



Folleto informativo de tecnología de aguas residuales

Reactores secuenciales por tandas

DESCRIPCIÓN

El reactor secuencial por tandas (*Sequencing Batch Reactor*, SBR) es un sistema de lodos activados para tratamiento del agua residual que utiliza ciclos de llenado y descarga. En este sistema el agua residual entra en una tanda a un reactor único, recibe tratamiento para remover componentes indeseables y luego se descarga. La homogenización de caudales, la aireación y la sedimentación se logran en ese reactor único. Para optimizar el desempeño del sistema, se utilizan dos o más reactores en una secuencia de operación predeterminada. Los sistemas SBR han sido utilizados con éxito para tratar aguas residuales tanto municipales como industriales. Estos sistemas son especialmente efectivos para aplicaciones de tratamiento de agua residual caracterizadas por caudales reducidos o intermitentes.

Los procesos de llenado y descarga por tandas, similares a los de reactores SBR no son un desarrollo reciente como se cree comúnmente. Entre 1914 y 1920 varios sistemas de llenado y descarga se encontraban en operación. El interés en los SBR se revivió a finales de la década de 1950 e inicios de la década de 1960 con el desarrollo de nuevos equipos y tecnología. Las mejoras de los sistemas de aireación y de controles permitieron que los SBR compitieran con éxito con los sistemas convencionales de lodos activados.

Los procesos unitarios de los SBR y los sistemas convencionales de lodos activados son iguales. Un informe de la EPA de 1993 resumió esto al indicar que “los SBR son simplemente

sistemas de lodos activados que operan en el tiempo en lugar del espacio”. La diferencia entre las dos tecnologías es que los SBR logran la homogenización de caudales, el tratamiento biológico y la sedimentación secundaria en un tanque único usando una secuencia de tiempo controlada. Este tipo de reactor realiza también, en algunos casos, la sedimentación secundaria. En un sistema convencional de lodos activados estos procesos serían realizados en tanques separados.

Una versión modificada de SBR es el sistema de aireación extendida de ciclo intermitente (*Intermittent Cycle Extended Aeration System*, ICEAS). En el sistema ICEAS el agua residual afluyente entra al reactor en forma continua. Como tal, no es un sistema de SBR convencional. Una pared de deflexión puede ser usada en el ICEAS para dispersar el flujo continuo. Con esta excepción, las configuraciones de diseño de los ICEAS y los SBR son muy similares.

Descripción de una planta de tratamiento que utiliza reactores SBR

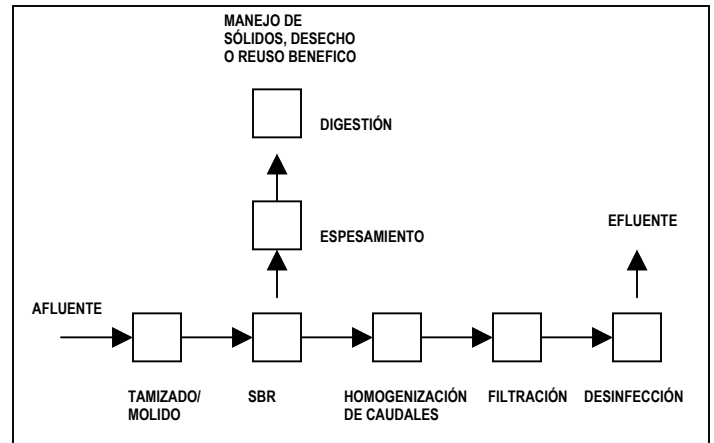
La Figura 1 muestra un esquema típico de flujo del proceso de una planta municipal de tratamiento de aguas residuales que utiliza reactores SBR. El agua residual afluyente generalmente pasa a través de rejillas y desarenación antes de llegar al SBR. El agua residual entra luego a un reactor parcialmente

lleno que contiene la biomasa ya aclimatada a los componentes del agua residual durante los ciclos anteriores. Una vez que el reactor se llena, este opera como un sistema convencional de lodos activados pero sin el flujo continuo de afluente o descarga de efluente. La aireación y la mezcla se descontinúan después de completarse las reacciones biológicas, se sedimenta la biomasa y se remueve el sobrenadante. El exceso de biomasa se purga en cualquier punto del este ciclo. La purga frecuente hace que de un ciclo al siguiente se mantenga una relación de masas casi constante entre el sustrato afluente y la biomasa. En los sistemas de flujo continuo, esa relación de masas debe mantenerse constante mediante un ajuste continuo de la tasa de recirculación del lodo activado en respuesta a variaciones del caudal afluente, sus características y la concentración del lodo de purga del tanque de sedimentación. A continuación del reactor SBR, la tanda de agua residual puede fluir a un tanque de homogenización de caudales en donde el flujo de agua residual a otras unidades de proceso puede ser controlado a una tasa determinada. En algunos casos el agua residual es filtrada para remoción adicional de sólidos y luego desinfectada.

Como se ilustra en la Figura 1, el sistema de manejo de sólidos puede consistir de un espesador y un digester aeróbico. Al utilizar SBR no se necesitan bombas para la recirculación de lodos activados ni para los lodos primarios, como se requiere en sistemas convencionales de lodos activados. Con el sistema SBR típicamente sólo se maneja un tipo de lodo. La necesidad de uso de espesadores por gravedad antes de la digestión debe determinarse caso por caso dependiendo de las características del lodo.

Un reactor SBR sirve como tanque de homogenización de caudales durante su llenado con agua residual, lo cual permite que el sistema tolere caudales o cargas máximas en el afluente y los homogenice dentro del reactor. En

muchos sistemas convencionales de lodos activados se requiere que la homogenización de caudales se haga en forma separada para proteger al sistema biológico de caudales elevados que diluirían la biomasa, o de cargas altas que podrían alterar el sistema de tratamiento.



Fuente: Parsons Engineering Science, 1999.

FIGURA 1 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE UN SBR TÍPICO

Se debe enfatizar también que normalmente los sedimentadores primarios no son requeridos con anterioridad al SBR en aplicaciones de aguas residuales municipales. En la mayoría de las plantas de sistemas convencionales de lodos activados se requiere el uso de sedimentadores primarios antes del sistema biológico. Sin embargo, el uso de sedimentadores primarios puede ser recomendado por el fabricante del sistema SBR si el total de sólidos suspendidos totales (SST) o la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) son mayores a valores entre 400 y 500 mg/L. El historial de datos debe ser evaluado para determinar si es recomendable el uso de sedimentadores primarios o la homogenización de caudales para aplicaciones municipales o industriales.

La homogenización de caudales puede ser requerida después del reactor SBR dependiendo del proceso que se ubique aguas abajo. De *no* usarse homogenización antes de la filtración, los

filtros deben ser dimensionados para recibir toda la tanda de agua residual del SBR, lo cual requeriría una extensa superficie de filtración. El diseño de filtros para recibir una tanda completa de tratamiento generalmente no es factible, siendo esta la razón por la cual se utiliza homogenización de caudales entre el reactor SBR y la filtración aguas abajo. La homogenización normalmente no es requerida en sistemas convencionales de lodos activados porque el caudal se recibe en forma continua y más constante.

APLICABILIDAD

Los sistemas SBR son utilizados típicamente para caudales iguales o menores a 5 millones de galones por día (mgd). La operación más sofisticada requerida para las plantas de SBR de mayor tamaño tiende a desestimular el uso de ese tipo de plantas para caudales mayores.

Debido a que esos sistemas tienen una superficie relativamente pequeña, son muy útiles en áreas en donde se tienen limitaciones de terreno. Además, los ciclos del sistema pueden ser fácilmente modificados para remoción de nutrientes si esto fuera requerido en el futuro. Esto hace que los sistemas SBR sean extremadamente flexibles para adaptarse a los cambios en las normas regulatorias de parámetros del efluente tales como la remoción de nutrientes. Los sistemas SBR son también muy efectivos en términos de costo de cuando se requieren tratamientos adicionales al biológico, tales como la filtración.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Algunas de las ventajas y desventajas de los sistemas SBR se enumeran a continuación:

Ventajas

- La homogenización de caudales, la sedimentación primaria (en la mayoría de los casos), el tratamiento biológico y la sedimentación secundaria pueden lograrse en un tanque reactor único.
- Flexibilidad de operación y control.
- Área superficial mínima.
- Ahorro potencial de inversión de capital por la eliminación de sedimentadores y otros equipos.

Desventajas

- Se requiere un nivel mayor de sofisticación (en comparación a los sistemas convencionales) de las unidades de programación temporal y controles, especialmente en sistemas de mayor tamaño.
- Un nivel más alto de mantenimiento (comparado con los sistemas convencionales) asociado con el tipo más sofisticado de controles, interruptores automáticos y válvulas automáticas.
- Descarga potencial de lodos flotantes o sedimentados durante la fase de descarga o decantación del reactor en algunas configuraciones de SBR.
- Taponamiento potencial de los dispositivos de aireación durante ciclos operativos específicos dependiendo del sistema de aireación utilizado por el fabricante.

- Necesidad potencial de homogenización de caudales dependiendo de los procesos utilizados aguas abajo.

CRITERIOS DE DISEÑO

Para el diseño de cualquier planta de tratamiento de aguas residuales el primer paso es el determinar las características anticipadas del agua residual y los requerimientos para el efluente del sistema propuesto. Los parámetros del afluente incluyen típicamente el caudal de diseño, el caudal diario máximo, el DBO₅, los SST, el pH, la alcalinidad, el nitrógeno total Kjeldahl (NTK), el nitrógeno amoniacal (NH₃-N) y el fósforo total. Pueden requerirse también otros parámetros para aguas residuales industriales y domésticas.

Se debe contactar a la agencia reguladora estatal para determinar los requerimientos para el efluente de la planta propuesta. Estos parámetros de descarga son determinados por cada estado en el permiso del Sistema Nacional de Eliminación de las Descargas Contaminantes (*National Pollutant Discharge Elimination System*, NPDES). Los parámetros que normalmente se incluyen en los permisos para sistemas municipales son el caudal, la DBO₅, los SST y las bacterias coliformes fecales. Además, muchos estados están adoptando la remoción de nutrientes, por lo cual también pueden requerirse el nitrógeno total, el NTK, el NH₃-N y el fósforo total. Es imperativo establecer los requerimientos del efluente porque estos impactan la secuencia de operación de los sistemas SBR. Por ejemplo, si se tiene un requerimiento de NH₃-N o NTK, entonces es necesario tener nitrificación. Si se tiene un límite de nitrógeno total, tanto nitrificación como desnitrificación serán necesarios.

Una vez que se determinan las características del afluente y el efluente, el ingeniero normalmente consulta con fabricantes de SBR en cuanto a las recomendaciones de diseño. Con base en estos parámetros y otros específicos para el sitio de tratamiento, tales como la temperatura, se seleccionan los parámetros clave de diseño del sistema. Un ejemplo de esos parámetros para la carga de un sistema de aguas residuales se señala en la Tabla 1.

Una vez se determinan los parámetros clave de diseño, se puede calcular el número de ciclos por día, el número de tanques, el volumen de decantación, el tamaño del reactor y los tiempos de retención. Además, se puede dimensionar el equipo de aireación, el decantador y las tuberías asociadas. Otra información específica del sitio es necesaria para seleccionar el tamaño de los equipos de aireación, tal como la elevación del terreno sobre el nivel del mar, la temperatura del agua residual y la concentración total de sólidos disueltos.

TABLA 1 PARÁMETROS CLAVE DE DISEÑO PARA TASAS DE CARGA CONVENCIONALES

	Industrial	Municipal
Relación alimento a microorganismos (F/M)	0.15 - 0.4/día	0.15 -0.6/día
Duración del ciclo de tratamiento	4.0 horas	4.0 – 24 horas
Concentración típica de sólidos suspendidos en el licor mezclado a nivel bajo de agua	2,000 – 2,500 mg/L	2,000 - 4,000 mg/L
Tiempo hidráulico de retención	6 - 14 horas	varía

Fuente: AquaSBR *Design Manual*, 1995.

La operación de un reactor SBR se basa en el principio de llenado-descarga, el cual consiste de los siguientes 5 pasos básicos: Inactividad, Llenado, Reacción, Sedimentación y Descarga. Más de una estrategia operacional es factible

durante la mayoría de esos pasos. Para aplicaciones de aguas residuales industriales normalmente se requieren estudios de tratabilidad para determinar la secuencia óptima de operación. Para la mayoría de las plantas de tratamiento de agua residual doméstica no se requieren dichos estudios para determinar la secuencia de operación porque el flujo de agua residual doméstica y sus variaciones características son generalmente predecibles; además, la mayoría de los diseñadores de ese tipo de plantas utilizan diseños de tipo conservador.

El paso de Inactividad tiene lugar entre los pasos de Descarga y Llenado, durante los cuales se hace la remoción del efluente tratado y se adiciona el afluente de agua residual. La duración del paso de Inactividad varía dependiendo del caudal afluente y la estrategia de operación. La homogenización de caudales puede hacerse durante este paso si se utilizan tiempos variables de inactividad. La mezcla para acondicionar la biomasa y la purga del lodo también pueden ser llevados a cabo durante el paso de Inactividad dependiendo de la estrategia operacional.

El agua afluente se añade al reactor durante el paso de Llenado. Las siguientes modalidades son utilizadas en el paso de Llenado, y cualquiera de ellas puede ser usada dependiendo de la estrategia operacional: llenado estático, llenado con mezclado y llenado con aireación. Durante el llenado estático, el agua residual afluente se añade a la biomasa ya presente en el reactor. El llenado estático no tiene mezcla ni aireación, lo cual significa que se tendrá una alta concentración de sustrato (alimento) una vez se inicie la mezcla. Una alta relación alimento a microorganismos (*food to microorganism ratio*, F/M) crea un medio propicio para que los organismos crezcan en flóculos en vez de filamentos; ésto da al lodo buenas características de sedimentación. Además, las condiciones de llenado estático favorecen a los organismos que hacen almacenamiento interno de productos

durante condiciones de alta concentración de sustrato, lo cual es un requisito para la remoción biológica del fósforo. El llenado estático puede ser comparado con el uso de compartimientos "selectores" para el control de la relación F/M en un sistema convencional de lodos activados.

El llenado con mezcla es llevado a cabo mezclando los compuestos orgánicos del afluente con la biomasa, para iniciar así las reacciones biológicas. Durante el llenado con mezcla, las bacterias degradan biológicamente los compuestos orgánicos y utilizan el oxígeno residual u otro compuesto receptor de electrones alterno como los nitratos. En este medio la desnitrificación puede ocurrir en condiciones anóxicas. La desnitrificación es la conversión biológica de nitratos a gas nitrógeno. Un medio anóxico se define como la condición en la cual no se presenta oxígeno libre y el nitrato es utilizado por los microorganismos como receptor de electrones. En un sistema convencional de remoción biológica de nutrientes (*Biological Nutrient Removal*, BNR) el llenado con mezcla es comparable a la zona anóxica que se utiliza para la desnitrificación. También se pueden obtener condiciones anaeróbicas durante la fase de llenado con mezcla. Una vez que los organismos han utilizado los nitratos, el sulfato se convierte en el compuesto receptor de electrones. Las condiciones anaerobias se caracterizan por la falta de oxígeno y el uso del sulfato como compuesto receptor de electrones.

El llenado con aireación tiene lugar cuando se suministra aire al contenido del reactor para iniciar reacciones aeróbicas que se completan en el paso de Reacción. El llenado con aireación reduce el tiempo requerido para el paso de Reacción.

Las reacciones biológicas se completan en el paso de Reacción, en el cual se presenta las modalidades de reacción con mezcla y reacción con aireación. Durante las reacciones con aireación se completan las reacciones aeróbicas

que se iniciaron durante el llenado aireado, y puede lograrse la nitrificación. La nitrificación es la conversión del nitrógeno en forma amoniacal a nitritos y finalmente a nitratos. Si se selecciona la modalidad de reacción con mezcla se puede llegar a condiciones anóxicas para la desnitrificación. Condiciones anaerobias también pueden ser obtenidas en la modalidad de reacción con mezcla para la remoción del fósforo.

El paso de Sedimentación ocurre normalmente durante condiciones de reposo en el reactor SBR. En algunos casos una agitación moderada durante las fases iniciales de la sedimentación puede producir un efluente mejor clarificado y lodo sedimentado de mayor concentración. En un reactor SBR no existen corrientes de afluente o efluente que interfieran con el proceso de sedimentación como sí es el caso de los sistemas convencionales de lodos activados.

El paso de Descarga usa un decantador para remover el efluente tratado, y es el proceso en el cual se diferencian más los fabricantes de sistemas SBR. En general, existen decantadores flotantes y fijos. Los flotantes tienen varias ventajas con relación a los fijos según se discute en la sección de descripción de tanques y equipos.

Construcción

La construcción de sistemas SBR normalmente requiere una superficie menor a la de los sistemas convencionales de lodos activados porque con el uso de SBR a menudo se elimina la necesidad de sedimentadores primarios y nunca se requieren los secundarios. El tamaño de los tanques en sí mismos varía para cada sitio específico, pero en general se tiene una ventaja con el uso de sistemas SBR cuando el sitio propuesto tiene limitaciones de terreno. La

Tabla 2 presenta algunos ejemplos ilustrativos señalando dimensiones generales para diferentes caudales. El tamaño de esos sistemas es específico para cada sitio y por eso los ejemplos no representan cada tipo posible de sistema para un tamaño dado.

La construcción de un tanque de SBR y los equipos es en realidad comparable o más simple que la de un sistema convencional de lodos activados. En plantas de tipo BNR para remoción biológica de nutrientes, el SBR elimina la necesidad de bombas y tuberías para la recirculación de lodos activados. También puede eliminar la necesidad de recirculación interna de los sólidos suspendidos del licor mezclado (*mixed liquor suspended solids*, MLSS) si esta es utilizada en un sistema convencional de BNR para el retorno del nitrógeno en forma de nitratos. El sistema de control operativo del SBR es más complejo que el del sistema convencional de lodos activados, e incluye interruptores automáticos, válvulas automáticas e instrumentación. Estos controles son muy sofisticados en los sistemas de mayor tamaño. Los fabricantes de SBR señalan que la mayoría de las instalaciones en los Estados Unidos son utilizadas para sistemas pequeños de aguas residuales con capacidad menor a 2 MGD; algunas referencias bibliográficas recomiendan los sistemas SBR sólo para pequeñas comunidades en donde el terreno es limitado. Este no es siempre el caso, sin embargo, ya que el sistema de SBR más grande del mundo es una planta de 10 MGD en los Emiratos Árabes Unidos.

TABLA 2 EJEMPLOS ILUSTRATIVOS PARA VARIAS INSTALACIONES DE SBR

Flujo (MGD)	Reactores			Sopladores	
	No.	Tamaño (pies)	Volumen (10 ⁶ galones)	No.	Tamaño (HP)
0.012	1	18 x 12	0.021	1	15

0.10	2	24 x 24	0.069	3	7.5
1.2	2	80 x 80	0.908	3	125
1.0	2	58 x 58	0.479	3	40
1.4	2	69 x 69	0.678	3	60
1.46	2	78 x 78	0.910	4	40
2.0	2	82 x 82	0.958	3	75
4.25	4	104 x 80	1.556	5	200
5.2	4	87 x 87	1.359	5	125

Nota: Estos ejemplos ilustrativos y las estimaciones de dimensiones fueron proporcionados por Aqua-Aerobic Systems, Inc. y son específicos para el sitio de ubicación del sistema de tratamiento.

Descripción de tanques y equipos

El sistema de SBR consiste de un tanque, los equipos de aereación y mezcla, un decantador y un sistema de control. Los elementos centrales de un sistema de SBR son la unidad de control y los interruptores y válvulas automáticas que regulan la secuencia y duración de las diferentes operaciones. Los fabricantes de los SBR deben ser consultados en lo referente a tanques y equipos. Generalmente se usa un sistema completo de SBR recomendado y suministrado por un solo fabricante. Sin embargo, es posible que un ingeniero diseñe sistemas individuales de SBR ya que todos los tanques, equipos y controles pueden ser obtenidos de diferentes fabricantes. Este procedimiento no es típico para instalaciones de SBR dado el nivel de sofisticación de la instrumentación y los controles asociados con el sistema.

El tanque del SBR se construye normalmente de acero o de concreto. Para aplicaciones industriales los tanques más comunes son los de acero con revestimiento para control de corrosión, mientras que los de concreto son los más comunes para el tratamiento de aguas domésticas municipales. Para la mezcla y aereación, los sistemas de aereación de chorro son típicos ya que permiten el mezclado con o sin aereación, pero otros sistemas de aireación y

mezcla son también utilizados. Los sopladores de desplazamiento positivo se usan generalmente en el diseño de los SBR para manejo de variaciones de nivel del agua residual en el reactor.

Como se mencionó anteriormente, el decantador es el elemento principal que diferencia a los fabricantes de SBR. Los tipos de decantadores incluyen los flotantes y los fijos. Los flotantes tienen la ventaja de mantener sumergido el orificio de toma muy cerca de la superficie del agua para minimizar la remoción de sólidos en el efluente durante el paso de Descarga. Los decantadores flotantes también ofrecen flexibilidad operacional en respuesta a volúmenes variables de llenado y vaciado. Los decantadores fijos se instalan en la pared del tanque y pueden ser empleados si se usa una fase extendida de Sedimentación. El extender esta fase minimiza la posibilidad de que los sólidos en el agua residual floten sobre el decantador. En algunos casos, los decantadores fijos son menos costosos y pueden ser diseñados para permitir que el operador baje o suba su nivel. Los decantadores fijos no ofrecen la flexibilidad de operación de los flotantes.

Seguridad y salud ocupacional

La seguridad ocupacional debe ser una preocupación principal en cada diseño y sistema operativo. Un sistema diseñado y operado en forma apropiada minimiza posibles problemas de seguridad ocupacional y de salud. Publicaciones tales como los manuales de práctica profesional para diseño y operación de plantas de tratamiento de aguas residuales (*Manual of Practice No. 8, Design of Municipal Wastewater Treatment Plants, and Manual of Practice No. 11, Operation of Municipal Wastewater Treatment Plants*) deben ser consultados para minimizar los riesgos

ocupacionales. Otros manuales apropiados de tratamiento de aguas residuales industriales y las normas federales y estatales deben ser también consultadas para el diseño y la operación de sistemas de tratamiento de aguas residuales.

DESEMPEÑO

La efectividad de un sistema SBR es comparable a la de sistemas convencionales de lodos activados y depende del diseño del sistema y de criterios específicos del sitio de la planta. Los sistemas SBR logran una buena remoción de DBO y nutrientes dependiendo del modo de operación. Para los SBR la eficiencia de remoción de DBO generalmente es del 85 al 95 por ciento. Los fabricantes de sistemas SBR normalmente proveen una garantía de proceso para la producción de efluentes con máximo de:

- 10 mg/L de DBO
- 10 mg/L de SST
- 5 - 8 mg/L de nitrógeno total
- 1 - 2 mg/L de fósforo total

OPERACION Y MANTENIMIENTO

Los SBR normalmente eliminan la necesidad de usar sedimentadores primarios y secundarios separados en la mayor parte de los sistemas municipales, reduciendo así los requisitos de operación y mantenimiento (O/M). Además, no se requieren bombas de recirculación de lodos.

En sistemas convencionales de remoción biológica de nutrientes pueden ser necesarias bombas de recirculación para los reactores atóxicos, los mezcladores de la zona anóxica, los tanques de sustancias tóxicas y los equipos de aereación de estos tanques, y la recirculación interna de nitratos de los MLSS. Con el SBR esto puede lograrse en un solo reactor usando los equipos de aereación y mezcla, minimizando así los requisitos de O/M que se necesitarían de otra manera para los sedimentadores y las bombas.

Dado que los elementos críticos de un sistema de SBR son los controles, las válvulas automáticas y los interruptores automáticos, estos sistemas pueden necesitar un mayor mantenimiento que en los sistemas convencionales de lodos activados. Un incremento en el nivel de sofisticación también significa que existen más elementos que pueden fallar o requerir mantenimiento. El nivel de sofisticación puede ser muy alto en las plantas de tratamiento de SBR de mayor tamaño, requiriéndose un alto esfuerzo de mantenimiento de las válvulas e interruptores automáticos.

Una flexibilidad operativa muy significativa está asociada con los sistemas SBR. Un SBR puede ser ajustado para simular cualquier proceso de un sistema convencional de lodos activados incluyendo los de BNR. Por ejemplo, los tiempos de retención en la modalidad de Reacción con aireación de un SBR pueden ser modificados para lograr la simulación de un sistema de estabilización por contacto con un tiempo hidráulico de retención (THR) de 3.5 a 7 horas o, al punto opuesto del espectro, un sistema de tratamiento de aireación extendida con un THR de 18 a 36 horas. Para una planta de BNR, la modalidad de Reacción con aireación (condiciones aeróbicas) y la modalidad de reacción con mezcla (condiciones anóxicas) pueden ser alternadas para lograr la nitrificación y desnitrificación. La modalidad de llenado con mezcla y de reacción con mezcla

pueden ser usados para lograr la desnitrificación usando condiciones anóxicas. Además, estas modalidades pueden ser finalmente usadas para lograr condiciones anaerobias en las cuales se produce la remoción del fósforo. Los sistemas convencionales de lodos activados normalmente requieren un volumen adicional de tanques para contar con esa flexibilidad. Los sistemas SBR operan en el tiempo en lugar del espacio, y por esto el número de ciclos por día puede ser modificado para controlar los límites deseados del efluente, lo cual es una flexibilidad adicional asociada con los SBR.

COSTOS

Esta sección incluye algunas pautas generales así como algunas estimaciones globales para propósitos de planificación. Debe tenerse en cuenta que las estimaciones de costos de inversión y operación son específicas para cada sitio.

Las estimaciones de costo a nivel de presupuesto, presentadas en la Tabla 3 se basan en proyectos realizados entre 1995 y 1998. Los costos a nivel de presupuesto incluyen a los sopladores, los difusores, las válvulas operadas electrónicamente, los mezcladores, las bombas de lodo, los decantadores y los paneles de control. Todos los costos han sido actualizados al valor de marzo de 1998 usando un índice de costo de construcción de 5875 del ENR (*Engineering News Record*) para esa fecha; los valores se han redondeado a miles de dólares.

TABLA 3 COSTO DE LOS EQUIPOS DE SBR CON BASE EN DIFERENTES PROYECTOS

Caudal de diseño	Costo de equipos a nivel de presupuesto
------------------	---

(MGD)	(dólares)
0.012	94,000
0.015	137,000
1.0	339,000
1.4	405,000
1.46	405,000
2.0	564,000
4.25	1,170,000

Fuente: información del fabricante Aqua Aerobics, 1998.

En la Tabla 4 se proporciona un rango de costos de equipos para diferentes caudales de diseño. De nuevo, los costos de equipos no incluyen los tanques, las obras en el sitio de trabajo, la excavación y relleno, la instalación, los gastos fijos y ganancias del contratista, los servicios legales, administrativos y de ingeniería, o las contingencias. Estos elementos deben ser incluidos para calcular el costo global de un sistema SBR. Los costos de otros procesos de tratamiento como el tamizado, la homogenización de caudales, la filtración, la desinfección o la digestión aeróbica deben ser también incluidos de ser requeridos.

TABLA 4 COSTO DE EQUIPOS A NIVEL DE PRESUPUESTO CON BASE EN DIFERENTES CAUDALES

Caudal de diseño (mgd)	Costo de equipos a nivel de presupuesto (dólares)
1	150,000 - 350,000
5	459,000 - 730,000
10	1,089,000 - 1,370,000
15	2,200,000
20	2,100,000 - 3,000,000
1	150,000 - 350,000

Los rangos de costos de construcción para un sistema completo de SBR instalado para tratamiento de aguas residuales se presentan en la Tabla 5. La variación en las estimaciones se

deben al tipo de instalaciones de manejo de lodos y las diferencias entre instalaciones recientemente construidas y los sistemas que utilizan instalaciones de plantas existentes. Por esto, en algunos casos las estimaciones incluyen otros procesos requeridos en una planta de SBR para tratamiento de aguas residuales.

TABLA 5 COSTO INSTALADO POR GALÓN DE AGUA RESIDUAL TRATADA

Caudal de diseño (MGD)	Costo de equipos a nivel de presupuesto (dólares por galón)
0.5 - 1.0	1.96 - 5.0
1.1 - 1.5	1.83 - 2.69
1.5 - 2.0	1.65 - 3.29

Nota: Las estimaciones de costo a nivel de presupuesto fueron proporcionados por Aqua-Aerobics Systems, Inc., agosto 1998.

Normalmente existe una economía de escala asociada con los costos de construcción, lo cual significa que las plantas de mayor tamaño generalmente pueden ser construidas a un menor costo por galón que los sistemas de menor tamaño. La construcción de paredes conjuntas en los sistemas de mayor tamaño, útil en reactores SBR de forma cuadrada o rectangular, da como resultado esta economía de escala.

Los costos de operación y mantenimiento asociados con un sistema de SBR pueden ser muy similares a los de los sistemas convencionales de lodos activados. Los costos típicos de elementos asociados con sistemas de tratamiento de aguas residuales incluyen los salarios, los gastos generales, los suministros, el mantenimiento, la administración de operación, los servicios, los compuestos químicos, la seguridad ocupacional y el entrenamiento, las pruebas de laboratorio y el manejo de sólidos. Los requisitos laborales y de mantenimiento pueden reducirse con los SBR por cuanto los sedimentadores, los equipos asociados y las bombas de recirculación de lodos activados

pueden no ser necesarios. Por otra parte, las necesidades de mantenimiento de los interruptores y las válvulas automáticas que controlan la secuencia de operación pueden ser mayores que en los sistemas convencionales de lodos activados. Los costos de O/M son específicos para cada instalación y tienen un rango de \$800 a \$2,000 dólares por galón tratado.

REFERENCIAS

1. *AquaSBR Design Manual*. Mikkelson, K.A. of Aqua-Aerobic Systems. Copyright 1995.
2. Arora, Madan L. *Technical Evaluation of Sequencing Batch Reactors*. Prepared for U.S. EPA. U.S. EPA Contract No. 68-03-1821.
3. *Engineering News-Record*. A publication of the McGraw Hill Companies, March 30, 1998.
4. Irvine, Robert L. *Technology Assessment of Sequencing Batch Reactors*. Prepared for U.S. EPA. U.S. EPA Contract No. 68-03-3055.
5. Liu, Liptak, and Bouis. *Environmental Engineer*s Handbook*, 2nd edition. New York: Lewis Publishers.
6. *Manufacturers Information*. Aqua-Aerobics, Babcock King-Wilkinson, L.P., Fluidyne, and Jet Tech Systems, 1998.

- | | | |
|-----|---|---|
| 7. | Metcalf & Eddy, Inc. <i>Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse</i> . 3rd edition. New York: McGraw Hill. | 4545 North Henry Boulevard
Stockbridge, GA 30281 |
| 8. | Parsons Engineering Science, Inc. <i>Basis of Design Report - Urgent Extensions to Maray Sewer Treatment Works</i> , Abu Dhabi, UAE, 1992. | Gary Hooder, Operator
Martinsburg WWTP
133 East Allegheny
Martinsburg, PA 16662-1112

Mitchell Meadows, Lead Operator
1300 Recker Highway
Auburndale, FL 33823 |
| 9. | Norcross, K.L., <i>Sequencing Batch Reactors - An Overview</i> . Technical Paper published in the IAWPRC 1992 (0273-1221/92). <i>Wat. Sci. Tech.</i> , Vol. 26, No. 9-11, pp.2523 - 2526. | Teresa Schnoor, Administrator
Antrim TWP
P.O. Box 130
Greencastle, PA 17225

Charles Sherrod, Chief Operator
Blountstown WWTP
125 West Central Avenue
Blountstown, FL 32424 |
| 10. | Peavy, Rowe, and Tchobanoglous: <i>Environmental Engineering</i> . New York: McGraw-Hill, Inc. | |
| 11. | U.S. EPA. <i>Innovative and Alternative Technology Assessment Manual</i> , EPA/430/9-78-009. Cincinnati, Ohio, 1980. | La mención de marcas o productos comerciales no significa que la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos respalda o recomienda su uso. |
| 12. | U.S. EPA. EPA Design Manual, Summary Report <i>Sequencing Batch Reactors</i> . EPA/625/8-86/011, August 1986. | Para mayor información contactarse con:

Municipal Technology Branch, U.S. EPA, Mail Code 4204, 401 M St., S.W., Washington, D.C., 20460 |
| 13. | Manual of Practice (MOP) No. 8, Design of Municipal Wastewater Treatment Plants, 14. Manual of Practice (MOP) No. 11, Operation of Municipal Wastewater Treatment Plants. | |

INFORMACION ADICIONAL

Brad Holtsinger, Chief Operator
City of Stockbridge WWTP