos		
Espumas, lodos y olores.		
Aspectos particulares de operación y mantenimiento		
Se debe tener un manual de operación y mantenimiento que contemple los siguientes aspectos:		
<ul style="list-style-type: none"> • Control de olores. • Procedimiento de arranque del proceso. • Control del sistema de aireación y del oxígeno disuelto. • Programa de mantenimiento preventivo. • Ensayos de laboratorio adecuadamente programados. • Control de lodos. • Control de la recirculación. • Control del abultamiento. • Control de espumas. • Operación bajo condiciones de caudal mínimo y caudal máximo. 		
Referencias bibliográficas		
Winkler, Michael, 2007. Tratamiento biológico de aguas de desecho. Editorial Limusa: México.		
Metcalf & Eddy Inc et al., 2003. <i>Wastewater Engineering: Treatment and Reuse 4º ed.</i> , McGraw Hill Higher Education.		
Hernandez M, Aurelio, 2001. Depuración y desinfección de aguas residuales. 5ª ed., Colegio de ingenieros de caminos, canales y puertos: España.		

No. 33	FICHA TÉCNICA	LODOS ACTIVADOS – UTILIZACIÓN DE OXÍGENO PURO
Descripción general del sistema		
<p>Consiste en procesos de tratamiento donde las aguas residuales son aireadas en un tanque que contiene una alta concentración de microorganismos degradadores. Este sistema es importante, para la absorción de materia coloidal, iónica y en suspensión, contenida en el agua residual y para la separación rápida, eficiente y económica de la masa microbiana del agua residual tratada. Sus principales objetivos son la oxidación de la materia biodegradable en el tanque de aireación y la floculación que permite la separación de la biomasa nueva del efluente tratado.</p> <p>En esta variante del proceso de lodos activados, el aire se sustituye por oxígeno puro, el cual es introducido en tanques cerrados. El volumen del tanque puede reducirse en estos casos y la cantidad de lodo producido será menor.</p> <p>Parte del gas se purga para reducir el contenido de CO₂, también puede ser necesario hacer ajustes de pH. La cantidad de oxígeno añadida es del orden de 4 veces superior a la cantidad que se puede añadir a los sistemas de aireación convencionales.</p>		
<pre> graph LR SO[Suministro de Oxígeno] --> R[Reactor LINDOX] AR[Entrada de Aguas Residuales] --> R R --> GE[Gas de Escape] R --> DS[Decantador Secundario] DS --> AD[Agua Depurada] DS --> LE[Lodo en Exceso] LE --> RL[Recirculación de Lodos] RL --> R </pre>		
Sistemas de Pretratamiento necesarios		
<p>El agua residual debe haber pasado por un proceso primario de tratamiento, para la remoción de arenas, materiales aceitosos y grasosos y materia sólida gruesa, por métodos físicos como el cribado y la sedimentación.</p>		
Aplicabilidad		
<p>El proceso de lodos activados y sus varias modificaciones pueden ser empleados para conseguir varios grados de remoción de sólidos suspendidos y reducción de la DBO₅.</p> <p>Este sistema se utiliza en instalaciones donde se cuente con poco espacio.</p>		
Ventajas y desventajas		
<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Flexibilidad de operación y control. • Área superficial mínima. • Ahorro potencial de inversión de capital por la eliminación de sedimentadores y otros equipos. • Resistencia a cargas de choque. <p>Desventajas:</p>		

No. 33	FICHA TÉCNICA	LODOS ACTIVADOS – UTILIZACIÓN DE OXÍGENO PURO														
<ul style="list-style-type: none"> • Pueden presentarse problemas de operación por la baja concentración de oxígeno. • Mezcla insuficiente. • Demasiada turbulencia. • Formación de espumas. • Arrastre de sólidos en el efluente. • Requiere de instalaciones costosas. • Requiere la instalación de equipos electromecánicos con un alto costo energético. • Produce un mayor volumen de lodos que requieren de un tratamiento. • El sistema es susceptible a crecimiento de organismos filamentosos. 																
Aspectos de diseño																
Se deben tener en cuenta los siguientes criterios de diseño:																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Parámetro</th><th style="text-align: center;">Valor</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">Θ_c días</td><td style="text-align: center;">8-20</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">T_R Horas</td><td style="text-align: center;">2-4</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">Carga másica Kg DBO₅ / Kg MLSSV . d</td><td style="text-align: center;">0.25-1</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">Carga volumétrica kg DBO₅/m³</td><td style="text-align: center;">1.6-4</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">MLSSV mg/Lt</td><td style="text-align: center;">6000-8000</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">Q_r/Q</td><td style="text-align: center;">0.25-0.5</td></tr> </tbody> </table>			Parámetro	Valor	Θ_c días	8-20	T_R Horas	2-4	Carga másica Kg DBO ₅ / Kg MLSSV . d	0.25-1	Carga volumétrica kg DBO ₅ /m ³	1.6-4	MLSSV mg/Lt	6000-8000	Q_r/Q	0.25-0.5
Parámetro	Valor															
Θ_c días	8-20															
T_R Horas	2-4															
Carga másica Kg DBO ₅ / Kg MLSSV . d	0.25-1															
Carga volumétrica kg DBO ₅ /m ³	1.6-4															
MLSSV mg/Lt	6000-8000															
Q_r/Q	0.25-0.5															
<small>* MLSSV Sólidos en Suspensión Volátiles en el Licor Mezcla Fuente: Hernandez, 2001</small>																
Los factores operacionales que están envueltos en la selección del tipo de reactor son:																
<ul style="list-style-type: none"> • Las reacciones cinéticas que gobiernan el proceso de tratamiento. • Los requerimientos de transferencia de oxígeno. • Naturaleza del agua residual que va a tratarse: Cuando existan problemas de sustancias tóxicas para los microorganismos se recomienda el uso de un reactor completamente mezclado en lugar de uno de flujo pistón. • Las condiciones ambientales locales más importantes son la temperatura, el pH y la alcalinidad. Los cambios de temperatura en el agua residual pueden afectar las tasas de reacción biológicas. La alcalinidad y el pH son muy importantes en la operación de procesos de nitrificación. • Costos de construcción, operación y mantenimiento 																
El dimensionamiento, diseño y dotación de los tanques de sedimentación secundaria deben hacerse de tal forma que satisfagan los siguientes requisitos:																
<ul style="list-style-type: none"> • Separar el lodo activado de las aguas residuales por medio de sedimentación. • Concentrar y remover el lodo activado sedimentado para su retorno al tanque de aireación • Almacenar temporalmente el lodo activado que, como consecuencia de un mayor caudal, especialmente durante épocas de lluvia, es desplazado del tanque de aireación. Por lo tanto, se requiere un espacio de almacenamiento adecuado para tal objeto. • Evitar condiciones de velocidades de corriente que puedan producir el arrastre de lodos. 																
Para prevenir la formación de olores en los tanques de sedimentación secundaria, debe evitarse la																

No. 33	FICHA TÉCNICA	LODOS ACTIVADOS – UTILIZACIÓN DE OXÍGENO PURO
acumulación de espumas en la superficie, la acumulación de lodos en las paredes de los tanques y materia orgánica en los vertederos efluentes. Aunque debe mantenerse una concentración de lodos de retorno, los olores pueden minimizarse si el licor mezclado sedimentado se remueve del piso del tanque tan rápido como sea posible y se devuelve a los tanques de aireación. El operador debe controlar el tiempo de retención de los sólidos en el clarificador secundario para prevenir la generación de gas sulfídrico.		
Rendimientos esperados		
Estos sistemas presentan eficiencias de remoción de DBO del 85% al 95%.		
Generación de efectos		
Espumas, lodos y olores.		
Aspectos particulares de operación y mantenimiento		
Se debe elaborar un manual de operación y mantenimiento que contemple los siguientes aspectos:		
<ul style="list-style-type: none"> • Control de olores • Procedimiento de arranque del proceso. • Control del sistema de aireación y del oxígeno disuelto. • Programa de mantenimiento preventivo. • Ensayos de laboratorio adecuadamente programados. • Control de lodos. • Control de la recirculación. • Control del abultamiento • Control de espumas. • Operación bajo condiciones de caudal mínimo y caudal máximo. 		
Referencias bibliográficas		
Winkler, Michael, 2007. Tratamiento biológico de aguas de desecho. Editorial Limusa: México.		
Metcalf & Eddy Inc et al., 2003. <i>Wastewater Engineering: Treatment and Reuse</i> 4º ed., McGraw Hill Higher Education.		
Hernandez M, Aurelio, 2001. Depuración y desinfección de aguas residuales. 5ª ed., Colegio de ingenieros de caminos, canales y puertos: España.		

No. 34	FICHA TÉCNICA	MILITAMICES GIRATORIOS (MG)
Descripción general del sistema		
<p>El militamiz giratorio (MG) y el tamiz giratorio (TG), son implementos mecánicos de tratamiento, capaces de remover materia suspendida del agua residual, que además pueden ser utilizados para reducir organismos patógenos y carga orgánica. El tamizado tiene una función similar a la del desbaste, pero a un nivel más fino. De hecho, la malla de un tamiz puede tener aperturas que fluctúan entre 10,0 (en el caso de tamices) y 0,2 mm (en el caso de militamices), dependiendo de su aplicación, pero se consideran como tamices finos o militamices aquellos entre 0,2 y 1,5 mm). Los TG y MG se limpian al pasar el tamiz por una cuchilla que retiene el material removido, o por retrolavado, que es el método más moderno.</p> <p>El agua residual cruda entra dentro del tambor cubierto por la malla y sale filtrada a la parte aguas abajo del canal. El sistema es retrolavado (se realiza por parte de una ducha situada en la parte superior) y el material removido se lleva mediante una bomba de tornillo a un contenedor, localizado sobre el techo del canal, para su disposición final. Estos tamices van rotando lentamente a velocidad constante, retirando las partículas del líquido que los atraviesa de forma continua. Cuando los líquidos a ser tratados pasan a través de la pared del cilindro, los sólidos con un tamaño mayor que la abertura de la malla son retenidos.</p> <p>Los tamices se clasifican en gruesos (de 1,5 a 6,0 mm de apertura) y finos (entre 1,5 y 0,2 mm de apertura). Los tamices gruesos se usan para remover los materiales gruesos presentes en el agua residual, tales como papeles, plásticos, entre otros. Su objeto es proteger la operación correcta de válvulas, bombas, aireadores y demás equipo necesario para una PTAR. Los tamices finos se emplean para remover material en suspensión fino, entre el que se encuentra la materia orgánica particulada. Un tipo de tamiz fino muy utilizado es el militamiz giratorio, que está en capacidad de remover hasta un 90% de los SST y un 35% de la DQO, es decir, equivalente a un tratamiento primario. Los MG están comprendidos en las tecnologías apropiadas innovadoras (TAI), por su sencillez de operación y costo-efectividad.</p> <p>Una característica importante de este tipo de tamices rotatorios es la autolimpieza, la cual es realizada en forma continua o discontinua, mediante diversos procesos mecánicos o hidráulicos. Los sólidos recogidos son conducidos hacia los tanques de sedimentación primaria para removerlos y concentrarlos. En algunos casos los equipos vienen con un sistema de prensado para la deshidratación de los sólidos recolectados.</p>		

No. 34	FICHA TÉCNICA	MILITAMICES GIRATORIOS (MG)
Sistemas de Pretratamiento necesarios		
Antes de ingresar al militamiz giratorio, se deben remover todos los sólidos gruesos mediante sedimentación primaria o tamices finos, para evitar una carga excesiva sobre éste.		
Aplicabilidad		
En América Latina los MG y TG se han empleado en Santa Cruz (Bolivia) y se han diseñado para Cartagena (Colombia), entre otras ciudades.		
En Colombia este sistema se podría aplicar como tratamiento previo a otros sistemas, para cualquiera de los rangos de población contemplados y como tratamiento único cuando las fuentes receptoras (ríos) tienen suficiente capacidad de asimilación y dilución y las normas ambientales lo permiten.		
Ventajas y desventajas		
Ventajas:		
<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida hidráulica relativamente baja (entre 30 y 45 cm); • Alto nivel costo-efectividad NCE; • Bajo consumo de energía; • Facilidad de operación y mantenimiento. • Son capaces de recoger una importante fracción de la carga orgánica con costos de energía relativamente bajos, especialmente si ésta se encuentra en forma particulada. • De acuerdo con su grado de automatización, se reducen las actividades y costos de operación 		
Desventajas:		
<ul style="list-style-type: none"> • Se trata de un tratamiento primario que debe ser complementado con otros tipos de tratamiento • No remueven material coloidal (o algas pequeñas del tamaño del micrón) • Requieren de un sistema de autolimpieza eficiente • Son afectados por fluctuaciones en la composición y la calidad del afluente. • Son equipos sofisticados que pueden requerir labores de montaje y mantenimiento especializado, y su consecución en el mercado nacional es difícil. Por esta razón es difícil hacer un análisis comparativo de costos con los tratamientos tradicionales. • No son eficaces cuando las sustancias contaminantes se encuentran en forma soluble. 		
Aspectos de diseño		
Los sistemas de filtración mecánicos se han venido perfeccionando y hoy día son suministrados por diversos proveedores. Últimamente el diseño se ha enfocado principalmente en sistemas hidráulicos y mecánicos con énfasis en:		
<ul style="list-style-type: none"> (i) Buscar una baja pérdida de carga. (ii) Mejorar la capacidad limpiante de la malla. (iii) Facilitar la evacuación de los residuos capturados. 		
Dentro de esta búsqueda han surgido numerosas propuestas, siendo las más utilizadas en la actualidad los tamices rotatorios. Anteriormente, las propuestas más comunes eran el tamiz de		

No. 34	FICHA TÉCNICA	MILITAMICES GIRATORIOS (MG)
		<p>bandeja, el de disco y un cierto tipo de tamiz rotatorio, todos ellos con el requerimiento de una pérdida de cabeza hidráulica importante (de alrededor a 1,5 m).</p> <p>Las ventajas de los tamices rotatorios son que pueden manejar mayores caudales de efluente, por unidad de área de tamiz que los tipos anteriormente mencionados, y que son menos afectados por la carga de sólidos en suspensión en el efluente. Los tamices giratorios pueden ser agrupados en dos categorías: los tamices de pase simple y los de pase doble.</p> <p>En el tamiz de pase simple el agua residual cruda es introducida en el dispositivo a lo largo de su eje de rotación por medio de una canaleta horizontal. El flujo rebosa por las paredes de la canaleta y cae a través del tamiz giratorio, quedando retenidos en el interior de éste los sólidos. Una serie de paletas deflectoras colocadas en espiral desplaza estos sólidos hacia recipientes recolectores o correas transportadoras. Se les llama de pase simple porque el líquido atraviesa por una sola vez la pared del cilindro.</p> <p>En los tamices de pase doble, el agua residual cruda se vierte sobre el tamiz cilíndrico, y lo atraviesa verticalmente dos veces. Los sólidos quedan retenidos sobre la cara exterior y son retirados por una lámina raspadora, que los envía hacia recipientes de recolección o correas transportadoras.</p> <p>Estos equipos se colocan en cámaras especialmente diseñadas, y al agua tiene una pérdida de cabeza importante. Su diseño modular facilita la expansión de la capacidad de tratamiento de acuerdo a las necesidades.</p> <p>La consideración de diseño más importante es, tal vez, la selección de la apertura de la malla. La separación entre los alambres determina el tamaño de abertura de los tamices, que puede oscilar entre 0,25 y 2,50 mm. Las más apropiadas para aguas residuales se sitúan entre 0,5 y 1,5 mm.</p> <p>Esta es una variable basada en la experiencia del diseñador y conocimiento del proceso. Sin embargo, a continuación, se dan algunas guías para hacer esta selección:</p> <ul style="list-style-type: none"> (i) Si por ejemplo hay un tratamiento biológico (aerobio o anaerobio), se debe emplear un MG de apertura grande (6 mm) pues la materia orgánica se removerá después y es necesaria para la operación del proceso. (ii) Si lo que sigue es una descarga directa o un emisario subacuático, entonces, como es el único tratamiento antes de la descarga, es conveniente tener una apertura menor (1,5 a 0,2 mm), la cual por su parte debe estar protegida por algún tipo de desbaste grueso, que puede ser un MG grueso. (iii) También es importante considerar el costo, pues a medida que la apertura es menor el costo es mayor, y por lo tanto es necesario evaluar la relación costo-efectividad. <p>Para el diseño se deberá tener en cuenta el caudal pico o caudal de diseño hidráulico, y las condiciones ambientales tales como temperaturas máximas y mínimas del aire y del agua, radiación solar y nubosidad, rosa de los vientos y cercanía a poblaciones, entre otros. También se consideran las cargas contaminantes a tratar, principalmente la DBO₅, la DQO, SST, el pH, el N, el P, y otros contaminantes a la entrada de la PTAR.</p>
Rendimientos esperados		

No. 34	FICHA TÉCNICA	MILITAMICES GIRATORIOS (MG)
El desempeño de los MG en el rango de 0,2 a 1,5 mm para la remoción de materia orgánica, es de una eficiencia que fluctúa entre 35% de remoción de DBO ₅ sin ayudas químicas, hasta 60% con la aplicación de coagulantes. Sin embargo, el nivel de costo-efectividad, es alto, en comparación con otros tratamientos. Para los sólidos suspendidos totales - SST, la eficiencia de remoción puede llegar al 90 %, dependiendo de la apertura de la malla.		
Generación de efectos		
Debido a la manipulación de aguas en condiciones anaeróbicas, se pueden generar malos olores. Algunos equipos vienen con gabinetes para mitigar sus efectos. Los lodos que se acumulan en los MG son crudos los cuales se empiezan a descomponer muy rápidamente produciendo malos olores tanto por los sólidos que se acumulan en el sistema como por los que se retiran para ser dispuestos. Esto requiere que se construya el sistema dentro de casetas cerradas que cuenten con algún sistema de extracción y depuración de emisiones atmosféricas y que en lo posible se ubiquen alejados del área poblada y preferiblemente en zona plana.		
Aspectos particulares de operación y mantenimiento		
<ul style="list-style-type: none"> Para su funcionamiento requieren de energía eléctrica lo que implica el contar con una fuente segura y continua de energía y en caso de que esta falle se requeriría de una fuente alterna como por ejemplo una planta de emergencia que se active automáticamente. Los requerimientos energéticos se pueden optimizar con controladores automáticos que pongan en funcionamiento la planta solo cuando se acumule determinada cantidad de sólidos. Aunque este sistema de auto lavado es sistematizado, se recomienda que las rejillas de los tamices estén limpias y libres de desechos que puedan incrementar la generación de olores y vectores. Los lodos que se retiran deben ser dispuestos en el menor tiempo posible en un relleno sanitario o en otro sistema de disposición de lodos frescos, para minimizar la generación de olores. Aunque la operación diaria del sistema es sencilla, requiere personal con nivel de escolaridad técnico, garantizando un operario capacitado y entrenado en la planta las 24 horas al día y los 30 días del mes. Para el mantenimiento preventivo y correctivo de los militamices se requiere personal técnico electro-mecánico con dedicación de cuatro días al mes. Las actividades requeridas para la operación y el mantenimiento diario son sencillas ya que cuando se alcanza una determinada diferencia de cotas de agua (arriba y abajo del tamiz), se pone en marcha el mecanismo automático de autolimpieza. Dependiendo del tamaño de la planta, las funciones de operación y mantenimiento pueden ser delegadas a muy pocos operadores y en poblaciones muy pequeñas a uno solo por turno. En la planta se debe tener a mano un Kit básico de repuestos que debe ser acordado con la compañía proveedora del MG, para que en caso de una falla no sea necesario parar el sistema hasta que se realice el trámite de importación Siempre se debe contar por lo menos con un operador entrenado que esté disponible para reemplazar al titular en caso de enfermedad o cualquier contingencia no prevista, para garantizar el funcionamiento continuo del sistema. 		
Referencias bibliográficas		

No. 34	FICHA TÉCNICA	MILITAMICES GIRATORIOS (MG)
		Arthur J. 1983. <i>Notes on the design and operation of waste stabilization ponds in warm climates in developing countries. World Bank Technical paper.</i> Estados Unidos.
		Libhaber. 2004. <i>Wastewater Treatment in Developing Countries: Use of Physico-Chemical Processes for Achieving Affordable Disposal Schemes, The World Bank, Munich wastewater technical seminar.</i> Colombia.
		Libhaber, Proyecto del Banco Mundial de Infraestructura Urbana de Bolivia (Anexo 15 - proyecto de Santa Cruz).
		Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2008. Estudios conducentes a determinar las tecnologías para tratamiento de aguas residuales municipales, aplicables a poblaciones menores de 300.000 habitantes. Consorcio HIMEC–ESSERE. Colombia.
		García A., Edmundo y Russell G. 2000. Militamices como Sistema de Pre-tratamiento. Cepis. Estados Unidos.
		Metcalf y Eddy. 2003. <i>Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. Ed.4^a AECOM Press & McGraw Hill Professional.</i> Estados Unidos.

No. 35	FICHA TÉCNICA	NEUTRALIZACION
Descripción general del sistema		
<p>El pH se define como menos logaritmo de la concentración de iones de hidrógeno, y sus valores altos indican alcalinidad y los bajos acidez. El control del pH es muy importante realizarlo tanto en la entrada de la PTAR como en el efluente, y en algunos casos en la entrada de algunos de los procesos componentes.</p> <p>El proceso de neutralización de pH consiste esencialmente en inyectar al flujo una solución ácida cuando se requiere bajar el pH, o una solución básica o alcalina cuando se requiere aumentarlo. Las sustancias más utilizadas para aumentar el pH son cal viva y apagada, que tienen costo relativamente bajo, e hidróxido de sodio, que genera bastante menos cantidad de lodos y puede ser dosificado más fácilmente. Las sustancias más utilizadas para reducir el pH son ácidos clorhídrico y sulfúrico. Se puede utilizar gas carbónico CO₂ en plantas donde éste se produce en cantidades sustanciales. En ocasiones se utiliza ácido fosfórico en procesos biológicos que necesitan la adición de fósforo. El hidróxido de sodio y los ácidos utilizados en neutralización son sustancias peligrosas que requieren medidas de manejo especiales.</p> <p>La adición de las soluciones de ácidos o bases se hace usualmente mediante bombas dosificadoras controladas mediante variadores de velocidad o válvulas reguladoras, las cuales frecuentemente se encuentran conectadas a un sistema de control automático que recibe señales de pehachímetros en línea. Existen esencialmente 3 tipos de procesos de neutralización: el proceso secuencial por tandas en un tanque, el proceso continuo en tanque, y la inyección directa en la tubería. En ocasiones se incluyen tanques de ecualización para reducir las variaciones del pH en la entrada del proceso.</p> <p>Otra forma de aumentar el pH de aguas ácidas es hacerla pasar a través de un lecho granular de caliza o de otros materiales calcáreos (marmolina, conchas, cáscaras de huevo).</p>		
<p>Proceso Secuencial en Tanque:</p> <p>Este diagrama muestra un tanque dividido horizontalmente en dos secciones: una superior para mezclar y una inferior para mantener el nivel de líquido. Se incluye un sensor de pH en la parte inferior. Los componentes principales son: Entradas, Mezclador, Bomba Dosisificadora, Válvula de Solenoide, Sistema de Control, Salidas, Nivel Maximo, Nivel Minimo, Sensor de pH y Valvulas de Solenoide.</p> <p>Proceso Continuo en Tanque:</p> <p>Este diagrama muestra un tanque continuo. Los componentes principales son: Entradas, Mezclador, Bomba Dosisificadora, Válvula de Solenoide, Sistema de Control, Salidas, Sensor de pH y Mezclador Estático.</p> <p>Proceso con Inyección Directa:</p> <p>Este diagrama muestra la inyección directa de una solución en una tubería. Los componentes principales son: Inyección de Solución, Mezclador Estático, Sensor de pH, Entradas, Mezclador, Bomba Dosisificadora, Válvula de Solenoide, Sistema de Control, Salidas y Sensor de pH.</p>		

No. 35	FICHA TÉCNICA	NEUTRALIZACION
Sistemas de Pretratamiento necesarios		
El proceso de neutralización no requiere ningún sistema de pretratamiento.		
Aplicabilidad		
<p>El pH afecta notablemente la eficiencia de procesos de tratamiento biológico y químico. Además, es un factor que puede alterar directa o indirectamente los ecosistemas acuáticos, puesto que las especies biológicas tienen límites de pH a los cuales pueden alterarse, y los valores muy altos o bajos inciden en la solubilidad de tóxicos como los metales pesados. Los valores extremos de pH también afectan las tuberías, estructuras y otros elementos que se encuentren en contacto con el agua. La neutralización se emplea como complemento de procesos que necesitan incrementar o bajar el pH, como es el caso de remoción de metales con alcalinización, o los efluentes del lavado ácido de membranas.</p>		
<p>Se recomienda para sistemas en los cuales se encuentren valores de pH en la entrada a los procesos o el efluente por fuera de los límites recomendables.</p>		
Ventajas y desventajas		
<p>Ventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> • La neutralización es un proceso clave para optimizar otros procesos de tratamiento químico y biológico. • Las estructuras requeridas son sencillas y ocupan poco espacio. <p>Desventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los insumos pueden tener costos apreciables, y su manejo requiere de medidas de seguridad especiales. • Se requiere un control sofisticado para que sea efectiva y confiable. 		
Aspectos de diseño		
<p>Los equipos de control del pH están compuestos de un tanque de solución homogénea, una bomba dosificadora provista de un variador de velocidad o de un sistema de válvulas reguladores de solenoide en la salida, un sensor de pH (pehachímetro) que produce una señal en línea, y un sistema de control programable tipo PLC, que recibe la señal del sensor y regula el suministro de solución. Usualmente hay un tanque de ecualización aguas arriba para reducir las variaciones del pH en la neutralización, o aguas abajo para homogenizar el pH y reducir las variaciones que puedan producirse debido a deficiencias que generalmente ocurren en el ajuste de éste.</p>		
<p>La reacción química de la neutralización ocurre instantáneamente, pero el tiempo de mezcla física o real está más relacionado con la tasa de dispersión y mezcla del reactor escogido. En muchos sistemas de neutralización se ha calculado un tiempo de 1.5 a 30 minutos como un tiempo de retención mínimo para que ocurra la neutralización. Este tiempo de reacción se logra mediante una cámara con el volumen correspondiente al tiempo de retención, provista de un sistema de mezclado.</p>		
<p>El control de esta variable es en general difícil de realizar debido a la dependencia altamente no lineal entre los reactivos que ingresan al sistema y el pH que se establece. Esta relación se ve influenciada por sustancias amortiguadoras (en inglés <i>buffer</i>), que tratan de mantener los</p>		

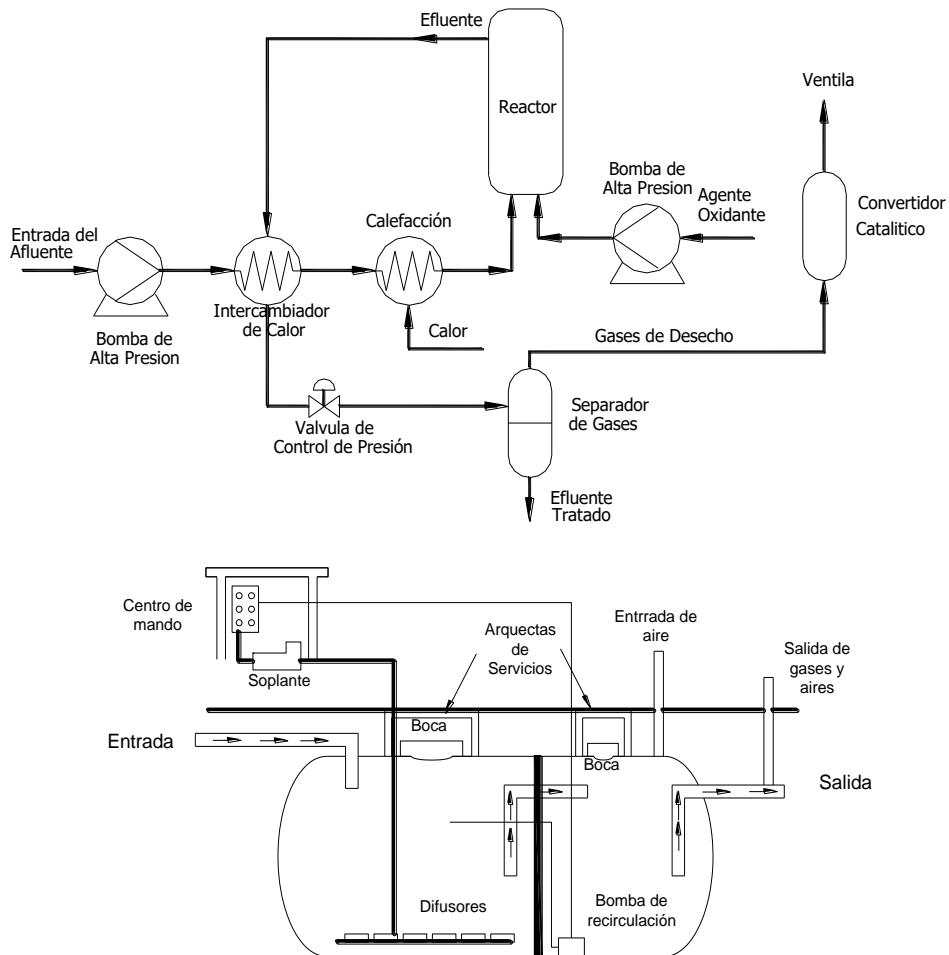
No. 35	FICHA TÉCNICA	NEUTRALIZACION
valores existentes, y por la reacción con sólidos no disueltos, entre otras. En los últimos años se ha desarrollado una gran cantidad de modelos para la dosificación de neutralizantes en el control de pH, que toman en cuenta la característica no lineal del proceso.		
Existen los siguientes procesos principales de neutralización.		
<ol style="list-style-type: none"> 1. Proceso secuencial, que se realiza en un tanque, al cual llega el afluente en forma discontinua, y se le añade la solución neutralizante hasta llegar al pH deseado. Este proceso permite un buen control mediante mecanismos de automatización sencillos, pero produce un efluente discontinuo que puede requerir un segundo tanque a la salida. 2. Proceso continuo con tanque de mezcla. En este caso la dosificación se hace en un tanque provisto de un mezclador para mantenerlo homogéneo. El controlador procesa la señal del sensor de pH y adiciona la solución de neutralizante, cuyo caudal es función de la diferencia con el pH requerido. 3. Proceso con inyección directa en la tubería. Es un sistema similar al anterior, pero no se cuenta con el efecto regulador del tanque, por lo cual se utiliza principalmente cuando no hay que hacer ajustes grandes de pH y el caudal es constante, o cuando se requiere aumentos o disminuciones sustanciales de pH por lo que la adición de solución no varía grandemente. En este caso se tiene la adición de solución neutralizante en un punto de la tubería, aguas abajo se encuentra un mezclador estático, y a continuación el sensor de pH, que mide el valor en el efluente. Existe una alternativa en la cual el sensor se encuentra aguas arriba del punto de aplicación de solución neutralizante, y la dosificación se encuentra dada por un modelo matemático que la correlaciona con la diferencia de pH respecto a la meta. 		
Para establecer las dosis de solución neutralizante se emplean ensayos de titulación, en los cuales se determina la dosis para alcanzar un pH dado, y el tiempo que dura la reacción.		
Generación de efectos		
La neutralización puede originar la decantación de sustancias, especialmente cuando se aumenta el pH, que ocasiona la disminución de la solubilidad de sustancias que pueden ser tóxicas, como los metales pesados, cuyos lodos se consideran residuos peligrosos. La disminución del pH usualmente no genera lodos.		
Aspectos particulares de operación y mantenimiento		
Usualmente este proceso se encuentra automatizado, y no se producen grandes necesidades de operación y mantenimiento, distintas al ajuste de los equipos y a su mantenimiento mecánico.		
Referencias bibliográficas		
Metcalf y Eddy. 2003. <i>Wastewater Engineering: Treatment and Reuse.</i> Ed.4 ^a AECOM Press & McGraw Hill Professional. Estados Unidos.		
Romero R., Jairo. 2002. Tratamiento de aguas residuales: teoría y principios de diseño. Ed.2 ^a Escuela Colombiana de Ingeniería. Colombia.		

No. 36	FICHA TÉCNICA	OXIDACION QUIMICA
Descripción general del sistema		
<p>A través de la oxidación química se aplican al agua uno o varios oxidantes o procesos de oxidación combinados, para eliminar o reducir compuestos inorgánicos y orgánicos oxidables, los cuales son convertidos en dióxido de carbono, agua y algunos subproductos, que pueden ser degradables o no. Existen varias alternativas, las cuales pueden considerarse como un tratamiento total o a un pretratamiento. Existen fundamentalmente tres tipos de procesos de oxidación química:</p> <p>Oxidación Húmeda no Catalítica (WAO por sus siglas en inglés), en la cual el efluente presenta ácidos carboxílicos tales como fórmico, acético y oxálico. Estos son compuestos biodegradables que se pueden eliminar mediante un tratamiento complementario, generalmente biológico. La temperatura de tratamiento en estos procesos es función de la naturaleza de los compuestos que se deben degradar, pero en general oscila entre 150 y 350°C con una presión de operación entre 20 y 200 bar.</p> <p>Oxidación Húmeda Catalítica (CWAO por sus siglas en inglés). Es un desarrollo más reciente, en el cual se utilizan catalizadores con el fin de acelerar la velocidad de la reacción de degradación de los compuestos orgánicos, lo que permite mineralizar una mayor parte de los contaminantes orgánicos y de los compuestos inorgánicos tales como cianuros y amoníaco. El catalizador hace posible la operación en condiciones de temperatura entre 120°C y 250°C, y presión más moderada, en el rango de 15 a 50 bares, que dependen esencialmente del tipo de catalizador. La reducción de DQO oscila entre el 75% y el 99%. Los catalizadores utilizados son metales u óxidos metálicos tales como el sulfato de hierro.</p> <p>Procesos avanzados de oxidación (AOP por sus siglas en inglés). En estos procesos se generan radicales hidroxilos en cantidad suficiente para interaccionar con los compuestos orgánicos. Estos radicales tienen una elevada capacidad oxidante de baja selectividad. Para ello se utilizan oxidantes como ozono, peróxido de hidrógeno, compuestos de cloro y reactivo Fentón (peróxido de hidrógeno y sales de hierro como catalizador), y procesos oxidantes como radiación ultravioleta, oxidación electroquímica y fotocatálisis. Estos procesos son costosos y usualmente se complementan con otros tratamientos, como la adsorción o los tratamientos biológicos. Pueden emplearse para tratar efluentes con concentraciones de DQO menores que 5 g/L. Para mayores concentraciones, es más viable la utilización de la oxidación húmeda, que tiene menor consumo de agente oxidante y mejor balance energético en el proceso.</p>		

No. 36

FICHA
TÉCNICA

OXIDACION QUIMICA



Sistemas de Pretratamiento necesarios

Es necesario realizar los tratamientos primarios previamente a la oxidación química.

Aplicabilidad

En general, la oxidación química se utiliza para tratar aguas residuales industriales, que contengan compuestos no biodegradables o tóxicos para los sistemas de depuración biológico. También es competitivo en el tratamiento de aguas residuales con concentraciones orgánicas altas y cuando no se dispone de mucho espacio para la planta. El proceso puede generar subproductos no deseables, especialmente si se utilizan compuestos de cloro, por lo cual pueden requerirse procesos de adsorción a continuación.

La combinación de un proceso de oxidación química, seguido de un tratamiento biológico convencional, permite reducir los costos del proceso de oxidación química, y a la vez aumentar la efectividad del tratamiento biológico y reducir la generación de lodos de éste.

No. 36	FICHA TÉCNICA	OXIDACION QUIMICA
Ventajas y desventajas		
<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Alta eficacia para eliminar materia orgánica. • Proceso automático. • No deja residuo líquido. • Puede tratar los contaminantes orgánicos muy concentrados en agua o no biodegradables • Los procesos son rápidos, por lo cual la planta es compacta. • No genera olores ni emisiones potencialmente nocivas. 		
<p>Desventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Las sustancias oxidantes son bastante costosas, con excepción de los compuestos clorados. • Los compuestos clorados generan subproductos altamente perjudiciales para el medio ambiente, que puede requerir de filtración con carbón activado, incrementando los costos. • Se requiere un estricto control de la dosificación de oxidantes y de la producción de subproductos, que lo hace poco apropiado para aguas residuales municipales que tienen alta variabilidad en sus componentes y concentraciones. • La utilización de oxidantes químicos implica factores de riesgo altos, y se requieren medidas de prevención para su transporte, almacenamiento y manipulación. 		
Aspectos de diseño		
<p>Debido a su costo, se utiliza frecuentemente la oxidación parcial, en el cual los oxidantes remueven parte de la DQO, y se utilizan tratamientos biológicos para remover el resto.</p> <p>La combinación de oxidantes y catalizadores debe diseñarse para cada tipo de agua residual, de acuerdo con sus constituyentes. Generalmente la cantidad de oxidantes requeridos supera la calculada para las aguas residuales, debido a que no todos éstos reaccionan y a que se subestima la demanda bioquímica de oxígeno. Un factor muy importante es el pH del agua.</p> <p>Una de las dificultades de la oxidación química es la formación de subproductos altamente perjudiciales para el medio ambiente, tales como cloraminas y trihalometanos, cuando se utiliza compuestos de cloro. En estos casos es conveniente complementar el tratamiento con filtración a través de carbón activado, el cual no solo tiene capacidad de adsorber los subproductos, sino los excesos de oxidante, produciéndose una degradación endógena.</p>		
Rendimientos esperados		
<p>La remoción de DQO en procesos de oxidación química oscila entre el 75 y el 90%.</p>		
Generación de efectos		
<p>Debido a que el proceso de oxidación ocurre en forma rápida y que es generalmente completa, se minimiza la emisión de olores.</p>		
Aspectos particulares de operación y mantenimiento		
<p>En este proceso se requiere un sistema de control avanzado de la dosificación de sustancias oxidantes y de los demás de procesos, y el monitoreo de los subproductos, para evitar la presencia de éstos o de residuos de oxidantes altamente perjudiciales en el medio ambiente. Es también</p>		

No. 36	FICHA TÉCNICA	OXIDACION QUIMICA
		fundamental controlar las condiciones de presión y temperatura a la cual se realiza el proceso. La escasa generación de lodos reduce las necesidades de manejo de éstos.
Referencias bibliográficas		
		Rodríguez A., et al. 2006. Tratamientos Avanzados de Aguas Residuales Industriales. Colección dirigida por José de la Sota Ríus y coordinada por la Fundación para el conocimiento CEIM. España.
		Kirkham C. 2006. <i>Efficacy of Advanced Oxidation Processes for Elimination of Objectionable Contaminants from Wastewater Effluent.</i> Water Environment Foundation. WEFTEC. Estados Unidos.
		Shubhr, J. 2007. <i>Use of Ultraviolet Disinfection and Advanced Oxidation Process for Reclaimed Water Treatment of Microcontaminants.</i> Water Environment Foundation. WEFTEC. Estados Unidos.
		Paradowska M. 2004. <i>Tailored chemical oxidation techniques for the abatement of bio-toxic organic wastewater pollutants: An experimental study.</i> Departament d'Enginyeria Química. Universitat Rovira i Virgili. Tarragona. España.

No. 37	FICHA TÉCNICA	OZONIZACIÓN
Descripción general del sistema		
<p>El ozono se produce cuando las moléculas de oxígeno (O_2) son disociadas por medio de una fuente de energía produciendo átomos de oxígeno que posteriormente chocan con una molécula de oxígeno para formar un gas inestable, el ozono (O_3), que se utiliza para desinfección de las aguas residuales.</p> <p>El ozono es un oxidante y agente germicida de virus muy fuerte. Los mecanismos de desinfección asociados con el uso del ozono incluyen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • La oxidación o destrucción directa de la pared de la célula con la salida de componentes celulares fuera de la misma. • Las reacciones con los subproductos radicales de la descomposición del ozono. • El daño a los componentes de los ácidos nucleicos (purinas y pirimidinas). • La ruptura de las uniones de carbono-nitrógeno que conduce a la despolimerización. <p>Cuando el ozono se descompone en agua, los radicales libres del peróxido de hidrógeno (HO_2) y del hidróxido (OH) que se forman tienen gran capacidad de oxidación y desempeñan un papel activo en el proceso de desinfección. En general se cree que las bacterias son destruidas debido a la oxidación protoplasmática, dando como resultado la desintegración de la pared de la célula (fisuramiento o lisis de la célula).</p> <p>El sistema se compone de una fuente de alimentación, instalaciones para la preparación de la alimentación de gas, instalaciones de generación de ozono, instalaciones para ponerse en contacto con la capa de ozono con el líquido a ser desinfectados e instalaciones para la destrucción del gas liberado (Rice, 1996).</p>		
<pre> graph LR A[Preparación de gas de alimentación: • Producción de oxígeno • Almacenamiento de oxígeno • Tratamiento con aire/oxígeno] --> B[Generación de Ozono] B --> C[Cámara de contacto de Ozono] C -- Descarga --> D[Destrucción del Ozono] C -- Reciclable --> A C -- Entrada del Agua Residual --> C </pre>		
Sistemas de Pretratamiento necesarios		
<p>Debe haberse realizado por lo menos tratamiento secundario a las aguas residuales.</p>		
Aplicabilidad		
<p>Se utiliza generalmente en plantas de tamaño mediano o grande una vez que el agua residual haya recibido por lo menos tratamiento secundario. Se utiliza como desinfectante.</p>		
<p>Se utiliza para el control de malos olores.</p>		
Ventajas y desventajas		
<p>Ventajas:</p>		

No. 37	FICHA TÉCNICA	OZONIZACIÓN																																	
<ul style="list-style-type: none"> • El ozono es más eficaz que la utilización del cloro para la desinfección o destrucción de virus y bacterias. • El proceso de ozonización utiliza un período corto de contacto (aproximadamente de 10 a 30 minutos). • No existen residuos peligrosos que necesiten ser removidos después del proceso de ozonización porque el ozono se descompone rápidamente. • Después del proceso de ozonización, los microorganismos no crecen nuevamente, a excepción de aquellos que están protegidos por las partículas en la corriente de agua residual. • El ozono es generado dentro de la planta, existiendo así muy pocos problemas de seguridad industrial asociados con el envío y el transporte. • El proceso de ozonización eleva la concentración de oxígeno disuelto (OD) del efluente. El incremento de OD puede eliminar la necesidad de reaireación y también puede incrementar el nivel de OD en la corriente de agua receptora. 																																			
<p>Desventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> • La baja dosificación puede no desactivar efectivamente algunos virus, esporas o quistes. • El proceso de ozonización es una tecnología más compleja que la cloración o la desinfección con luz ultravioleta, por lo cual se requieren equipos complicados y sistemas de contacto eficientes. • El ozono es muy reactivo y corrosivo, requiriendo así de materiales resistentes a la corrosión tales como el acero inoxidable. • El proceso de ozonización no es económico para las aguas residuales con altas concentraciones de sólidos suspendidos (SS), demanda bioquímica del oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno, o carbono orgánico total. • El ozono es extremadamente irritante y posiblemente tóxico, así que los gases de escape que salen de la cámara de contacto deben ser destruidos para evitar que los trabajadores estén expuestos a ellos. • El costo del tratamiento puede ser relativamente alto en cuanto a la inversión de capital y la demanda de energía eléctrica. 																																			
Aspectos de diseño																																			
<p>La dosis de ozono necesaria para la desinfección puede ser estimada considerando demanda inicial de ozono de las aguas residuales y la dosis de ozono necesaria. La dosis de ozono necesaria para satisfacer la demanda inicial dependerá de los componentes de las aguas residuales, como se muestra en la siguiente tabla:</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="3">Tipo de agua residual</th> <th rowspan="2">Conteo inicial de coliformes</th> <th colspan="4">Dosisificación de ozono</th> </tr> <tr> <th colspan="4">Estándar en el efluente NMP/100mL</th> </tr> <tr> <th>NMP/100mL</th> <th>1000</th> <th>200</th> <th>23</th> <th><2.2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Aguas residuales crudas</td> <td>$10^7 - 10^9$</td> <td>15-40</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Efluente primario</td> <td>$10^7 - 10^9$</td> <td>10-40</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Efluente de filtro de goteo</td> <td>$10^5 - 10^6$</td> <td>4-10</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Tipo de agua residual	Conteo inicial de coliformes	Dosisificación de ozono				Estándar en el efluente NMP/100mL				NMP/100mL	1000	200	23	<2.2	Aguas residuales crudas	$10^7 - 10^9$	15-40				Efluente primario	$10^7 - 10^9$	10-40				Efluente de filtro de goteo	$10^5 - 10^6$	4-10			
Tipo de agua residual	Conteo inicial de coliformes	Dosisificación de ozono																																	
		Estándar en el efluente NMP/100mL																																	
	NMP/100mL	1000	200	23	<2.2																														
Aguas residuales crudas	$10^7 - 10^9$	15-40																																	
Efluente primario	$10^7 - 10^9$	10-40																																	
Efluente de filtro de goteo	$10^5 - 10^6$	4-10																																	

No. 37	FICHA TÉCNICA	OZONIZACIÓN				
Tipo de agua residual	Conteo inicial de coliformes	Dosisificación de ozono				
		Estándar en el efluente NMP/100mL				
	NMP/100mL	1000	200	23	<2.2	
Efluente de lodos activados	$10^5 - 10^6$	4-10	4-8	16-30	30-40	
Efluente filtrado de lodos activados	$10^4 - 10^6$	6-10	4-8	16-25	30-40	
Efluentes nitrificados	$10^4 - 10^6$	3-6	4-6	8-20	18-24	
Filtrado de efluentes nitrificados	$10^4 - 10^6$	3-6	3-5	4-15	15-20	
Efluente de microfiltración	$10^1 - 10^3$	2-6	2-6	3-8	4-8	
Osmosis inversa	Nulo				1-2	
Efluente de tanque séptico	$10^7 - 10^9$	15-40				
Efluente de filtro intermitente de arena	$10^7 - 10^4$	4-8	10-15	12-20	16-25	

Fuente: Metclaf y Eddy, 2003

Rendimientos esperados
Las eficiencias de remoción varían entre el 80 y 90% de remoción de microorganismos (bacterias, virus, protozoos)
Generación de efectos
Los gases de escape de la cámara de contacto deben ser tratados para destruir cualquier ozono restante antes de ser liberados a la atmósfera.
Aspectos particulares de operación y mantenimiento
<ul style="list-style-type: none"> • Abastecer al generador de ozono con un gas limpio de alimentación que tenga un punto de condensación igual o menor a -60 °C (-76 °C). Si el gas alimentado tiene humedad, la reacción de ozono y la humedad puede generar una condensación muy corrosiva en el interior del ozonizador. La producción del generador puede ser disminuida por la formación de los óxidos de nitrógeno (tales como ácido nítrico). • Mantener el flujo requerido del enfriador del generador (aire, agua u otro líquido). • Lubricar el compresor o el soplador de acuerdo con las especificaciones del fabricante. Asegurarse que todas las empaquetaduras de sellado del compresor se encuentren en buenas condiciones. • Operar el generador de ozono dentro de los parámetros de diseño. Examinar y limpiar regularmente el ozonizador, el suministro de aire y los ensamblajes dieléctricos, y monitorear regularmente la temperatura del generador de ozono. • Hacer monitoreo del sistema de alimentación y distribución de ozono para asegurar que el volumen necesario tenga suficiente contacto con las aguas residuales. • Mantener los niveles ambientales de ozono por debajo de los límites de las regulaciones de seguridad aplicables.
Referencias bibliográficas

No. 37	FICHA TÉCNICA	OZONIZACIÓN
		<i>United States Environmental Protection Agency. 1999. 832-F-99-063. Folleto informativo de tecnología de aguas residuales: Desinfección con ozono. EPA. Estados Unidos.</i>
		<i>Metcalf y Eddy. 2003. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. Ed.4^a AECOM Press & McGraw Hill Professional. Estados Unidos.</i>

No. 38	FICHA TÉCNICA	REACTORES ANAERÓBICOS DE FLUJO ASCENDENTE (RAFA)
Descripción general del sistema		
<p>El sistema de tratamiento conocido como reactor UASB (por las siglas en inglés de <i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket</i>), es también conocido en portugués como reactor de flujo ascendente RAFA.</p> <p>Es un reactor que tiene un manto de lodos, pero debido a la producción de gas se mantiene mezcla completa en el licor mixto. En la parte superior se encuentra un dispositivo conocido como separador gas-sólido-líquido (SGSL), que cumple la función de separar las burbujas de gas que arrastran los flóculos o gránulos de biomasa, del flujo del líquido, minimizando la pérdida de biomasa.</p> <p>Para que el tratamiento pueda proceder adecuadamente, es necesario que las bacterias se agrupen en forma compacta, bien sea en un flóculo o gránulo con el objeto de aprovechar la capacidad de bioconversión de la materia orgánica a gas metano de los consorcios bacterianos formados en los gránulos anaerobios.</p>		
Sistemas de Pretratamiento necesarios		
<p>Sistema de remoción de sólidos gruesos (tamiz giratorio, cribado). Deben colocarse trampas de grasa aguas arriba de los reactores UASB.</p>		
Aplicabilidad		

No. 38	FICHA TÉCNICA	REACTORES ANAERÓBICOS DE FLUJO ASCENDENTE (RAFA)
Debe tenerse en cuenta la influencia directa y muy marcada de la temperatura en la eficiencia del sistema por lo que se debe preferir su aplicación en poblaciones con climas templados y calientes. Para climas fríos se debe complementar con otro sistema aeróbico, o estudiar la posibilidad de diseñar algún sistema de calentamiento del reactor.		
Ventajas y desventajas		
Dentro de las ventajas se encuentran:		
<ul style="list-style-type: none"> • Posibilidad de aplicarlos en presencia de altas cargas orgánicas con adecuada eficiencia en remoción de contaminantes orgánicos. • Baja cantidad de lodo en exceso debido a que la velocidad con que se multiplican los microorganismos anaeróbicos es relativamente baja. Por tanto, los costos de tratamiento y disposición de lodos y los efectos ambientales negativos son menores que en otros procesos. • El área requerida para su implementación es menor que la requerida en procesos aeróbicos. • La construcción es simple y utilizan materiales locales. • El costo de inversión, de operación y de mantenimiento son menores que los de los procesos aerobios. • Sencillez en su operación y mantenimiento y bajos costos por este concepto. • Bajo requerimiento de nutrientes. • Con un adecuado aprovechamiento de la topografía y carga hidráulica disponible es posible no tener requerimientos de bombeo, con lo que el equipo electromecánico requerido es mínimo y los requerimientos energéticos casi nulos. • Producción de gas metano que puede ser recogido y utilizado para generar energía, o puede ser quemado, reduciendo así las emisiones de gases efecto invernadero, por lo que se puede obtener ventajas del fondo del carbón para la reducción de emisiones, aumentando las ventajas financieras. 		
Dentro de las desventajas se encuentran:		
<ul style="list-style-type: none"> • Se corre el riesgo de asociar la aparente simplicidad del sistema con una simplicidad conceptual en los procesos, con lo que se pueden presentar diseños defectuosos, y más aún, una operación inadecuada. • Producción de malos olores que se magnifican cuando el sistema se desestabiliza. • Son menos eficientes que el sistema aeróbico y no remueve patógenos lo que constituye una limitante en su utilización. • Lentitud del arranque y la estabilización del proceso. • Baja remoción de nitrógeno y fósforo. • Alta sensibilidad del proceso a los cambios de temperatura. • Requiere generalmente un pulimento aeróbico. 		
Aspectos de diseño		
El principal parámetro hidráulico de diseño de los reactores UASB para ARD es la velocidad ascensional o carga hidráulica en el reactor, $vr = Q/As$ ($m^3/m^2.h \equiv m/h$). En realidad, son importantes también las velocidades en el sedimentador (vs), la velocidad de paso (vp) al separador gas-sólido-líquido (SGSL), y la carga de biogás (vg) ($m^3\text{biogás}/m^2.h$).		
La cabeza estática de la caja de entrada sobre el nivel del agua debe ser mínimo de 0.5 m. Los		

No. 38	FICHA TÉCNICA	REACTORES ANAERÓBICOS DE FLUJO ASCENDENTE (RAFA)																			
sistemas de alimentación deben de ser de fácil limpieza. La salida del tubo de alimentación debe estar más o menos a 10 cm del fondo, con el fin de permitir una cierta acumulación de arena antes de empiece a obstruir los tubos de entrada.																					
El lugar adecuado para la descarga del lodo de exceso es a la mitad de la altura del reactor, aunque es recomendable equipar el reactor también cerca al fondo y aproximadamente medio metro debajo de la unidad de GSS.																					
La unidad separadora de gases y sólidos o campana es la estructura clave en un reactor UASB. Los criterios para su diseño están determinados por la velocidad ascendente en la abertura, la carga superficial del compartimiento de sedimentación y el ángulo de los lados de la misma campana.																					
Las consideraciones de diseño importantes son:																					
<ul style="list-style-type: none"> (i) Características de Aguas Residuales en términos de composición y contenido de sólidos. (ii) Carga orgánica volumétrica. (iii) Velocidad de flujo ascendente. (iv) Volumen del reactor. (v) Características físicas, incluyendo el sistema de distribución de afluentes (vi) Sistema de recogida de gases. 																					
El tiempo de retención aplicable a las aguas residuales municipales depende de la temperatura, según la siguiente Tabla:																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2" style="text-align: center;">Rango de Temperatura (°C)</th> <th colspan="3" style="text-align: center;">Valores de tiempo de retención hidráulico (h)</th> </tr> <tr> <th style="text-align: center;">Promedio diario</th> <th style="text-align: center;">Máximo durante 4 - 6 horas</th> <th style="text-align: center;">Pico aceptable durante 2-6 horas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">16 - 19</td> <td style="text-align: center;">10 - 14</td> <td style="text-align: center;">7 - 9</td> <td style="text-align: center;">3 - 5</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">22 - 26</td> <td style="text-align: center;">7 - 9</td> <td style="text-align: center;">5 - 7</td> <td style="text-align: center;">> 3</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">> 26</td> <td style="text-align: center;">> 6</td> <td style="text-align: center;">> 4</td> <td style="text-align: center;">> 2.5</td> </tr> </tbody> </table>			Rango de Temperatura (°C)	Valores de tiempo de retención hidráulico (h)			Promedio diario	Máximo durante 4 - 6 horas	Pico aceptable durante 2-6 horas	16 - 19	10 - 14	7 - 9	3 - 5	22 - 26	7 - 9	5 - 7	> 3	> 26	> 6	> 4	> 2.5
Rango de Temperatura (°C)	Valores de tiempo de retención hidráulico (h)																				
	Promedio diario	Máximo durante 4 - 6 horas	Pico aceptable durante 2-6 horas																		
16 - 19	10 - 14	7 - 9	3 - 5																		
22 - 26	7 - 9	5 - 7	> 3																		
> 26	> 6	> 4	> 2.5																		
Se debe igualmente cumplir las siguientes consideraciones:																					
<ol style="list-style-type: none"> 1. Las paredes de la estructura de separación sólido-gas deben contar con una inclinación de 50 a 60 °C. 2. La tasa de carga orgánica superficial debe estar alrededor de 0.7 m/h, en condiciones de caudal máximo horario. 3. La velocidad del agua en la garganta de retorno de lodos sedimentados no debe exceder los 5 m/h, para condiciones de caudal máximo horario. 4. El área superficial de las aberturas entre el colector de gas debe estar entre 15 y 20% del área superficial del reactor. 5. La altura mínima del colector de gas debe estar entre 1.5 y 2 m. 6. El traslapo en la instalación de las pantallas de la campana debe ser de 10 a 20 cm. 7. El diámetro de las tuberías de expulsión de gas debe ser suficiente para soportar la remoción fácil del biogás desde la tapa del colector de gas, particularmente en el caso de formación de 																					

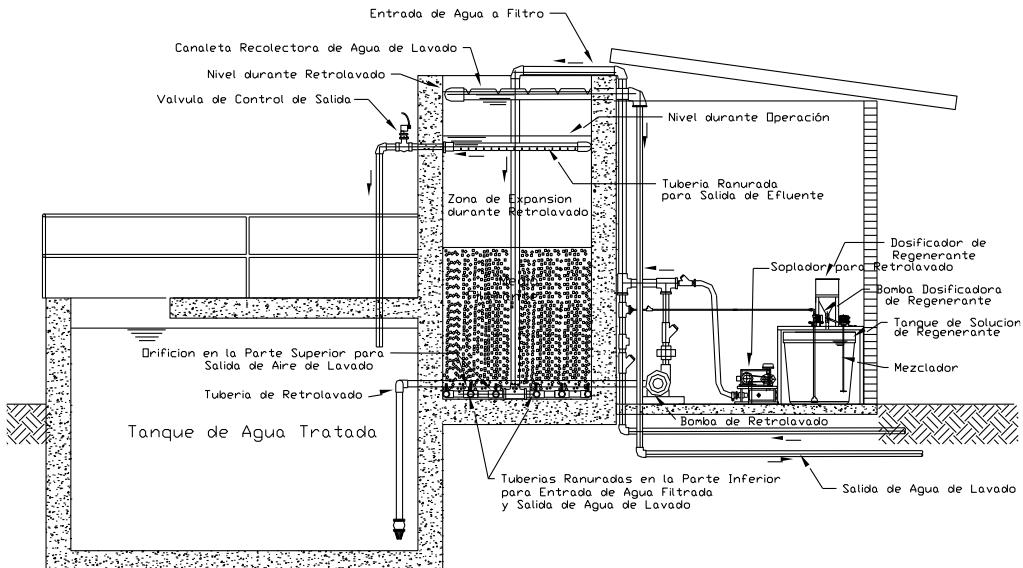
No. 38	FICHA TÉCNICA	REACTORES ANAERÓBICOS DE FLUJO ASCENDENTE (RAFA)
		<p>espuma.</p> <p>8. La superficie del reactor debe ser cubierta para minimizar el desprendimiento de malos olores. El gas secundario debe recogerse y tratarse adecuadamente. Se debe prever la remoción de natas y material flotante en la zona de sedimentación. Se deben dejar instalaciones para la inspección y limpieza de la parte interna de las campanas y la zona de sedimentación.</p> <p>9. Para disminuir obstrucciones en las canaletas de recolección de efluentes y arrastre de sustancias flotantes debe proveerse una pantalla de 20 cm de profundidad para la retención de dichas sustancias.</p> <p>10. Debe buscarse siempre, condiciones simétricas, en las estructuras de manejo de caudales.</p> <p>11. Se debe proveer de un sistema de muestreo del manto de lodos en el reactor para poder definir la altura del mismo y las características del lodo a diferentes alturas. Se recomienda un sistema de válvulas telescópicas.</p>
Rendimientos esperados		
El reactor UASB para ARD produce un efluente que contiene generalmente entre 35 y 100 mg DBO ₅ total /L, de 30 a 40 mg DBO ₅ soluble /L y de 50 a 130 mg SS /L. De este modo las eficiencias de remoción son 60-75% de DBO ₅ total y 60-70% para los SS.		
Generación de efectos		
En el tratamiento anaerobio, se presenta una bioconversión del sustrato (el ARD) al pasar por una matriz de biomasa (es decir la población bacteriana) que efectúa la bioconversión principalmente a Metano (CH ₄) y a más biomasa (muy poca), y también CO ₂ y H ₂ O. En este caso la bioconversión no requiere de gran gasto energético puesto que la mayor parte de la energía queda guardada en el Metano.		
Generación de lodos digeridos.		
Aspectos particulares de operación y mantenimiento		
<ul style="list-style-type: none"> • Aunque la operación diaria del sistema es sencilla, requiere personal con nivel de escolaridad técnico, garantizando un operario en la planta las 24 horas al día y los 30 días del mes. Los operarios de turno deben estar capacitados y entrenados. El mantenimiento preventivo y correctivo de los tamices y de los sistemas de bombeo de agua y lodos, en caso de que se requieran, debe ser realizado por personal técnico, electro mecánico con dedicación mínima de cuatro días al mes. • La planta completa ocupa un espacio relativamente menor que otros procesos, pero ante la posibilidad de generación de olores debe ser ubicada alejada de los centros poblacionales y con barrera ambientales que mitiguen estos efectos en caso de que se presenten. • Se deben instalar fuentes de energía para el funcionamiento de los tamices, la caseta de vigilancia y el alumbrado general del área. • La distribución de la alimentación es importante para aprovechar al máximo la capacidad del reactor, es necesario realizar un contacto óptimo entre el lodo y el agua residual disminuyendo la formación de cortocircuitos. La canalización será mayor para bajas tasas de producción de gas (valores de producción menores de 1 m³/m³.día), que se obtienen con cargas orgánicas bajas. 		
Debe llevarse un manual de operación que contemple los siguientes aspectos:		
<ul style="list-style-type: none"> • Control de caudal para evitar sobrecarga hidráulica. 		

No. 38	FICHA TÉCNICA	REACTORES ANAERÓBICOS DE FLUJO ASCENDENTE (RAFA)
<ul style="list-style-type: none"> • Control de la limpieza de las rejillas gruesas y finas. • Control del vaciado de los canales del desarenador. • Control de la limpieza de pozos y vertederos de repartición. • Control del correcto funcionamiento de los equipos de recolección y manejo de gases. • Revisión del correcto funcionamiento de las cañerías de recolección del efluente. • Control de la producción de gas. • Control de olores. • Control de lodos. 		
Referencias bibliográficas		
<p>Metcalf y Eddy. 2007. <i>Water Reuse: Issues, Technologies, and Applications</i>. AECOM Press & McGraw Hill Professional. Estados Unidos.</p>		

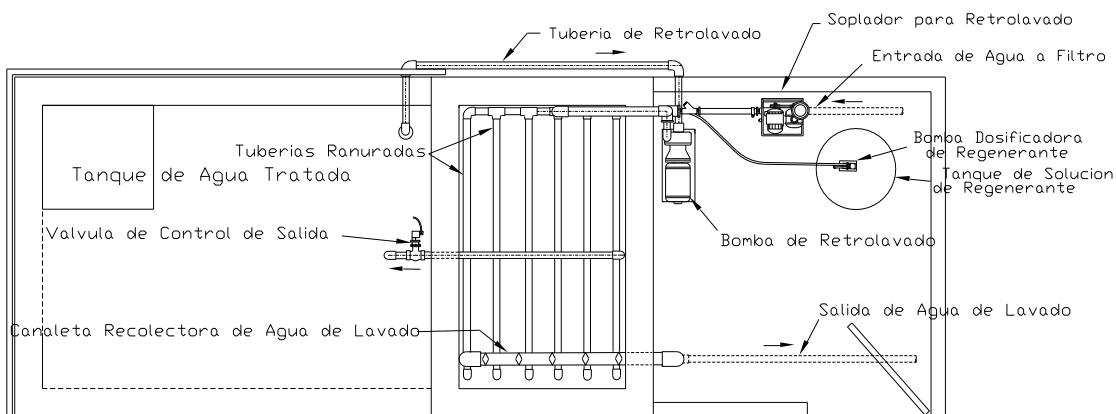
No. 39	FICHA TÉCNICA	REACTORES DE ADSORCIÓN
Descripción general del sistema		
<p>Los materiales empleados como adsorbentes son productos naturales o sintéticos, con capacidad de remover contaminantes debido a dos tipos de mecanismos: La absorción, que es un proceso físico que une el gránulo del filtro con la partícula contaminante, y la adsorción, que se debe a la formación de complejos superficiales, en los cuales los aniones de interés se unen a la superficie por mecanismos fundamentalmente electrostáticos. En este proceso el filtro actúa como el adsorbente, y el líquido o gas adsorbido se denomina adsorbato. Esta capacidad de remoción es función del área específica y porosidad de los medios filtrantes. El área específica, o área superficial de un material filtrante, se define como el área de la superficie externa e interna de las partículas constituyentes, sobre la cual se adhieren las sustancias contaminantes, y se expresa en metros cuadrados por gramo.</p> <p>En algunos materiales existe además una capacidad de intercambio iónico, que les permite cambiar fácilmente los iones fijados en la superficie de sus cristales por otros existentes en el agua. La capacidad de intercambio catiónico (CEC por sus siglas en inglés) se puede definir como la suma de todos los cationes de cambio que un mineral puede adsorber a un determinado pH. Es equivalente a la medida del total de cargas negativas del mineral.</p> <p>Existen dos formas de poner en contacto el agua residual con los materiales adsorbentes: mediante filtración a través de un lecho de material granular de tamaño medio, o colocando en suspensión el material de tamaño fino. Los lechos granulares pueden estar en tanques o lechos abiertos, o en filtros a presión. Para mantener la capacidad filtrante se realizan procesos de retrolavado, que remueve sólidos atrapados en el material, y regeneración para recuperar la capacidad adsorbente del material.</p> <p>Por otra parte, se encuentran los reactores en los cuales el material se mantiene en suspensión mediante un dispositivo mecánico, hidráulico o neumático, generalmente en forma paralela a otros procesos. En este proceso se utilizan reactores tales como tanques anaeróbicos de mezcla completa, biofiltros aireados o tratamientos químicamente asistidos. En este caso los materiales adsorbentes salen junto con los lodos y no es posible hacer procesos de regeneración.</p> <p>A continuación, se describen los principales materiales adsorbentes utilizados.</p> <p>El carbón activado es un material adsorbente de alta calidad que se produce a partir de materiales orgánicos tales como guadua, de hueso de nuez de palma africana y de carbón bituminoso principalmente. Estos materiales son sometidos inicialmente a un proceso de carbonización donde se someten a una temperatura alta en ausencia de oxígeno y se produce la salida de compuestos volátiles dejando el carbono como carbón vegetal (<i>char coal</i> en inglés), y luego a un proceso de activación, donde los poros se ensanchan al someter el material a una temperatura de 800 a 1000 °C en presencia de anhídrido carbónico, vapor de agua, ácido fosfórico, el hidróxido potásico o el cloruro de zinc.</p> <p>El carbón activado tiene una gran variedad de tamaños de poro. Los microporos tienen un diámetro menor a 2 nm y son adecuados para retener moléculas pequeñas, tales como solventes y compuestos volátiles que generan olores y sabores. Los macroporos tienen un diámetro mayor de 50 nm y atrapan moléculas grandes, tales como colorantes, substancias húmicas y fulváticas producto de la descomposición de materia orgánica. Los mesoporos tienen un diámetro entre 2 y 50 nm y son</p>		

No. 39	FICHA TÉCNICA	REACTORES DE ADSORCIÓN
<p>los apropiados para atrapar moléculas intermedias entre las anteriores. La capacidad de un carbón activado para retener una sustancia determinada está dada tanto por su superficie específica como por la proporción de poros cuyo tamaño es el adecuado para retener la sustancia contaminante. Las propiedades del carbón activo final dependen tanto de la materia prima como del método de activación empleado. Se puede utilizar en forma granular, con tamaños de partícula entre 0,2 y 1,7 mm, formando lechos filtrantes o en suspensión, o en polvo, como material en suspensión que luego se decanta y desecha.</p> <p>El carbón activado es el adsorbente más ampliamente utilizado para el tratamiento de aguas residuales. Este retiene los compuestos orgánicos disueltos, resistentes al tratamiento biológico, con lo que se elimina una cierta proporción de la DQO residual. El granular puede ser regenerado sometiéndolo a una temperatura similar a la de activación. El carbón activado en polvo empleado en procesos TPQA y reactores de biopelícula favorece la decantación actuando como ayudante de floculación y bioportador simultáneamente.</p> <p>Bentonitas o Arcillas Activadas. La bentonita está compuesta esencialmente por esmectitas, combinadas con sepiolitas, vermiculitas, y otros minerales. Las bentonitas se clasifican por su composición en cálcica, magnésica y sódica, que tienen propiedades diferentes y son apropiadas para remover diferentes tipos de contaminantes. Mediante el proceso de activación termoácida son sometidas a altas temperaturas en una solución ácida, lo cual produce la disolución de la capa octaédrica, que se convierte en sílice amorfa. Las arcillas activadas mediante el proceso anterior poseen una elevada área específica, que varía de 80 y 300 m²/g, que le confiere una gran capacidad tanto de absorción como de adsorción. Las bentonitas activadas tienen además una importante capacidad de intercambio iónico, que puede oscilar entre 80 y 200 meq / 100g, que les permite remover eficientemente metales disueltos en el agua. Al tratar las arcillas activadas con cromo, cobre y otros metales se obtienen arcillas pilareadas, donde los espacios interlaminares se expanden, y se vuelven fijos y térmicamente estables debido a que estos metales actúan como pilares, lo cual mejora su capacidad de adsorción de otras sustancias. La adsorción de las arcillas activadas se ve influenciada por el pH. Para la mayoría de los metales es óptima en pH neutro o ligeramente alcalino, pero en cromo hexavalente el pH óptimo está entre 2.5 y 3.5. La capacidad de adsorción decrece con el aumento de la temperatura. Las sustancias que han sido sorbidas por las arcillas permanecen encapsuladas, es decir que no se produce la desorción de estas hacia el medio ambiente, lo cual representa una ventaja para la disposición final de lodos con sustancias peligrosas de larga vida. Las bentonitas activadas se emplean en remoción de colorantes, metales pesados, aceites industriales, hidrocarburos, fenoles y otros contaminantes orgánicos. Se considera que las arcillas activadas tienen mejor selectividad que el carbón activado, el cual puede adsorber gran variedad de sustancias orgánicas. Se encuentran en el mercado también las arcillas organofílicas en forma granular, capaces de remover aceites y grasas, que se utiliza en forma de lechos filtrantes principalmente en las industrias que manejan hidrocarburos y sustancias orgánicas hidrofóbicas. También se pueden emplear bentonitas en su forma natural en mejoramiento de Tratamientos Primarios Químicamente Asistidos (TPQA), donde mejora la sedimentabilidad de la materia orgánica y se tiene una limitada capacidad de remover las sustancias mencionadas.</p> <p>Las zeolitas naturales son minerales procedentes de suelos volcánicos, pero recientemente se han desarrollado materiales sintéticos similares con mejor capacidad de tratamiento. Son aluminosilicatos cristalinos, que tienen una estructura formada por tetraedros de SiO₄ y AlO₄ unidos</p>		

No. 39	FICHA TÉCNICA	REACTORES DE ADSORCIÓN
		por átomos de oxígeno compartidos. Las cargas negativas de las unidades de AlO_4 se equilibran con la presencia de cationes intercambiables, tales como calcio, magnesio, sodio, potasio y hierro. Estos cationes pueden ser desplazados por sustancias contaminantes en estado iónico, como metales pesados (Pb, Cu, Cd, Zn, Co, Cr, Mn y Fe, Pb y Cu), y además fósforo, potasio, dióxido de azufre y amoníaco, a través del mecanismo de intercambio catiónico.
		La zeolita puede utilizarse en filtros granulares abiertos o cerrados con sistemas de retrolavado para mantener una alta tasa de filtración, o en estructuras similares a los filtros lento de arena, sin retrolavado, pero con menores tasas de filtración, la cual es mayor que en la arena debido a que su estructura extremadamente porosa. También puede colocarse en suspensión en el agua y luego ser decantada y extraída como lodo, especialmente en tanques anaeróbicos de mezcla completa.
		Debido a la propiedad de retener nitrógeno, azufre, potasio y fósforo de las aguas residuales, y luego liberarlos lentamente en el suelo donde se aplican los lodos, las zeolitas que han sido utilizadas pueden extraer y aprovechar estos nutrientes en el mejoramiento de suelos para la agricultura y la revegetalización, en vez de liberarlos en el aire en forma de nitrógeno y anhídrido sulfuroso. Esta utilización no es conveniente si hay presencia de metales pesados tóxicos para el suelo en gran concentración.
		Las resinas de intercambio iónico son polímeros u otros materiales sintéticos intercambiadores de iones, que se encuentran generalmente en forma de gránulos de resina de 0.3 a 1.2 mm de diámetro. Dentro de la matriz de polímero se encuentran incorporados grupos polares, ácidos o básicos, los cuales toman iones del agua y cediendo a cambio cantidades equivalentes de otros iones tales como calcio, magnesio o sodio. Las resinas de intercambio iónico poseen un radical fijo y un ión móvil o de sustitución, que es el que se intercambia por iones que desean eliminarse de la solución, que funciona sólo entre iones de igual carga eléctrica. Al producirse el intercambio iónico, la capacidad de la resina comienza a decrecer, pero se puede recuperar mediante el tratamiento con una solución regenerante.
		En el mercado se pueden encontrar resinas catiónicas de ácido fuerte, tales como las de sodio que eliminan la dureza del agua por intercambio de sodio por el calcio y el magnesio, o las de hidrógeno, que eliminan los cationes como calcio, magnesio, sodio y potasio por intercambio con hidrógeno. También se encuentran las resinas catiónicas de ácidos débiles, que eliminan los cationes que están asociados con bicarbonatos, las resinas aniónicas de bases fuertes que eliminan todos los aniones como carbonatos y silicatos, y las resinas aniónicas de base débil, que eliminan con gran eficiencia los aniones de los ácidos fuertes, tales como sulfatos, nitratos y cloruros.
		Los filtros de dióxido de manganeso , también llamados arenas verdes, son capaces de oxidar y precipitar metales tales como hierro, manganeso y arsénico, además de anhídrido sulfuroso. Este material tiene tamaño de arena fina a media y se recomienda colocarlo en lechos duales, con antracita en la parte superior, a través del cual se circula el agua en forma descendente. La regeneración se hace con soluciones de cloro o de permanganato de potasio, las cuales se pueden añadir de forma secuencial o continua. En este último caso, el dióxido de manganeso actúa en forma de catalizador. Requiere retrolavado periódico con flujo ascendente.

No. 39**FICHA
TÉCNICA****REACTORES DE ADSORCIÓN**

Vista de Corte Longitudinal



Vista en Planta

Sistemas de Pretratamiento necesarios

La adsorción en filtros granulares es considerado como un tratamiento terciario, que se realiza luego de tratamientos físicos y biológicos. También hay procesos de adsorción que se llevan a cabo simultáneamente con dichos tratamientos, utilizando materiales adsorbentes en suspensión. Uno de los mayores problemas de los sistemas filtrantes es la obstrucción por sólidos, por lo cual es recomendable realizar previamente procesos de sedimentación o de filtración eficientes.

Aplicabilidad

La adsorción constituye uno de los procesos más utilizados dentro de los sistemas de tratamiento terciario de las aguas residuales. Se emplea, fundamentalmente, para retener contaminantes de naturaleza orgánica, presentes, en general, en concentraciones bajas, lo que dificulta su eliminación.

No. 39	FICHA TÉCNICA	REACTORES DE ADSORCIÓN
por otros procedimientos. Se recomienda cuando se requiere reutilización del agua, para remover tóxicos tales como metales pesados y sustancias orgánicas sintéticas, y para cumplir límites más restrictivos de concentración de contaminantes.		
Los costos, tipos de sustancias a remover y capacidades de las sustancias filtrantes son muy variables, lo mismo que las estructuras de los filtros. Existen alternativas económicas, sencillas y apropiadas, como es el caso de filtros de zeolitas, que puede fijar nutrientes de aguas residuales domésticas y convertir los biosólidos en subproductos valiosos, y la adsorción de metales y tóxicos por bentonitas activadas, dióxido de manganeso y resinas de intercambio iónico, apropiadas para afluentes de plantas industriales.		
Ventajas y desventajas		
<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de remover eficazmente contaminantes con bajas concentraciones, y permite el control de la contaminación de las aguas debida a compuestos tóxicos o cancerígenos • Flexibilidad frente a las variaciones de caudal y concentración • Necesidades de espacio moderadas, especialmente en los filtros a presión • Estructuras y requerimientos de energía pequeños en casos de filtros por gravedad • El funcionamiento es relativamente sencillo y no requiere de personal especializado • Posibilidad de regenerar el material adsorbente en casos de carbón activado • Posibilidad de reutilización de zeolitas enriquecidas con nutrientes en la agricultura <p>Desventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de tratamiento se agota y es necesario renovar el material a costos relativamente altos • Generalmente es un tratamiento selectivo, adecuada para remover ciertas sustancias en la fase terciaria 		
Aspectos de diseño		
En el diseño de un filtro es muy importante tener en cuenta las propiedades adsorbentes del medio filtrante sobre los contaminantes que se quiere remover, y la interferencia que otras sustancias pueden hacer sobre dicha capacidad. Es necesario tener en cuenta que los distintos materiales tienen grandes diferencias en la capacidad de remoción de contaminantes, las concentraciones finales que pueden lograr, la vida útil del material y los costos.		
La determinación de la máxima capacidad que tiene un material adsorbente en la remoción de una sustancia o mezcla de sustancias se hace mediante las isotermas de adsorción, que son curvas que relacionan esta capacidad, dada en masa de sustancias adsorbidas (adsorbato) en el punto de equilibrio sobre masa de material adsorbente, con la concentración de dichas sustancias en el agua luego del proceso, para cada temperatura. Se han realizado estudios para describir matemáticamente las curvas isotermas en función de constantes propias de cada adsorbato, que se aplican especialmente al caso del carbón activado, siendo la ecuación de Freundlich, que se presenta a continuación, la más utilizada.		
$x/m = K_f \cdot C_e^{1/n}$		
Donde x/m la masa de sustancias adsorbidas en el punto de equilibrio sobre masa de material adsorbente, K_f es el factor de capacidad que relaciona la cantidad de adsorbato y adsorbente por		

No. 39	FICHA TÉCNICA	REACTORES DE ADSORCIÓN
		litro de agua, C_e es la concentración de equilibrio del adsorbato luego del proceso, y $1/n$ es el parámetro de intensidad de Freundlich propio de cada adsorbato.
		Para realizar el proceso de adsorción o intercambio iónico se tienen esencialmente dos clases de procesos que se describen a continuación:
		Filtros Granulares. Son lecho granulares a través de los cuales fluye el agua, facilitando que los contaminantes se adhieran a ellos. Estos filtros pueden ser abiertos o a presión. En los primeros el proceso ocurre en un tanque abierto, y el flujo se mueve gracias a la presión hidráulica. Los gradientes de filtración y el caudal de salida pueden aumentarse gracias a una bomba de succión tipo diafragma a la salida. En los filtros a presión, el proceso ocurre a dentro de un recipiente sometido a presión, lográndose mayores gradientes del flujo hacia la salida. Su mayor rendimiento implica un menor volumen, pero el costo energético se aumenta.
		En ambos casos se utiliza retrolavado para remover los sólidos interceptados en el material granular que obstruyen los poros, el cual se hace aplicando una corriente ascendente de aire y de agua filtrada a través del lecho para expandirlo y arrastrar estos sólidos hacia fuera de la estructura. El aire se puede inyectar mediante un sistema de difusión aparte, o mezclar con el agua y utilizar un sistema de inyección conjunta, mediante un panel de tuberías en el fondo, provistas de orificios en la parte superior para la salida del aire, y de ranuras en la parte inferior para la salida del agua de lavado y la entrada del agua filtrada durante la operación. En el caso de inyección conjunta de agua y aire para retrolavado es posible generar microburbujas debido a los cambios de presión y la turbulencia que se producen en la tubería, las cuales facilitan la flotación de los sólidos removidos y su extracción mediante una canaleta superficial.
		También se efectúan los procesos de regeneración del material adsorbente, inyectando la solución regenerante en forma similar al retrolavado, la cual se mantiene el tiempo suficiente para realizar el proceso, y luego se extrae y se lava el filtro.
		Para el cálculo del filtro, importante determinar el coeficiente de filtración que relaciona la carga hidráulica con las pérdidas de cabeza, lo cual puede hacerse en ensayos de columnas de filtración en laboratorio.
		Lechos Filtrantes.
		Existen dos tipos de estructuras de lechos de adsorción: Los filtros granulares por gravedad y los filtros de presión. En ambos casos los diseños son similares a los filtros de arena. Para remover las partículas de suciedad se necesitan ciclos de retrolavado. La granulometría es indispensable para establecer las pérdidas de cabeza a través del filtro. En el diseño del retrolavado, es importante establecer la velocidad de ascenso del agua para obtener la expansión que permita la salida de las partículas de suciedad acumulada en el filtro. Con excepción de las zeolitas naturales, los lechos filtrantes pueden regenerarse utilizando productos químicos. Para ejecutar las operaciones de retrolavado y regeneración es necesario contar con filtros en paralelo que puedan aislarse.
		En el caso de filtros de zeolita granular, existe la posibilidad de omitir el retrolavado, utilizando un lecho similar a un filtro lento de arena, en el cual el proceso ocurre a una tasa muy baja, lográndose altas remociones de carga orgánica y sólidos suspendidos por efectos de la interceptación física.
		Para los carbones granulares (GAC) las propiedades físicas más importantes son la dureza, que

No. 39	FICHA TÉCNICA	REACTORES DE ADSORCIÓN
permite realizar las operaciones de retrolavado y regeneración sin que se afecten por la abrasión y otros factores, y el tamaño de partícula, que influye tanto en las pérdidas hidráulicas por filtración como en la rapidez del proceso de adsorción. También son importantes la porosidad, que implica capacidad de adsorción, y la distribución de los tamaños de poro, que determina la clase de sustancias que serán adsorbidas.		
Reactor de Mezcla en Suspensión		
En este proceso se utilizan materiales más finos, que se ponen en suspensión mediante algún mecanismo de agitación mecánico, hidráulico o neumático. Esto puede efectuarse en un tanque anaeróbico de mezcla completa, donde pueden utilizarse zeolitas para remoción de nitrógeno amoniacial y anhídrido sulfuroso que se genera allí.		
Usualmente se utilizan tanques de aireación de lodos activados para llevar a cabo procesos de adsorción con carbón activado en polvo (PAC), lo cual contribuye a remover las sustancias tóxicas que inhiben el proceso, donde las partículas pueden actuar como núcleos de floculación de la carga orgánica que mejoran la sedimentabilidad de los lodos.		
Las bentonitas naturales y activadas pueden utilizarse dentro de Tratamientos Primarios Químicamente Asistidos (TPQA), adicionándolas en el proceso de mezcla rápida, pues para lograr su sedimentabilidad se requiere la adición de coagulante y floculantes. El empleo de bentonitas en los tratamientos de aguas residuales ocasiona mayor cantidad de lodos, y dificultades en su deshidratación, especialmente si la bentonita es sódica.		
El material más finamente particulado tiene mayor área superficial y mayor reactividad, lo que quiere decir que remueve los contaminantes más rápidamente. A diferencia de los lechos filtrantes, el material de un proceso con suspensión generalmente no puede regenerarse, y sale con los lodos.		
Rendimientos esperados		
Los rendimientos en la remoción de contaminantes varían considerablemente de acuerdo con el material utilizado. La capacidad de adsorción de éstos está determinada por las curvas isotermas, mientras de la capacidad hidráulica de los lechos está determinada por su permeabilidad.		
Generación de efectos		
La generación de olores se reduce notoriamente cuando se utilizan carbón activado o zeolitas, pues estos materiales adsorben gases olorosos como el amoniaco y el anhídrido sulfuroso. Cuando los materiales adsorbentes se utilizan en polvo, se genera mayor cantidad de lodos. En el caso de las zeolitas y carbón activado, estos lodos son más manejables y fáciles de deshidratar por su consistencia granular, pero no ocurre esto en el caso de arcillas, especialmente la bentonita sódica, que generan lodos de difícil manejo.		
Aspectos particulares de operación y mantenimiento		
Las principales labores en procesos de adsorción en filtros granulares son el retrolavado y la regeneración, en el caso de material regenerable, y el cambio de éste en el caso contrario. Para ello es necesario monitorear las pérdidas de presión en el filtro y la calidad del efluente.		

No. 39	FICHA TÉCNICA	REACTORES DE ADSORCIÓN
En el caso de procesos en suspensión, los mayores aspectos que hay que tener en la operación y mantenimiento son la dosificación, que debe ajustarse a las condiciones de caudal y concentraciones a la entrada, y el manejo de lodos, que se incrementan con la adición del material adsorbente. Este ajuste se hace teniendo en cuenta la capacidad de adsorción del medio empleado, determinado por sus curvas isotermas.		
Referencias bibliográficas		
Rodríguez F. 2004. Adsorbentes en la solución de algunos problemas ambientales. CYTED. España.		
Bravo P. 2004. Las tesinas de Belgrano. Utilización de adsorbentes para la eliminación de contaminantes en aguas y efluentes. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Belgrano. Argentina.		
Bazaldúa R., et al. Operación de un proceso discontinuo secuencial (SBR) adicionado con carbón activado granular para la biodegradación de compuestos fenólicos. Universidad Nacional Autónoma de México. México.		
EPA. 2000. <i>Wastewater Technology Fact Sheet. Granular activated carbon absorption and regeneration</i> . Estados Unidos		
Inversand Co. "Greensand Performance Media for Water Filtration". Clayton, N.J., USA.		
Rezaei M., y Movahedi S. 2009. <i>Kinetics of Potassium Desorption from teu Loess Soil, Soil Mixed with Zeolite and the Cimoptilolite Zeolite as Influencer by Calcium and Ammonium</i> . Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.		
Vaca M., et al. 2006. Fertilización dosificada con biosólidos acondicionados. Universidad Autónoma Metropolitana. México.		

No. 40	FICHA TÉCNICA	REACTORES DE BIOPELICULA
Descripción general del sistema		
<p>Bajo esta denominación se consideran todos los sistemas de lodos activados, en los cuales el proceso de digestión aeróbica se lleva a cabo mediante una biopelícula (en inglés <i>biofilm</i>) adherida a partículas o elementos inertes, que se encuentren dentro de los reactores, ya sea fijos o en suspensión, y que se denominan bioportadores. En estas condiciones, no se necesita la recirculación de lodo para mantener la suficiente cantidad de biomasa en el reactor.</p> <p>La biopelícula consiste en una capa de microorganismos aerobios con una elevada actividad biológica, que en presencia de oxígeno asimila la carga orgánica disuelta en el agua y la convierte en materia orgánica viva, haciéndola crecer. En la biopelícula se producen sustancias poliméricas extracelulares (EPS por sus siglas en inglés) que facilitan la adhesión de nuevas células y sólidos suspendidos. Debido a la acción del agua y a la abrasión entre partículas, parte de la biopelícula se desprende periódicamente del bioportador en forma de flóculos de microorganismos, que pasan luego a un decantador o a una zona de decantación dentro del mismo reactor, donde se depositan en el fondo gracias a su sedimentabilidad y forman un lodo aeróbico, el cual generalmente sufre un proceso de digestión anaeróbica o anóxica en un tanque aparte para desnitrificar los nitratos contenidos en los lodos aeróbicos. El proceso de desnitrificación requiere una fuente de carbono, y por lo tanto es usual que el tanque donde se lleva a cabo se sitúe a la entrada del sistema, junto con la sedimentación primaria, de tal forma que el carbono se tome de las aguas residuales crudas que entran al sistema.</p> <p>En los reactores de biopelícula también es posible la remoción biológica del fósforo junto con el nitrógeno, mediante la configuración de zonas aeróbicas y anóxicas alternadas a lo largo de línea de flujo en los reactores, y sin sedimentación entre ellas, donde se desarrolla un tipo de bacterias capaces de asimilar el fósforo y de generar polifosfatos sedimentables, que se extraen con el lodo. Este proceso de remoción biológica de nutrientes (BNR por sus siglas en inglés) genera lodos que tienen una pobre sedimentabilidad.</p> <p>Experimentalmente se ha constatado que las tasas de nitrificación en reactores de biopelícula son superiores a las obtenidas en los procesos de lodos activados convencionales. Esto se explica porque las bacterias autotróficas que realizan la nitrificación, nitrosomonas, y nitrobacter, necesitan adherirse a una superficie tal como la que ofrecen los bioportadores. También se reduce el volumen del reactor por la mayor concentración de biomasa, la cual puede ser más estable debido a que es menos susceptible del lavado hidráulico.</p> <p>Se ha encontrado que en partículas de materiales porosos o fibrosos pueden ocurrir procesos de nitrificación y desnitrificación simultáneos, debido a que las capas de biopelícula son suficientemente gruesas para que en la parte interior se establezca una condición anóxica.</p>		

No. 40	FICHA TÉCNICA	REACTORES DE BIOPELICULA
Sistemas de Pretratamiento necesarios		
<p>Los reactores de biopelícula requieren de tratamientos primarios para remover sólidos gruesos, aceites y grasas.</p>		
Aplicabilidad		
<p>Los reactores de biopelícula tienen numerosas variantes que pueden adaptarse a distintas necesidades. Tienen capacidad de remover nutrientes y carga orgánica hasta niveles de remoción superiores a otros sistemas de lodos activados. También se utilizan para incrementar la capacidad de tratamiento de plantas de lodos activados existentes.</p>		
Ventajas y desventajas		
<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Debido a que el empleo de bioportadores que proporciona una superficie específica elevada que produce una alta concentración de SSLM, se reduce significativamente el volumen del reactor biológico respecto al de un sistema de lodos activados convencional. • La gran cantidad de biomasa que albergan les permiten resistir aumentos de caudal y de carga orgánica, lo mismo que choque por afluencia esporádica de tóxicos inhibidores, sin que su desempeño se deteriore significativamente. • Debido a lo anterior y a que no se requiere recirculación de biomasa, el sistema es sencillo de operar, y se puede ajustar modificando la cantidad de bioportadores. • El lodo producido tiene excelente sedimentabilidad. No hay problemas de abultamiento filamentoso de los lodos, que son habituales en procesos convencionales de lodos activados. 		
<p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El considerable volumen de bioportadores requeridos tiene un costo sustancial. • Si los bioportadores tienen una densidad muy diferente a la del agua, puede requerirse aireación con burbuja gruesa, que es menos eficiente que la de burbuja fina. • En el caso se procesos en suspensión, se genera una cantidad adicional de lodos. 		
Aspectos de diseño		
<p>En el reactor de biopelícula típico, la aireación producida, ya sea por difusores de burbuja o por</p>		

No. 40	FICHA TÉCNICA	REACTORES DE BIOPELICULA
<p>turbinas, se debe generar suficiente turbulencia para mantener unas partículas que actúan como bioportadores. La salida ocurre por el costado opuesto al de la entrada, y está provista de una rejilla para retenerlos. Es posible adecuar sistemas de tratamiento de lodos activados convencionales existentes a este nuevo sistema.</p> <p>Estos bioportadores pueden ser de diferentes materiales, tales como plástico, carbón, y espumas de poliuretano y polietileno, que deben cumplir los siguientes requisitos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Deben tener densidad próxima a la del agua (gr/cm^3), para que puedan moverse fácilmente en el reactor por efecto de la aireación • El material no se debe degradar por la acción de los microorganismos y sustancias contenidas en las aguas residuales • Debe resistir la abrasión producida por los choques entre partículas • La forma de los bioportadores debe ofrecer la mayor área superficial posible y cierta protección de la biopelícula contra la abrasión • Debe ser muy económico, pues tiene un peso importante en los costos del tratamiento <p>Debido a que se necesita generar bastante turbulencia para mantener los bioportadores en suspensión, no se recomienda la aireación mediante burbuja fina, a menos que se utilice espuma de poliuretano u otros materiales que tengan una densidad muy similar a la del agua.</p> <p>Los bioportadores puede ocupar usualmente entre el 30 y el 70% del tanque, y su volumen puede ser ajustado para obtener la concentración de SSLM necesaria. El total de biomasa se encuentra determinada por la cantidad de bioportadores, su área superficial y el grosor activo de la biopelícula, que puede oscilar entre 300 y 400 micras.</p> <p>Existen variantes como el Bioreactor de Lecho Fluidificado (FBBR por sus siglas en inglés), que utiliza arena como bioportador, la cual es más económica y tiene gran área superficial, pero que requiere una combinación de recirculación del agua con aireación para mantenerla en suspensión, dada su alta densidad. En otros casos, el bioportador no está constituido por partículas en suspensión sino por elementos fijos, tales como cuerdas (en inglés <i>cord media</i>), o por placas, y no se necesita generar turbulencia con la aireación. Finalmente, hay otros casos en que el proceso de aireación se encuentra en una cámara aparte, y luego el flujo con suficiente contenido de oxígeno se hace pasar a través de los bioportadores que se encuentran en otra cámara. Recientemente se ha desarrollado un sistema híbrido que combina el reactor de biopelícula con el sistema de lodos activados convencional, llamado IFAS por las siglas en inglés de <i>integrated fixed film activated sludge</i>, en el cual parte de los lodos son decantados y recirculados hacia el reactor de biopelícula, con lo cual se incrementa la cantidad de biomasa en éste.</p> <p>Es importante tener en cuenta en el diseño la edad de lodos, también llamada tiempo de retención celular o SRT (por las siglas en inglés de <i>sludge retention time</i>), que se calcula como la cantidad de biomasa dentro del reactor, dividido por la tasa de extracción de biomasa, la que se hace principalmente con los lodos. Esta edad de lodos debe ser suficiente para que los organismos que asimilan la materia orgánica puedan desarrollarse, la cual es más larga si se requiere nitrificación. El volumen del reactor está determinado por la edad del lodos requerida, y debido a la alta concentración de biomasa, este volumen es bastante menor que el correspondiente a un sistema</p>		

No. 40	FICHA TÉCNICA	REACTORES DE BIOPELICULA
de lodos activados tradicional. La edad de lodos afecta también el grado de tratamiento alcanzado y la cantidad de lodos producidos. A diferencia de un sistema de lodos activados convencional, la purga de lodos no determina estos parámetros, por lo cual la operación se simplifica notablemente. Una excepción es el sistema IFAS en el cual la cantidad de biomasa se calcula como la biopelícula adherida a los bioportadores más la de los lodos que se recirculan.		
El dimensionamiento del sistema de aireación se hace de forma similar al de un tratamiento de lodos activados convencional, teniendo en cuenta que está aireación debe mantener los bioportadores en suspensión, por lo cual no se utilizan sistemas de burbuja fina, excepto en el caso de materiales con densidades muy cercanas a las del agua como espuma de poliuretano. Las cargas volumétricas de DBO pueden llegar a ser tan altas como 4 Kg/m ³ xdía, con concentraciones de sólidos SSLM de 5 a 10 gr/L.		
Rendimientos esperados		
En la literatura se reportan eficiencias en la remoción de DBO y nitrógeno amoniacoal de hasta 95% Las tasas volumétricas de remoción encontradas son de 1 a 5 Kg de DBO por m ³ diarios, y de 1 a 1.5 Kg de nitrógeno amoniacoal por m ³ diarios.		
Generación de efectos		
Debido al alto requerimiento de aire, pueden requerirse sopladores que generen bastante ruido. La producción de lodos es alta, como corresponde a un sistema esencialmente aeróbico, a menos que se complemente con procesos anaeróbicos. Por lo general, no se generan malos olores.		
Aspectos particulares de operación y mantenimiento		
La operación de biofiltros aireados es bastante sencilla debido a que no se requiere la recirculación de lodos, puesto que la biopelícula adherida a las partículas en suspensión garantiza una alta concentración de biomasa. Esta misma aireación se encarga de generar una abrasión entre partículas que remueve el exceso de biomasa, la cual tiene excelente sedimentabilidad, y puede ser removida del agua mediante un decantador.		
Referencias bibliográficas		
Wheaton F. <i>Biological Filtration: Design and Operation</i> . Agricultural Engineering Department, The University of Maryland. Estados Unidos.		
EPA. 1983. <i>An Emerging Tecnology. The Biological Aerated Filter</i> . Estados Unidos.		
Ambrosio J. 2005. Reducción Simultánea de DBO(C), NH4+, y Desnitrificación en un Reactor de Biopelícula. XXVII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y ambiental. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Perú.		
Lannigan K. 2005. <i>Particulate-biofilm, expanded-bed technology for high-rate, low-cost wastewater treatment: nitrification</i> . Department of Biological Sciences, Faculty of Science and Engineering, Manchester Metropolitan University. Gran Bretaña.		
Wagener C. 2003. <i>Evaluation of Static Low Density Media Filters for Use in Domestic Wastewater Treatment</i> . Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College. Estados Unidos.		
McQuarrie J., et al. 2007. <i>The Expanded Bed Biofilm Reactor (EBBR) – An Innovative Biofilm Approach for Tertiary Nitrification</i> . Water Environment Foundation. WEFTEC. Estados Unidos.		

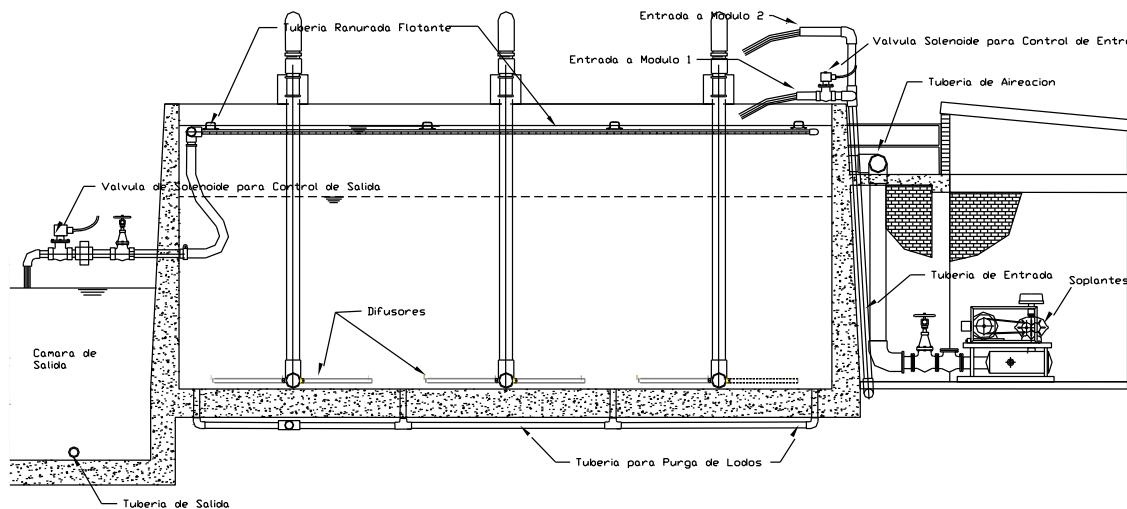
No. 40	FICHA TÉCNICA	REACTORES DE BIOPELICULA
		Wu Q. 2003. <i>Mathematical modeling analysis of floating bead biofilter. Applications to domestic wastewater treatment.</i> Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College. Estados Unidos.
		Wik T. 1999. <i>On Modeling the Dynamics of Fixed Biofilm Reactors. With focus on nitrifying trickling filters.</i> Chalmers University of Technology. Estados Unidos.

No. 41	FICHA TÉCNICA	REACTORES SECUENCIALES POR TANDAS (SBR)
Descripción general del sistema		
<p>Los reactores SBR (por sus siglas en inglés <i>Sequential Batch Reactor</i>) son sistemas de lodos activados, en donde los procesos ocurren en un mismo tanque en forma secuencial.</p> <p>En la fase de aireación, mediante la adición de oxígeno al agua se produce la digestión aeróbica de la carga orgánica, que comprende procesos de nitrificación, en los cuales se desarrollan bacterias heterotróficas que consumen la carga orgánica carbonácea, y bacterias autotróficas, que consumen carga orgánica nitrogenada además de la carbonácea, para formar nitritos y luego nitratos. En la fase anóxica a continuación, esos nitratos son consumidos por organismos heterotróficos facultativos, que utilizan el oxígeno contenido en estos compuestos y expulsan el nitrógeno como gas que sale a la atmósfera.</p> <p>Dentro de esta fase se realiza también el proceso de decantación y purga de lodos, en el cual parte de la biomasa en forma de sólidos sedimentables son extraídos del reactor, dejando solo los necesarios para los procesos de digestión. La entrada del agua cruda al tanque puede hacerse durante la fase anóxica o aeróbica.</p> <p>La salida de agua y la purga de lodos se hace durante la etapa de reposo anóxica, cuando la concentración de sólidos en el agua se ha reducido al mínimo.</p> <p>Los sistemas SBR tienen la posibilidad de llevar a cabo estos procesos en forma relativamente controlada, debido a la retención de organismos que intervienen en la descomposición de materia orgánica, y al control de la duración de las fases anóxica y aeróbica, que en otros tipos de tratamiento está determinada por el volumen de los tanques.</p> <p>Con respecto al sistema convencional de lodos activados, las estructuras requeridas son más simples, pues no se requieren decantadores y tuberías de recirculación, pero el sistema de control operativo del SBR es más complejo, e incluye sensores, interruptores automáticos, válvulas automáticas y controladores programables, todo lo cual debe ajustarse a cada caso en particular si se quiere optimizar el proceso.</p> <p>Los procesos de mezcla y decantación que ocurren en un SBR los hace adecuados para realizar simultáneamente procesos de adsorción con carbón activado en polvo, lo cual permite remover sustancias que inhiben los tratamientos biológicos, y además se constituyen en bioportadores que facilitan la floculación de la carga orgánica.</p> <p>En el SBR también se pueden llevar a cabo tratamientos químicamente asistidos, en forma paralela a los tratamientos biológicos. Para ello se alimenta el SBR con el afluente mezclado con el coagulante. En el proceso de aireación ocurre la floculación, a continuación de la cual se realiza la decantación y la extracción de lodos. En este caso se debe tener en cuenta que la aireación debe cumplir los requisitos de gradiente de velocidad y de transferencia de oxígeno para adelantar satisfactoriamente ambos procesos.</p>		

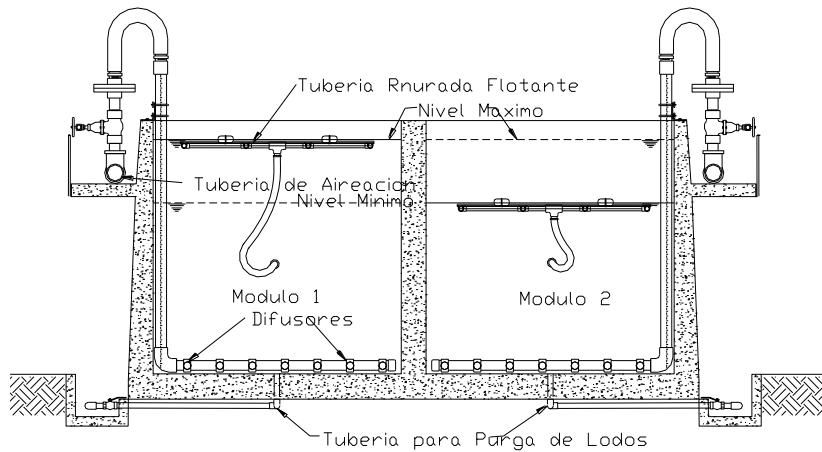
No. 41

FICHA
TÉCNICA

REACTORES SECUENCIALES POR TANDAS (SBR)



Vista de Corte Longitudinal



Vista de Corte Transversal

Sistemas de Pretratamiento necesarios

Se requieren tratamientos primarios convencionales, que remuevan los sólidos gruesos, flotantes, aceites y grasas. Es importante tener tanques de regulación a la entrada debido a la variación en el caudal de entrada, que debe ajustarse a los ciclos programados.

Aplicabilidad

Esta es una tecnología considerada tradicionalmente como sofisticada, puesto que se requiere de conocimientos especializados para los cálculos, diseños y procesos de ajuste. La disponibilidad de equipos de automatización de bajo costo y fácil control han hecho este sistema accesible para muchas necesidades de tratamiento.

No. 41	FICHA TÉCNICA	REACTORES SECUENCIALES POR TANDAS (SBR)
Ventajas y desventajas		
<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El SBR tiene gran flexibilidad en la operación, que le permite adaptarse a cargas contaminantes variables. • El área ocupada es relativamente reducida. • Mediante una adecuada automatización se pueden reducir los consumos de energía, y optimizar la remoción de contaminantes. • Los avances en equipos de control los han hecho relativamente económicos y de manejo accesible. <p>Desventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se requiere mayor sofisticación en las etapas de diseño, construcción y ajuste del tratamiento. • Debido a que la aireación actúa de forma intermitente, las potencias requeridas son mayores. • En muchos casos se tiene decantación deficiente, con salida de lodos y espumas que afecta la calidad del efluente. 		
Aspectos de diseño		
<p>Los SBR son reactores de lodos activados que se diseñan usualmente con períodos de retención hidráulica de 1 a 10 días, edad de lodos de 10 a 30 días, y sólidos suspendidos SSML de 3.500 a 10.000 mg/L.</p> <p>Para realizar el tratamiento de un caudal en forma continua, generalmente se utilizan dos reactores en paralelo, de tal forma que mientras en uno de ellos se realiza el proceso aeróbico, en el otro se encuentran en los procesos de digestión anóxica, decantación y purga de lodos. Para mejorar los procesos de desnitrificación es usual que el agua de entrada se mezcle con los lodos en condiciones anóxicas con la ayuda de dispositivos mecánicos, permitiendo que el agua cruda aporte el carbono necesario para este proceso, y luego de cierto tiempo comience a funcionar la aireación. El llenado con aireación facilita la mezcla entre agua cruda, lodos aeróbicos y oxígeno, y se usa principalmente cuando no se requiere la remoción biológica de nitrógeno.</p> <p>La aireación debe hacerse de tal forma que se genere una mezcla completa que facilite el contacto entre el agua residual, el lodo y el oxígeno. Para facilitar la digestión durante las fases aeróbica y anóxica, en ocasiones se ponen a funcionar sistemas de mezcla mecánicos en estas etapas.</p> <p>En la salida de agua se debe minimizar la extracción de sólidos suspendidos, y para ello se emplean vertedero de cresta larga, dispositivos de salida flotantes y filtros. La extracción de lodos se realiza periódicamente para controlar la edad de lodos y su concentración en el reactor, que son parámetros vitales para regular la eficiencia de los procesos de digestión aeróbica. Los organismos autotróficos que consumen nitrógeno amoniaco son de lento crecimiento, y por lo tanto se requiere un valor alto de la edad de lodos para que haya nitrificación. Para tratamientos de aguas residuales domésticas se utilizan valores típicos de carga/masa orgánica (F/M por las siglas en inglés <i>Food/Microorganism mass</i>) de 0.15 a 0.6 por día, duración del ciclo de 4 a 24 horas, y concentración de sólidos SSML de 2 a 4 gr/L.</p> <p>Para el diseño del sistema de control del SBR deben tenerse en cuenta los siguientes puntos:</p>		

No. 41	FICHA TÉCNICA	REACTORES SECUENCIALES POR TANDAS (SBR)
<ul style="list-style-type: none"> • Suministro de oxígeno de tal forma que no se sobrepase la concentración máxima establecida, generalmente de 2 a 3 mg/L, necesaria para el desarrollo de los procesos biológicos. • Los periodos de aireación y reposo deben ajustarse a la duración de las fases de nitrificación y desnitrificación, pues no tiene sentido seguir suministrando oxígeno cuando se ha terminado la nitrificación, ni prolongar la etapa anóxica cuando se ha completado la desnitrificación. Para alcanzar este punto es necesario determinar el fin de las fases aeróbicas y anaeróbicas. El fin de la etapa anóxica coincide con el fin del proceso de desnitrificación, mientras que el proceso aeróbico termina cuando se completa el proceso de nitrificación, y el nitrógeno amoniacoal se ha convertido en nitratos. • Debe realizarse un control de la salida de lodos para mantener una adecuada concentración de biomasa en el reactor, que sea suficiente para los procesos biológicos, pero no excesiva, pues consume oxígeno para su mantenimiento y respiración endógena. 		
<p>Las variables a medir para el control del SBR son usualmente pH, ORP (potencial de oxidación reducción) y OD (oxígeno disuelto). El SBR puede seguir un ciclo prefijado, que se controla manualmente, o se puede automatizar el control. En este último caso se utilizan instrumentos en línea que trasmiten la información de las variables al PLC (por las siglas en inglés de <i>Programmable Logic Controller</i>), el cual varía los tiempos de los procesos. Esto permite optimizar el funcionamiento del SBR cuando se tienen condiciones de entrada variables. Se estima que la automatización puede incrementar la capacidad de remoción de carga orgánica entre un 10 y 30% y reducir la energía utilizada.</p>		
Rendimientos esperados		
<p>En los reactores tipo SBR la eficiencia de remoción de DBO es del orden de 85 a 95%.</p>		
Generación de efectos		
<p>Por ser un sistema aeróbico, la generación de olores es reducida. Los sistemas de aireación utilizan sopladores que pueden generar ruido hasta condiciones que implican afectación del bienestar de los empleados o las personas de las vecindades, dependiendo de la potencia de los sopladores, la tecnología de éstos y las medidas de aislamiento.</p>		
Aspectos particulares de operación y mantenimiento		
<p>Las labores de operación y mantenimiento usualmente requeridas son el mantenimiento de los equipos electromecánicos, los ajustes en el sistema de control de acuerdo a los monitoreos del agua en la entrada y la salida, y el manejo de lodos.</p>		
Referencias bibliográficas		
<p>Metcalf y Eddy. 2007. <i>Water Reuse: Issues, Technologies, and Applications</i>. AECOM Press & McGraw Hill Professional. Estados Unidos.</p>		
<p>Romero R., Jairo. 2002. Tratamiento de aguas residuales: teoría y principios de diseño. Ed.2^a Escuela Colombiana de Ingeniería. Colombia.</p>		
<p><i>United States Environmental Protection Agency</i>. 2000. 832-F-99-073. Folleto informativo de</p>		

No. 41	FICHA TÉCNICA	REACTORES SECUENCIALES POR TANDAS (SBR)
		tecnología de aguas residuales: Reactores secuenciales por tandas. EPA. Estados Unidos.
		Bazaldúa R., et al. Operación de un proceso discontinuo secuencial (SBR) adicionado con carbón activado granular para la biodegradación de compuestos fenólicos. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
		Venkata S. 2006. <i>Low-biodegradable composite chemical wastewater treatment by biofilm configured sequencing batch reactor (SBBR)</i> . Elsevier. Estados Unidos.
		Buitrón G., et al. 2005. Control Óptimo de Biorrectores Aerobios para el Tratamiento Biológico de Aguas Residuales Industriales Inhibitorias. Instituto de Ingeniería, UNAM. México.

No. 42

**FICHA
TÉCNICA**
REMOCIÓN DE FÓSFORO
Descripción general del sistema

La remoción de fósforo se logra mediante la coagulación por la adición de compuestos de aluminio o hierro, la cual elimina los ortofosfatos por "precipitación química". Los compuestos de aluminio o hierro pueden ser añadidos en varias etapas de los sistemas de tratamiento biológico, antes de la sedimentación primaria, en la etapa de aireación o antes y después de la clarificación y terminación del tratamiento.

Dentro de la remoción biológica se encuentra:

- Proceso "Bardenpho" de la *National Institute for Water Research* en Pretoria, África del Sur, donde hay una estrecha correlación entre la remoción de nitrógeno y la remoción de fósforo en el proceso combinado de lodos activados para nitrógeno.
- Proceso "Phostrip" de la Unión Carbide Corporation. Es un proceso de lodos activados, donde los microorganismos absorben el fósforo mientras está en contacto con el agua residual.

Representación esquemática del sistema de tratamiento Phostrip para eliminación de fósforo:



Representación esquemática del proceso Bardenpho 5 etapas.


Sistemas de Pretratamiento necesarios

Pretratamiento, tratamiento primario y secundario.

No. 42	FICHA TÉCNICA	REMOCIÓN DE FÓSFORO
Aplicabilidad		
Cuando el agua residual tratada va a ser descargada en cuerpos de agua que sirven como fuente de abastecimiento de agua potable, o cuando se van a regar con ella ciertos cultivos específicos, en su etapa de crecimiento, como el de la caña de azúcar y el maíz.		
Ventajas y desventajas		
<p>La principal ventaja es la obtención de una mejor calidad del efluente de salida.</p> <p>La principal desventaja es que los procesos de eliminación de fósforo requieren no sólo la combinación de medios (anaerobios- aerobios), sino la purga de lodos controlada y la presencia y favorecimiento de los organismos removedores de fósforo.</p>		
Aspectos de diseño		
<ul style="list-style-type: none"> • Debe mantenerse los niveles de nitratos tan bajo como sea posible. • Tiempo total de retención de 22 horas (proceso Bardenpho). • Los lodos generados deben deshidratarse rápidamente. 		
Rendimientos esperados		
<p>Remociones del 85% de fósforo (proceso Bardenpho).</p> <p>Remociones del 90% de fósforo (Proceso "Phostrip").</p>		
Generación de efectos		
Generación de lodos.		
Aspectos particulares de operación y mantenimiento		
Por tener una serie de procesos complejos y sensibles, las plantas de remoción de fósforo requieren de un importante grado de control y de ajuste, que implica actividades de supervisión por parte de personal capacitado.		
Referencias bibliográficas		
<p>Winkler, Michael, 2007. Tratamiento biológico de aguas de desecho. Editorial Limusa: México.</p> <p>Metcalf & Eddy Inc et al., 2003. <i>Wastewater Engineering: Treatment and Reuse</i> 4º ed., McGraw Hill Higher Education.</p> <p>Perez, M. y Dautant, R. 2002. Remoción de Fosforo y Nitrógeno en Aguas Residuales Utilizando un Reactor Discontinuo Secuencial (SBR). XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental Cancún, México.</p>		

No. 43	FICHA TÉCNICA	REMOCIÓN DE NITRÓGENO
Descripción general del sistema		
<p>El nitrógeno presente en las aguas residuales se encuentra como amoniaco, nitritos, nitratos, compuestos orgánicos solubles y materia orgánica en suspensión o en forma de partículas. Su remoción se logra mediante un proceso biológico.</p> <p>Los nitritos y nitratos producidos por el proceso de nitrificación o presentes en aguas residuales, pueden ser eliminados por reducción microbiológica a nitrógeno gaseoso (desnitrificación).</p> <p>La nitrificación y desnitrificación biológicas sucesivas forman un mecanismo para la total remoción de nitrógeno en la forma de amoniaco, nitritos o nitratos en aguas residuales.</p> <p>Los compuestos de nitrógeno orgánico se eliminan por medio de mecanismos normales de los procesos convencionales de tratamiento biológicos y aeróbicos; y la materia particulada o en suspensión se elimina por sedimentación directa y por aglomeración de flóculos microbianos. El nitrógeno orgánico soluble, se elimina por asimilación y conversión en amoniaco, el que se puede disponer por nitrificación y desnitrificación (Winkler, 2007).</p> <p>Cuando se presenten nutrientes carbonados y nitrogenados pueden emplearse sistemas de tratamiento combinados o en etapas separadas y sucesivas. En los sistemas combinados de remoción pueden emplearse procesos de lodos activados, filtros percoladores o contactores biológicos rotativos.</p> <p>Los tratamientos separados incluyen tres etapas: remoción de DBO, nitrificación y desnitrificación.</p> <p>Otra forma de remover nitrógeno de las aguas residuales puede ser por mecanismos no biológicos, como:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Arrastre por aire: las aguas residuales se alcalinizan y se ponen en contacto con un flujo de aire en una torre de separación. • Cloración: se realiza hasta el “punto de ruptura” donde el amoniaco se oxida en su totalidad. • Intercambio iónico. • Filtración con membranas. 		

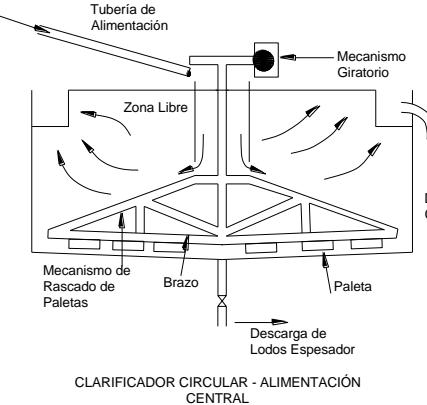
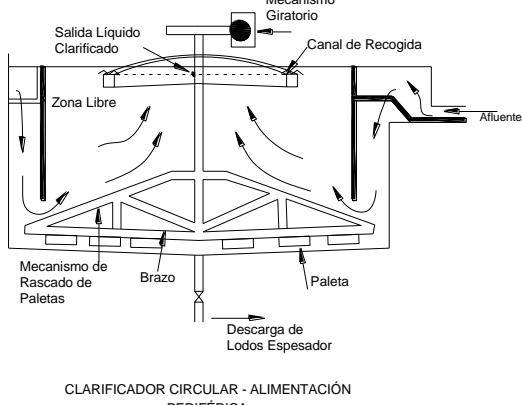
No. 43	FICHA TÉCNICA	REMOCIÓN DE NITRÓGENO
Sistemas de Pretratamiento necesarios		
Pretratamiento, tratamiento primario y/o secundario.		
Aplicabilidad		
Se utiliza como tratamiento secundario y terciario de aguas residuales, para remover DBO, Sólidos suspendidos totales y nitrógeno.		
Cuando el agua residual tratada va a ser descargada en cuerpos de agua que sirven como fuente de abastecimiento de agua potable, o cuando se van a regar con ella ciertos cultivos específicos, en su etapa de crecimiento, como el de la caña de azúcar y el maíz.		
Ventajas y desventajas		
<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Al utilizar un sistema combinado de baja tasa, los costos de disposición de lodos son menores. • En los procesos en los que la remoción de DBO y la nitrificación se realizan por separado existe un mayor control sobre cada proceso, permitiendo mantener las condiciones de cada uno. 		
<p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los sistemas combinados en el proceso de lodos activados, presentan problemas al requerir bajas cargas orgánicas y largos tiempos de residencia de los lodos. • La nitrificación está inhibida por temperaturas bajas. 		
Aspectos de diseño		
<ul style="list-style-type: none"> • Para un proceso de tratamiento biológico, el tiempo de residencia de la biomasa en el sistema debe ser largo con el fin de que pueda efectuarse la nitrificación (procesos a baja tasa). • El sistema combinado de una sola etapa opera a bajos niveles de carga. • Para sistemas convencionales de lodos activados con mezcla total, se recomienda una carga máxima de 0.25 Kg DBO/Kg sólidos-día. • Para la nitrificación en filtros percoladores convencionales, la carga orgánica equivalente es de aproximadamente 0.12 Kg DBO/m³ empaque-día. • La nitrificación se emplea a cargas altas cuando se utilice un medio de soporte con una alta 		

No. 43	FICHA TÉCNICA	REMOCIÓN DE NITRÓGENO
		<p>superficie específica y con recirculación.</p> <ul style="list-style-type: none"> • En sistemas separados la remoción de DBO deberá operarse como un sistema de alta tasa y el proceso de nitrificación como un sistema de baja tasa.
Rendimientos esperados		
Remociones del 80% de NO ₃ -N		
Remociones del 85% de nitrógeno en un proceso de lodos activados.		
Generación de efectos		
Generación de lodos.		
Aspectos particulares de operación y mantenimiento		
Las actividades de operación y mantenimiento son similares a los de otros procesos de lodos activados, e involucran mantenimiento y operación de equipos de aireación y manejo de lodos.		
Referencias bibliográficas		
Winkler M. 2007. Tratamiento biológico de aguas de desecho. Limusa. México.		
Metcalf y Eddy. 2003. <i>Wastewater Engineering: Treatment and Reuse.</i> Ed.4 ^a AECOM Press & McGraw Hill Professional. Estados Unidos.		

No. 44	FICHA TÉCNICA	SEDIMENTADOR PRIMARIO
Descripción general del sistema		
<p>El objeto de este tratamiento es básicamente la remoción de los sólidos suspendidos y DBO en las aguas residuales, mediante el proceso físico de asentamiento en tanques de sedimentación. Se recomienda utilizar el método de laboratorio por tandas para estimar la tasa de desbordamiento superficial necesaria, el tiempo de retención o profundidad del tanque y el porcentaje de remoción de sólidos suspendidos. Este método puede encontrarse en la norma colombiana o internacional vigente. Deben utilizarse las gráficas de porcentaje de remoción de DBO y sólidos suspendidos como función de la tasa de desbordamiento superficial y del tipo de clarificador que se tenga (circular o rectangular). En los casos que el ingeniero considere necesario, se pueden adicionar coagulantes para incrementar la eficiencia de remoción de fósforo, sólidos suspendidos y DBO.</p>		
Los tanques utilizados pueden ser de forma circular o rectangular.		
Sistemas de Pretratamiento necesarios		
No necesitan tratamiento preliminar, salvo el paso por una criba gruesa.		
Aplicabilidad		

No. 44	FICHA TÉCNICA	SEDIMENTADOR PRIMARIO																																							
Se aplica cuando el agua de la fuente receptora posteriormente se utiliza para riego o cuando se utiliza un sistema de lechos bacterianos.																																									
Ventajas y desventajas																																									
<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aumento de la eficiencia de procesos biológicos utilizados posteriormente. • Sirve como elemento de regulación hidráulica. • Facilita la operación de la planta • Generación de lodos homogéneos. • Eliminación de malos olores. <p>Desventajas.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mayor consumo de energía. • Formación de sedimentaciones en el depósito de aireación. 																																									
Aspectos de diseño																																									
<p>Las dimensiones del tanque están determinadas por la cantidad de aguas residuales que se requiera tratar y debe diseñarse para el caudal máximo horario esperado. Para el caso de tanques rectangulares la relación longitud:ancho debe estar entre 1.5:1 y 15:1. Para el caso de tanques circulares se recomienda un diámetro entre 3 y 60 m, una pendiente de fondo entre 6 y 17%. Los tanques cuadrados no se recomiendan y los de forma hexagonal y ortogonal son considerados como si fueran los circulares, debido a que estos están dotados de un equipo rotatorio para remoción de los sólidos.</p> <p>Debe escogerse la mayor de las áreas calculadas, de acuerdo con las siguientes tasas de desbordamiento superficial mínimas recomendadas:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Para caudal medio utilizar $33\text{m}^3/\text{m}^2\text{dia}$, 2. Para caudal pico sostenido por tres horas utilizar $57\text{m}^3/\text{m}^2\text{dia}$, y 3. Para caudal pico utilizar $65\text{ m}^3/\text{m}^2\text{día}$. <p>Dimensiones típicas:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Tipo de sedimentador</th> <th>Item</th> <th>Unidad</th> <th>Rango</th> <th>Típico</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">Rectangular</td> <td>Profundidad</td> <td>m</td> <td>3-4.9</td> <td>4.3</td> </tr> <tr> <td>Largo</td> <td>m</td> <td>15-90</td> <td>24-40</td> </tr> <tr> <td>Ancho</td> <td>m</td> <td>3-24</td> <td>4.8-9.8</td> </tr> <tr> <td>Velocidad</td> <td>m/min</td> <td>0.6-1.2</td> <td>0.9</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">Circular</td> <td>Profundidad</td> <td>m</td> <td>3-4.9</td> <td>4.3</td> </tr> <tr> <td>Diámetro</td> <td>m</td> <td>3-60</td> <td>12-45</td> </tr> <tr> <td>Pendiente de fondo</td> <td>mm/mm</td> <td>1/16 – 1/6</td> <td>1/12</td> </tr> <tr> <td>Velocidad</td> <td>r/min</td> <td>0.02-0.05</td> <td>0.03</td> </tr> </tbody> </table> <p>Fuente. Metcalf y Eddy, 2003</p>			Tipo de sedimentador	Item	Unidad	Rango	Típico	Rectangular	Profundidad	m	3-4.9	4.3	Largo	m	15-90	24-40	Ancho	m	3-24	4.8-9.8	Velocidad	m/min	0.6-1.2	0.9	Circular	Profundidad	m	3-4.9	4.3	Diámetro	m	3-60	12-45	Pendiente de fondo	mm/mm	1/16 – 1/6	1/12	Velocidad	r/min	0.02-0.05	0.03
Tipo de sedimentador	Item	Unidad	Rango	Típico																																					
Rectangular	Profundidad	m	3-4.9	4.3																																					
	Largo	m	15-90	24-40																																					
	Ancho	m	3-24	4.8-9.8																																					
	Velocidad	m/min	0.6-1.2	0.9																																					
Circular	Profundidad	m	3-4.9	4.3																																					
	Diámetro	m	3-60	12-45																																					
	Pendiente de fondo	mm/mm	1/16 – 1/6	1/12																																					
	Velocidad	r/min	0.02-0.05	0.03																																					

No. 44	FICHA TÉCNICA	SEDIMENTADOR PRIMARIO
En cada uno de los componentes del sistema debe tenerse en cuenta:		
<ul style="list-style-type: none"> • Entrada del afluente: debe proyectarse para que la corriente de alimentación se difunda homogéneamente. • Deflectores: se colocan a la entrada y a la salida con el fin de repartir el caudal y retener sustancias flotantes, grasas y espumas. • Vertedero de salida: debe tenerse en cuenta su nivelación para la clarificación. El caudal vertido debe ser inferior de $10\text{-}12 \text{ m}^3/\text{h/m}$. • Características geométricas. Las relaciones deben ser las adecuadas para permitir la sedimentación de partículas. 		
Rendimientos esperados		
La eficiencia de un decantador primario depende del tipo de aguas a tratar, pero pueden esperarse remociones del 35% para DBO y del 65% de SST.		
Generación de efectos		
Generación de lodos y material flotante (espumas).		
Generación de olores		
Aspectos particulares de operación y mantenimiento		
Se debe tener un manual de operación y mantenimiento que contemple los siguientes aspectos:		
<ul style="list-style-type: none"> • Plan de limpieza. Control de olores. • Operación en condiciones de caudal mínimo y máximo. • Manejo de lodos. • Prevención de cortocircuitos. • Procedimiento de arranque del proceso. • Control de lodos flotantes. 		
Referencias bibliográficas		
Metcalf y Eddy. 2003. <i>Wastewater Engineering: Treatment and Reuse.</i> Ed.4 ^a AECOM Press & McGraw Hill Professional. Estados Unidos.		
Hernández M., Aurelio. 2001. Depuración y desinfección de aguas residuales. Ed. 5 ^a Colegio de ingenieros de caminos, canales y puertos. España.		

No. 45	FICHA TÉCNICA	SEDIMENTADOR SECUNDARIO
Descripción general del sistema		
<p>También llamado clarificador. En este sistema, los flóculos se aglomeran entre sí aumentando progresivamente su tamaño y la velocidad de sedimentación.</p> <p>Los tanques pueden ser circulares o rectangulares, con cadena y paletas plásticas.</p> <p>Existen tres tipos fundamentales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Decantadores circulares de rasquetas. Circulares con sistema de barrido de lodos radial. • Decantadores rectangulares de rasquetas: permiten una implantación más compacta de todo el tratamiento biológico. • Decantadores de succión: presenta un sistema de recogida de espumas y flotantes. 		
 <p>CLARIFICADOR CIRCULAR - ALIMENTACIÓN CENTRAL</p>  <p>CLARIFICADOR CIRCULAR - ALIMENTACIÓN PERIFÉRICA</p>		
Sistemas de Pretratamiento necesarios		
<p>Retención de sólidos gruesos mediante la implementación de sistemas de cribado.</p>		
Aplicabilidad		
<p>Se utiliza para retirar los flóculos biológicos del material de filtro y producir agua tratada con bajos niveles de materia orgánica y materia suspendida.</p>		
Ventajas y desventajas		
<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bajos costos de operación y mantenimiento. 		
<p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Altos costos de inversión. 		
Aspectos de diseño		
<p>Se debe tener en cuenta el tiempo de retención, que se encuentra en función del decantador a implementar (rectangular o circular).</p>		

No. 45	FICHA TÉCNICA	SEDIMENTADOR SECUNDARIO																																											
Debe diseñarse teniendo en cuenta la función de clarificador y no de espesamiento.																																													
La velocidad de sedimentación puede ser contrarrestada por la baja aireación, las relaciones C/N y C/P excesivas, donde C/N es la relación Carbono / Nitrógeno, y C/P la relación Carbono / Fósforo.																																													
Se recomiendan profundidades útiles de 3 m.																																													
Los parámetros de diseño que deben tenerse en cuenta son:																																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Tipo de tratamiento</th><th colspan="2">Carga Superficial m³/m²/d</th><th colspan="2">Carga de sólidos Kg/dm²</th><th rowspan="2">Profundidad m</th></tr> <tr> <th>Caudal promedio</th><th>Caudal pico</th><th>Caudal promedio</th><th>Caudal pico</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Sedimentación secundaria</td><td>16-29</td><td>40-65</td><td>100-150</td><td>245</td><td>3.7-4.6</td></tr> <tr> <td>Sedimentación secundaria</td><td>8-33</td><td>24-49</td><td>23-164</td><td>164-234</td><td>3-6</td></tr> <tr> <td>Sedimentación después filtro percolador</td><td>16-24</td><td>41-49</td><td></td><td></td><td>3-3.7</td></tr> <tr> <td>Sedimentación después lodos activados</td><td>16-32</td><td>41-49</td><td>98-147</td><td>245</td><td>3.7-4.6</td></tr> <tr> <td>Sedimentación después de aireación prolongada</td><td>8-16</td><td>32</td><td>98-147</td><td>245</td><td>3.7-4.6</td></tr> </tbody> </table>						Tipo de tratamiento	Carga Superficial m ³ /m ² /d		Carga de sólidos Kg/dm ²		Profundidad m	Caudal promedio	Caudal pico	Caudal promedio	Caudal pico	Sedimentación secundaria	16-29	40-65	100-150	245	3.7-4.6	Sedimentación secundaria	8-33	24-49	23-164	164-234	3-6	Sedimentación después filtro percolador	16-24	41-49			3-3.7	Sedimentación después lodos activados	16-32	41-49	98-147	245	3.7-4.6	Sedimentación después de aireación prolongada	8-16	32	98-147	245	3.7-4.6
Tipo de tratamiento	Carga Superficial m ³ /m ² /d		Carga de sólidos Kg/dm ²		Profundidad m																																								
	Caudal promedio	Caudal pico	Caudal promedio	Caudal pico																																									
Sedimentación secundaria	16-29	40-65	100-150	245	3.7-4.6																																								
Sedimentación secundaria	8-33	24-49	23-164	164-234	3-6																																								
Sedimentación después filtro percolador	16-24	41-49			3-3.7																																								
Sedimentación después lodos activados	16-32	41-49	98-147	245	3.7-4.6																																								
Sedimentación después de aireación prolongada	8-16	32	98-147	245	3.7-4.6																																								
Fuente. Romero, 2002																																													
Rendimientos esperados																																													
Los rendimientos esperados se obtienen de la tabla anterior.																																													
Generación de efectos																																													
Generación de lodos																																													
Aspectos particulares de operación y mantenimiento																																													
Para evitar la formación de lodos flotantes se recomienda seguir uno o varios de los siguientes procedimientos:																																													
<ul style="list-style-type: none"> • Aumentar el retorno al aireador y para disminuir el tiempo de permanencia de los lodos en el clarificador • Disminuir la entrada de flujo al clarificador con problemas de lodos del fondo • Mejorar la colección de lodos del fondo • Disminuir la edad de lodos del sistema. 																																													
Para evitar el abultamiento se recomienda investigar los siguientes parámetros y, en caso de encontrarlos inadecuados, corregirlos:																																													
<ul style="list-style-type: none"> • Características del residuo líquido • Contenido de OD • Carga orgánica • Retorno de lodos 																																													

No. 45	FICHA TÉCNICA	SEDIMENTADOR SECUNDARIO
	<ul style="list-style-type: none"> • Contenido de nutrientes • Operación del clarificador. 	<p>En caso de presentarse una emergencia se recomiendan dosificaciones de cloro o de peróxido de hidrógeno.</p> <p>Para una correcta operación, debe evitarse lo siguiente</p> <ul style="list-style-type: none"> • Insuficiencia del retorno • Cortocircuito.
Referencias bibliográficas		
<p>Hernández M., Aurelio. 2001. Depuración y desinfección de aguas residuales. Ed. 5^a Colegio de ingenieros de caminos, canales y puertos. España.</p> <p>Romero R., Jairo. 2002. Tratamiento de aguas residuales: teoría y principios de diseño. Ed.2^a Escuela Colombiana de Ingeniería. Colombia.</p>		

No. 46	FICHA TÉCNICA	TANQUE SÉPTICO
Descripción general del sistema		
<p>Son tanques generalmente subterráneos, sellados, diseñados y construidos para el saneamiento rural, que remueven materia sólida por decantación, al detener agua residual en el tanque. Para que esta separación ocurra, agua residual debe detenerse en el tanque por un mínimo de 24 horas. Hasta el 50% de los sólidos retenidos en el tanque séptico se descomponen. La materia sólida restante se acumula en el tanque. No se necesitan aditivos biológicos ni químicos para acelerar la descomposición. El efluente puede ser dispuesto subsuperficialmente, según el tipo de terreno.</p>		
Se tienen los siguientes tipos de pozos sépticos:		
<ul style="list-style-type: none"> • Tanques convencionales de dos compartimentos. • Equipados con un filtro anaerobio. • Según el material: de concreto o de fibra de vidrio o de otros materiales apropiados. • Según la geometría: rectangulares o cilíndricos 		
Sistemas de Pretratamiento necesarios		
<p>Trampa de grasas: tiene por objeto permitir por medio de una cámara en la parte superior de la caja, la separación de grasas, las cuales luego se pueden remover por flotación. Se diseña según el número de personas servidas.</p>		
Aplicabilidad		
<p>Recomendados para:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Áreas desprovistas de redes públicas de alcantarillados. • Alternativa de tratamiento de aguas residuales en áreas que cuentan con redes de alcantarillado locales. • Retención previa de los sólidos sedimentables y regulación del caudal, cuando la red de alcantarillado presenta diámetros reducidos. • No está permitido que entre aguas lluvias ni desechos capaces de causar interferencia negativa en cualquier fase del proceso de tratamiento. • Los efluentes a tanques sépticos no deben ser dispuestos directamente en un cuerpo de agua 		

No. 46	FICHA TÉCNICA	TANQUE SÉPTICO
<ul style="list-style-type: none"> superficial. Deben ser tratados adicionalmente para mejorar la calidad del vertimiento. Generalmente se disponen subsuperficialmente según permeabilidad del suelo. 		
Ventajas y desventajas		
<p>Ventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> Simplicidad, confiabilidad y bajo costo. Pocos requisitos para el mantenimiento. Los nutrientes de los residuos regresan al suelo. Un sistema diseñado y mantenido correctamente puede durar más de veinte años. <p>Desventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> Las limitaciones incluyen el tipo y permeabilidad natural del suelo, la profundidad del lecho de roca y el agua subterránea, y la topografía del terreno. Se deben considerar las normas referentes a la distancia entre el tanque séptico y el abastecimiento de agua, los límites de propiedad y las tuberías de drenaje. Restricciones referentes a las características del agua residual afluente se deben incluir en la planificación del proyecto. Los sistemas que no son operados correctamente pueden introducir nitrógeno, fósforo, materia orgánica, patógenos bacterianos y virales a áreas cercanas al agua subterránea. 		
Aspectos de diseño		
<p>Respecto a la ubicación deben conservarse las siguientes distancias mínimas:</p> <ul style="list-style-type: none"> 1.50 m distantes de construcciones, límites de terrenos, sumideros y campos de infiltración. 3.0 m distantes de árboles y cualquier punto de redes públicas de abastecimiento de agua. 15.0 m distantes de pozos subterráneos y cuerpos de agua de cualquier naturaleza. <p>El diseñador debe seleccionar una metodología de diseño que garantice el correcto funcionamiento del sistema teniendo en cuenta los siguientes criterios:</p> <ul style="list-style-type: none"> Rendimiento del proceso de tratamiento. Almacenamiento de lodos. Amortiguamiento de caudales pico. <p>El sistema séptico generalmente incluye tres componentes: el tanque séptico, un área de percolación, y el suelo subyacente al área de percolación. El tanque debe ser un dispositivo impermeable construido de materiales duraderos, resistentes a la corrosión y a la descomposición (concreto, plástico reforzado con fibra, fibra de vidrio o polietileno). El tanque séptico se conecta a un sistema de tuberías que distribuye el efluente del agua residual al suelo subsuperficial para la absorción y el tratamiento posterior.</p> <p>Las medidas internas mínimas recomendadas son las siguientes:</p>		

No. 46	FICHA TÉCNICA	TANQUE SÉPTICO												
<ul style="list-style-type: none"> • Profundidad útil. 														
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Volumen útil (m³)</th><th>Profundidad útil (m)</th><th>Profundidad útil máxima (m)</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Hasta 6</td><td>1.2</td><td>2.2</td></tr> <tr> <td>De 6 a 10</td><td>1.5</td><td>2.5</td></tr> <tr> <td>Más de 10</td><td>1.8</td><td>2.8</td></tr> </tbody> </table>			Volumen útil (m ³)	Profundidad útil (m)	Profundidad útil máxima (m)	Hasta 6	1.2	2.2	De 6 a 10	1.5	2.5	Más de 10	1.8	2.8
Volumen útil (m ³)	Profundidad útil (m)	Profundidad útil máxima (m)												
Hasta 6	1.2	2.2												
De 6 a 10	1.5	2.5												
Más de 10	1.8	2.8												
<ul style="list-style-type: none"> • Diámetro interno mínimo de 1.10 m, el largo interno mínimo de 0.80 m y la relación ancho / largo mínima para tanques prismáticos rectangulares de 2 : 1 y máxima de 4 : 1. • Número de cámaras. Se recomiendan cámaras múltiples, en serie para tanques de volúmenes pequeños a medianos, que sirvan hasta 30 personas. Para otros tipos de tanques, se recomienda lo siguiente: <ul style="list-style-type: none"> · Tanques cilíndricos: tres cámaras en serie. · Tanques prismáticos rectangulares: dos cámaras en serie. • Filtro de grava. el diseñador debe seleccionar una metodología de diseño que garantice el correcto funcionamiento del sistema teniendo en cuenta: atascamiento, área específica, tiempo de contacto y granulometría. El medio filtrante debe tener una granulometría uniforme; la profundidad (h) útil es 1.80 m para cualquier volumen de dimensionamiento ; el diámetro (d) mínimo se recomienda de 0.95 m; el diámetro máximo y el largo (L) no deben exceder tres veces la profundidad útil y el volumen útil mínimo será 1,250 L. 														
Rendimientos esperados														
<p>Cuando los sistemas de tanque séptico con absorción al suelo son instalados y mantenidos correctamente, éstos constituyen un método eficiente para el tratamiento y la disposición de las aguas residuales domésticas. Sin embargo, aún en las mejores circunstancias, los sistemas de tanque séptico permiten “fugas planificadas” de contaminantes a las aguas subterráneas (Tolman et al., 1989) por lo cual éstos deben ser diseñados y operados para reducir al mínimo el impacto de esas fugas.</p>														
Generación de efectos														
Lodos, Espumas, Olores.														
Aspectos particulares de operación y mantenimiento														
<ul style="list-style-type: none"> • Los lodos y las espumas acumuladas deben ser removidos en intervalos equivalentes al periodo de limpieza del proyecto. • Estos intervalos se pueden ampliar o disminuir, siempre que estas alteraciones sean justificadas y no afecten los rendimientos de operación ni se presenten olores indeseables. • Debe realizarse una remoción periódica de lodos por personal capacitado que disponga del equipo adecuado para garantizar que no haya contacto entre el lodo y las personas • Antes de cualquier operación en el interior del tanque, la cubierta debe mantenerse abierta durante un tiempo suficiente (>15 min.) para la remoción de gases tóxicos o explosivos. • En ningún caso los lodos removidos, pueden arrojarse a cuerpos de agua. • En zonas aisladas, los lodos pueden disponerse en lechos de secado. • Los lodos secos pueden disponerse en rellenos sanitarios o en campos agrícolas; cuando estos últimos no estén dedicados al cultivo de hortalizas, frutas o legumbres que se consumen 														

No. 46	FICHA TÉCNICA	TANQUE SÉPTICO
		crudas.
Referencias bibliográficas		
<p><i>United States Environmental Protection Agency.</i> 1999. 832-F-99-075. Folleto informativo de sistemas descentralizados: Tanque séptico - sistemas de absorción al suelo. EPA. Estados Unidos.</p> <p>Metcalf y Eddy. 2003. <i>Wastewater Engineering: Treatment and Reuse.</i> Ed.4^a AECOM Press & McGraw Hill Professional. Estados Unidos.</p> <p>Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2010. Reglamento Técnico de Agua y Saneamiento (RAS) – Título J: Alternativas Técnicas en Agua y Saneamiento para el Sector Rural. Colombia</p>		

No. 47

FICHA
TÉCNICA

TANQUES ANAEROBICOS HIBRIDOS

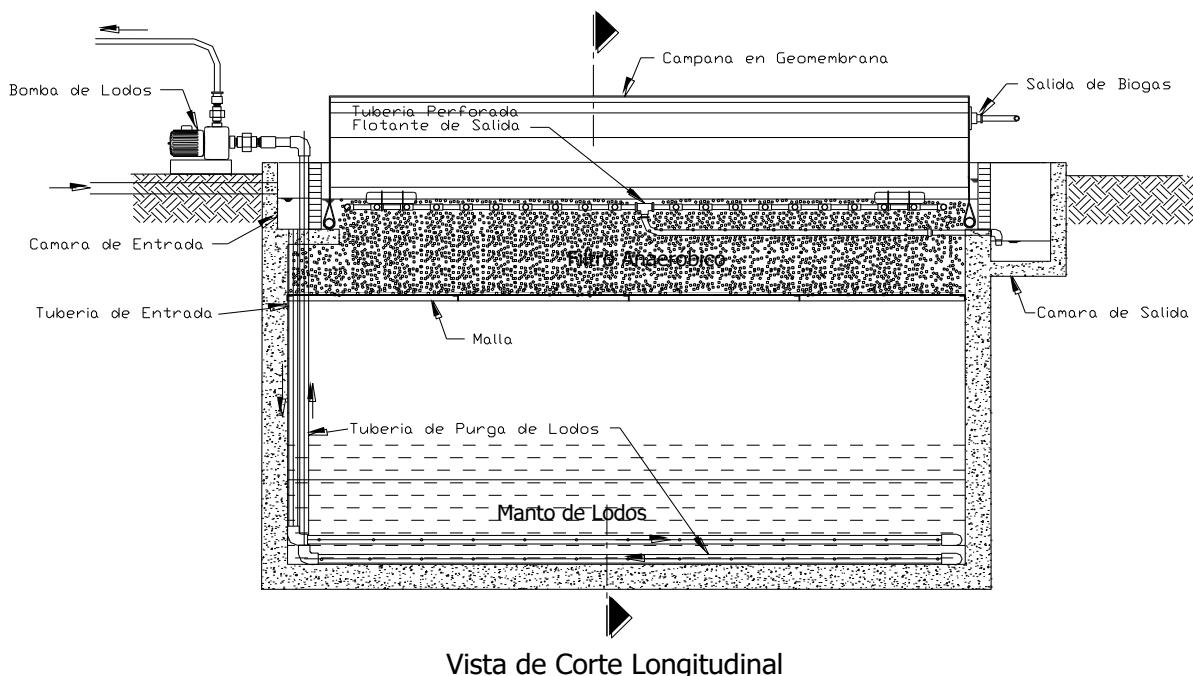
Descripción general del sistema

El Tanque Anaeróbico Hibrido es la combinación de dos tratamientos en una estructura: el sistema UASB y el filtro anaeróbico de flujo ascendente, que actúan sinergéticamente para alcanzar una alta capacidad de remover carga orgánica a bajo costo.

En un tanque anaeróbico híbrido se encuentra un manto de lodos en la parte superior y un filtro anaeróbico de flujo ascendente en la parte superior. El flujo entra por la parte inferior del tanque y atraviesa el manto de lodos, y continua con flujo ascendente para pasar a través del filtro anaeróbico, y sale luego por un sistema de tuberías perforadas. Es necesario distribuir uniformemente el flujo tanto a la entrada como a la salida para obtener el mejor desempeño de los dos sistemas filtrantes.

El tanque debe ser cerrado para evitar los malos olores y colectar el biogás, que, de no ser aprovechado, debería quemarse o enviarse por medio de tubos a suficiente altura para evitar problemas de olores.

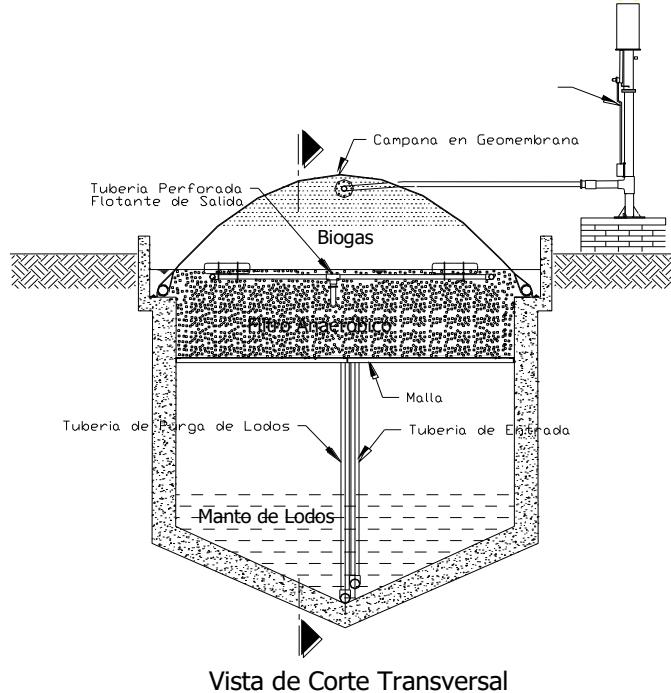
En forma similar a los demás tanques anaeróbicos, periódicamente se realizan purgas de lodos para controlar su volumen, los cuales se llevan a procesos de deshidratación y disposición final.



No. 47

FICHA
TÉCNICA

TANQUES ANAEROBICOS HIBRIDOS



Vista de Corte Transversal

Sistemas de Pretratamiento necesarios

Se requiere realizar los tratamientos preliminares convencionales en el afluente al tanque anaeróbico híbrido.

Aplicabilidad

Los tanques híbridos son de las mejores alternativas de sistemas de tratamiento anaeróbico, debido a que combinan en su parte inferior un proceso de manto de lodos con flujo ascendente UASB, y en su parte superior un filtro anaeróbico. Ambas estructuras tienen una importante capacidad de remover carga orgánica, y su implementación en una sola cámara permite reducir el costo y el espacio de la planta. Debido a su bajo costo, necesidades de mantenimiento y operación mínimas y capacidad de remoción de carga orgánica, son aplicables para todo rango de población.

Ventajas y desventajas

Ventajas:

- Alta capacidad de remover carga orgánica carbonácea a bajo costo
- No se requieren importantes labores de mantenimiento y operación
- Rapidez de arranque y resistencia ante cambios de caudales y carga orgánica

Desventajas

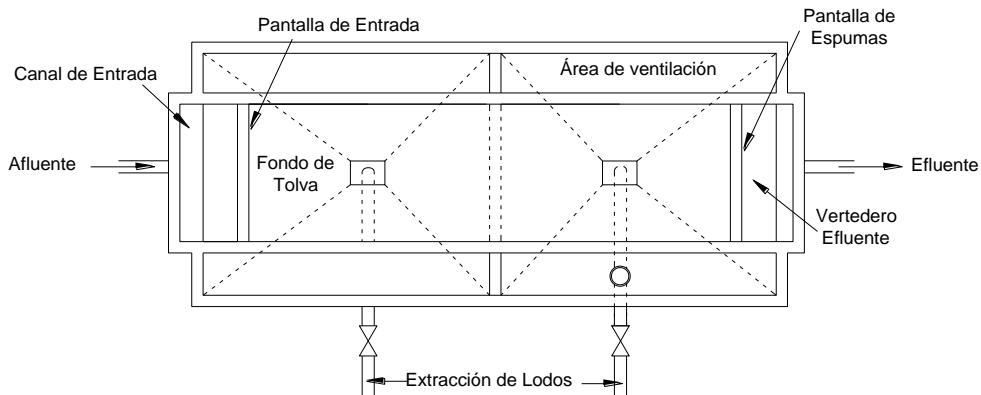
- Es una tecnología muy reciente que debe ser usada con precaución
- Por ser un sistema anaeróbico puede ocasionar problemas de olores

Aspectos de diseño

No. 47	FICHA TÉCNICA	TANQUES ANAEROBICOS HIBRIDOS
<p>El proceso conocido como UASB (por las siglas en inglés de <i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket</i>), consiste en un tanque en cuyo fondo se desarrolla un manto de lodos constituido por un material granular biológico que actuará a manera de filtro, que debe tener características de peso y granulometría para no sea arrastrado hacia fuera del tanque (lavado de biomasa. Este proceso es muy delicado y requiere de un largo proceso de maduración.</p> <p>En el filtro anaeróbico de flujo ascendente se desarrolla un proceso biológico similar al del UASB, con la diferencia de que la biomasa se desarrolla sobre partículas granulares, con las ventajas de que no puede ser arrastrada fuera del tanque, y que se realiza además una filtración física que retiene los sólidos. En el sistema híbrido el filtro intercepta las burbujas de metano que arrastran partículas del fondo y permiten que éstas retornen hacia allí, incrementando el manto de lodos.</p> <p>En estudios recientes se ha encontrado que la colocación del filtro anaeróbico en un reactor de manto de lodos, acelera el proceso de arranque y estabiliza el manto, haciéndolo resistente a variaciones en el caudal y la carga orgánica.</p> <p>Los materiales más utilizados para el filtro anaeróbico superior son plásticos con densidades inferiores a la del agua, tales como polietileno de baja densidad y PVC. También se utilizan materiales más densos que el agua, tales como la espuma de poliuretano, colocando una malla para mantenerlas en la superficie.</p> <p>Según estudios realizados por los profesores T.A. Elmitwalli, S. Sayed, L. Groendijk, J. van Lier, G. Zeeman and G. Lettinga de la Universidad de Wageningen (Holanda), se ha ensayado con éxito la colocación de dos UASB híbridos en serie para tratamiento de efluentes con alta carga orgánica o en climas fríos. En estos casos el primer reactor remueve la carga orgánica coloidal y el segundo la soluble.</p>		
Rendimientos esperados		
<p>Las eficiencias en remoción de carga orgánica alcanzados en sistemas híbridos varían entre 80 y 92% en aguas domésticas, muy superiores a otros tratamientos anaerobios.</p>		
Generación de efectos		
<p>Debido a la eficiencia en la remoción de carga orgánica por medios anaeróbicos, es de esperarse una alta producción de biogás, lo mismo que de compuestos que generan malos olores. La producción de lodos es más reducida que en sistemas aeróbicos, y estos se encuentran más estabilizados.</p>		
Aspectos particulares de operación y mantenimiento		
<p>Las actividades de operación y mantenimiento esencialmente se relacion con la purga periódica de lodos y su manejo.</p>		
Referencias bibliográficas		
<p>Giraldo E. 2007. <i>Anaerobic Sewage Treatment Technology in Latin-America: A Selection of 20 Years of Experiences</i>. Water Environment Foundation WEFTEC. Estados Unidos.</p>		
<p>Elmitwalli T. 2003. <i>Decentralised treatment of concentrated sewage at low temperature in a two-</i></p>		

No. 47	FICHA TÉCNICA	TANQUES ANAEROBICOS HIBRIDOS
<i>step anaerobic system: two upflow-hybrid septic tanks. IWA Publishing. Egipto.</i>		
<i>Patrick G., et al. 2006. 21 Years of O&M Experience with Hybrid Anaerobic Treatment. Water Environment Foundation. WEFTEC. Estados Unidos.</i>		
<i>Araujo D. 2008. Anaerobic treatment of wastewater from the household and personal products industry in a hybrid bioreactor. Brazilian Journal of Chemical Engineering. Brasil.</i>		

No. 48	FICHA TÉCNICA	TANQUES IMHOFF
Descripción general del sistema		
<p>Los tanques Imhoff son también conocidos como tanques de doble acción, y para su uso concreto es necesario que las aguas residuales pasen por los procesos de tratamiento preliminar de cribado y remoción de arena. Estos tanques se idearon para corregir los dos defectos principales del tanque séptico al retener sólidos más finos.</p> <p>Los tanques Imhoff se encuentran en muchas formas, rectangulares y hasta circulares, pero siempre disponen de una cámara o cámaras superiores por las que pasan las aguas negras en su período de sedimentación, además de otra cámara inferior donde la materia recibida por gravedad permanece en condiciones tranquilas para su digestión anaeróbica.</p> <p>Entre las principales funciones del tanque de doble acción se encuentra las siguientes:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Impedir que los sólidos que se han separado de las aguas negras se mezclen nuevamente con ellas, permitiendo la retención de estos sólidos para su descomposición en la misma unidad. 2. Proporcionar un efluente adaptable a un tratamiento posterior. <p>Un tanque Imhoff funciona de la siguiente manera: durante la operación, las aguas residuales fluyen a través de la cámara de sedimentación, donde se remueven gran parte de los sólidos sedimentables, estos resbalan por las paredes inclinadas del fondo de la cámara de sedimentación pasando a la cámara de digestión a través de la ranura con traslape existente en el fondo del sedimentador.</p> <p>El traslape tiene la función de impedir que los gases o partículas suspendidas de sólidos, producto de la digestión, interfieran en el proceso de la sedimentación. Los gases y partículas ascendentes, que inevitablemente se producen en el proceso de digestión, son desviados hacia la cámara de nata o área de ventilación. Es recomendable invertir la dirección del flujo para evitar la acumulación de lodos en un solo lado del tanque, se debe invertir el flujo cada mes.</p>		
<p>Este diagrama ilustra el funcionamiento de un tanque Imhoff. Se divide en tres secciones principales: la Zona de Sedimentación (superior), la Zona de Digestión (medio) y la Tolva de Lodos (inferior). El Nivel del Agua se mantiene en la parte superior. Las aguas residuales entran por la Boca de Limpieza. Los gases se ventilan a través de la Ventilación de Gases. La Tubería de Extracción de Lodos recoge los sedimentos en la base. Una Válvula controla la extracción de lodos. Una Abertura en la parte superior permite el acceso a la Zona de Digestión.</p>		

No. 48**FICHA
TÉCNICA****TANQUES IMHOFF****Sistemas de Pretratamiento necesarios**

Al entrar en funcionamiento, un tanque Imhoff debe cebarse para poner en marcha el proceso de digestión. Esto se hace utilizando lodos digeridos de otro tanque, o a falta de éstos, materia nutritiva, tal como unas cuantas paladas de abono o estiércol. Puede desarrollarse una espuma o nata excesiva, como resultado de condiciones ácidas, teniéndose que usar medios correctores, como adiciones de cal en poca cantidad, a fin de ajustar así el pH hasta el punto neutro.

Aplicabilidad

Son adecuados para ciudades pequeñas y para comunidades de 5000 habitantes o menos donde no se necesite una atención constante y cuidadosa, y el efluente satisfaga ciertos requisitos para evitar la contaminación de las corrientes.

Como todo dispositivo para un tratamiento primario, el tanque Imhoff puede ser una parte de una planta para el tratamiento completo, y en tal caso su comportamiento de digestión debe tener una capacidad tanto para los lodos secundarios como para los que recibirá de la sobrepuesta cámara de sedimentación.

Ventajas y desventajas

Las principales ventajas son las siguientes:

- Contribuye a la digestión de lodo, mejor que en un tanque séptico, produciendo un líquido residual de mejores características.
- No descargan lodo en el líquido efluente, salvo en casos excepcionales.
- El lodo se seca y se evacúa con más facilidad que el procedente de los tanques sépticos, esto se debe a que contiene de 90 a 95% de humedad.
- Las aguas servidas que se introducen en los tanques Imhoff, no necesitan tratamiento preliminar, salvo el paso por una criba gruesa y la separación de las arenillas.
- El tiempo de retención de estas unidades es menor en comparación con las lagunas.
- Tiene un bajo costo de construcción y operación.
- Para su construcción se necesita poco terreno en comparación con las lagunas de estabilización.

Las principales desventajas son las siguientes:

- Son estructuras profundas (mayores de 6m).
- Es difícil su construcción en arena fluida o en roca y deben tomarse precauciones cuando el nivel

No. 48	FICHA TÉCNICA	TANQUES IMHOFF
<p>freático sea alto, para evitar que el tanque pueda flotar o ser desplazado cuando esté vacío.</p> <ul style="list-style-type: none"> • El efluente que sale del tanque es de mala calidad orgánica y microbiológica. • En ocasiones puede causar malos olores, aun cuando su funcionamiento sea correcto. 		
Aspectos de diseño		
<p>El tanque imhoff típico es de forma rectangular y se divide en tres compartimientos:</p> <ol style="list-style-type: none"> Cámara de sedimentación. Cámara de digestión de lodos. Área de ventilación y cámara de natas 		
<p>Para los tanques Imhoff, se recomiendan los siguientes valores:</p>		
Compartimento de sedimentación	Cámara de digestión de lodos	Área de ventilación del gas
Dimensionamiento		
Relación longitud a ancho, 2:1 a 5:1 Pendiente, 1.25:1 a 1.75:1 Abertura de las ranuras, 15 a 30 cm Proyección de las ranuras, 15 a 30 cm Bafle de espumas: encima de la superficie (45 a 60 cm), debajo de la superficie (15 cm)	Volumen (litros / cápita) = 55 a 100 Tubería de recolección de lodos (mm) = 200 a 300 Profundidad debajo de la ranura hasta la superficie superior del lecho de lodos = 30 a 90 cm Profundidad del tanque (desde la superficie del agua hasta el fondo del tanque) (m) = 7 a 10	Área superficial (% del total) = 15 - 30 Ancho de la abertura = 45 a 75 cm
Parámetros de diseño		
Tasa de desbordamiento superficial ($m^3/m^2/d$) = 25 a 40 Tiempo de retención (horas), 2 a 4	Capacidad de almacenamiento de lodo = 6 meses de lodos	
Rendimientos esperados		
<p>El tanque imhoff elimina del 40 al 50% de sólidos suspendidos y reduce la DBO de 25 a 35%. Los lodos acumulados en el digestor del tanque imhoff se extraen periódicamente y se conducen a lechos de secados.</p> <p>Debido a esta baja remoción de la DBO y coliformes, se debe enviar el efluente hacia una laguna facultativa para que haya una buena remoción de microorganismos en este.</p>		
Generación de efectos		

No. 48	FICHA TÉCNICA	TANQUES IMHOFF
Lodos, ruido, biogas, olores.		
Aspectos particulares de operación y mantenimiento		
Algunas recomendaciones para la operación de tanques Imhoff son:		
<ul style="list-style-type: none"> • Sembrar el tanque con lodos en digestión activa. • Mantener un pH superior a 6.8, evitando la acidificación con lechada de cal. • Eliminar diariamente las grasas, natas y sólidos flotantes del compartimiento de sedimentación. • Raspar las paredes del tanque con un cepillo de goma. • Limpiar semanalmente la ranura del compartimiento de sedimentación con una rastra de cadenas. • Cambiar el flujo por lo menos una vez al mes. • Controlar las natas rompiéndolas y manteniéndolas húmedas. Se retiran del tanque cuando su espesor llega a los 60-90 cm. • La descarga de lodos debe hacerse cuando este a 45 cm de la ranura del compartimiento de sedimentación, mediante una bomba y mangueras. • Después de la descarga de los lodos, se llenan las tuberías con agua o aguas residuales para evitar la obstrucción de la tubería. • Se debe evitar la formación de espumas. Cuando se forma espuma, quiere decir que las aguas residuales tienen un pH muy ácido; puede corregirse mediante tratamiento de agua con cal. • La cal hidratada se agrega por los respiraderos del tanque. El valor del pH en la mezcla de lodos y cal no debe de pasar de 7.6 • Dejar reposar el tanque durante algunos días • Agitar por los respiraderos con chorros de agua o paletas. • Bajar la temperatura de los lodos durante algunos días • El equipo que generalmente se utiliza para la operación y mantenimiento 		
Referencias bibliográficas		
Unatsabar. 2005. Guía para el Diseño de Tanques Sépticos, Tanques Imhoff y Lagunas de Estabilización. OPS, CEPIS. Lima.		

No. 49	FICHA TÉCNICA	TRAMPA DE GRASAS
Descripción general del sistema		
<p>Son tanques pequeños de flotación donde la grasa sale a la superficie reteniéndola, con una descarga inferior de agua clarificada. Retiene por sedimentación los sólidos en suspensión y por flotación el material graso. Este sistema recibe nombres específicos según el tipo de material flotante que vaya a removese:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Domiciliaria: recibe residuos de cocinas y se ubica antes de la entrega del vertimiento al sistema de alcantarillado o previamente a un sistema de tratamiento in situ, como pozo séptico. 2. Colectiva: Son unidades de gran tamaño y pueden atender conjuntos de residencias e industrias 3. En Sedimentadores: se instalan en sedimentadores primarios para remover la grasa y recoger el material flotante en dispositivos convenientemente proyectados. <p>Cuenta con 2 compartimentos, ambos separados por una rejilla encargada de no dejar pasar sólidos. En el compartimento más grande, por donde llegan los líquidos con sólidos disueltos, la grasa se separa al ser más liviana que el agua.</p> <p>Los tipos de separación de grasas pueden ser:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Compuerta fija, que se abre periódicamente. • Placa deflectora orientable. • Tubo pivotante. • Rasquetas de superficie. • Bandas desengrasadoras • Tambores desengrasadores. • Sistema VOLTEX, vertiendo en lámina fina sobre un recipiente, desde una bomba extrae grasas. • Flotación. 		
Sistemas de Pretratamiento necesarios		
<p>No requiere de sistemas de pretratamiento de aguas residuales, sin embargo, se recomienda la instalación de elementos controladores de flujo en las entradas, para protección contra sobrecargas o alimentaciones repentina.</p>		
Aplicabilidad		

No. 49	FICHA TÉCNICA	TRAMPA DE GRASAS
Se utilizan como pretratamiento de otros sistemas, para remover las grasas presentes en el agua y aumentar su eficiencia.		
También se utiliza como sistema de acondicionamiento para las aguas residuales generadas por lavaderos, lavaplatos u otros aparatos sanitarios instalados en restaurantes, cocinas de hoteles, hospitales y similares, antes de ser vertidas a una red de alcantarillado y donde exista el peligro de introducir cantidades de grasa que afecten el buen funcionamiento del sistema de evacuación de las aguas residuales, así como de las descargas de lavanderías de ropa.		
Deben colocarse trampas de grasa aguas arriba de los reactores UASB.		
Ventajas y desventajas		
<ul style="list-style-type: none"> • El poco mantenimiento hace que en la mayoría de los casos no funcionen adecuadamente, permitiendo la acumulación excesiva de grasa en la trampa, trayendo como consecuencia su presencia en el efluente. • Para un buen funcionamiento de la trampa deben evitarse las cargas hidráulicas súbitas sobre ella ya que esto puede producir agitación excesiva impidiendo la retención y flotación de la grasa y permitiendo su escape por la unidad de salida. 		
Aspectos de diseño		
<ul style="list-style-type: none"> • Deben localizarse lo más cerca posible de la fuente de agua residual (generalmente la cocina) y aguas arriba del tanque séptico, sedimentador primario o de cualquier otra unidad que requiera este dispositivo para prevenir problemas de obstrucción, adherencia a piezas especiales, acumulación en las unidades de tratamiento y malos olores • La capacidad de almacenamiento mínimo expresada en kg de grasa debe ser de por lo menos una cuarta parte del caudal de diseño (caudal máximo horario) expresado en litros por minuto. • El tanque debe tener 0.25 m^2 de área por cada litro por segundo, una relación ancho/longitud de 1:4 hasta 1:18, una velocidad ascendente mínima de 4 mm/s. • La relación largo: ancho del área superficial de la trampa de grasa deberá estar comprendido entre 2:1 a 3:2. • La profundidad no deberá ser menor a 0,80 m. • El ingreso a la trampa de grasa se hará por medio de codo de 90º y un diámetro mínimo de 75 mm. • La salida será por medio de una tee con un diámetro mínimo de 75 mm. • La parte inferior del codo de entrada deberá prolongarse hasta 0,15 m por debajo del nivel de líquido. • La diferencia de nivel entre la tubería de ingreso y de salida deberá de ser no menor a 0,05 m. • La parte superior del dispositivo de salida deberá dejar una luz libre para ventilación de no más de 0,05 m por debajo del nivel de la losa del techo. • La parte inferior de la tubería de salida deberá estar no menos de 0,075 m ni más de 0,15 m del fondo. • El espacio sobre el nivel del líquido y la parte inferior de la tapa deberá ser como mínimo 0,30 m. • La trampa de grasa deberá ser de forma tronco cónica o piramidal invertida con la pared del lado de salida vertical. El área horizontal de la base deberá ser de por lo menos $0,25 \times 0,25 \text{ m}$ por lado o de 0,25 m de diámetro. Y el lado inclinado deberá tener una pendiente entre 45º a 60º con respecto a la horizontal. 		

No. 49	FICHA TÉCNICA	TRAMPA DE GRASAS																																
<ul style="list-style-type: none"> • Se podrá aceptar diseños con un depósito adjunto para almacenamiento de grasas, cuando la capacidad total supere los 0,6 m³ o donde el establecimiento trabaje en forma continua por más de 16 horas diarias. • La trampa de grasa y el compartimento de almacenamiento de grasa estarán conectados a través de un vertedor de rebose, el cual deberá estar a 0,05 m por encima del nivel de agua. El volumen máximo de acumulación de grasa será de por lo menos 1/3 del volumen total de la trampa de grasa. • Tiempo de retención hidráulica 																																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tiempo de retención (minutos)</th><th>Caudal de entrada (L/s)</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td><td>2-9</td></tr> <tr> <td>4</td><td>10-19</td></tr> <tr> <td>5</td><td>20 o más</td></tr> </tbody> </table>			Tiempo de retención (minutos)	Caudal de entrada (L/s)	3	2-9	4	10-19	5	20 o más																								
Tiempo de retención (minutos)	Caudal de entrada (L/s)																																	
3	2-9																																	
4	10-19																																	
5	20 o más																																	
<ul style="list-style-type: none"> • Deben tener capacidad suficiente de acumulación de grasa entre cada operación de limpieza • Deben existir condiciones de turbulencia mínimas, suficientes para permitir la flotación del material. • Debe evitarse el contacto con insectos, roedores, etc. 																																		
Rendimientos esperados																																		
Las capacidades de retención de grasas de este sistema de tratamiento se muestran a continuación:																																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tipo de afluente</th><th>Caudal (L/min)</th><th>Capacidad de retención de grasas (Kg)</th><th>Capacidad máxima recomendada (L)</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cocina de restaurante</td><td>56</td><td>14</td><td>190</td></tr> <tr> <td>Habitación sencilla</td><td>72</td><td>18</td><td>190</td></tr> <tr> <td>Habitación doble</td><td>92</td><td>23</td><td>240</td></tr> <tr> <td>Dos habitaciones sencillas</td><td>92</td><td>23</td><td>240</td></tr> <tr> <td>Volumen de agua mayor de 115 litros</td><td>56</td><td>14</td><td>115</td></tr> <tr> <td>Volumen de agua mayor de 190 litros</td><td>92</td><td>23</td><td>240</td></tr> <tr> <td>Volumen de agua entre 190 y 378 litros</td><td>144</td><td>36</td><td>378</td></tr> </tbody> </table>			Tipo de afluente	Caudal (L/min)	Capacidad de retención de grasas (Kg)	Capacidad máxima recomendada (L)	Cocina de restaurante	56	14	190	Habitación sencilla	72	18	190	Habitación doble	92	23	240	Dos habitaciones sencillas	92	23	240	Volumen de agua mayor de 115 litros	56	14	115	Volumen de agua mayor de 190 litros	92	23	240	Volumen de agua entre 190 y 378 litros	144	36	378
Tipo de afluente	Caudal (L/min)	Capacidad de retención de grasas (Kg)	Capacidad máxima recomendada (L)																															
Cocina de restaurante	56	14	190																															
Habitación sencilla	72	18	190																															
Habitación doble	92	23	240																															
Dos habitaciones sencillas	92	23	240																															
Volumen de agua mayor de 115 litros	56	14	115																															
Volumen de agua mayor de 190 litros	92	23	240																															
Volumen de agua entre 190 y 378 litros	144	36	378																															
Generación de efectos																																		
Residuos de aceites y grasas.																																		
Aspectos particulares de operación y mantenimiento																																		
<ul style="list-style-type: none"> • Las trampas de grasa deben operarse y limpiarse regularmente para prevenir el escape de cantidades apreciables de grasa y la generación de malos olores. • La frecuencia de limpieza debe determinarse con base en la observación. • La limpieza debe hacerse cada vez que se alcance el 75% de la capacidad de retención de grasa como mínimo. 																																		
Referencias bibliográficas																																		

No. 49	FICHA TÉCNICA	TRAMPA DE GRASAS
		Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Área de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental. Organización Panamericana de la Salud. Oficina Sanitaria Panamericana – Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud. 2003. Especificaciones técnicas para el diseño de trampa de grasa. Lima.
		Franceys, R, Pickford, J Y Reed, R. 1992. A Guide to the Development of on-Site Sanitation. WHO.
		Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2010. Reglamento Técnico de Agua y Saneamiento (RAS) – Título J: Alternativas Tecnológicas en Agua y Saneamiento para el Sector Rural. Colombia.

No. 50	FICHA TÉCNICA	TRATAMIENTO PRIMARIO QUÍMICAMENTE ASISTIDO (TPQA)
Descripción general del sistema		
<p>El Tratamiento Primario Químicamente Asistido –TPQA es un proceso fisicoquímico para la remoción de los sólidos suspendidos y la carga orgánica, utilizando coagulantes químicos y polímeros compatibles con procesos biológicos para producir flóculos sedimentables, siguiendo los procesos de mezcla rápida, floculación, decantación y eventualmente filtración.</p> <p>Los sólidos suspendidos están constituidos generalmente por coloides que no se remueven del agua fácilmente por decantación, flotación o filtración, debido a su pequeño tamaño, entre 0,001 y 1 μ, y a que presentan cargas superficiales electrostáticas generalmente negativas, que hace que existan fuerzas de repulsión entre ellas que les impiden aglomerarse para sedimentar.</p> <p>En el tratamiento físico químico del agua residual se adicionan coagulantes y otros productos químicos que neutralizan las cargas de los coloides y facilitan la formación de flóculos, los cuales pueden ser removidos mediante decantación en el fondo, filtración o flotación por aire disuelto. Los coagulantes añadidos al agua se hidrolizan generando cationes (iones de carga positiva), que se adhieren a la superficie de los coloides que originalmente poseen cargas negativas, reduciendo de esta manera el potencial eléctrico del coloide, permitiendo que la acción de las fuerzas de Van Der Walls actúen, aglomerando las partículas y formando los flóculos.</p> <p>Esta operación se realiza siguiendo las etapas de mezcla rápida, floculación y decantación, y en ocasiones filtración. En la etapa de mezcla rápida se añade al agua el coagulante, que usualmente consiste en sales de hierro o aluminio, las cuales deben difundirse en el agua con la mayor rapidez posible. La eficiencia del proceso de coagulación depende del pH, que debe ser controlado mediante la adición de álcalis tales como cal, carbonato de sodio y soda cáustica, o de ácidos como el sulfúrico.</p> <p>En la etapa de floculación se realiza la unión entre los coloides y los flóculos ya formados, los cuales aumentan su volumen y peso de forma que pueden decantarse. Esto se logra mediante la agitación moderada del agua, que facilite el contacto entre los coloides y los flóculos pero que no los desintegre. Para mejorar este proceso se pueden adicionar floculantes, que son productos químicos que ayudan a formar el flóculo reuniendo las partículas individuales en aglomerados, aumentando así su peso. Entre los floculantes se encuentran la sílice activada, alginatos, almidones, derivados de la celulosa y polielectrolitos. Estos últimos son los más utilizados en aguas residuales.</p> <p>Las soluciones de coagulantes, floculantes y álcalis se pueden preparar en forma manual o automática en un depósito, en el cual se mantiene una agitación continua para asegurar una mezcla homogénea. Esta solución se añade al flujo de entrada en forma controlada mediante bombas dosificadoras. El rango de concentración de las soluciones de coagulantes está entre 10 y el 50%, y las de polielectrolitos entre 0.05% y 0.1%.</p> <p>Para mejorar la remoción de gran diversidad de sustancias se puede adicionar a la entrada del proceso carbón activado en polvo, arcillas activadas, zeolitas y otros materiales adsorbentes, los cuales tienen alta capacidad de fijar elementos específicos.</p> <p>La precipitación química que se usa para la remoción de metales puede considerarse un proceso químicamente asistido, que es diferente a los que utilizan sales metálicas. El procedimiento seguido es subir el pH del agua para convertir los metales en estado soluble en estado insoluble, de acuerdo</p>		

No. 50	FICHA TÉCNICA	TRATAMIENTO PRIMARIO QUÍMICAMENTE ASISTIDO (TPQA)
con la curva de solubilidad del metal a remover, con lo cual se precipitan en forma de hidróxidos, carbonatos o sulfatos, y pueden ser removidos en un decantador o un filtro. Posteriormente es necesario neutralizar el pH con ácidos tales como sulfúrico y fosfórico. El cloruro férrico se utiliza para neutralización y coagulación. Para cada metal hay un pH óptimo para removerlo, el cual corresponde al punto de menor solubilidad.		
Las sustancias más utilizadas para elevar el pH son la cal y el hidróxido de sodio (soda cáustica) para remover metales pesados como antimonio, arsénico, cromo, cobre, mercurio, níquel, plomo y zinc. El sulfato de sodio se utiliza para remover mercurio, plata y plomo. Para remover antimonio y plomo se utiliza el burbujeo con CO ₂ . También se utiliza el alumbre para precipitar arsénico y cadmio, pues forma hidróxidos de aluminio en el agua que contienen bicarbonatos de calcio y magnesio, los cuales son sustancias gelatinosas precipitables que atrapan estos metales. La cal se utiliza para mejorar la decantación de metales livianos como el fósforo.		
Debido a su bajo costo, la cal se utiliza más que la soda cáustica, pero genera un mayor volumen de lodos, los cuales tienen consistencia pastosa y tienden a obstruir los sistemas de conducción. Estos lodos generados no presentan grandes problemas de olores, y pueden ser utilizados en la recuperación de suelos ácidos cuando se utilizan para remoción de metales livianos o estabilización de lodos orgánicos.		
Los procesos de mezcla rápida, flocculación y decantación se pueden realizar mediante un reactor secuencial por tandas, (SBR por sus siglas en inglés <i>Sequential Batch Reactor</i>), que tiene mayor flexibilidad para controlar los procesos, y así ajustarse mejor a composiciones del afluente o el efluente variables, en forma similar a lo que ocurre en un ensayo de Jarras.		
<pre> graph LR A[Afluente] --> B[Rejillas de Cribado] B --> C[Coagulante] C --> D[Desarenador] D --> E[Floculante] E --> F[Tanque de Sedimentación Primario] F --> G[Efluente] F --> H[Tratamiento y Disposición de Lodos] </pre>		
Sistemas de Pretratamiento necesarios		
Como tratamientos previos se recomiendan la sedimentación primaria, la separación de elementos gruesos mediante tamices, y la trampa de grasas.		
Aplicabilidad		

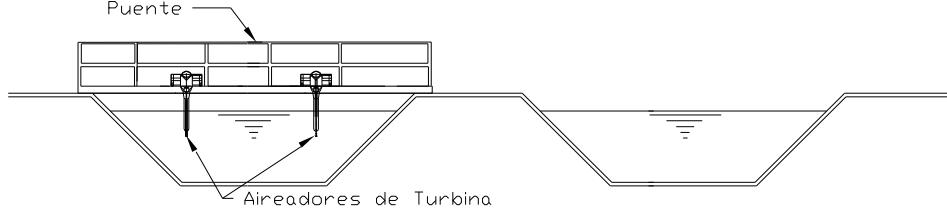
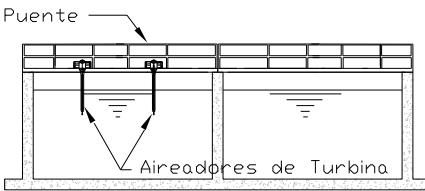
No. 50	FICHA TÉCNICA	TRATAMIENTO PRIMARIO QUÍMICAMENTE ASISTIDO (TPQA)
Se recomienda como tratamiento secundario.		
Ventajas y desventajas		
<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Es eficiente y económico en afluentes con alto contenido de sólidos inorgánicos y DBO coloidal • Las estructuras son relativamente sencillas. • No se necesitan equipos electromecánicos grandes, de alto consumo de energía. <p>Desventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aumento del volumen de los lodos producidos, que no están estabilizados. • Los lodos poseen coagulantes que pueden darle una consistencia gelatinosa, difícil de deshidratar • Alta demanda de productos químicos. 		
Aspectos de diseño		
<p>En general se requieren cámaras de mezcla rápida, floculadores, decantadores, y opcionalmente filtros, que son estructuras similares a las existentes en las de las plantas de potabilización. Para la mezcla rápida, se requiere de tiempos de retención muy cortos, preferiblemente inferiores a un segundo, y los gradientes hidráulicos para lograr esta mezcla deben ser altos, cercanos a 1000/seg. Los coagulantes se añaden como soluciones acuosas mediante equipos de dosificación, los cuales deben tener excelente control para ajustarse a las condiciones del afluente.</p> <p>La mezcla rápida generalmente se realiza en una cámara con agitadores mecánicos que pueden ser de tipo hélice o turbina, o también inyectado la solución de coagulante en el sistema de bombeo del agua. Para la floculación existen varias opciones tales como los floculadores hidráulicos, los floculadores mecánicos, que son tanques provistos de agitadores de movimiento lento, y la aireación con difusores. En esta etapa se añade la solución de floculantes mediante equipos de dosificación. Para la mezcla lenta, los gradientes hidráulicos están en el rango de 30-60/seg, y los tiempos de retención son del orden de 10 a 30 minutos.</p> <p>La selección y dosificación de los coagulantes y floculantes se hace mediante los ensayos de jarras, que simulan los procesos en pequeña escala. Es importante seleccionar los coagulantes y floculantes que sean compatibles con los procesos biológicos, pues algunos de estos productos pueden inhibirlos en el tratamiento biológico que se encuentra a continuación. En diversos estudios se ha reportado que el cloruro férrico es más eficiente que el sulfato de aluminio para remover el carbono orgánico total (COT) en aguas residuales domésticas. Generalmente hay suficiente alcalinidad en el agua que se va a tratar para el proceso de coagulación, pero a veces es necesario agregarla en forma de cal o soda cáustica.</p> <p>En etapa de decantación se remueven los flóculos formados. Los decantadores pueden ser por gravedad, ya sean simples o de tipo lamelar, o por flotación. Los procesos de flotación con aire disuelto se presentan en un módulo aparte. La decantación por gravedad se lleva a cabo en tanques sedimentadores, que se diseñan usualmente con períodos de retención de 3 a 6 horas y velocidades horizontales menores de 0.90 m/min. El periodo de retención no debe ser muy largo para evitar que</p>		

No. 50	FICHA TÉCNICA	TRATAMIENTO PRIMARIO QUÍMICAMENTE ASISTIDO (TPQA)
<p>se generen burbujas de metano debido a las condiciones anaeróbicas, que pueden interferir con los procesos de decantación. Se debe tener en cuenta que las estradas y salidas de agua se realicen en forma distribuida para evitar que provoque turbulencia, y que no debe haber corrientes en corto circuito entre la entrada y salida.</p> <p>Existen 3 procedimientos básicos para remover lodos del sedimentador. En instalaciones pequeñas los tanques pueden vaciarse para luego remover el material acumulado en el fondo, mientras funciona otro tanque en paralelo. Otros tanques tienen dispositivos de purga hidráulicos, por donde pueden evacuarse los lodos con ayuda de rastrillos. En los tanques mayores se recomienda la implementación de barrelodos mecánicos, que pueden ser rotatorios en tanques circulares o del tipo de banda sinfín en tanques rectangulares, los cuales llevan los lodos hacia canaletas o cámaras en el centro de tanques circulares por donde se saca el lodo. El método mecánico tiene la ventaja de que el tanque no necesita dejar de operar, se desperdicia menos agua, y además los lodos son removidos en forma continua, evitando su descomposición, la cual genera gases que interfieren con la sedimentación y causan malos olores.</p> <p>La filtración se emplea opcionalmente para remover flóculos que por su tamaño no se han decantado, y además se presenta dentro de los intersticios del filtro de arena o grava procesos de floculación adicional, que mejora sustancialmente la remoción de sólidos suspendidos.</p> <p>Existe la posibilidad de realizar los procesos en un solo tanque con sistemas tipo SBR, que reemplaza las estructuras que tradicionalmente se han utilizado para este propósito</p>		
Rendimientos esperados		
<p>Mediante procesos de tratamiento primario químicamente asistido es posible remover hasta el 90% de los sólidos suspendidos totales, el 80% de DBO y el 75% de bacterias en condiciones de diseño y operación óptimas. Cuando la DBO se encuentra mayormente en estado soluble, las tasas de remoción se reducen a un 40% como máximo.</p>		
Generación de efectos		
<p>Debido a que los tratamientos químicamente asistidos se realizan en condiciones anaeróbicas, pueden tener problemas de generación de olores. También se producen gran cantidad de lodos no digeridos, que requieren estructuras especiales para su estabilización. No se emplean equipos electromecánicos de gran tamaño que puedan ocasionar problemas por generación de ruido.</p>		
Aspectos particulares de operación y mantenimiento		
<p>Las actividades de operación usualmente son el control de la dosificación de químicos de acuerdo a los monitoreos del agua en la entrada y la salida, y el manejo de cantidades importantes lodos que requieren tratamientos para su estabilización y deshidratación.</p>		
Referencias bibliográficas		

No. 50	FICHA TÉCNICA	TRATAMIENTO PRIMARIO QUÍMICAMENTE ASISTIDO (TPQA)
		Ernest W. y Terence J. 1981. "Abastecimiento de Agua y Alcantarillado". Gustavo Gill. España.
		Tsukamoto R. 2005. Tratamiento Primario Avanzado: El Paradigma Moderno de Tratamiento de Aguas Residuales Sanitarias. Perú.
		Castillo E., et al. Determinación de Parámetros de Diseño de un Tratamiento Fisicoquímico de Aguas Residuales. Universidad Autónoma de Yucatán, Facultad de Ingeniería. México.
		Soto, E. 2009. Optimización del Proceso de Remoción de Metales Pesados de Agua Residual de la Industria Galvánica por Precipitación Química. Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Químicas. México.
		Escobar J. Tratamiento Primario Avanzado (TPA) de Aguas Residuales – Diagramas de Coagulación – Floculación y Variables Operativas. PTAR-Cañaveralejo - Empresas Municipales de Cali. . California.

No. 51	FICHA TÉCNICA	ZANJON DE OXIDACION
Descripción general del sistema		
<p>El zanjón de oxidación es un sistema de lodos activados con flujo a pistón, mezcla completa y aireación prolongada, a través del cual se reduce la carga orgánica de las aguas residuales. La estructura del zanjón es un canal cerrado, en la que el agua residual realiza un circuito cerrado. El canal está provisto de aireadores o dispositivos mecánicos que mantienen el flujo en rotación a la vez que le introducen aire. Normalmente funcionan con tiempos de detención hidráulica entre 15 a 72 horas. El efluente del zanjón llega a un sedimentador secundario para separar los lodos, parte de los cuales se recirculan para mantener altas concentraciones de biomasa en el zanjón, y parte van a un lecho de secado para su deshidratación y disposición final.</p> <p>El tratamiento de lodos activados de aireación extendida en zanjos de oxidación requiere del retorno de lodos para mantener el licor mezclado con una concentración de lodos suspendidos entre 2.500 y 4.500 mg/l, estos lodos se obtienen en la estructura de sedimentación secundaria. Mediante este procedimiento es posible lograr la digestión completa de los lodos. Dichos lodos estabilizados son removidos periódicamente del reactor por medio de un sedimentador que trabaja en conjunto con el zanjón. Esta tecnología es muy efectiva en instalaciones pequeñas por su sencilla configuración y facilidad de operación. Requieren mayor área que los lodos activados de tipo convencional.</p>		

Vista de Planta

No. 51	FICHA TÉCNICA	ZANJON DE OXIDACION
		 <p>Puente</p> <p>Aireadores de Turbina</p> <p>Vista en Corte de Zanjón con Sección de Flujo Trapezoidal</p>
		 <p>Puente</p> <p>Aireadores de Turbina</p> <p>Vista en Corte de Zanjón con Sección de Flujo Rectangular</p>
Sistemas de Pretratamiento necesarios		
<p>Como tratamientos previos se recomiendan la sedimentación primaria, la separación de elementos gruesos mediante tamices, y la trampa de grasas.</p>		
Aplicabilidad		
<p>Se trata de un sistema con desempeño bastante confiable y bajos requerimientos de operación, apropiados para tratamientos domésticos e industriales que cuenten con espacio suficiente, y con alto grado de mecanización.</p>		
Ventajas y desventajas		
<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Facilidad de operación. • La producción de lodos es menor que otros procesos de lodos activados, debido a que realiza aireación extendida • Tiene una mediana capacidad de asimilar sobrecargas orgánicas e hidráulicas. • Las emisiones de gases olorosos son muy reducidas. • Producción de lodos relativamente estabilizados y en cantidades reducidas, que se sacan fácilmente. • La reducción en la carga orgánica es relativamente alta, entre 90 y 95%. 		
<p>Desventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> • La estructura requerida es relativamente costosa, y el espacio ocupado es mayor que el de otros sistemas de lodos activados. • Debido a que utiliza el proceso de aireación extendida, los costos de energía son más altos que en las demás alternativas de lodos activados. • Necesitan dispositivos mecánicos que generen impulso en el agua para producir la recirculación, los cuales son equipos complejos y costosos. 		

No. 51	FICHA TÉCNICA	ZANJON DE OXIDACION
<ul style="list-style-type: none"> • Existe gran dependencia del fluido eléctrico, pues ante la deficiencia de éste, se deteriora la biomasa aeróbica y toma tiempo restablecer dicha capacidad. • El efluente puede contener sólidos suspendidos de difícil decantación. 		
Aspectos de diseño		
<p>Para el diseño del zanjón de oxidación se recomiendan edades de lodos entre 12 y 30 días, siendo los valores más altos cuando se requiere remoción de nutrientes, concentración de sólidos SSLM entre 2 y 8 gr/L, tiempos de retención hidráulica entre 6 y 30 horas, y cargas orgánicas entre 0.16 y 0.8 Kg DBO/m³. Las eficiencias en remoción de DBO pueden superar el 90%. El cálculo de la aireación se hace en forma similar al de los demás procesos de lodos activados teniendo en cuenta los parámetros anteriores.</p>		
<p>Se debe instalar equipos para airear el flujo e impulsarlo a través del circuito. Las alternativas para ello son los equipos de aireación tipo turbina o cepillos cilíndricos rotatorios, que producen ambos efectos, o una combinación de aireación mediante difusores de burbuja con propulsores helicoidales.</p>		
<p>La estructura de un zanjón de oxidación consiste en un canal en forma de óvalo, que puede tener sección rectangular o trapezoidal, provisto de puentes donde se ubican equipos de aireación e impulsión del flujo. Se necesitan velocidades en el canal entre 0.25 y 0.35 cm/s para mantener los sólidos en suspensión. En la salida del flujo se requiere un tanque sedimentador u otra estructura de decantación para remover los sólidos suspendidos, los cuales se pueden recircular al zanjón o enviarlos al sistema de manejo de lodos.</p>		
<p>Para llevar a cabo procesos de remoción de nutrientes, usualmente se tienen sectores anóxicos alternados con sectores aireados, de tal forma que se tienen procesos de nitrificación seguidos de desnitrificación para remover nitrógeno, y se desarrollan bacterias que asimilan el fósforo, el cual es extraído con los lodos. También se pueden adicionar sales metálicas que contribuyen a precipitar el fósforo.</p>		
Rendimientos esperados		
<p>Las eficiencias en remoción de DBO en los zanjones de oxidación pueden superar el 90%</p>		
Generación de efectos		
<p>La generación de olores es mínima, pero puede haber importante generación de ruido debido a la potencia de los equipos de aireación y de impulsión del flujo. La producción de lodos es menor que la de otros sistemas de lodos activados, y estos se encuentran más estabilizados.</p>		
Aspectos particulares de operación y mantenimiento		
<p>En general, son actividades de operación y mantenimiento reducidas y se refieren generalmente al mantenimiento de los equipos electromecánicos y al control del sistema de aireación para mantener las concentraciones de oxígeno disuelto en el rango óptimo.</p>		

No. 51	FICHA TÉCNICA	ZANJON DE OXIDACION
Referencias bibliográficas		
Metcalf y Eddy. 2003. <i>Wastewater Engineering: Treatment and Reuse.</i> Ed.4 ^a AECOM Press & McGraw Hill Professional. Estados Unidos.		
<i>United States Environmental Protection Agency.</i> 1999. 832-F-00-013. Folleto informativo de tecnología de aguas residuales: Zanjas de oxidación. EPA. Estados Unidos.		
Moore L. <i>Enhancing the Performance of Oxidation Ditches.</i> University of Memphis. Estados Unidos.		