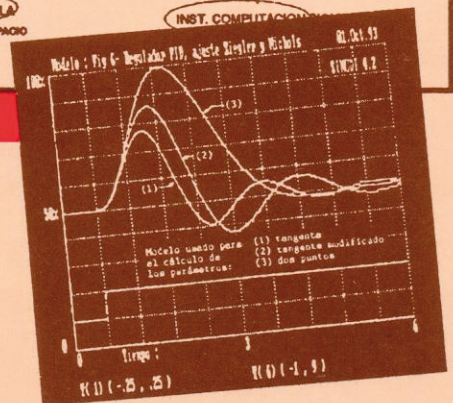
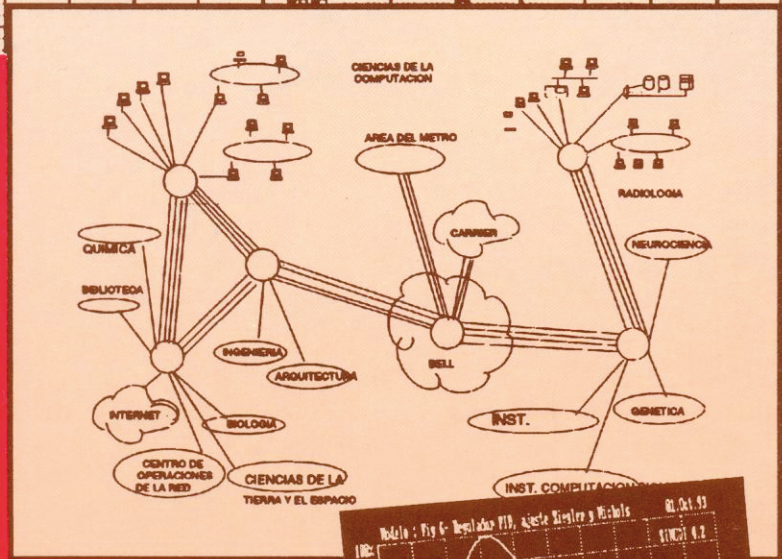
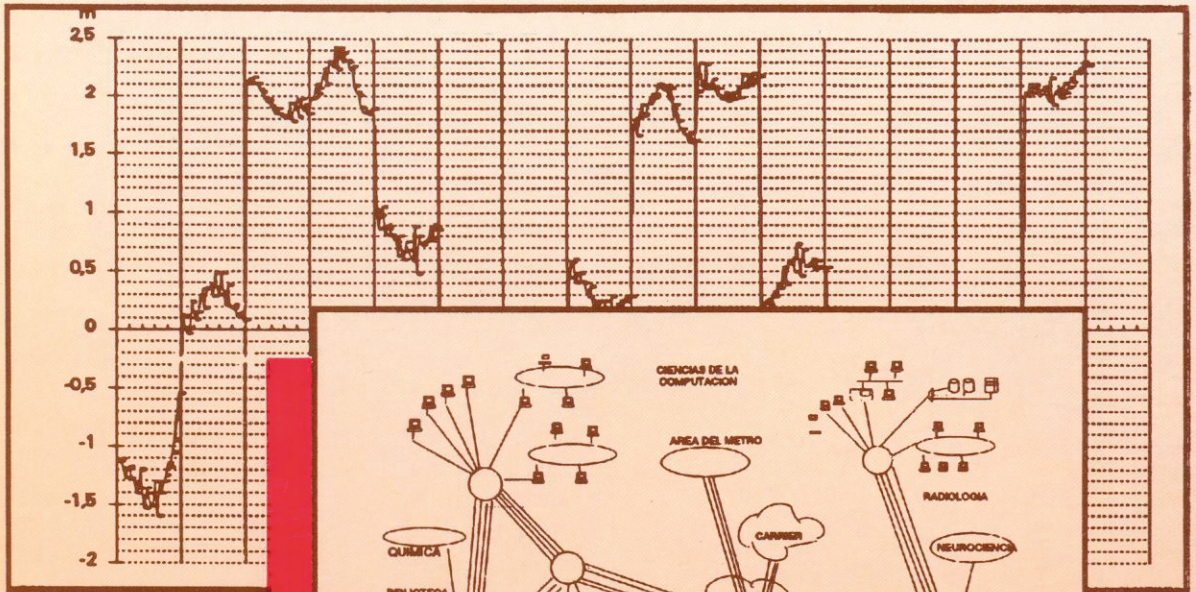


Ingeniería

Revista de la Universidad de Costa Rica
ENERO/JUNIO 1994 VOLUMEN 4 N° 1



CARACTERIZACION DE UNA COLUMNA DE BURBUJEJO

*Ing. Hernán Camacho Soto**

*Ing. Patricia Alvarado Aguilar**

RESUMEN

Se hizo un estudio experimental para caracterizar desde el punto de vista hidrodinámico una columna de burbujeo. Se usa la retención gaseosa como variable fundamental de caracterización. La columna fue construida por los autores y se encuentra en el Laboratorio de Ingeniería Química de la Universidad de Costa Rica.

SUMMARY

An experimental study was carried out to characterize a bubble column from the hydrodynamic point of view. Gas hold up is used as fundamental characterization variable. The column was built by the authors and it's located at the Chemical Engineering Laboratory of the University of Costa Rica.

INTRODUCCION

Las columnas de burbujeo son muy populares en la industria química debido a su gran versatilidad y a sus ventajas económicas. Tienen bajos costos de inversión, son de fácil construcción y los costos de operación son pequeños debido a los bajos requerimientos energéticos para su funcionamiento (Cordero, 1985).

A pesar de esas ventajas, estos reactores no se usan ampliamente en la industria. Esto se debe a que no hay suficiente información disponible sobre su operación y manejo (Schügerl, 1977).

Los reactores de torre (o columna) son muy interesantes para los procesos fermentativos puesto que presentan altas tasas de transferencia de oxígeno (Schügerl, 1978).

En los años 80, varias empresas decidieron construir columnas de burbujeo para diversos procesos. Tal es el caso de ICI, que posee un reactor de 50,000 T/año para producir proteína unicelular o el de Bayer con una columna de 20,000 m³ para una planta de tratamiento de aguas (Schügerl, 1982).

Las columnas de burbujeo han demostrado ser aptas para la degradación aeróbica de sustratos orgánicos puros, específicamente para la glucosa (Blanco, 1993).

La hidrodinámica de las columnas de burbujeo es muy compleja. Quirós (1988) obtuvo correlaciones muy interesantes entre los distintos parámetros que rigen el comportamiento de estos equipos. El efecto de la viscosidad, la tensión superficial, la velocidad del gas y de las características geométricas en el desempeño de la columna fueron analizados en este trabajo.

Haque (1987) ha desarrollado ecuaciones que permiten predecir el tiempo de mezclado, el comportamiento de las burbujas y la retención gaseosa en sistemas de burbujeo.

En este trabajo se presentan los resultados del estudio hidrodinámico de una columna de burbujeo construida en el laboratorio de Ingeniería Química de la UCR por los autores.

V~LESUMPORTANTES

El diseño y el escalamiento de las columnas de burbujeo son muy difíciles debido a la complejidad de su hidrodinámica.

Las propiedades de mezclado tales como retención gaseosa (E), área interfacial (a) y coeficientes de transferencia (k) en la interfase dependen del patrón de flujo prevaliente (Shah Y., 1985).

*Escuela de Ingeniería Química, Universidad de Costa Rica

El patrón de flujo en un sistema de burbujeo gas-líquido ascendiendo en tubos circulares depende de (Raque, 1987) las velocidades de los flujos (u), de las propiedades de los fluidos y del diámetro del tubo (d).

Quiros considera (1988) que existen los siguientes cuatro patrones de flujo, los cuales se establecen por observación:

- Flujo burbuja. La fase gaseosa se distribuye de manera uniforme en forma de burbujas discretas en una fase líquida continua.
- Flujo bala. La mayor parte del gas se localiza en grandes balas formadas por burbujas con diámetro igual al de la columna.
- Flujo agitado. Es más caótico y desordenado que el flujo bala. Hay oscilación en la dirección del flujo.
- Flujo anular. Se caracteriza por la continuidad de la fase gaseosa a lo largo de la tubería.

La retención gaseosa, junto con el patrón de flujo son los parámetros más importantes para describir el comportamiento hidrodinámico de una columna de burbujeo.

La retención gaseosa se puede definir con la relación siguiente:

$E_a = (z - z_i) / z$, donde z es la altura del agua durante el burbujeo y z_i es la altura del líquido libre de burbujas, medidos directamente en la columna.

La retención gaseosa puede verse afectada por las siguientes variables: Velocidad del gas, velocidad del líquido, densidad del líquido, viscosidad del líquido, diámetro de la columna, tipo de distribuidor de gas, tensión superficial.

De estas variables la velocidad del gas tiene la mayor influencia sobre la retención gaseosa y sobre el patrón de flujo.

DESCRIPCION DEL EQUIPO Y PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Para la experimentación se construyó una columna de burbujeo en material acrílico transparente de 4,7 mm de grosor. El diagrama de la columna se muestra en la figura 1.

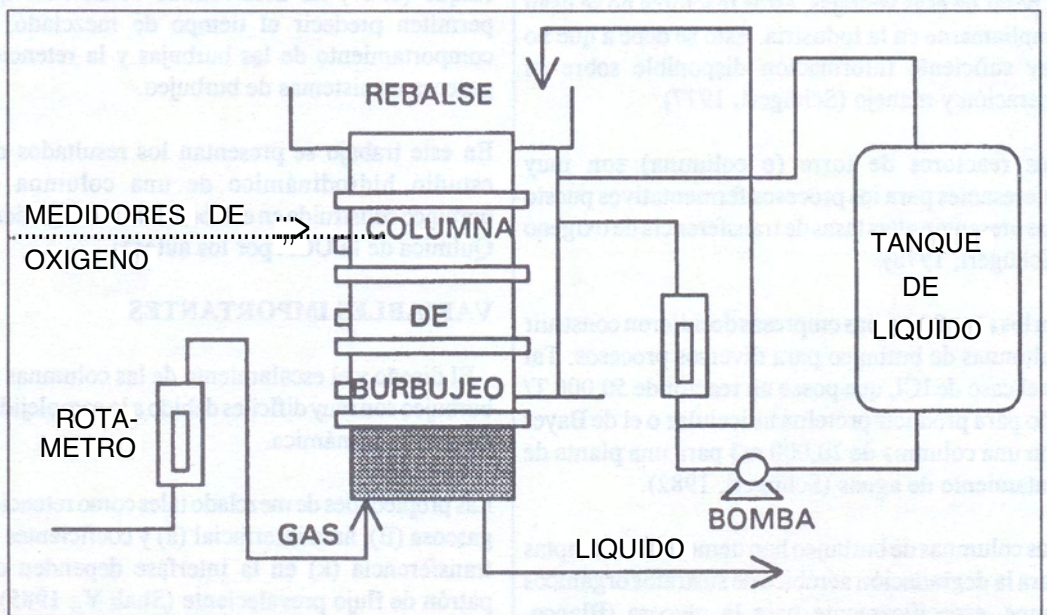


FIGURA 1. DIAGRAMA DE LA COLUMNA DE BURBUJEO

La parte inferior de la columna consta de una sección de 0,1 m de altura rellena de sillas de Berl de 25 mm. Unida a esta sección se encuentra el plato distribuidor hecho de acero inoxidable con un diámetro de orificio de 1,14 mm y un área libre de 37%.

La parte principal de la columna está unida por una brida al plato distribuidor y al fondo empacado. Consta de cuatro secciones de 0,74 m unidas entre si mediante bridas y en cada una de ellas hay una toma para medir oxígeno disuelto o algún otro parámetro que se necesite.

La altura total de la columna es de 3,06 m y el diámetro interno es de 0,15 m, el cual es el mismo del fondo empacado.

En la parte superior se instaló una caja de rebalse, también construida de material acrílico.

La columna esta diseñada para operar contra corriente o corriente paralela. El aire proveniente de un compresor, ingresa a la columna de burbujeo por la parte inferior luego de haber pasado por un rotámetro, entra al fondo empacado donde es adecuadamente distribuido para ingresar a la parte principal de la columna. El agua o solución a

emplear es contenida en un tanque de 0.094 m³. El sistema de tubería esta instalado de tal forma que la bomba introduzca el líquido por la parte inferior o superior o bien se establezca un circuito cerrado entre el tanque y la bomba para asegurar la homogenización de la solución.

La columna fue caracterizada por medio de la medición de la retención gaseosa. Para esto se realizaron mediciones de los niveles de la columna con y sin burbujeo de gas.

Se utilizó aire y agua como sistema, realizando medidas a corriente paralela y contra corriente, variando la velocidad superficial del agua y del aire. Finalmente se estableció el ámbito de operación en que la columna funciona en flujo burbuja.

RESULTADOS Y DISCUSION

En las tablas 1,2 Y 3 se muestran los resultados de la experimentación para flujo en cocorriente. Se calculan ahí mismo los valores de retención gaseosa y se indica el punto de paso de régimen de flujo burbuja a flujo bala o agitado.

TABLA 1. Cambio de altura y retención gaseosa para el sistema aire-agua, flujo de agua= 2.42E-4 m³/s
T= 20 oC, P= 69 lePa

u	Oz	Ea	Tipo de flujo
<i>mis</i>	m	-	
0.214	0.125	0.042	burbuja
0.246	0.225	0.075	burbuja
0.280	0.303	0.101	burbuja
0.300	0.401	0.134	burbuja
0.346	0.477	0.159	burbuja
0.376	0.552	0.184	turbulento
0.402	0.585	0.195	turbulento

TABLA 2. Cambio de altura y retención gaseosa para el sistema aire-agua, flujo de agua= $3.29E-4 \text{ m}^3/\text{s}$
 $T= 20 \text{ oC}, P= 69 \text{ lePa}$

u	Oz	Ea	Tipo de flujo
mis	m	-	
0.182	0.080	0.027	burbuja
0.240	0.325	0.108	burbuja
0.273	0.395	0.132	burbuja
0.315	0.486	0.162	turbulento
0.351	0.546	0.182	turbulento
0.402	0.583	0.194	turbulento

TABLA 3. Cambio de altura y retención gaseosa para el sistema aire-agua, flujo de agua= $4.99E-4 \text{ m}^3/\text{s}$
 $T= 20 \text{ oC}, P= 69 \text{ lePa}$

u	Oz	Ea	Tipo de flujo
mis	m	-	
0.185	0.140	0.047	burbuja
0.226	0.293	0.098	burbuja
0.257	0.380	0.127	burbuja
0.304	0.479	0.160	turbulento
0.376	0.515	0.172	turbulento

En la figura 2 se muestra el comportamiento de la retención gaseosa respecto a la velocidad del aire para los distintos flujos de agua usados en corriente paralela.

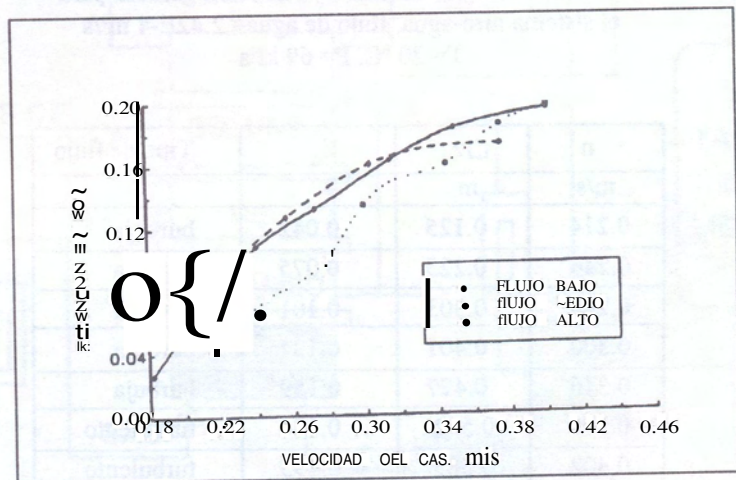


FIGURA 2. VARIACION DE LA RETENCION GASEOSA EN COCORRIENTE

Los datos fueron ajustados mediante el método de ajuste SPLINE. (perry, 1984).

Como puede verse, la velocidad del líquido no influye de manera significativa en la retención

gaseosa. Esto es coincidente con otros autores (Akita, 1976).

En las tablas 4, 5 Y 6 se muestran los resultados de la experimentación para flujo en contracorriente.

TABLA 4. Cambio de altura y retención gaseosa para el sistema aire-agua, flujo de agua= $1.94E-4$ m³/s
 T= 20 oC, P= 69 kPa

u	Clz	Ea	Tipo de flujo
<i>mis</i>	m	-	
0.231	0.372	0.245	burbuja
0.284	0.496	0.326	turbulento
0.341	0.568	0.374	turbulento
0.392	0.595	0.391	turbulento

TABLA 5. Cambio de altura y retención gaseosa para el sistema aire-agua, flujo de agua= $2.68E-4$ m³/s
 T= 20 oC, P= 69 kPa

u	Clz	Ea	Tipo de flujo
<i>mis</i>	m	-	
0.220	0.235	0.131	burbuja
0.275	0.280	0.156	turbulento
0.331	0.325	0.181	turbulento
0.416	0.384	0.214	turbulento

TABLA 6. Cambio de altura y retención gaseosa para el sistema aire-agua, flujo de agua= $3.29E-4$ m³/s
 T= 20 oC, P= 69 kPa

u	Clz	Ea	Tipo de flujo
<i>mis</i>	m	-	
0.228	0.241	0.103	burbuja
0.272	0.311	0.133	turbulento
0.328	0.351	0.150	turbulento
0.381	0.393	0.168	turbulento

En la figura 3 se muestra el comportamiento de la retención gaseosa respecto a la velocidad del aire para los distintos flujos de agua usados en contracorriente.

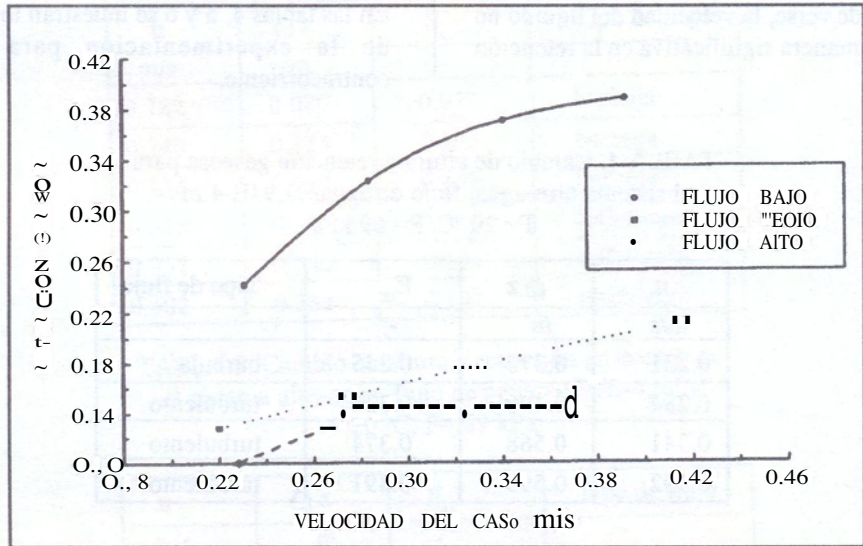


FIGURA 3. VARIACION DE LA RETENCION GASEOSA ENCONTRACORRIENTE

Los datos también fueron ajustados con el método SPLINE.

En las figuras 2 y 3 y en las tablas correspondientes se puede ver que la retención gaseosa aumenta al incrementarse el flujo de aire. Esto es favorable mientras se mantiene el patrón de flujo burbuja pero, como puede verse en las tablas de datos, cuando se aumenta mucho el flujo de aire aparece un comportamiento de tipo turbulento. Esto marca los límites de operación del equipo.

Es importante destacar que no se observaron patrones de comportamiento tipo bala. La transición se da directamente de burbuja a turbulento. Tampoco se tuvieron observaciones de flujos del tipo anular.

Hay ámbitos de operación en flujo burbuja bastante amplios y con retenciones gaseosas aceptables, excepto en el régimen en contracorriente en que solo se tiene un punto de operación (burbuja). No se observó coalescencia en los ámbitos de operación en régimen burbuja.

A bajas velocidades de aire las burbujas son ampliamente esparcidas. Al aumentar la velocidad del aire las burbujas interfieren entre sí y hay una mayor tendencia a coalescer y se hace más notoria cuando se produce el paso al régimen turbulento. La columna puede ser operada en ámbitos mayores cuando se trabaja en corriente paralela que cuando se trabaja en contracorriente. Sin embargo, a bajas velocidades de aire (0.231 m/s) aún se mantiene el flujo burbuja en operación de contracorriente.

En general, la columna puede ser operada en ámbitos extensos sin que se presenten problemas hidrodinámicos de ninguna clase.

NOMENCLATURA

a	área interfacial gas/líquido	m ²
d	diámetro de la columna	m
k	coeficiente de transferencia de masa	mis
u	velocidad de flujo	mis
z	coordenada longitudinal vertical	In
E	retención gaseosa	-

Bibliografía

- Akita K., Yoshita F., Gas Holdup and Volumetric Mass Transfer Coefficients in Bubble Columns, Ind. Eng. Chem. Proc. Des. Dev., 12, 1, (1976).
- Cordero M., Montes G., Diseño, Construcción y Puesta en Marcha de una Columna de Burbujeo, Tesis, Escuela de Ingeniería Química, UCR, Costa Rica, 1985.
- Haque M. W., et. al., Studies on Mixing Time in Bubble Columns with Pseudoplastic (Carboxymethyl) Cellulose solutions, Ind. Eng. Chem. Res., 26(1), 1987, p. 82.
- Haque M. W., et. al., Studies on Gas Holdup and Bubble Parameters in bubble Columns with (Carboxymethyl) Cellulose solutions, Ind. Eng. Chem. Res., 26(1), 1987, p. 86.
- Quirós J.A., Estudio Hidrodinámico en una Columna de Burbujeo. Efectos sobre la Transferencia de Masa, Tesis, Escuela de Ingeniería Química, UCR, Costa Rica, 1988.
- Schügerl K., Lücke J., Oels U., Bubble Column Bioreactors, Adv. in Biochem. Eng., Vol. 7, p. 1, Berlín, 1977.
- Schügerl K., Lücke J., Lehman J., Wagner F., Application of Tower Bioreactors in Cell Mass Production, Adv. in Biochem. Eng., Vol. 8, p. 63, Berlín, 1978.
- Schügerl K., Characterization and Performance of Single- and Multistage Tower Reactors with Outer Loop for Cell Mass Production, Adv. in Biochem. Eng., Vol. 22, p. 93, Berlín, 1982.
- Shah y. T., et. al., Two-bubble class model for churn-turbulent bubble-column reactor, Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev., 24(4), p. 1096 (1985).