La sedimentación secundaria en los tratamientos biológicos de aguas residuales

Carlos Menéndez Gutiérrez E-MAIL: carlosm@tesla.cujae.edu.cu
Centro de Estudios de Ingeniería de Procesos (CIPRO). Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (Cujae). La Habana. Cuba.

RESUMEN

En los tratamientos biológicos convencionales de aguas residuales co-existen procesos biológicos y físicos, tan importantes unos como los otros, de los que depende la eficiencia de depuración. Entre estos últimos están los sedimentadores secundarios. Son muchas las causas que pueden incidir en el funcionamiento inadecuado de los sedimentadores. El objetivo del trabajo es el análisis de algunas de ellas y su solución.

PALABRAS CLAVES: IVL, lodo abultado, sedimentador, tratamiento biológico

Secondary sedimentation in biological wastewater treatment

ABSTRACT

In conventional biological wastewater treatments, biological and physical processes co-exist, one as important as the other, on which the purification efficiency depends. Among the latter secondary sedimentation can be mentioned. Malfunctioning of settlers, whatever be the cause, can have a significant impact on the expected efficiency of treatment.

KEYWORDS: IVL, sludge bulking, sedimentation, biological treatment

CITMA CERTIFICADO

Enero 2022-RECIBIDO | APROBADO-Junio 2022

Esta obra está bajo una licencia internacional creative commons attribution-noncommercial 4.0

SciELO

01 INTRODUCCIÓN

Entre los tratamientos biológicos aerobios de las aguas residuales convencionales más conocidos se destacan los filtros percoladores y los lodos activados. En ellos tiene lugar la bio-oxidación o bio-degradación de la materia orgánica biodegradable contenida en las mismas. Esto ocurre mediante la acción metabólica de cultivos mixtos de microorganismos que en su conjunto conforman la biomasa microbiana.

En estos tratamientos co-existen procesos biológicos y físicos, tan importantes unos como los otros. Durante los primeros no solamente acontece la oxidación de la materia orgánica biodegradable con la consecuente disminución de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) por la acción de cultivos mixtos de microorganismos que en determinada medida se reproducen. Esa biomasa microbiana está constituida fundamentalmente por bacterias formadoras de flóculos, protozoos y hongos, ya sean filamentosos o no. En menor medida pueden encontrarse otros organismos superiores como rotíferos y crustáceos. Parte de la materia orgánica inicialmente presente en el agua residual se transforma en nueva biomasa consecuencia del crecimiento microbiano, incorporando DBO al proceso si no es separada del mismo.

Teniendo en cuenta lo anterior, los tratamientos biológicos de aguas residuales han de considerarse al menos dos etapas. Una primera, eminentemente biológica donde ocurre la bio-oxidación, y una segunda etapa de separación, mediante sedimentación, de la biomasa formada. Esta última es la sedimentación secundaria.

Con el propósito de destacar la importancia que posee la consideración de la sedimentación secundaria como parte intrínseca del tratamiento biológico, se presenta a continuación un caso hipotético, teniendo en cuenta valores característicos de los procesos en los tratamientos biológico: rendimiento Y (g de biomasa producido) (g de BDO eliminado)-1 de 0,5, y el equivalente de oxígeno de la biomasa (g de oxígeno)(g de biomasa)-1 igual a 1,42 según propuesta de (Hoover and Porges 1953).

CASO HIPOTÉTICO BASADO EN UNA SITUACIÓN REAL

"Asumiendo un flujo másico de DBO de 3 000 kgd-1, que puede ser típico para una población media de 100 000 hab, y una reducción de DBO en el reactor biológico de 85%, el agua residual saldría con 450 kgd-1 de DBO. En estas circunstancias si la biomasa no es separada aportaría 1 810 kgd-1 a la corriente del efluente, lo que sumados a los 450 kgd-1 anteriores, daría una eficiencia de reducción solamente de 25%, y no la deseada de 85%".

Aunque hay otros elementos también importantes que justifican la necesidad de la incorporación de la sedimentación con posterioridad (sedimentadores secundarios) al reactor biológico en los tratamientos de aguas residuales, el análisis anterior puede ser suficiente argumentación para justificar su existencia para alcanzar la calidad deseada, en cuanto a la disminución de DBO en el efluente final del tratamiento.

02 DESARROLLO

Los sedimentadores secundarios son componentes importantes en la mayoría de los sistemas de tratamiento biológico de aguas residuales. Su objetivo primario, como ya fue expresado con anterioridad, es separar en forma de flóculos, la biomasa microbiana que crece durante el proceso de bio-oxidación, permitiendo de ese modo la clarificación del efluente del reactor biológico, previo

su vertimiento final. En la figura 1 se ilustra la separación, en vaso de precipitado, de sólidos floculentos típicos de una suspensión.

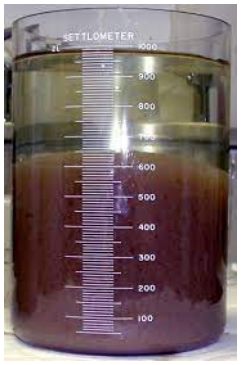

Figura 1. Sólido floculento sedimentando de una suspensión. La mezcla de líquido claro y sólido en suspensión usualmente es denominado lodo.

Hay múltiples y diversas causas por las cuáles los sedimentadores secundarios pueden no operar adecuadamente, y por tanto de que en el efluente final del tratamiento no se obtenga la eficiencia deseada de eliminación de sólidos en suspensión. Unas están en la operación de los propios sedimentadores, y otras pueden encontrarse en la operación de los reactores biológicos que le preceden en el esquema de tratamiento. La figura 2 representa la ilustración de un reactor biológico y su sedimentador secundario.

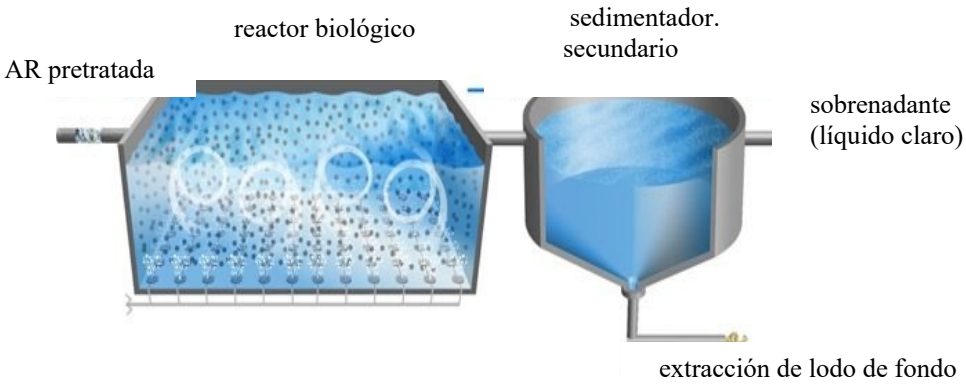

Figura 2. Esquema de reactor biológico y el sedimentador secundario correspondiente. Está omitido el sedimentador primario al no ser objeto del trabajo. Modificado de Condorchem. Envitech (2020).

BAJA EFICIENCIA DE SEPARACIÓN POR DIFICULTADES EN LA OPERACIÓN DE LOS SEDIMENTADORES SECUNDARIOS

En no pocas ocasiones durante la operación de los sedimentadores secundarios se presentan diferentes problemas que llegan a incidir negativamente en la calidad de la clarificación del efluente final. Entre ellos están aquellos que inciden en que los sólidos no sedimenten como se espera que lo hagan, y otros que tienden a favorecer que los sólidos que ya sedimentaron, se re-suspendan nuevamente.

Entre los factores que más comúnmente están presentes en los problemas de la mala operación de los sedimentadores secundarios y por tanto en la deficiente separación de los sólidos sedimentables, pueden destacarse el no cumplimiento de los valores adecuados de:

- carga superficial de sobrenadante
- carga de agua sobre el vertedor
- tiempo de retención

La carga superficial de sobrenadante se define como el flujo de agua que se alimenta al sedimentador, por unidad de área de mismo (m3m-2d-1), mientras que la carga sobre el vertedor es el flujo de agua que es vertido por el sobrenadante, por la longitud del perímetro del vertedor (m3m-1d-1).

La literatura registra valores típicos de estos parámetros. Entre los más reconocidos son los reportados como valores estándar de GLUMRB (2014) según se presentan en la tabla 1.

En la figura 3 se aprecia la salida del efluente a través del vertedor.

Figura 3. Descarga sobre el vertedor. Izquierda sedimentador circular. Derecha sedimentador rectangular.

Tabla 1. Criterios GLUMRB (2014) de operación y diseño de sedimentadores secundarios según el tipo de proceso biológico que le precede.

Procedencia	Carga superficial de sobrenadante $m^3m^{-2}d^{-1}$		Carga máxima sobre el vertedor $m^3m^{-1}d^{-1}$	
	flujos < 3 800 m^3d^{-1}	flujos > 3 800 m^3d^{-1}	flujos < 3 800 m^3d^{-1}	flujos > 3 800 m^3d^{-1}
Lodos activados	24	30	125 - 250	
Filtro percolador	30	30	120	240

Valores superiores de estos parámetros en los de proyectos, suele traer como consecuencia mala sedimentación de los sólidos y aún re-suspensión de los mismos.

Los criterios anteriores parten del presupuesto que, de acuerdo a las características de los sólidos éstos poseen buenas condiciones de sedimentación. Las características de sedimentabilidad de los sólidos puede estimarse teniendo en cuenta el valor del índice volumétrico de los lodos (IVL). Como se detallará más adelante, el IVL es el volumen ocupado por cada gramo de lodo (mL.g-1) después de un tiempo dado de reposo o sedimentación.

Es importante tener presente que los flujos de entrada y salida de agua del sedimentador difieren, teniendo en cuenta que debe realizarse extracción de sólidos, en forma de lodo, por el fondo del mismo.

TIEMPO DE RETENCIÓN

El tiempo de retención hidráulico en los sedimentadores es un elemento clave en el logro de la separación satisfactoria de los sólidos sedimentables y la obtención de un sobrenadante claro. Las características constructivas del sedimentador y el tiempo de retención en el mismo, previene los corto circuitos, la turbulencia y la resuspensión de los sólidos. Atendiendo a la diferencia de las características de los flóculos que usualmente se forman, los tiempos de retención mínimos recomendados difieren ligeramente para los efluentes procedentes de los filtros percoladores y lodos activados. Para los primeros se encuentran en el intervalo comprendido entre 2,0 y 1,5 horas, mientras que para lodos activados se prefieren tiempos de retención entre 1,5 y 2,5 horas.

Por otra parte, el tiempo de retención de los sólidos depositados en el fondo del sedimentador no es menos importante. Tomando en consideración que los sólidos sedimentados están constituidos fundamentalmente por materia orgánica biodegradable, períodos de retención prolongados en el fondo pueden dar lugar descomposición anaerobia de los mismos, con la consiguiente formación de CH_4 y CO_2 que, al ascender desde el fondo hacia la superficie, tienden a arrastrar sólidos, incorporándolos a la corriente de sobrenadante (figura 4).

Figura 4. Lodo re-suspendido por tiempo de retención excesivo en el fondo del sedimentador secundario

Los sólidos o lodos sedimentados no deben ocupar un volumen excesivo en el fondo del sedimentador. Por otra parte, los sólidos suspendidos totales remanentes en la corriente del sobrenadante deben tener concentraciones menores a 15 mgL^{-1} (Jenkins and Wanner, 2014).

BAJA EFICIENCIA DEL SEDIMENTADOR SECUNDARIO POR INCIDENCIAS EN EL REACTOR BIOLÓGICO

La operación satisfactoria de los sedimentadores secundarios no depende solamente del volumen de agua que recibe, sino también de la masa de sólido a separar, y en general se requiere separar la mayor cantidad de sólidos sedimentables que se producen.

La producción de sólidos (biomasa microbiana) en los tratamientos biológicos de aguas residuales es variable y está sujeta a múltiples causas. Entre otras, el tipo de reactor y dentro de éstos las diferentes variantes del mismo. No obstante, hay valores de producción de sólidos que son frecuentes encontrar.

La producción de sólidos durante el tratamiento de aguas residuales en reactores biológicos, considerando como tales los sólidos suspendidos volátiles (SSV) en base seca, producida por kg de DBO eliminado está comprendida en el intervalo de 0,75 y 1,0 kg.kg-1 para los filtros percoladores y entre 0,5 y 0,7 para lodos activados (Menéndez y Dueñas 2021). Estos sólidos producidos han de ser separados del efluente final mediante la sedimentación.

En ocasiones la dificultad de una adecuada separación de sólidos está dada por los elevados valores de la denominada carga de sólidos (flujo másico de SSV que entra al sedimentador por unidad de área del sedimentador) (kgm-2d-1), mayores que los valores máximos recomendados. Esto puede obedecer a diferentes razones según el reactor biológico sea un filtro percolador o lodo activado.

Considerando que en general los sólidos que proceden de filtros percoladores tienen mejores características floculantes que los de los lodos activados, la máxima carga de sólidos permitida difiere entre ellos. No obstante, en ambos casos puede tenerse en cuenta que la carga de sólidos máxima recomendadas sobre el sedimentador secundario está comprendido dentro del intervalo de 250-290 kgm-2d-1 para buenas condiciones de sedimentación, considerando como tal un IVL menor de 150 mLg-1.

Cuando las condiciones de operación de los reactores biológicos son las previstas en su diseño, no es usual que se presenten incrementos de la carga de sólidos en el sedimentador de manera tal que se dificulte la separación deseada de forma permanente. Sin embargo, pueden existir situaciones transitorias en ambos casos.

El incremento no permanente de la carga de lodo en los sedimentadores secundarios correspondiente a los procesos de lodo activado con recirculación, puede resolverse disminuyendo la concentración de sólidos suspendidos volátiles en el reactor biológico con la consecuente disminución de la edad del lodo, mediante el incremento de la extracción de fondo de lodo del sedimentador secundario durante el tiempo que se requiera para que se recuperen las condiciones normales de trabajo.

Cuando los problemas de separación por el incremento de la carga de sólidos son temporales, la adición de polímeros o ayudantes de la floculación también pueden contribuir al alivio momentáneo del inconveniente, pero esto no es recomendable como uso rutinario, entre otras cosas por los costos y dificultades que pueden existir en mantener los sólidos en suspensión en el reactor cuando recibe lodos de recirculación.

En los sistemas en los que el reactor biológico son los filtros percoladores, el aumento temporal de la carga de sólidos en el sedimentador secundario generalmente está relacionado con la carga hidráulica con la que opera el percolador. Un incremento repentino y excesivo de la carga hidráulica, puede producir desprendimiento no previsto de biomasa del medio soporte, ocasionando un incremento transitorio de la carga de sólido. Si la situación persiste, se recomienda reducir la recirculación del sobrenadante del sedimentador al percolador, con la consecuente disminución de la carga hidráulica.

Otra posible causa del incremento de la carga de sólidos sobre el sedimentador secundario de los filtros percoladores puede estar dada por el desprendimiento excesivo y transitorio de la biomasa adherida al medio. La disminución durante tiempo prolongado de la carga orgánica (kgDBOm-2d-1) sobre el filtro da origen al incremento de la capa anaerobia de la biomasa sobre el medio soporte, propiciando mayor desprendimiento de la biomasa microbiana, con el consecuente aumento de la carga de lodo sobre el sedimentador secundario. Esta situación puede resolverse disminuyendo la

recirculación del sobrenadante del sedimentador al percolador hasta que en la corriente de entrada al mismo se restituya la concentración promedio de DBO original.

Dos causas comunes de la deficiente separación de los sólidos de manera persistente en el sedimentador secundario, y que tienen su origen en la operación en los reactores biológicos, son: el abultamiento de los lodos, y la presencia de lodos tipo “punta de alfiler” o pin point. La primera de ellas es consecuencia de la presencia excesiva de organismos filamentosos en los reactores biológicos. La segunda se origina ante la presencia de muy pequeños flóculos que no sedimentan bien, dando lugar a un efluente que puede llegar a exhibir alta turbidez (figura 5).

Como ya fue mencionado anteriormente, la biomasa microbiana presente en los reactores biológicos de tratamiento de aguas residuales está constituida por cultivos mixtos de microorganismos donde prevalecen las bacterias, los protozoos, y los hongos filamentosos. En determinadas condiciones el predominio de los hongos filamentosos es causa de que la biomasa tarde más en sedimentar que lo que usualmente lo hacen los microorganismos formadores de flóculos, manteniendo a la biomasa flotando, dificultando la sedimentación y dando origen al denominado bulking o abultamiento de los lodos.

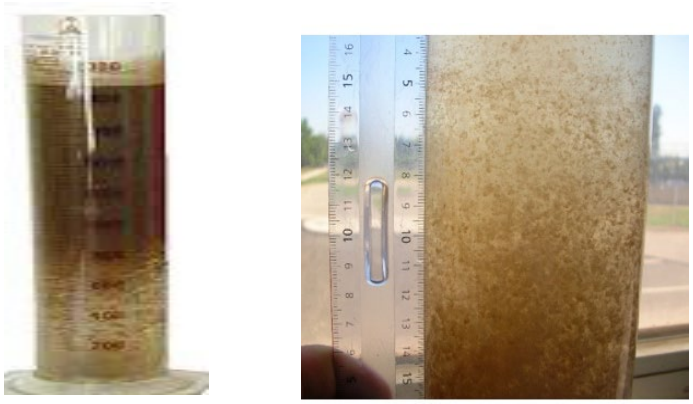

Figura 5. Suspensión típica de lodo abultado (izquierda) y de tipo punta de alfiler o pin point (derecha).

En los reactores biológicos la preponderancia de los organismos filamentosos sobre las bacterias floculentas se favorece en presencia de aguas residuales ricas en carbohidratos y presentan mayor afinidad por el sustrato (DBO) cuando los reactores operan en condiciones de bajos valores de carga orgánica y de concentración de N y P. Las bajas concentraciones de oxígeno disuelto también favorecen la presencia de estos organismos.

La preponderancia de los organismos filamentosos sobre las bacterias ante bajas concentraciones de DBO, N, P y oxígeno se debe al hecho de que poseen una relación área/ volumen (A/V) mayor que las bacterias formadoras de flóculos, lo cual les confiere una ventaja competitiva por los diferentes sustratos. En sistemas donde la concentración del sustrato es alta, esta población se ve desfavorecida debido a que su velocidad de crecimiento es menor a la de las bacterias formadoras de flóculos.

Por tal razón una baja relación de alimento y microorganismos (F/M (kg. kg^{-1}) ó BV ($kgkg^{-1}d^{-1}$)), favorece el crecimiento de organismos filamentosos en detrimento de la separación en el sedimentador secundario.

En el mismo sentido anterior, en la medida que el comportamiento del flujo en el reactor se acerque más a las de un régimen de mezcla completa, donde la concentración del sustrato del reactor

(DBO) es igual a la del efluente y por tanto es baja, se favorecerán las condiciones de concentración para el mayor crecimiento de los organismos filamentosos.

Los filtros percoladores, por tener régimen de flujo que se puede asemejar a la de un flujo tipo pistón con alta concentración de DBO a la entrada, generalmente prevalecen las bacterias formadoras de flóculos.

Uno de los indicadores de la mayor o menor facilidad de sedimentación de los sólidos de una suspensión lo brinda el Índice Volumétrico de Lodo (IVL) o Índice de Mohlman.

El IVL es un parámetro comúnmente utilizado como indicador de la capacidad de los sólidos para sedimentar. Se calcula a partir del volumen (en mL) ocupado por la masa de sólidos contenidas en 1 L de suspensión. Figura 6. Para eso se tiene en cuenta la concentración de los sólidos suspendidos totales (SST).

$$IVL = \frac{V_{SST,30}}{X_{SST}} \qquad (mgL^{-1})$$

$V_{SST,30}$: volumen ocupado por los SST después de 30 min de sedimentación ($mL.L^{-1}$)

X_{SST}: concentración de sólidos suspendidos totales (gL^{-1})

Durante la sedimentación, el IVL se clasifica en clases de acuerdo a su valor. Estos valores solamente deben ser tomados como referencia. Otros autores ofrecen otros intervalos de valores para las mismas categorías del IVL. Lo que no debe dejar de considerarse que el incremento del IVL aún dentro de una misma categoría de clasificación denota deterioro de la sedimentación.

De acuerdo al valor del IVL, éstos se clasifican en:
Lodos normales IVL < 100 mLg^{-1}
Lodos ligeros IVL = (100-200) mLg^{-1}
Lodos abultados > 200 mLg^{-1}

Figura 6. Diferentes categorías de lodos según el valor del IVL. Modificado de CIDTA (2019)

Tanto los lodos abultados como los tipos pin point, presentan altos IVL, aunque por causas diferentes. Los lodos tipo pin point se producen, además de por baja concentración de nutrientes, por estar constituidos por una biomasa de muy alta edad de lodo (en el caso de los lodos activados), o de muy alto tiempo de retención (en el caso de los filtros percoladores). En ambas situaciones la causa primaria de su origen está dada por la pérdida de los polisacáridos que se producen extracelularmente que originan, y promueven la formación de flóculos de mayor tamaño.

Otra situación que puede presentarse en los sedimentadores secundarios es la aparición de espuma sobre todo como consecuencia de la aireación en los procesos de lodo cuando lo precede, en presencia de elevados volúmenes de detergentes (Collivignarell 2020) (figura 7).

Figura 7. Espuma generada en la superficie de los sedimentadores secundarios debido a la presencia de organismos filamentosos.

Generalmente, cuando la espuma no es originada por los detergentes, suele deberse a la presencia de organismos filamentosos. Los microorganismos filamentosos producen una espesa espuma coloreada (en colores de blanco al marrón) y en muchos casos reteniendo abundante materia flotante. La espuma puede eliminarse temporalmente rociando agua en forma de spray.

04 CONCLUSIONES

La eficiencia de los tratamientos biológicos de aguas residuales depende tanto de lo que ocurra en el reactor biológico como de la separación efectiva en el sedimentador secundario de la biomasa microbiana que se produce.

A su vez la separación esperada de sólidos en los sedimentadores secundarios no depende solamente de la operación de los mismos, sino que en ella influye el posible mal funcionamiento del reactor que lo precede.

El índice volumétrico de lodos es un indicador de las características de sedimentación de los sólidos contenidos en una suspensión, pero su valor solamente debe ser considerado como referencia.

05 REFERENCIAS

CIDTA (2019). “Chequeo y control de procesos. Índice volumétrico de lodos” *Curso* de estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR'S). *Unidad 2:* Aguas Residuales. Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Agua (CIDTA Universidad de *Salamanca. En* **https://**cidta.usal.es/cursos/edar/modulos/edar/unidades/CURSO/UNI_05/u5c6s8.htm. En diciembre 2021

Collivignarell M. C. (2020) “Foams in Wastewater Treatment Plants: From Causes to Control Methods”. Applied Science, ISSN: 0169-4332, vol 10, 2716

CONDORCHEM. ENVITECH (2020). “Tratamiento de aguas residuales y emisiones atmosféricas. Condorchem envitech”. Empresa de Ingeniería Ambiental. En https://condorchem/com/es/ En diciembre 2021.

GLUMRB (2014). "Recommended Standards for Sewage Works". Great Lakes-Upper Mississipi River Board of State Sanitary Engineers. Environmental Health Division (Albany, NY: Health Education Service).

Hoover S.R. and Porges S.H. (1953). "An interpretation of the BOD test in terms of endogenous respiration of bacteria". Sewage and Industrial Wastes, ISSN: 1047-7624, vol.24, no. 1.

Jenkins D. and Wanner J. (2014)." Activated sludge-100 years counting". IWA publishing. ISBN13 9781780404936. London. En https://aprendeenlinea.udea.edu.co/revistas/index.php/CAA. En diciembre 2021

Menéndez C. y Dueñas J. (2021). "Tratamiento de aguas residuales mediante procesos de biopelícula". Monografía, ISBN 978-959-261-605-9. Ed. Cujae

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Carlos Menéndez Gutiérrez https://orcid.org/0000-0002-5120-8106

Es el único autor,por tanto realizó el artículo en su totalidad