

Tema 7: Transferencia de materia en bioreactores

Efectos de la velocidad de transferencia de los gases en los procesos fermentativos

Producto	Efecto
Etanol	Efecto negativo de altas presiones parciales de CO ₂
Estreptomicina	Aumento de la producción con velocidades de transferencia de oxígeno (VTO) crecientes que produce una leve disminución de O ₂ y el efecto negativo de CO ₂
Glutamato de sodio	Máxima producción a valores intermedios de VTO. Efecto negativo de leves presiones parciales de CO ₂
Novobiocina	Efecto positivo con VTO creciente y luego estabilización
Penicilina	Aumento cpm VTO crecientes con tendencia a nivelarse
Tratamiento de efluentes	Los valores de VTO hacen que los tratamientos puedan ser aerobios, anaerobios o anóxicos

Solubilidad del oxígeno

37 °C la solubilidad es de 7 mg/l

20 °C la solubilidad es de 9 mg/l

$$C_s = 475 / (3,34 * t) \text{ [mg/l]} \quad 0 < t < 30 \text{ °C}$$

$$P_g = H X \text{ (ley de Henry)}$$

Aguas residuales o medios de cultivo

$$\beta = C_{sr} / C_s \quad 0,92 < \beta < 0,98$$

Si incluimos el efecto de los sólidos disueltos y de la temperatura:

$$C_{sr} = \frac{(475 - 0,00265 * SD)}{33,5 * t} * 10$$

Correccion por efecto de la presión atmosférica

Para agua pura

$$C_s/C_{s(760)} = P/760$$

Concentración crítica de Oxígeno:

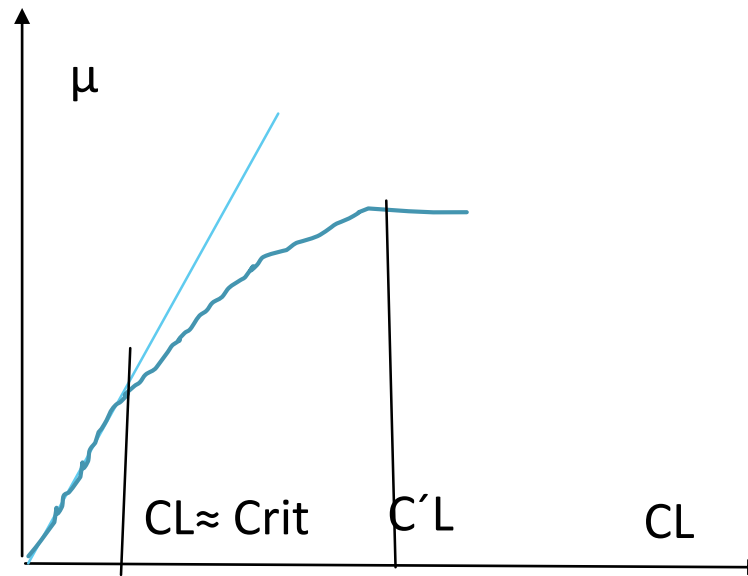
Es la concentración por debajo de la cual los trastornos metabólicos pueden causar la muerte en los microorganismos aerobios

Microorganismo	Temp (°C)	Ccrit (mg/l)
Pseudomonas ovalis	35	1,1
Escherichia coli	35	0,3
Sacharomyces cerevisiae	35	0,6
Candida utilis	32	2,0

$$0,1\text{mg/l} < \text{Crit} < 2 \text{ mg/l}$$

$$\mu = \mu_{max} * \frac{S}{K_S + S} = \mu_{max} * \frac{CL}{K_O + CL}$$

$$Q_{O_2} = -\frac{1}{X} * \frac{dCL}{dt} = Q_{O_2M} * \frac{CL}{K_O + CL}$$



$$VR = \text{mgO}_2/\text{g} \times \text{h}$$

Se define la demanda de oxígeno NA a la cantidad de oxígeno que debe suministrarse por litro de medio de cultivo de fermentación

$$NA = \text{mgO}_2/(\text{l.h})$$

Combinando se llega a que $NA = V_r \cdot X$

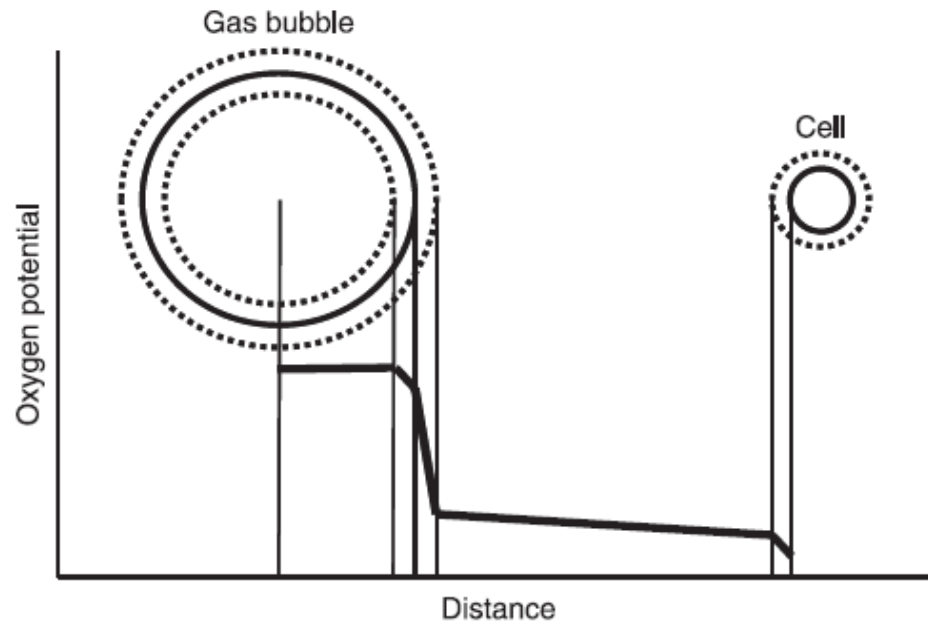
CONSUMO DE OXÍGENO

Organismo	VR (mgO ₂ /gcel.h)
<i>Aspergillus niger</i>	96
<i>Streptomyces griseus</i>	96
<i>Penicillium chrysogenum</i>	125
<i>Klebsiella aerogenes</i>	128
<i>Sacharomyces cerevisiae</i>	256
<i>Escherichia coli</i>	348

DEMANDA DE OXIGENO

Organismo	NA (mgO ₂ /(l.h))
Lodos activados	32
Escherichia coli	160 a 320
Enterobacter aerogenes	160 a 320
Aspergillus sp	1600
Acetobacter sp	2800
Azotobacter	8300

Ecuaciones de diseño de transferencia de oxígeno



$$J = -D \frac{dC}{dz}$$

$$J = \frac{D}{\delta} (C_{\text{sat}} - C)$$

$$N = \frac{D}{\delta} a (C_{\text{sat}} - C)$$

$$\text{OTR} = K_L a (C_{\text{sat}} - C)$$

Tasa de transferencia de oxígeno

$$\frac{dC}{dt} = D \frac{d^2C}{dz^2}$$

$$J_t = \sqrt{\frac{D}{\pi t}} (C_{\text{sat}} - C)$$

$$J = 2 \sqrt{\frac{D}{\pi t}} (C_{\text{sat}} - C)$$

$$N = 2 \sqrt{\frac{D}{\pi t}} a (C_{\text{sat}} - C)$$

$$2 \sqrt{\frac{D}{\pi t}}$$

Representa $K_L a$

Medición de la tasa de transferencia de oxígeno

Cuantificación de VTO en condiciones de estado estacionario

*tasa de oxígeno que entra - tasa de oxígeno que sale - tasa de oxígeno utilizado
= tasa de acumulación de oxígeno en el sistema*

$$F_{en}(y_{O_2})_{en} - F_{afuera}(y_{O_2})_{afuera} - V(NUESTRO) = 0$$

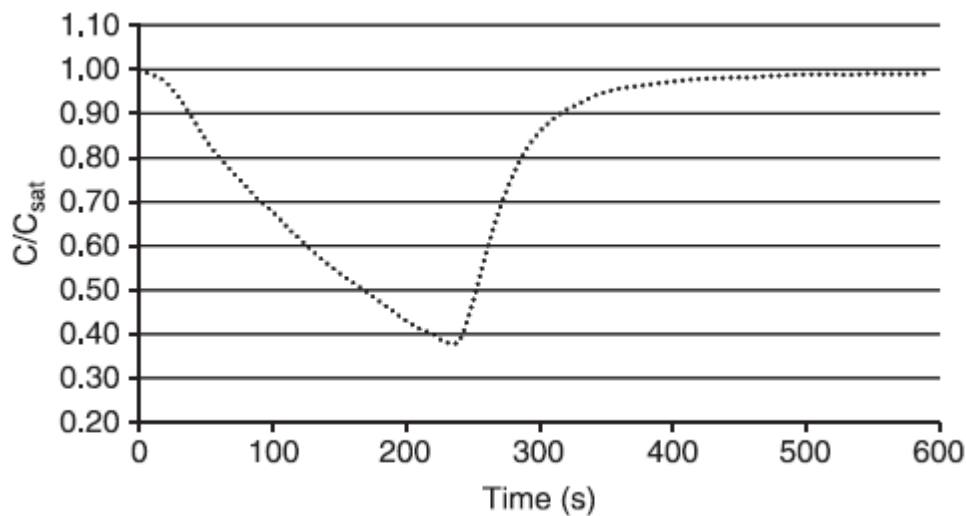
$$F_{en}(y_{N_2})_{en} - F_{afuera}(y_{N_2})_{afuera} = 0$$

$$OUR = \frac{F_{in}}{V} \left[(y_{O_2})_{in} - \frac{(y_{O_2})_{out} (y_{N_2})_{in}}{1 - (y_{O_2})_{out} - (y_{CO_2})_{out}} \right]$$

Cuantificación de VTO en condiciones dinámicas sin retraso de sonda y presencia de células

$$\frac{dC}{dt} = K_L a (C_{\text{sat}} - C)$$

$$\ln \left[1 - \frac{C}{C_{\text{sat}}} \right] = -K_L a t$$



Valores típicos de K_La

El K_La es un parámetro de diseño, es decir depende del diseño del reactor.

Equipo	Agitación	Veloc aire (l/min)	K_La
Erlenmeyer agitado de 500 ml con 50 ml de medio	3 cm /250	-	200
Tanque de lodos activados		18	5 a 9
Fermentador industrial de 60 m ³	0,6 CV/m ³	52	400

Factores físicos que afectan la transferencia de O₂:

Efecto de la temperatura y la viscosidad

$$\frac{k_{la1}}{k_{la2}} = \sqrt{\frac{T_2 * \mu_2}{T_1 * \mu_1}}$$

Donde K_{la} es el coeficiente de transferencia, T la temperatura (K) y μ la viscosidad absoluta

Se define capacidad de oxigenación como

$$CO = \frac{dC_L}{dt} = (K_{La})_{20^\circ C} (C_s - 0) = (K_{La})_{20^\circ C} * 9,2$$

$$CO_{ref} = \left(\frac{dC_L}{dt} \right)_{ref} = (K_{La})_{20^\circ C} (C_s - 0) = (K_{La})_{20^\circ C} * 9,2$$

$$CO_{real} = \left(\frac{dC_L}{dt} \right)_{real} = (K_{La})_{ref, t} (C_{sr} - C_s)$$

Haciendo el cociente

$$\frac{\left(\frac{dC_L}{dt} \right)_{real}}{\left(\frac{dC_L}{dt} \right)_{ref}} = \frac{(CO)_{real}}{(CO)_{ref}} = \frac{(K_{la})_{r, t}}{(K_{la})_{20}} * \frac{(C_{s, r} - C_L)}{9,2}$$

En general hay que hacer correcciones por: temperatura, sólidos disueltos y presión

Corrección por temperatura: Se utilizan las correlaciones experimentales de Eckenfelder

$$(K_{La})_{r,t} = (K_{La})_{r,20^{\circ}C} * \theta^{t-20}$$

$$(K_{La})_t = (K_{La})_{20^{\circ}C} * \theta^{t-20}$$

$\theta = 1,024$ por lo que K_{La} aumenta con la temperatura

$$\frac{\left(\frac{dC_L}{dt}\right)_{r,t}}{\left(\frac{dC_L}{dt}\right)_{ref}} = \frac{(CO)_{real}}{(CO)_{ref}} = \frac{(K_{La})_{r,20} * \theta^{t-20}}{(K_{La})_{20}} * \frac{(C_{s,r} - C_L)}{9,2}$$

La relación

$$\frac{(K_{La})_{r,20}}{(K_{La})_{20}} = \alpha < 1$$

Corrección por sólidos disueltos

$$\frac{C_{s,r}}{C_s} = \beta$$

Para $t=20\text{ }^{\circ}\text{C}$,

$$\frac{(K_{la})_{r,20}}{(K_{La})_{20}} = \alpha_{20}$$

$$\frac{\left(\frac{dC_L}{dt}\right)_{real}}{\left(\frac{dC_L}{dt}\right)_{ref}} = \frac{(CO)_{real}}{(CO)_{ref}} = \alpha * 1,024^{t-20} * \beta * \frac{(C_s - C_L)}{9,2}$$

Corrección por presión

Se debe considerar si la aireación es superficial o bien si se trata de un aireador por inyección de aire comprimido (por ejemplo columna de burbujeo)

Aireación superficial

Considerando que el valor de saturación en la superficie:

$$C_s = C_{s,760} * \frac{P}{760}$$

$$C_{s,s} = (C_{s,s})760 * \frac{P}{760}$$

$$\frac{\left(\frac{dC_L}{dt}\right)_{real}}{\left(\frac{dC_L}{dt}\right)_{ref}} = \frac{(CO)_{real}}{(CO)_{ref}} = \alpha_{20^\circ C} * 1,024^{t-20} * \frac{(\beta C_{s,s} - C_L)}{9,2}$$

$$\frac{\left(\frac{dC_L}{dt}\right)_{real}}{\left(\frac{dC_L}{dt}\right)_{ref}} = \frac{(CO)_{real}}{(CO)_{ref}} = \alpha_{20^\circ C} * 1,024^{t-20} * \frac{(\beta C_{s,s} * \frac{P}{760} - C_L)}{9,2}$$

Aireadores

Para aireadores por inyección de aire o burbujeo hay que considerar la influencia de la columna de líquido por encima del punto de inyección de aire: para ello se propone una concentración de saturación de oxígeno en un punto de profundidad m en el tanque ($C_{s,m}$)

$$\frac{\left(\frac{dC_L}{dt}\right)_{real}}{\left(\frac{dC_L}{dt}\right)_{ref}} = \frac{(CO)_{real}}{(CO)_{ref}} = \alpha_{20^\circ c} * 1,024^{t-20} * \frac{(\beta C_{s,m} - C_L)}{9,2}$$

$$C_{sm} = C_{s,s} * \left(\frac{Pb}{2,066} + 0,5 \right)$$

Pb presión (kg/cm²) a la profundidad a la que se introduce al aire, C en mg/l.

$$Pb = Patm + \frac{d}{10,33} * 1,033 + \text{pérdida de carga}$$

Rendimiento de la transferencia de oxígeno

$$RT = \frac{\text{Kg de O}_2 \text{ transferidos}}{CV * h}$$