# DETERMINACIÓN DE PARAMETROS DE DISEÑO EN PROCESOS DE LODOS ACTIVOS.

J. Costa Lopez, J. Soley Guerrero,
J. Mata Alvarez, J. Masides Serracant*

Quaderns d'enginyeria

3(1981)2 p. 431-440

RESUMEN

En el presente trabajo se realiza una breve introducción a los modelos que describen el crecimiento microbiológico. Se detallan las constantes básicas y se describen los dispositivos experimentales para su determinación. Finalmente, se ilustra la obtención de los parametros de diseño para un caso concreto.

SUMMARY

In this paper a little introduction to the models in microbiology grow is made. The basic constants are detailed and the expeerimental plant for its determination is described. Finally, the obtention of desing parameters is showed and applied to a concrete case.

[*] Departamento de Química Técnica. Facultad de Química. Universidad de Barcelona.

INTRODUCCION

Cuando se pretende proyectar una estación depuradora, y en esta aparece un tratamiento biológico, se presentan una serie de factores a tener en cuenta, previos al diseño de la planta propiamente dicho. Entre estos factores cabe considerar los siguientes:

- Criterios de carga
- Producción de fango
- Separación sólido-líquido, etc.

Asi mismo, es necesario conocer el volumen del tanque de aireación, que juntamente con los criterios anteriormente citados requiere para su determinación el conocimiento de las ecuaciones cinéticas, al mismo tiempo que, una relación entre las distintas corrientes de la planta (balances de materia).

Una de las ecuaciones cinéticas usadas con mayor frecuencia es la ecuación de Michaelis-Menten Ec.(2); ésta, unida con la Ec.(1)- ecuación que relaciona la velocidad de crecimiento de los microorganismos con la velocidad de desaparición de sustrato - suministra el planteamiento cinético suficiente para el estudio que se pretende realizar. Ref.(1).

$$\frac{dX}{dt} = Y \frac{dS}{dt} - K_d X \qquad \text{Ec.(1)}$$

$$\frac{dS}{dt} = \frac{KSX}{K_s + S} \qquad \text{Ec.(2)}$$

Uniendo estas ecuaciones a un balance de microorganismos, como el que se observa en la figura 1, se obtienen las Ec.(3)y(4).

$$\left\{\begin{matrix}\text{Caudal de entrada}\\ \text{de microorganismos}\\ \text{en el reactor}\end{matrix}\right\} + \left\{\begin{matrix}\text{Velocidad de gene-}\\ \text{ración de microor-}\\ \text{ganismos}\end{matrix}\right\} = \left\{\begin{matrix}\text{Caudal de salida}\\ \text{de microorganis-}\\ \text{mos en el reactor}\end{matrix}\right\} + \left\{\begin{matrix}\text{Veloci.de acumu-}\\ \text{lación de micro.}\\ \text{en el reactor}\end{matrix}\right\}$$

Al realizar el balance se ha supuesto que el vertido inicialmente no contiene microorganismos y que el sistema permanece en regimen estacionario, por lo que desaparecen los términos de entrada y acumulación. De esta forma,

$$\left(Y \frac{dS}{dt} - K_d X\right) V = Q_w X \qquad \text{Ec.(3)}$$

$$\frac{Q_w}{V} X = Y \frac{dS}{dt} - K_d X \qquad \text{Ec.(4)}$$

Ahora bien, si a partir de estas ecuaciones se pretende averiguar algún parámetro como podria ser el volumen del reactor, resulta imprescindible efectuar un balance del sustrato en el sistema mostrado en la figura 1. Se supondrá que el caudal de purga $Q_w$, es despreciable frente al caudal de entrada Q.

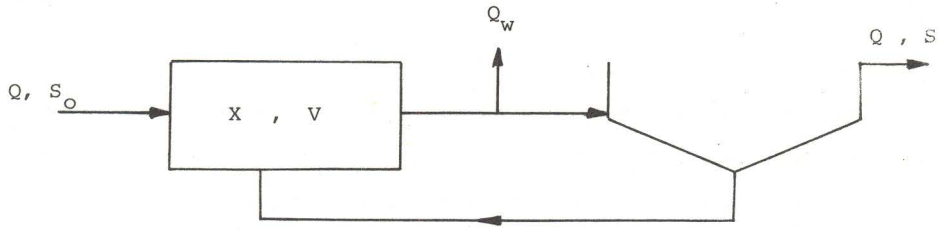


Figura 1

Asi pues,

$$QS_o - V \frac{dS}{dt} = QS + 0 \qquad \text{Ec.(5)}$$

$$\frac{dS}{dt} = \frac{Q}{V} ( S_o - S ) \qquad \text{Ec.(6)}$$

Introduciendo la Ec.(6) en la Ec.(4) y despejando se obtiene:

$$V = \frac{YQ\theta_c ( S_o - S )}{X ( 1 + K_d \theta_c )} \qquad \text{Ec.(7)}$$

Siendo

$$\theta_c = \text{Tiempo de retención celular}, \frac{V}{Q_w} \qquad \text{Ec.(8)}$$

En la ecuación resultante para el cálculo del volumen,Ec.(7), aparecen las constantes cinéticas del proceso biológico. Lógicamente,disponer de unos valores válidos y fiables de estas constantes resulta de vital importancia para que el cálculo y poste-

rior diseño de una instalación se adecue a una serie concreta de necesidades.

ESTIMACION DE CONSTANTES

Usualmente para poder disponer de las constantes cinéticas,el técnico puede acudir a los canales bibliográficos especializados, en los cuales habitual y desgraciadamente se encuentra con una insuficiencia de datos.

Esto es debido a que la mayoria de casos que presenta la bibliografía son ejemplos o bien muy conocidos o que presentan unas particularidades muy propias del punto que haya sido estudiado. Debido a estas circunstancias en multitud de casos el ingeniero se ve en la necesidad de efectuar experimentos con el fin de determinar las constantes cinéticas adecuadas a su particular problemática.

En general se puede afirmar que existen dos métodos para la determinación de constantes cinéticas. Los procedimientos más usuales para poder averiguarlas son:

- Sistemas en discontinuo
- Sistemas en continuo

Sistemas en discontinuo

Se basa en el aprovechamiento de los datos obtenidos mediante experimentación en un reactor tanque agitado discontinuo de un efluente tratado mediante fangos activos aclimatados previamente con el vertido motivo de estudio.

Los datos que se obtienen inicialmente son por un lado la curva de crecimiento de microorganismos (a) y por otro, la curva de desaparición de sustrato (b), figura 2.

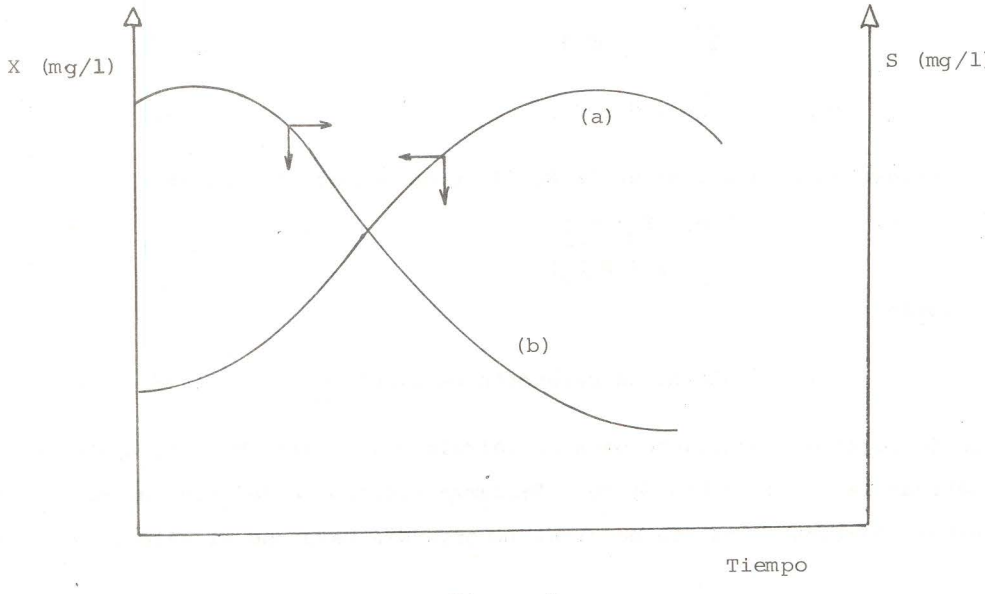


Figura 2

Estos datos siguen respectivamente las Ec.(1),(2), ecuaciones que, como ya se ha citado, son empíricas, pero que suelen ajustarse con un grado de fiabilidad más que aceptable a cultivos heterogeneos con vertidos multicomponentes.

Asi pues utilizando estas ecuaciones, bien sea por una parte la Ec.(2) que nos permite hallar las constantes K y $K_s$ al representar $\frac{dS}{dt}/X$ frente a S, figura 3, o por otra, la Ec.(1), con la que se obtiene Y y $K_d$ al representar $\frac{dX}{dt}/X$ frente $\frac{dS}{dt}/X$, figura 4, se puede concluir que mediante un sistema en discontinuo, se pueden determinar las constantes cinéticas necesarias para el diseño.

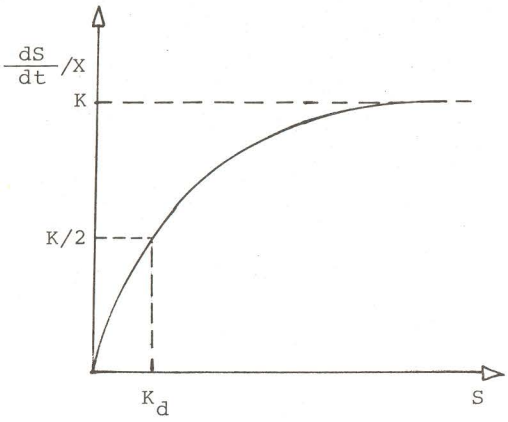


Figura 3

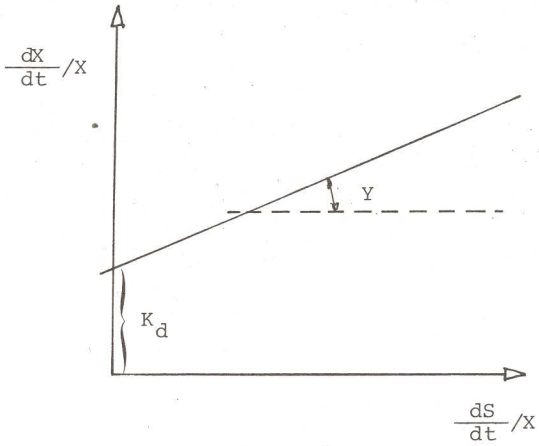


Figura 4

No obstante se ha comprobado que estos datos hallados experimentalmente dependen de tal multitud de factores, que, para conseguir una certeza en los resultados, resulta necesario y conveniente que las constantes sean obtenidas para fangos aclimatados a distintos caudales. Es por ello que, debido a la laboriosidad y cuestionable fiabilidad que requiere este método de obtención de constantes, no sea el más aconsejable para trabajos de laboratorio. No obstante es interesante tenerlo en consideración para determinados casos.

## Sistemas en continuo

En el apartado anterior se ha concluido que la obtención de las constantes cinéticas por medio de un sistema en discontinuo no es el método más adecuado. En general, y con el objetivo de obtener los parámetros de diseño, resulta más conveniente efectuar su determinación en un sistema en continuo.

Asi pues y para determinar las constantes cinéticas en un sistema en continuo se realizan una serie de balances, que permiten alcanzar este objetivo. De acuerdo con los balances efectuados en estado estacionario Ec.(6) y junto con las ecuaciones que gobiernan el proceso Ec.(1) y (2) se obtienen las Ec.(9), (10). Ref.(2).

$$\frac{K\,S}{K_s + S} = \frac{Q}{V}\,\frac{(S_o - S)}{X} \qquad \text{Ec.(9)}$$

$$\frac{S_o - S}{X\theta} = \frac{K_s}{K}\,\frac{1}{S} + \frac{1}{K} \qquad \text{Ec.(10)}$$

Y representando $S_o - S/X\theta$ frente a $1/S$ se puede obtener K y $K_s$. Figura 5

Siendo:

$$\theta = \text{Tiempo de retención hidráulica}\ ,\ \frac{V}{Q} \qquad \text{Ec.(11)}$$

Simplificación

Para reactores en continuo operando con sustratos con una DQO inferior a 500 mg/l, se supone que la ecuación cinética seguida es de 1$^{er}$orden. Si se sigue este supuesto la Ec.(2) quedaria modificada y consecutivamente las Ec.(9) y (10), obteniéndose:

$$\frac{dS}{dt} = KS \qquad \text{Ec.(2)bis}$$

$$KS = \frac{Q}{V}\,\frac{(S_o - S)}{X} \qquad \text{Ec.(9)bis}$$

$$\frac{S_o - S}{X\,\theta} = K\,S \qquad \text{Ec.(10)bis}$$

Estas ecuaciones seguidas de la representación gráfica de $S_o - S/X\theta$ frente S permiten obtener K, figura 5.

Aquí al igual que en el método discontinuo, será necesario efectuar varios experimentos. En este caso se trabajará con distintos caudales de efluente, que suministre un número mínimo de puntos, que permita ajustar la recta con una fiabilidad aceptable.

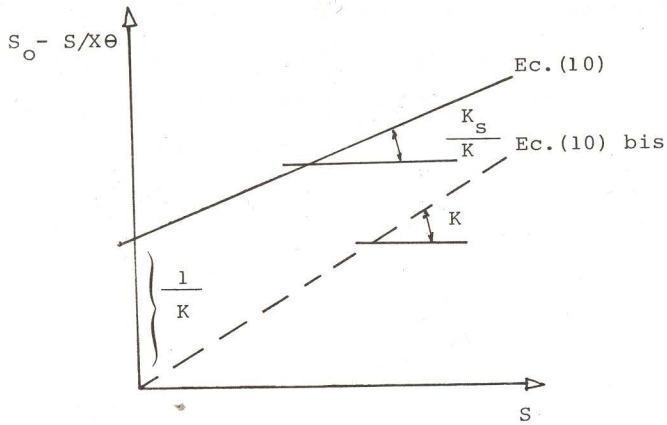


Figura 5

Paralelamente y como antes, se puede determinar el coeficiente de rendimiento Y, y la constante de respiración $K_d$ al representar $\frac{dX}{V}/X$ frente $\frac{S_o-S}{X\theta}$, para distintos caudales, figura 6.

$$dX = Y\,(S_o - S)\,Q - K_d X\,V \qquad \text{Ec.(12)}$$

$$\frac{dX}{V}/X = Y\,\frac{S_o - S}{X\,\theta} - K_d \qquad \text{Ec.(13)}$$

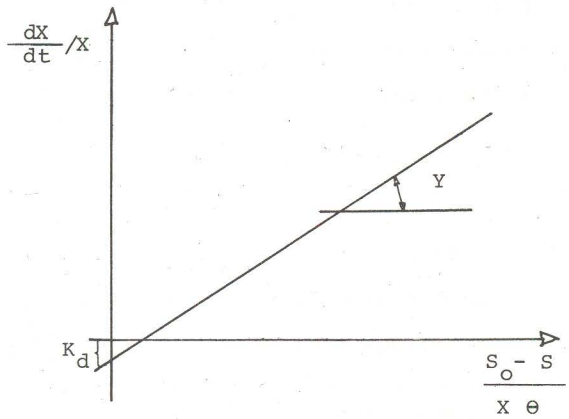


Figura 6

Hasta ahora las constantes se han estimado graficamente. No obstante, existen otros métodos de estimación que permiten el cálculo de estas constantes cinéticas, de forma que los valores que vayan a ser obtenidos se ajusten al máximo a las ecuaciones cinéticas de partida. En este caso serian las Ec.(1)y(2).

De entre los métodos más usados para este menester cabe resaltar el de Gauss-Siedel. Ref(3). Este método consiste en minimizar la suma de cuadrados.

$$T = \sum \left[\left(\frac{dS}{dt}\right)_e - \left(\frac{dS}{dt}\right)_c\right]^2 + \left[\left(\frac{dX}{dt}\right)_e - \left(\frac{dX}{dt}\right)_c\right]^2 \qquad \text{Ec.(14)}$$

En donde $\left(\frac{dS}{dt}\right)_e$ y $\left(\frac{dX}{dt}\right)_e$ son datos experimentales, mientras que los valores de $\left(\frac{dS}{dt}\right)_c$ y $\left(\frac{dX}{dt}\right)_c$ se evaluan a partir de la Ec.(1) y (2) con los datos experimentales y con las constantes que iterativamente, y mediante métodos de optimación-aceleración, se acercan a su valor óptimo (el que corresponde a un valor de T mínimo en la Ec.(14).)

Ejemplo

Al objeto de obtener evidencia experimental de las eficacias relativas de unc y otro método (continuo/discontinuo), en la estimación de parametros de diseño, se ha estudiado la biodegradación de unas aguas residuales industriales. Concretamente se ha elegido un vertido con un alto contenido en ácido acético y cinc. Éste, una vez floculado a ph=8,5 para eliminar elementos inhibidores (cinc) y neutralizarlo a ph=7 se utilizó para realizar la aclimatación de unos microorganismos procedentes de una depuradora municipal.

Cabe reseñar que la D.Q.O. de las muestras oscilaba entre 5710 mg/l y 4620 mg/l. Para la fase de aclimatación fueron homogeneizadas, resultando la D.Q.O. final de 4890 mg/l.

El tipo de instalación utilizada se compone fundamentalmente de un aireador de cuerpo tronco-cónico, figura 7, con una capacidad aproximada de 2 litros, y de un sedimentador, también tronco-cónico y con una capacidad de 5 litros. Ambos estan comunicados directamente entre si como muestra la citada figura.

Los resultados obtenidos durante la fase de aclimatación, se muestran en la tabla I. Otros datos de interés obtenidos son: $\theta$, $\theta_c$, Q/M . Siendo,

$\theta$ = 1,2 dias $\theta_c$ = 5,8 dias Q/M = 0,7

TABLA I

| Dia | Conc. Microorganismos X, sólidos totales, $\frac{mg}{l}$ | D.Q.O. salida S, $\frac{mg}{l}$ |
|---|---|---|
| 1-6 | Aclimatación a muestra | Id. |
| 7 | 10.230 | 861 |
| 8 | 9.740 | 750 |
| 9 | 8.285 | 636 |
| 10 | 7.800 | 578 |
| 11 | 7.330 | 571 |
| 12 | 7.600 | 530 |
| 13 | 7.715 | 515 |
| 14 | 6.240 | 501 |
| 15 | 5.200 | 488 |
| 16 | 4.905 | 467 |
| 17 | 4.710 | 444 |
| 18 | 4.600 | 450 |
| 19 | 4.650 | 454 |

La relación carga/masa o bien, alimento/ microorganismo se ha mantenido, como se observa, en valores cercanos a 0,7, valores que pueden considerarse óptimos en especial para obtener unas características de sedimentación aceptables(SVI).

La aclimatación y las condiciones estacionarias pueden considerarse alcanzadas a partir del 17$^{vo}$dia de experimentación (la concentración de sólidos se mantuvo sensiblemente constante en los valores deseados).

Una vez llegado a este punto, y con microorganismos adaptados al vertido problema, se realizaron los experimentos en discontinuo.

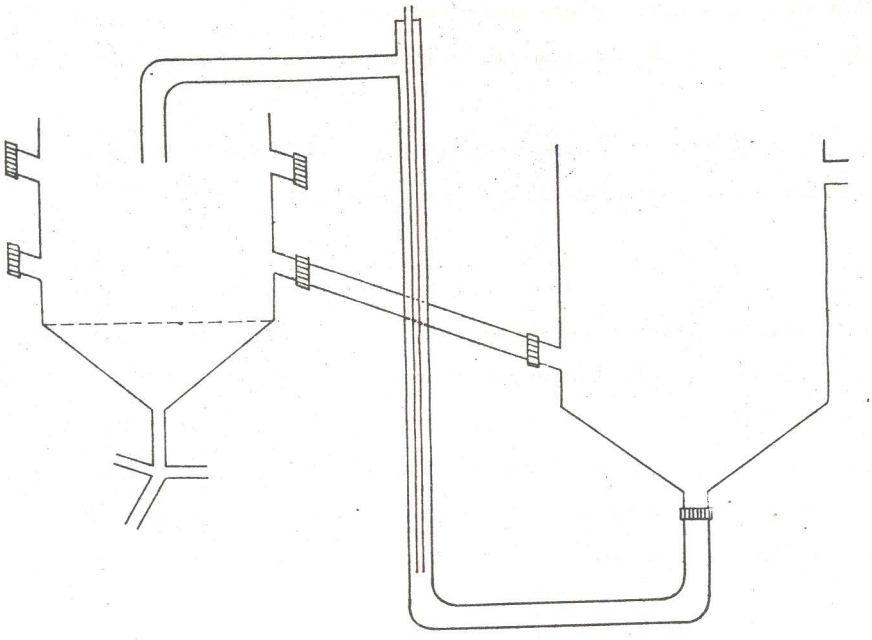

Figura 7

Para ello se partió de un sustrato diluido (D.Q.O. aproximada de 2500 $\frac{mg}{l}$) asi como de unos sólidos con concentraciones del órden de los 2700 mg/l. Las curvas de crecimiento obtenidas se muestran en la figura 8.

Como puede observarse, la forma de las curvas es la usual para este tipo de estudios.

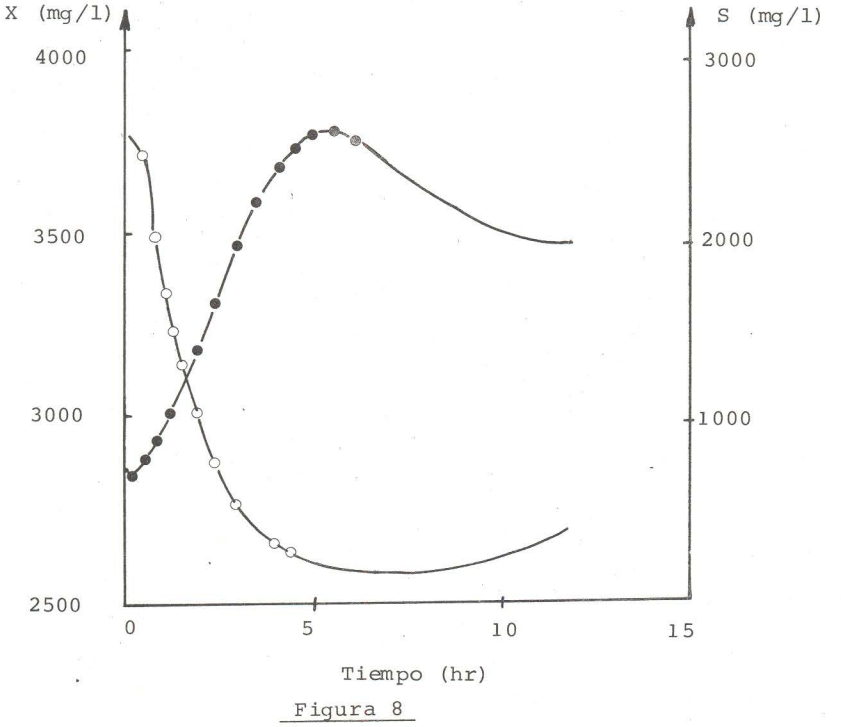


Figura 8

El modelo a ajustar viene descrito por las Ec.(1) y (2). La estimación de las constantes cinéticas se realiza como ya se ha citado por el método de Gauss-Siedel.

Asi, y mediante el programa DIAMOL, ref.(4), adecuado para estos cálculos, se han estimado los siguientes valores para las constantes:

$Y = 0,569$ $K = 3,43$ dias$^{-1}$ $K_s = 335$ mg/l $K_d = 0,087$ dias$^{-1}$

No obstante pueden observarse unas discrepancias entre los valores obtenidos en continuo con los resultantes en discontinuo. Estas discrepancias no son suficientes para establecer un juicio relativo a la idoneidad del método de estimación, lo que hace necesario obtener mayor evidencia experimental. Es por ello que, en un próximo artículo, se expondran los nuevos experimentos en curso de realización, junto con la discusión pertinente.

Bibliografia

Ref (1).- Metcalf & Eddy,"Tratamiento y depuración de las aguas residuales",Ed. Labor, Barcelona, 1977

" (2).- Ramalho R.S.," Introduction to wastewater treatment processes",Academic Press, New York, 1977

" (3).- Berd Y., IBM New York Scientific Center, New York, 1967

" (4).- Departamento de Química Técnica, Univ. Barcelona, 1979