

*Methylamonas methanalica* grown on methanol at 30 °C, pH 6.0 was observed to obey the following kinetic parameter values:  $u_{max} = 0.53 \text{ h}^{-1}$ ,  $Y_{xs} = 0.48 \text{ g/g}$ ,  $Y_{xO2} = 0.53 \text{ g/g}$ , carbon-conversion (biomass/cmethanol) efficiency = 0.57 g/g, oxygen quotient: = 0.90 mol O<sub>2</sub> per mol methanol, respiratory quotient (RQ) = 0.52 mol CO<sub>2</sub> per mol O<sub>2</sub>,  $m_s = 0.35 \text{ g methanol/g}$ ,  $K_s = 2.0 \text{ mg/L}$ . The specified yield factors correspond to a dilution rate of 0.52 h<sup>-1</sup>.

- Write down the equations for CSTR growth which describe rates of cell-mass production, oxygen consumption, and CO<sub>2</sub> production vs. Dilution rate.
- Plot x, xD, and s vs. D, and locate the predicted maximum values of x and xD when S<sub>inlet</sub> = 7.96 g/L.
- Display the variation in the oxygen consumption rate vs. D on the same graph. What stirrer power input per unit volume would be needed to operate the reactor at the maximum productivity (xD)<sub>max</sub>? State your assumptions.
- On the same graph, plot the predicted heat-generation rate per volume vs. D.
- The specific growth rate  $\mu$  is observed to be diminished by substrate in an approximately linear fashion from its maximum value of 0.53 h<sup>-1</sup> at  $S = 3 \text{ g/L}$  to 13 g/L (extrapolated estimate). Repeat part b) taking this design information into account.
- Under what exit conditions would several equal tanks be better than a single tank of the same total volume?

## SOLUCIÓN

- Para un reactor de mezcla perfecta donde la concentración de microorganismo a la entrada es despreciable, y donde no existe la formación de producto se plantean balances de materia a las células y al sustrato.

### Células

$$Vr_x + Q(x_e - x) = 0$$

$$r_x = \mu x \quad \mu = D$$

$$\mu x = D(x_e - x)$$

Ec (1)

Donde se define  $r_x$  como la velocidad de producción de biomasa, y D es la velocidad de dilución (Q/V)

### Sustrato

$$r_s = r_{xs} + r_{sp} + r_{ms} \quad -r_s = -\frac{r_x}{Y_{xs}} + \frac{r_p}{Y_{ps}} + r_m = D(S - S_0)$$

$$-r_s = D(S - S_0)$$

Ec (2)

$$\text{Donde: } \frac{r_x}{-r_s} = Y_{xs}$$

$$\frac{r_p}{-r_s} = Y_{ps}$$

$$r_{ms} = m_s x$$

$$\text{Cinética tipo de Monod} \quad \mu = \frac{\mu_{max} S}{K_s + S}$$

Ec (3)

Por lo tanto mediante estos balances y la cinética del proceso se ponen las expresiones del sustrato (S), biomasa (x) y productividad (xD) en función de la velocidad de dilución D.

- Combinando Ec (1) y (3):  $S = \frac{DK_s}{\mu_{max} - D}$

Ec (4)

- Combinando Ec (1), (2) y (4):  $x = \frac{DS_0 - D \frac{DK_s}{\mu_{max} - D}}{\frac{D}{Y_{xs}} + m_s}$

Ec (5)

Para determinar la velocidad de consumo de oxígeno se calcula mediante el coeficiente  $Y_{xO_2}$ , y la velocidad de producción de biomasa:

$$r_x = \mu x$$

*x por la Ec(5)*

$$r_{O_2} = \frac{1}{Y_{xO_2}} \mu \frac{DS_0 - D \frac{DK_s}{\mu_{max} - D}}{\frac{D}{Y_{xs}} + m_s}$$

$$Y_{xO_2} = \frac{r_x}{r_{O_2}}$$

Ec(6)

El consumo de dióxido de carbono se determina multiplicando la anterior expresión por la relación entre el O<sub>2</sub> consumido y el CO<sub>2</sub> producido:

$$r_{CO_2} = \frac{mol\ CO_2}{mol\ O_2} \frac{1}{Y_{xO_2}} \mu \frac{DS_0 - D \frac{DK_s}{\mu_{max} - D}}{\frac{D}{Y_{xs}} + m_s}$$

Ec(7)

- Las gráficas se muestran a continuación:
- La variación de oxígeno consumido se representa en la gráfica anterior.

Para calcular la potencia consumida por unidad de volumen para operar con una productividad máxima, se usan las gráficas  $P_{no}$  vs  $Re$  y  $Pa/P$  vs  $Na$  que se encuentran en bibliografía:

BAILEY Y OLLIS Biochemical Engineering fundamental

<b><i>P<sub>no</sub></i></b>	2
<b><i>P<sub>paddle</sub> (W/m<sup>3</sup>)</i></b>	151
<b><i>Pa/p paddle</i></b>	0,33

<b>Densidad líquido (Kg/m3)</b>	1000
<b>Ni (s-1)</b>	4,2
<b>Di (m)</b>	0,4
<b>Densidad oxígeno (g/l)</b>	1,3
<b>Viscosidad (Kg/ms)</b>	0,001
<b>Diámetro de Tanque (m)</b>	1
<b>Re</b>	6·105
<b>Velocidad gas (m/s)</b>	0,036
<b>Na</b>	0,14
<b>Kla (s-1)</b>	0,041
<b>NO2transferido (g/l)</b>	0,051

La velocidad de dilución que proporciona Dxmax produce un consumo de oxígeno que tiende a cero, como se ve en la gráfica anterior. El valor analítico se corresponde a un consumo de oxígeno de 0.0466 g de O2/l·s mientras que el oxígeno transferido es de 0.051 g/l·s.

Para calcular el oxígeno transferido se supone que la agitación se realiza por paletas y que el oxígeno transferido es puro. Según lo explicado, se han usado las siguientes expresiones para su cálculo:

$$k_{la} = 2.9 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{P}{V}^{0.4} \cdot u_g^{0.5}$$

$$P_{ao} = \frac{Pg}{\rho_l N_i^3 D_i^5}$$

- Cálculo del calor generado por unidad de volumen mediante método gráfico.

Para calcular el calor generado se realiza mediante dos métodos aproximados evaluando el parámetro YA (g de biomasa/Kcal). El calor generado se obtiene al dividir la velocidad de producción de biomasa entre el factor YA:

$$Calor\ generado\ Q = \frac{\mu \cdot x}{Y_\Delta} = \frac{Kcal}{lh}$$

Para calcular dicho parámetro se puede hacer mediante:

- Mediante una correlación basada en la relación biomasa producida por sustrato.

$$\frac{1}{Y_\Delta} = \frac{11.4}{Y_{xs}} - 4.7 \quad Y_\Delta = 0.053 \text{ g c lulas / Kcal}$$

$$Y_{xs} = 0.48$$

- Mediante una estimación de este valor encontrada según Bailey para las condiciones de la bacteria *Methylamonas methanalica* en condiciones similares a las del proceso. Para estas condiciones se estima un valor del parámetro YA=0.12.

- Al existir una inhibición del sustrato la velocidad de crecimiento se ve modificada.

Por lo tanto se tiene dos tramos diferenciados, uno hasta  $s = 3\text{ g/l}$  que corresponde a una cinética tipo Monod y otro hasta  $s = 13\text{ g/l}$  que va a ser un tramo lineal decreciente. El problema es estimar la pendiente de esta recta decreciente, de la cual se conoce el punto inicial ( $\text{max}=0.53\text{ h}^{-1}$ ,  $s = 3\text{ g/l}$ ) y  $s = 13\text{ g/l}$ ; pero no se conoce el valor final de  $\mu$ . Se estima que para una concentración tan alta de sustrato, la inhibición llega a un valor de  $=0$ , es decir, se para la cinética de reacción. Entonces se conocen dos puntos de la recta y de esta forma se obtiene el valor de la recta:

$$\begin{aligned}\mu_{\max} &= 0.53 & s &= 3 & \mu &= 0.689 - 0.053s \\ \mu_{\max} &= 0 & s &= 13\end{aligned}$$

Gráficamente se muestran claramente los dos tramos con cinéticas diferentes:

Se calculan los valores de  $x$ ,  $Dx$  y  $s$  vs  $D$  para este caso concreto y se obtiene las siguientes gráficas:

Indicar que en cada tramo se aplica la cinética correspondiente para el cálculo de la concentración de biomasa ( $x$ ), sustrato ( $s$ ) y productividad ( $D \cdot x$ ).

### Biotecnología Problema 7.12

Página 6