



**Ingeniería Metabólica y Fermentación**  
**Ejercicio 1**

Semestre 2008/01  
Tiempo 20 minutos

**Problema 1 Fermentación Batch**

Se utiliza *Zymomonas mobilis* para convertir glucosa en etanol en un fermentador batch en condiciones anaerobias. El rendimiento de biomasa a partir de sustrato es 0.05g/g;  $Y_{p/x}$  es de 7.4 g/g y el  $Y_{p/s}$  es de 1.2 g/g. El coeficiente de mantención de la biomasa es 2.1 g/g h y el velocidad específica de formación de producto debido a la mantención es 1.3 h<sup>-1</sup>. La velocidad específica máxima de crecimiento del m.o. es aproximadamente 0.4 h<sup>-1</sup>. Se inoculan 5 g de bacterias en 50 L de cultivo.

Si se desea producir 7830 g de etanol, determine:

- El tiempo necesario para dicha producción. (2.0 puntos)
- ¿Si la conversión de glucosa es de un 100% ¿Cuál es la concentración de glucosa necesaria al inicio de la fermentación? (3.0 puntos)
- Es factible obtener el producto requerido, comente. (1.0 puntos)

**Problema 2 Quimostato**

Si se tiene un microorganismo que sigue una cinética del tipo Monod, donde la velocidad de crecimiento se describe como:

$$\mu = \frac{\mu_{max} S}{K_s + S}$$

Con los siguientes parámetros

$$\mu_{max} = 0,45 \text{ hr}^{-1} \quad K_s = 0,8 \text{ g/l} \quad Y_{x/s} = 0,55$$

Se utiliza un fermentador de 5m<sup>3</sup> operado en forma continua con una alimentación a una concentración de 20 Kg/m<sup>3</sup>.

- ¿Cuál es el flujo requerido para obtener una conversión del 90%? Compare con condiciones óptimas de operación.
- ¿Cuál es la productividad de biomasa cuando se ha convertido el 90% de sustrato? Compárela con la máxima posible.

Mencione todos los supuestos considerados en sus cálculos.

### Pauta Problema 1

$$Y_{x/s} = 0,05$$

$$Y_{p/s} = 1,2$$

$$Y_{p/x} = 7,4$$

$$m_s = 2,1$$

$$m_p = 1,3$$

$$\mu_{\max} = 0,4$$

Se inoculan 5 [gr] de bacterias, en un  $V=50$  lts, por lo que  $x_0 = \frac{5}{50} = 0,1$  [grs bact/lit]

Se desea producir 7.830 grs de etanol

a) (2.0 puntos)

$$q_p = \left( Y_{p/x} \cdot \mu_{\max} \right) + m_p$$

$$q_p = (7,4 \cdot 0,4) + 1,3$$

$$q_p = 4,26$$

$$t_b = \frac{1}{\mu_{\max}} \cdot \ln \left[ 1 + \frac{\mu_{\max}}{x_0 \cdot q_p} \cdot (p_f - p_0) \right]$$

$$t_b = \frac{1}{0,4} \cdot \ln \left[ 1 + \frac{0,4}{0,1 \cdot 4,26} \cdot \left( \frac{7830}{50} - 0 \right) \right]$$

$$t_b = 2,5 \cdot \ln [1 + 0,939 \cdot (156,6 - 0)]$$

$$t_b = 2,5 \cdot \ln [148,047]$$

$$t_b = 2,5 \cdot 5$$

$$t_b = 12,5 \text{ [hrs]}$$

b) (3.0 puntos)

Si la conversión de sustrato es 100%, entonces  $s_f = 0$

$$t_b = \frac{1}{\mu_{\max}} \cdot \ln \left[ 1 + \frac{s_0 - s_f}{\left( \frac{1}{Y_{x/s}} + \frac{q_p}{\mu_{\max} \cdot Y_{p/s}} + \frac{m_s}{\mu_{\max}} \right) \cdot x_0} \right]$$

$$t_b = \frac{1}{0,4} \cdot \ln \left[ 1 + \frac{s_0 - 0}{\left( \frac{1}{0,05} + \frac{4,26}{0,4 \cdot 1,2} + \frac{2,1}{0,4} \right) \cdot 0,1} \right]$$

$$12,5 = 2,5 \cdot \ln \left[ 1 + \frac{s_0 - 0}{(20 + 8,875 + 5,25) \cdot 0,1} \right]$$

$$5 = \ln \left[ 1 + \frac{s_0 - 0}{3,4125} \right]$$

$$148,41 = \left[ 1 + \frac{s_0 - 0}{3,4125} \right]$$

$$s_0 = 147,41 \cdot 3,4125$$

$$s_0 = 503 \left[ \frac{grs}{lt} \right]$$

c) La concentración de sustrato requerida al inicio de la fermentación es muy alta y por lo tanto no es factible. (0.5 puntos)

Yo pediría que incluyeran un valor por ejemplo decir que 20-200 g/l son valores maximos que dependen de l microorganismo y condiciones de operación, pero que 500g/l es excesivo, hasta para que se solubilice. (0.5 puntos)

## **Pauta Problema 2**

(a)

Se pide determinar el flujo requerido para una conversión del 90%.

El grado de conversión del sustrato es 90%

$$\zeta = (20 - s) / 20 * 100 = 90 \% \Rightarrow s = 2 \text{ Kg/m}^3$$

Así la velocidad de dilución es

$$s = D * k_s / (D_c - D) \Rightarrow D = D_c * s / (k_s + s)$$

con  $D_c = \mu_{\max}$

$$D = 0,45 * 2 / 2,8 = 0,32 \text{ h}^{-1}$$

Dado que el volumen es constante,  $V = \text{cte}$  y suponiendo  $x_0 = 0$ , estado estacionario y  $\alpha \ll \mu$ :

$$D = F/V \Rightarrow F = D * V = 0,32 * 5 = 1,6 \text{ m}^3/\text{h}$$

En condiciones optimas de operación:

$$D_{\text{optimo}} = \mu_{\max} * \{1 - (k_s / (k_s + s_0))^{0.5}\} = 0,45 * \{1 - (0,8 / (0,8 + 20))^{0.5}\}$$

$$D_{\text{optimo}} = 0,36 \text{ h}^{-1} = F/V$$

$$\text{Despejando } F \text{ se tiene que } F = 0,36 \cdot 5 = 1,8 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Diff} = (1,8 - 1,6) / 1,8 = 11\%$$

La diferencia entre las distintas condiciones de operación no es significativa.

b) Determinar la concentración de biomasa a la salida.

Suponiendo que los requerimientos para mantención son relativamente menores que los requerimientos en crecimiento, el sistema se encuentra perfectamente agitado y que la formación de productos se puede despreciar, se tiene:

$$x = Y_{x/s} (s_0 - s) = 0,55 \cdot (20 - 2)$$

$$x = 9,9 \text{ Kg/m}^3$$

La productividad dado un 90% de conversión es

$$P = D \cdot x = 0,32 \text{ h}^{-1} \cdot 9,9 \text{ Kg/m}^3 = 3,2 \text{ Kg/h} \cdot \text{m}^3$$

En condiciones optimas:

$$x_{\text{optima}} = \frac{s_o \cdot Y_{x/s} \cdot \theta}{(\theta + 1)}$$

Donde

$$\theta = \sqrt{\frac{K_s + s_o}{K_s}}$$

$$\theta = \sqrt{\frac{0,8 \text{ g/L} + 20 \text{ Kg/m}^3 \cdot \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ Kg}} \cdot \frac{\text{m}^3}{1000 \text{ L}}}{0,8 \text{ g/L}}} = 5,09$$

$$x_{\text{optima}} = \frac{20 \text{ Kg/m}^3 \cdot 0,55 \cdot 5,09}{6,09} = 9,19 \text{ Kg/m}^3$$

$$P = D \cdot x = 0,36 \text{ h}^{-1} \cdot 9,19 \text{ Kg/m}^3 = 3,31 \text{ Kg/h} \cdot \text{m}^3$$

$$\text{Diff} = (3,31 - 3,2) / 3,31 = 3\%$$

La diferencia entre las distintas condiciones de operación no es significativa.