

ESTUDIO HIDRODINAMICO DE AGITADOR NEUMATICO PARA LA FERMENTACION DE BIOMASA

JORGE ABREU*

* INSTITUTO CUBANO DE INVESTIGACIONES DE LOS DERIVADOS DE LA CANA DE AZUCAR (ICIDCA)

Resumen

Se expone la descripción del diseño de un agitador neumático que utiliza simultáneamente el aire destinado para la oxigenación del sistema bio-tecnológico en fermentaciones aeróbicas como fuente de energía para su movimiento.

Se muestra el análisis hidrodinámico del agitador, sus principios de funcionamiento y las ecuaciones fundamentales de cálculo con vistas a lograr su caracterización mecánica.

Abstract

In this paper a brief description of a pneumatic mixing device is presented. The air for oxygen supply to the biotechnological system in fermentation is used simultaneously like energy source for required movement.

The hydrodynamic analysis of the mixing device, the work principle and the basic equations as well for its calculation as a way to achieve its mechanical characteristics is shown.

Introducción

Según demanda el desarrollo económico de nuestro país, en la actualidad se dedican esfuerzos y recursos a la investigación y desarrollo de la industria de biotecnología. En los procesos tecnológicos de esta industria predominan generalmente equipos de importación, como es el caso de los biorreactores, y en particular los tanques agitados mecánicamente, estos últimos constituyen hasta el momento el tipo de biorreactor de más amplia aplicación en la tecnología de las fermentaciones.

La producción nacional de estos equipos se enfrenta con algunas dificultades. Es el caso, a modo de ejemplo, de la necesidad imprescindible del sellaje del recipiente con el eje de los agitadores. Los sellos empleados para tales propósitos son de construcción compleja, requiriéndose la lubricación, esterilización y enfriamiento.

En el presente trabajo se ofrece la descripción y análisis hidrodinámico de un

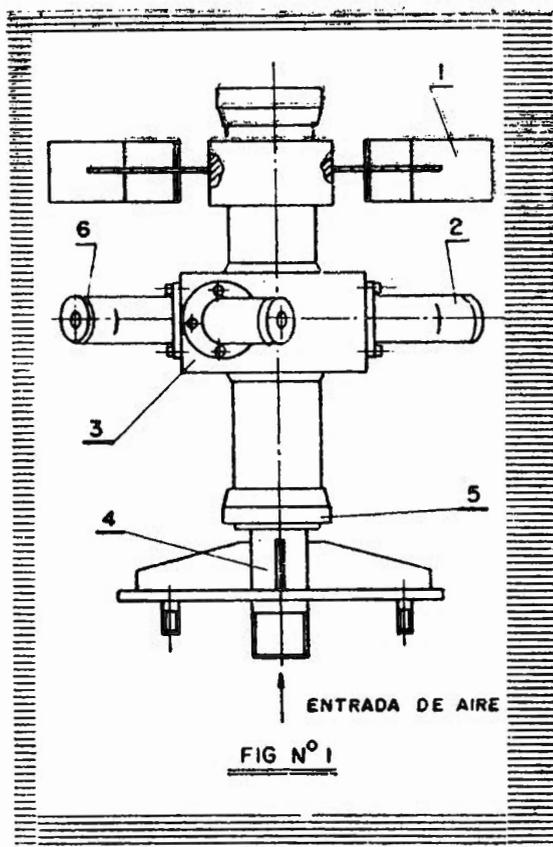
agitador neumático para la fermentación de biomasa, de fácil elaboración constructiva, factible de producirse nacionalmente, con la ventaja de que permite ser instalado en el fondo del recipiente sin la necesidad de empleo de reductores de velocidad ni de sellos asépticos empleados en los diseños convencionales.

Desarrollo

Descripción del Agitador. Principios de Funcionamiento.

El agitador neumático (fig. 1) está constituido por el sistema motriz (3) compuesto por cuatro tubos acodados (2) a 45° ubicados en un plano perpendicular al eje de rotación del agitador. La sección transversal de los tubos (2) en los extremos de descarga se reducen mediante una tobera convergente (6).

El sistema motriz (3) va montado sobre rodamientos sellados ubicados sobre el eje



central hueco (4) soldado a la base del agitador, constituyendo ambos su soporte. Dicho sistema posee acoplado un agitador convencional e intercambiable (1) (Ej. Tipo Turbina) para la agitación. El estancamiento del sistema motriz se logra mediante dos zapatas de caucho, con la posibilidad de regular la tensión de apriete con la tuerca (5).

El extremo anterior de cada tubo acodado, soporta una válvula de cheque con el propósito de impedir la entrada del líquido al interior del agitador.

El agitador funciona de la forma siguiente:

El aire proveniente de un compresor fluye a través del eje central hueco (4) hacia los tubos acodados, accionando de esta forma las válvulas ubicadas en su interior, siendo expulsado al medio líquido con un incremento de su velocidad. La fuerza de empuje resultante derivada del proceso de expansión del aire genera el torque necesario para la rotación del agitador, en correspondencia con la disposición geométrica de los tubos acodados en el sistema motriz, mientras que es utilizado simultáneamente para la oxigenación del sistema

en proceso de fermentación. La temperatura de salida del aire en el proceso de expansión disminuye a un valor que depende de sus condiciones termodinámicas iniciales, (las que son definidas previamente en el diseño). Por otra parte, la presión del aire en la sección de salida puede disminuir hasta un valor de aproximadamente 58% de la presión de entrada, cuando el aire alcance en dicha sección la velocidad sónica, lo que depende de la geometría de la tobera convergente (6), mientras que en la zona próxima a dicha sección (en el orden de su diámetro) se reduce a la presión del medio líquido, provocando durante ese intervalo un colapso del flujo, que origina la formación de un número indeterminado de burbujas que rompen por acción del agitador intercambiante (1), contribuyendo dicho proceso a la agitación del medio líquido.

Estudio hidrodinámico del agitador. Parámetros de operación

La ecuación que rige el movimiento del agitador se obtiene a partir de la ecuación fundamental de la dinámica de rotación, dada por:

$$J_0 \frac{d_w}{d_t} = M_{tor} - M_{R} \quad (1,0)$$

De acuerdo a la geometría del agitador se obtiene:

$$M_{tor} = 19,6 F_{R} \cdot D_0 \quad (2,0)$$

El momento resistivo está constituido indistintamente por elementos dependientes y no dependientes de la velocidad angular, de la forma:

$$M_{R} = C_0 \cdot W^2 + C_1 \quad (3,0)$$

Resolviendo la ecuación (1,0) se obtiene en el límite de la función la velocidad angular máxima alcanzada por el Agitador al estabilizar su movimiento en el tiempo T_0 a partir del arranque, obteniéndose:

$$W = 0,95 \left(\frac{M_{tor} - C_1}{C_0} \right)^{1/2} \quad (4,0)$$

donde:

$$T_0 = 1,83 J_0 [(M_{tor} - C_1) \cdot C_0]^{-1/2} \quad (5,0)$$

La fuerza de empuje resultante de accionamiento del agitador se evalúa aplicando

el principio del impulso y la cantidad de movimiento según la ecuación:

$$\Sigma F = F_R = \frac{\rho_m \cdot Q_n}{g_c} (V_2 - V_1) \quad (6,0)$$

La velocidad absoluta de salida del aire a través de los tubos acodados se determina mediante un balance de energía al sistema. La ecuación de Bernoulli para un proceso adiabático adquiere la forma:

$$\begin{aligned} & \left(\frac{K}{K-1} \right) \left(\frac{P_1}{\rho_1} \right) + \left(\frac{P_2}{\rho_1} \right)^{\frac{2}{K}} \cdot \\ & \cdot \left(\frac{A_2}{A_1} \right) \left(\frac{V_2^2}{2g_c} \right) - H_o - h_r = \\ & = \left(\frac{K}{K-1} \right) \left(\frac{P_1}{\rho_1} \right) \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{K-1}{K}} + \\ & \quad + \left(\frac{V_2^2}{2g_c} \right) \end{aligned} \quad (7,0)$$

donde:

$$H_o = \frac{M_{tor} \cdot w}{2\rho_m \cdot Q_n \cdot g} \quad (8,0)$$

A partir de las expresiones precedentes se determinan las características técnicas del Agitador, (Tabla 1).

Conclusiones

El presente diseño de Agitador Neumático presenta las siguientes características y ventajas con respecto a los agitadores convencionales.

- Las características de operación del Agitador Neumático se encuentran dentro del rango utilizado en Agitadores convencionales en cuanto a velocidad y volumen de aire para la oxigenación del proceso.
- Sustituye los reductores de velocidad.
- No requiere de sellos asépticos.
- En el ejemplo mostrado es factible operar una batería de 3 fermentadores de 2,0 m³ con una sola unidad compresora de aire.
- Fácil elaboración constructiva.

Tabla 1. Características técnicas-teóricas del agitador

Presión de trabajo (kg/cm ²)	Consumo de aire (m ³ /seg)	Velocidad angular (r.p.m.)	Potencia útil (Kw)	Eficiencia (%)
3,5	0,055	250	7,5	64

Legenda

A₂; A₁: Área de las secciones de entrada y salida del aire en los tubos acodados respectivamente (m²)

B: Ancho de los baffles (m)

C_n; C_i: Constantes resistivas al movimiento (kg·m⁻²)

Do: Diámetro de aplicación de la fuerza de empuje resultante (m)

dag: Diámetro del Agitador intercambiable 1 (m)

F_R: Fuerza de empuje resultante (kgf)

g_c: Constante de proporcionalidad

$$\frac{(kg - m)}{s^2 - kgf}$$

g: Constante gravitacional (m/s²)

H_o: Energía extraída al Agitador Neumático (m)

h_r: altura de descarga del aire respecto al fondo del recipiente (m)

h_v: Pérdidas en el sistema (m)

H_l: Altura del líquido en el recipiente (m)

Jo: Momento de inercia centroidal total del Agitador Neumático (kg — m²)

K: Constante adiabática del aire (—)

L; b: Longitud y ancho de las paletas del Agitador intercambiable 1 (m)

M_{tor}: Torque útil (N·m)

M_R: Momento resistivo del Agitador Neumático (N·m)

P_1 ; P_2 : Presión de entrada y salida al sistema respectivamente (kg/m^2)

D_0 : Gasto de aire por tubo acodado (m^3/s)

V_1 ; V_2 : Velocidad absoluta de entrada y salida del aire (m/s)

V : Volumen del fermentador (m^3)

W : Velocidad angular (rad/s)

ρ_l ; ρ_m : Densidad del líquido y densidad media del aire respectivamente (kg/m^3)

Bibliografía

1. Atlas Copco.: Compresores de tornillos excepto de aceite.
2. R. I. Daugherty: Fluid Mechanics. Fifth Edition 1954.
3. Swich Aiba: Biochemical Engineering. Academic Press. N. York 1975.
4. K. F. Pavlov: Problemas y aparatos en Tec. Química. MIR Moscú 1982.
5. F. A. Holland: Fluid flow for Chemical Engineers. N. York.
6. S. M. Targ: Curso de Mecánica Teórica. MIR Moscú. 1976.