

Cálculos Básicos Para Operación Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR)

Canelones

**Recopilado y adaptado por:**

 ***José Abefase***

***Supervisor De Producción***

ENERO 2012

# Cálculos básicos y control del proceso de lodos activados

En el presente capítulo se presentan los cálculos básicos de rutina para el control del proceso de lodos activados, los cuales deberán quedar debidamente registrados en las planillas de seguimiento y control incluidas en el Anexo 1.

Es importante resaltar que los cálculos aquí detallados se realizarán en base al valor de SST y no a los SSV, que estrictamente es el valor de SS que interviene en la asimilación y degradación de la materia orgánica (masa biológica activa). Este criterio se basa en que el valor de SST es de más sencilla y rápida determinación para el operario, y en que la relación SSV/SST tiene un valor aproximadamente constante para este tipo de proceso y agua residual del tipo doméstico, situándose en el rango de 0.7-0.8.

Así, la adopción de los SST como parámetro de control resulta adecuado y suficiente para una operación satisfactoria del sistema, pudiendo afectarse dicho valor por el factor antes mencionado de 0.7-0.8 para obtener el valor de SSV. Igualmente, dicho rango debería verificado y calculado con cierta periodicidad para descartar incurrir en un error.

## Cálculo de la recirculación de lodos

El caudal de recirculación de lodos se determina asumiendo un estado estacionario del sistema, es decir que no existe acumulación ni pérdida de lodos (masa biológica) en el mismo.

Esto se expresa mediante la siguiente expresión, que resulta de realizar un balance de sólidos en el reactor despreciando los SS en el afluente bruto:

En donde,

 – Sólidos Suspendidos Totales en los reactores, en mg/l (rango 3000 a 6000 mg/l)

 – Sólidos Suspendidos Totales en el sedimentador, en mg/l (rango 8000 a 12000

mg/l)

 – Caudal afluente a la planta

 – Caudal de recirculación (bombas de recirculación de lodos)

Al cociente

 lo llamaremos relación de recirculación *R*, y sustituyendo en la ecuación anterior, se llega a la siguiente expresión:

De donde se despeja el valor de R, la única incógnita de la misma. Por tanto, para su determinación es necesario conocer el valor de SST en los reactores y Sedimentadores.

En caso de recircular el valor de R obtenido, se tenderán a mantener los valores de SST en reactores utilizados para el cálculo, es decir se mantendrá el estado estacionario en lo que refiere a los lodos en el sistema. El caso de recircular un valor menor, la concentración de SST en el reactor tenderá a disminuir; por el contrario, en caso de recircular un valor superior, la concentración de SST en el reactor tenderá a aumentar.

Esta decisión deberá complementarse a su vez con el valor de la relación F/M, de modo de mantener el mismo dentro de los rangos usuales para este tipo de proceso (lodo activado en la modalidad de aireación extendida).

Ejemplo 1

Sean los siguientes valores:

Sustituyendo en la ecuación

Despejando obtengo

Entonces el caudal de recirculación es:

## Cálculo de la recirculación de licor mezcla

La función de la recirculación de licor mezcla o de denitrificación, es retornar a la zona anóxica del reactor los nitratos formados en la zona aerobia, los cuales son “respirados” y convertidos a nitrógeno gaseoso.

La eficiencia de denitrificación está muy asociada a la cantidad de nitrato que es recirculado a la zona anóxica, según la siguiente fórmula:

En donde:

– Eficiencia máxima teórica de remoción de nitratos

 – Fracción de recirculación de lodo

 – Fracción de recirculación de licor mezcla para denitrificación

De la ecuación anterior, la incógnita generalmente viene dada por la fracción de recirculación de licor mezcla r, ya que la fracción de recirculación de lodo viene dada por el cálculo realizado en el punto anterior, mientras que la eficiencia de remoción de nitratos viene dada por la concentración de nitrógeno en el afluente (NKT – Nitrógeno Kjedhal Total) y la máxima concentración admisible en el efluente según los requerimientos de diseño (N total).

Ejemplo 2

Sean los siguientes valores:

 Los datos son los obtenidos en el Ejemplo 1, que corresponde a una recirculación de lodos .

La eficiencia requerida viene dada por

Entonces se requiere una eficiencia de remoción del 70%.

Despejandode la ecuación anterior, se tiene

.

Siendo el caudal de recirculación del licor mezcla, por lo que debemos regular las **BDN** en cada una, ya que el sistema de recirculación de licor mezcla es independiente para cada reactor a diferencia de la recirculación de lodos.

## Cálculo del Índice Volumétrico de Lodos (IVL)

El Índice Volumétrico de Lodos () es un indicador de las características de sedimentabilidad del lodo producido en el tratamiento.

 El mismo se calcula mediante el cociente entre el resultado del ensayo del Cono Imhoff (tiempo de 30 minutos, en ml/l) y los (en g/l).

El índice se expresa en ml/g, y la calidad del lodo se evalúa de acuerdo a la siguiente escala:

Ejemplo 3

Sean los siguientes valores:

Resultado

Para estos valores, se calcula:

Como el , entonces el lodo generado tiene excelentes características de sedimentabilidad.

## Cálculo de la relación F/M (alimento/microorganismos)

La relación constituye un método sencillo y práctico de controlar el proceso de tratamiento, ya que manteniendo este parámetro dentro de los rangos indicados – generados a través de la experiencia –en teoría no debería de haber inconveniente alguno.

La relación se expresa en .

Para el proceso de lodos activados en la modalidad de aireación extendida, como lo es el caso de la PTAR Canelones, el rango de variación de este parámetro se sitúa en el orden de **0.05 – 0.15 Kg /KgSSV**.

En el tratamiento de aguas residuales domésticas la carga orgánica afluente sufre mínimas variaciones diarias y estacionales; la concentración de en el afluente es del orden de 185 – 232 mg/l

Por tanto, la variable a modificar por parte del operador responsable viene dada por la concentración de SS en el reactor, mediante las operaciones de recirculación ( y purga de lodos .

De este modo, adoptando una base temporal diaria por razones de practicidad, se puede calcular la carga orgánica afluente así como los SS promedio existentes en el sistema, calculando así el factor para cada día.

Ejemplo 4

Sean los siguientes valores:

Caudal medio diario = 150 m3/h

Concentración media afluente = 250 mg/l (tomamos 250 para simplificar los cálculos)

 = 4000 mg/l (4 g/l)

Volumen total del sistema (reactor anóxico y aerobio) V = 5000 m3 (aprox. 2500 m3 cada reactor).

El total de sólidos suspendidos volátiles (carga de sólidos suspendidos volátiles) en el sistema

  ***= \****

***CSSV =*** *4000 \* 5000 / 1000 = 20.000**Kg SSV*

La carga orgánica afluente diaria

***CDBO =*** *150 \* 24 \* 250 / 1000 = 900 kg (por día)*

Por tanto, la relación

 ***=*** *900/20000 = 0.045 kg/kgSSV*

Valor que se encuentra en el límite inferior del rango especificado. Estrictamente, si se considerase solamente los SSV (0.7-0.8 SST), el valor de F/M sería de 0.05 -0.15.

Para tener un valor de en el punto medio del rango especificado en términos de SSV, es decir de 0.10 ***kgDBO5/kgSSV***, la carga de sólidos del sistema debería ser de:

***CSSV =*** *900/0.10 = 9000 kgSSV*

lo cual equivale a una concentración de:

 ***=*** *9000 \* 1000 /5000 = 1800 mg/l*.

Por tanto, en caso de que el operador desee alcanzar esta condición de funcionamiento deberá reducir la concentración de SST en los reactores, aumentando la purga de lodos y disminuyendo la recirculación

Respecto a la carga orgánica, no hay que olvidar aquella aportada por los camiones barométricos, la cual puede incrementar la carga orgánica afluente en el orden de 10 a 25%, dependiendo de la composición de los líquidos barométricos la cual es muy variable.

Generalmente, para el control de la operación de la planta y del proceso de lodos activados la carga orgánica se expresa en términos de DQO (demanda química de oxígeno, en mg/l), ya que éste es de más sencilla y rápida determinación. Para líquidos residuales domésticos, la relación DQO/se mantiene aproximadamente constante en el entorno de 2.

Así, el rango de variación del factor F/M en términos de DQO sería 0.10– 0.30 KgDQO/KgSSV.

## Cálculo del volumen de lodo a purgar

El cálculo del volumen de lodos a purgar se realiza fijando la edad del lodo, o también tiempo de retención celular, que es el tiempo de residencia medio de las bacterias en el sistema. Este valor viene dado por la siguiente expresión:

***qC*** =

En donde:

***qC*** – Tiempo medio de retención celular, igual a 25 días de acuerdo a proyecto

***V*** – Volumen del sistema, igual a 5000 m3

 – Sólidos Suspendidos Totales en los reactores, en mg/l (rango 3000 a 6000 mg/l)

 – Sólidos Suspendidos Totales en el sedimentador, en mg/l (rango 8000 a 12000

mg/l)

 – Caudal diario de purga de lodos

De la ecuación anterior se deduce que el tiempo medio de retención celular viene dado por el total de SS existentes en el sistema, dividido la tasa de remoción de los mismos, igual al producto del caudal de purga por la concentración de . Así, fijada la edad de lodo de acuerdo a los criterios de proyecto, en este caso 25 días, y conocidas las variables ***V***, y se despeja el valor del , caudal diario de purga de lodos. Este procedimiento se detalla en el ejemplo 5.

Otra forma de estimar el caudal de purga diario es mediante el factor F/M, procurando mantener el mismo constante respecto a cierto valor, y estimando la producción observada de lodo en función de la carga orgánica removida. Para este tipo de sistemas, la producción de en función de la carga orgánica removida es del orden de 0.4 – 1 ***KgSS/KgREM***, pudiéndose estimar por tanto la producción diaria de lodos. Purgar una cantidad de lodos inferior a la producción registrada, conduce a un incremento de SS (lodos) en el sistema; por el contrario, purgar un cantidad de lodos superior a la producción registrada, conduce a una disminución de lodos en el sistema.

Este método es iterativo, en el sentido de que si se asume en primera instancia un valor de producción de lodos inferior al que ocurre realmente, se detectará un incremento en la concentración de SS en el sistema, y viceversa, lo cual se irá ajustando y puliendo a medida que se gana experiencia en la operación de la planta. Este procedimiento se detalla en el ejemplo 6.

Ejemplo 5

Sean los siguientes valores:

 = *4000 mg/l (4 g/L)*

***V*** – Volumen del sistema, igual a *5000 m3* (aprox. *2500 m3* cada reactor).

 = *10000 mg/l (10 g/L)*

***qC*** = *25 d*

Despejando el valor de

 = = *(5000 \* 4000)/(25 d \* 10000)* =*80 m3/d*

el caudal de lodo a purgar diariamente del sistema a efectos de mantener la edad de lodo indicada y las concentraciones de indicadas.

En caso de que se requiera disminuir o aumentar la concentración de , se deberá aumentar o bien disminuir el caudal de purga, respecto del calculado. Estos cambios es importante realizarlos en forma gradual, por ejemplo en caso de aumentar o disminuir el caudal de purga, hacerlo en un porcentaje no mayor al 25%, y monitorear la tendencia o respuesta de sistema frente a los cambios.

Ejemplo 6

Sean los siguientes valores:

Caudal medio diario = *150 m3/h (42L/s)*

Concentración media afluente = *250 mg/l*

Concentración media efluente = *30 mg/l*

 = *4000 mg/l (4 g/l)*

***V*** – Volumen del sistema, igual a *5000 m3* (aprox. *2500 m3* cada reactor).

 = *10000 mg/l (10 g/l)*

Factor

 = *0.045 kg/kgSST*

La carga orgánica afluente es:

 = *250 \* 150 \* 24 / 1000 = 900 kg/d*,

mientras que la carga orgánica efluente es

 *= 30 \* 150 \* 24 / 1000 = 108 kg/d*.

Así la carga orgánica removida es de *792 kg/d.*

Asumiendo una producción de de *0.7* *kgSS/KgDBO5* removido (valor medio del rango informado), la producción diaria se sitúa en *554 kgSS/d .*

*(317 – 792 kgSS/d)* sería el rango de producción diario de lodos).

Para el valor de = *10000 mg/l (10 g/L)*, desde donde succionan las bombas de purga de lodos, el rango de caudales de purga de lodos es de ***32 a 79 m3/d***. En caso de no realizar la purga calculada, el nuevo valor del factor resulta

 = *900/ (20000 + 554)* =*0.0438 kgDBO5/kgSST*.

 Como se mencionara anteriormente, este proceso es iterativo y se ajusta a medida que se gana experiencia en la operativa de la planta.

## Cálculo del caudal de la bomba dosificadora de polímero

Como se mencionara en el capítulo correspondiente, la operación de deshidratación de lodo requiere la coordinación de las bombas dosificadoras de polímero, las bombas de purga de lodos y el filtro de bandas.

Cada uno de estos equipos tiene distinta capacidad de procesamiento o bombeo máxima, por lo cual habrá un equipo que será el limitante a la hora de programar la tarea de deshidratación, y condicionará la operación de los restantes equipos involucrados.

La dosis de polímero se encuentra comprendida en el rango de ***2.5 -5 kg polímero / 1000 kgSS****,* mientras que las concentraciones de preparación de la solución de polímero se encuentran en el rango de ***0.1 – 0.3% (1 a 3 kg por m3)***.

Ejemplo 7

Sean los siguientes valores:

 = *80 m3/d* (calculado de acuerdo a los puntos anteriores)

Tiempo de operación de deshidratación de lodos = *8 horas*

Concentración de la solución de polímero.

 = *0.15% (1.5 kg por m3)*

Dosis óptima de polímero:

= *4 kg polímero/1000 kgSS*

 = *10000 mg/l (10 g/l)*

La carga de sólidos a purgar es:

***CSS*** = *80 \* 10000/1000 = 800 kgSS/d*

El caudal de purga, según las 8 horas asignadas a la operación es

 = *80 / 8 = 10 m3/h*,

Mientras que la carga horaria de sólidos resulta de

***CSSH = 800/8 = 80 kgSS/h***.

La dosis horaria de polímero a aplicar resulta igual a

***DPH*** = *4 \* 80/1000 = 0.32 kg polímero /hora*.

Para la concentración de la solución del *0.15%*, el caudal de solución a aplicar resulta

 = *0.32/0.15% = 213 l/h (3.55 l/min)*.

En el caso de la PTAR Canelones, las capacidades máximas de los equipos son las siguientes:

- Bombas de purga de lodos:

 = *10.8 m3/h (3l/s)*

- Bombas de dosificación de polímero

 = *6.7 l/min (400l/h)*

- Filtro de bandas carga hidráulica

***CH*** *= 14 m3/h (*valor de proyecto)

y carga de sólidos

***CSS*** *= 85 kgSS/h* (especificación de proyecto),

Tomándose la más restrictiva de las dos condiciones.

Como se puede ver en el ejemplo, los valores obtenidos para una duración de la tarea de purga de lodos de 8 horas no superan las capacidades máximas de los equipos.

Si por el contrario, se dispusiera realizar la tarea de purga de lodos en 6 horas, los valores que se obtienen son los siguientes:

- Carga horaria de sólidos resulta de:

***CSSH*** *= 800/6 = 133 kgSS/h*

- Caudal de purga de lodos (y carga hidráulica del filtro de bandas)

*= 80/6 = 13.3 m3/h*

- Dosis de polímero:

***DPoli****= 4 \* 133/1000 = 0.532 kg* polímero /hora

lo cual para una concentración de la solución del 0.15%, el caudal de la bomba dosificadora resulta

 *= 0.532/0.15% = 355 l/h (6 l/min)*

En este caso, la limitante en la capacidad de procesamiento de lodo viene dada por el caudal de la bomba de purga de lodos ( *= 10.8 m3/h*), así como en la carga de sólidos al filtro de bandas (***CSSH*** *= 85 kgSS/h*). No obstante, en este último caso, el encargado en base a la experiencia generada durante la operación del equipo determinará el punto de funcionamiento óptimo en función de la calidad del lodo deshidratado.

## Cálculo de la bomba dosificadora de solución de cloruro férrico

La dosificación de la solución de cloruro férrico se realiza en función de la concentración de fósforo (P) afluente a la planta, la concentración de fósforo máxima admisible establecida por pliego, el caudal de entrada y las características de la solución comercial empleada.

Para las aguas residuales domésticas, la concentración de fósforo se mantiene aproximadamente constante en el entorno de 5 a 10 mg/l; estos valores pueden ser menores en el caso de eventos de lluvia o en épocas de excesiva infiltración. Por su parte, la concentración máxima admisible establecida en el pliego es de 1 mg/l

La dosis de cloruro férrico (FeCl3) por defecto, en ausencia de valores de laboratorio, será de 5 veces la concentración de fósforo que se desea remover (relación hierro Fe+++/fósforo igual a 5). La dosis óptima se determinará mediante ensayos de laboratorio al líquido residual crudo afluente a la planta.

En el caso de las soluciones de cloruro férrico comercial (FeCl3) disponibles en el mercado, las mismas generalmente presentan las siguientes características:

- Pureza en el rango de 39-42%, esto es 39 a 42g de FeCl3 por cada 100 g de solución.

- Densidad de la solución 1.4 g/ml (1.4 kg/l)

Ejemplo 8

Sean los siguientes valores:

Caudal medio diario = *150 m3/h (42l/s)*

Concentración afluente de ***P*** *= 9 mg/l*

Concentración efluente admisible de ***P*** = 1 mg/l

Densidad de solución de cloruro férrico 1.4 Kg/L (1.4g/ml)

Pureza de la solución de cloruro férrico 40%

Relación de dosificación Hierro / Fósforo (Fe/P) igual a 5

Caudal máximo de la bomba dosificadora Q = 17 l/h

La concentración de ***P*** a remover ***PREM*** = 9 – 1 = 8 mg/l.

La dosis de cloruro férrico (puro) a aplicar es:

***Dosis FeCl*** = *8 \* 5 = 40 mg/l* agua residual.

La dosis de solución de ***FeCl3*** al 40% a aplicar es:

***DosisSolución*** = *40 / 40% = 100 mg/l* (0.1 g solución/l agua residual),

El volumen de la misma:

***VSolución*** = *0.1/1.4 = 0.0715 ml* solución/l agua residual.

El caudal de solución a dosificar resulta

 = ***42 l/s \* 0.0715 \* 3.6 = 10.8 l/h.***

El caudal como porcentaje del caudal máximo de la bomba dosificadora resulta por tanto

 = ***10.8/17\*100 = 63.5%.***