

COMPORTAMIENTO HIDRODINÁMICO Y ABSORCIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO MEDIANTE REACCIÓN QUÍMICA CON GLUCOSAMINA EN UN REACTOR AIR-LIFT

HYDRODYNAMIC BEHAVIOR AND ABSORPTION OF CARBON DIOXIDE BY CHEMICAL REACTION WITH GLUCOSAMINE IN AN AIR-LIFT REACTOR

Alicia García-Abuín, Diego Gómez-Díaz*, José M. Navaza y Isabel Vidal-Tato

Universidad de Santiago de Compostela, Departamento de Ingeniería Química, ETSE, Grupos de investigación PF&PT y Ecoeficiencia. Rúa Lope Gómez de Marzoa s/n, E-15782 Santiago de Compostela, Galicia-España

*autor de contacto (diego.gomez@usc.es)

Recibido: 06/04/2010 - Evaluado: 19/04/2010 - Aceptado: 21/04/2010

RESUMEN

En el presente trabajo se ha estudiado el comportamiento de disoluciones acuosas de glucosamina como absorbente para la captura de dióxido de carbono, empleando un reactor "air-lift". Los resultados experimentales indican que este reactivo (glucosamina) muestra un comportamiento similar al observado para otras disoluciones acuosas de aminas ampliamente utilizadas para la captura de dióxido de carbono, en relación a la velocidad a la cual se produce la absorción. El valor de la velocidad de transferencia de masa ha sido determinado, así como el efecto de distintas condiciones de operación sobre el valor de este parámetro y del área interfacial gas-líquido, tales como concentración de amina, pH o caudal de gas alimentado.

ABSTRACT

In this work, it has been studied the behavior of aqueous solutions of glucosamine used as absorbent phase in the carbon dioxide capture process using an air-lift reactor. The experimental results indicate that the reagent (glucosamine) shows a similar behavior related to absorption rate, than previously observed for aqueous solutions of other amines widely used for carbon dioxide capture. The value of mass transfer rate has been determined, as well as the effect of these operation conditions on this parameter value and gas-liquid interfacial area, such as amine concentration, pH or gas flow rate.

Palabras clave: absorción, glucosamina, dióxido de carbono, área interfacial

Keywords: absorption, glucosamine, carbon dioxide, interfacial area

INTRODUCCIÓN

La combustión de combustibles fósiles en plantas de producción de energía o en refinerías es una de las más importantes fuentes de generación de emisiones de dióxido de carbono (Bonenfant et al., 2007). Distintas tecnologías están disponibles en la actualidad para la reducción de dichas emisiones procedentes de corrientes industriales, pero la absorción química (preferentemente con alcanolaminas) sigue siendo una de las tecnologías más empleadas (Liao y Li, 2002; Horng y Li, 2002). Este tipo de metodología se considera que es eficiente y permite normalmente eliminar una gran parte del dióxido de carbono presente en la corriente gaseosa. Estudios previos de distintos investigadores indican que las aminas primarias y secundarias reaccionan directamente y reversiblemente con el dióxido de carbono, para formar un intermedio de tipo zwitterónico, el cual se desprotona en presencia de bases formando un carbamato (Verteeg y van Swaaij, 1988; Glasscock et al., 1991). Por otro lado, las aminas terciarias no reaccionan directamente con el dióxido de carbono, y lo hacen de manera más lenta que las anteriormente comentadas (Linek et al., 1994).

Recientemente, el grupo de investigación del presente trabajo ha desarrollado estudios de interés sobre el uso de la 2-amino-2-deoxi-D-glucosa, también denominada glucosamina, con el fin de evaluar su potencial para ser usada en procesos de captura de dióxido de carbono. Los estudios previos han indicado que el tipo de absorción que se produce en este sistema es de tipo químico, y de esta manera, la cinética que se ha obtenido indica que la reacción entre el dióxido de carbono y la glucosamina es de orden uno respecto a ambos compuestos (Gómez-Díaz y Navaza, 2008). El mecanismo sugerido indica que el régimen de absorción acompañada de reacción química se engloba dentro de los sistemas de régimen moderadamente rápido, teniendo en cuenta el valor del módulo de Hatta, ya que toma valores incluidos dentro del rango $0.3 < Ha < 3$ (Gómez-Díaz y Navaza, 2008).

Esta nueva tecnología para la captura de dióxido de carbono tiene importantes ventajas en comparación con sistemas convencionales basados en las aminas previamente comentadas. Estas ventajas son las menores consideraciones que hay que realizar respecto a las medidas de riesgo químico o de seguridad cuando se emplean disoluciones acuosas de glucosamina. También este nuevo sistema presenta velocidades de absorción y de reacción comparables a los sistemas convencionales (por ejemplo con monoetanolamina o dietanolamina) (Gómez-Díaz y Navaza, 2008; Gómez-Díaz et al., 2007).

En el presente estudio se persigue analizar de que manera se comporta el proceso de absorción con reacción química entre el dióxido de carbono y disoluciones acuosas de glucosamina cuando se lleva a cabo en un reactor tipo air-lift, teniendo en cuenta las especiales características de este tipo de reactores tanto respecto a la circulación de la fase líquida, como en la generación del área interfacial gas-líquido.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Para la preparación de las disoluciones acuosas para ser empleadas en el reactor tipo air-lift, se han empleado distintas cantidades de 2-Amino-2-deoxi-D-glucosa hidrocloreto (glucosamina hidrocloreto, GA) suministrado por Fluka con una pureza superior al 99%. Las disoluciones fueron preparadas mediante pesada de cantidades previamente calculadas, y las concentraciones empleadas estuvieron comprendidas en el rango de 0 a $0.4 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$, siendo aproximadamente éste el rango de solubilidad de este compuesto en disolución acuosa. El dióxido de carbono alimentado al equipo de contacto ha sido suministrado por Carburos Metálicos con una pureza superior al 99.998%. Con el fin de compensar el carácter ácido de las disoluciones acuosas de glucosamina, debido a la presencia de ácido clorhídrico, se han añadido cantidades determinadas de hidróxido sódico, el cual fue suministrado por Sigma-Aldrich con una pureza superior al 98 %.

Los experimentos tanto de hidrodinámica como de absorción fueron llevados a cabo en discontinuo respecto a la fase líquida, mientras que el gas fue alimentado de manera continua a lo largo del experimento. El reactor air-lift empleado en el presente trabajo ha sido construido en Perplex con un diámetro interno de 7 cm. La altura

del riser fue de 37 cm, mientras que el diámetro interno del riser fue de 3.2 cm. La fase gaseosa (dióxido de carbono puro) fue alimentada a través de un dispersor de 5 agujeros, que permitió la formación de las burbujas. El volumen de líquido empleado en el dispositivo fue de 3.5 L.

El método físico empleado en el presente trabajo para la determinación de áreas interfaciales, ha estado basado en la obtención de fotografías del interior del equipo de contacto. Para facilitar la toma de fotografías de alta calidad, este estudio fue llevado a cabo en una columna de burbujeo de geometría cuadrada, con unas características geométricas muy similares al riser del reactor air-lift (4 cm de lado interior y una altura de 65 cm). En base a la geometría de las burbujas y su tamaño, poder calcular el área entre las fases gas y líquida. Para ello es necesario conocer ciertas características de la hidrodinámica del sistema de contacto entre fases empleado para llevar a cabo el proceso de absorción. La retención de gas es uno de los parámetros de mayor importancia para llevar a cabo la determinación del área. El valor del gas retenido en la columna de burbujeo se ha calculado empleando el método basado en la determinación de la expansión del volumen (ecuación 1).

$$\varepsilon = \frac{\Delta V}{\Delta V + V_L} \quad (1)$$

donde V_L es el volumen de líquido en ausencia de gas y ΔV es la expansión del volumen de líquido después de la dispersión de la fase gas en el seno del líquido, la cual se ha calculada a partir de los valores del cambio de la altura de líquido observado y la sección transversal. Para este tipo de sistemas de contacto, la retención de gas se calcula a través de la siguiente ecuación (2).

$$\varepsilon = \frac{\Delta H}{\Delta H + H_L} \quad (2)$$

donde H_L es la altura de líquido en ausencia de fase gas y ΔH el incremento en la altura de líquido después de la introducción de la fase gas.

El diámetro de las burbujas ha sido determinada empleando un método fotográfico (como fue comentado anteriormente) que consistió en tomar imágenes de las burbujas a lo largo de toda la altura de la columna. Se empleó una videocámara SONY DCR-TRV9E para la obtención de las imágenes que fueron analizadas posteriormente. Se han utilizado un mínimo de 50 burbujas, bien definidas, para evaluar la distribución de tamaños de burbujas presentes en las distintas fases líquidas y condiciones de operación empleadas.

Para llevar a cabo la obtención de dicha distribución de tamaños de burbujas, se ha empleado el programa Image Tool v2.0 con el fin de determinar las características geométricas de las burbujas. Las imágenes tomadas de las burbujas en el seno de la fase líquida indican que las burbujas en las condiciones de trabajo empleadas adquieren una forma elipsoidal. Por esta razón, fue necesario determinar los ejes mayor (E) y menor (e) de la proyección del elipsoide en dos dimensiones. Se ha considerado como dimensión representativa para las burbujas el diámetro de la esfera equivalente (ecuación 3).

$$d = \sqrt[3]{E^2 \cdot e} \quad (3)$$

Numerosos autores han recomendado el uso del diámetro medio Sauter (d_{32}) (Shah et al., 1982), que se determina a partir de los valores anteriormente calculados de diámetro equivalente (ecuación 4).

$$d_{32} = \frac{\sum_i (n_i \cdot d_i^3)}{\sum_i (n_i \cdot d_i^2)} \quad (4)$$

donde n_i es el número de burbujas que tienen un mismo valor de diámetro equivalente (d_i).

A partir de los valores del diámetro medio Sauter y de la retención de gas se puede calcular finalmente el valor del área interfacial gas/líquido empleando la ecuación 5 (van't Riet y Tramper, 1991).

$$a = \frac{6 \cdot \varepsilon}{d_{32} \cdot (1 - \varepsilon)} \quad (5)$$

En caudal de la fase gas fue medido y controlado mediante medidores máscicos (5850 Brooks Instruments), los cuales han sido previamente calibrados por el suministrador. El rango de caudal de gas empleado en el presente estudio estuvo comprendido entre 18-40 L·h⁻¹. La velocidad de transferencia de material ha sido determinada en función de la diferencia entre los caudales de entrada y salida del reactor air-lift. La caída de presión se midió entre la entrada de la columna y la salida, utilizando un manómetro digital Testo 512.

La velocidad de circulación de la fase líquida en el interior del equipo ha sido determinada mediante una técnica de seguimiento de un trazador. Concretamente se ha empujado una pieza de pequeñas dimensiones y cuyo material era plástico (longitud, 0.005 m; gravedad específica, 1.03 g·cm⁻³) como trazador. La densidad del trazador debe ser muy cercana a la de la fase líquida, para evitar influencias. El tiempo que tarda en recorrer esta pieza una distancia conocida en vertical (20 cm) situada en el "downcomer" fue empleado en calcular la velocidad. Los datos empelados han sido la media de 10 medidas consecutivas.

En la Figura 1 se muestra el esquema del equipo experimental utilizado.

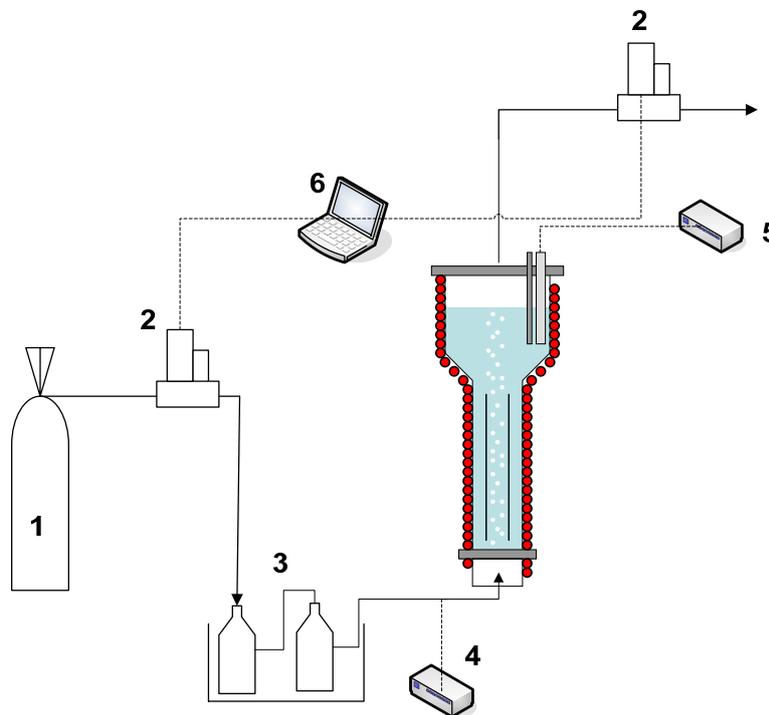


Fig.1: Equipo experimental empleado para los estudios de absorción de dióxido de carbono. (1) Bombona de gas; (2) caudalímetros máscicos; (3) baño termostático; (4) medidor de presión; (5) medidor de temperatura; (6) toma de datos de los caudalímetros.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estudio hidrodinámico

Cuando se emplea un equipo de burbujeo como en el actual estudio (reactor air-lift), se hace necesario llevar a cabo un estudio hidrodinámico basado principalmente en la evaluación de parámetros tales como el tamaño de burbuja, la retención de gas y la velocidad de circulación de líquido. Parte de esos parámetros son necesarios para la determinación del área interfacial gas-líquido que se genera en el interior del reactor. Este último parámetro tiene una influencia directa sobre la velocidad a la cual se produce el proceso global de absorción de dióxido de carbono.

Con respecto a la primera característica anteriormente considerada (diámetro de burbuja), como ya se ha comentado en la sección experimental, se ha empleado un método fotográfico para su determinación y evaluación. Un ejemplo de las fotografías obtenidas del interior del equipo de contacto se muestra en la Figura 2. A la vista de dichas fotografías se puede alcanzar alguna conclusión aunque no hayan sido analizadas en profundidad las fotografías. A priori se observa que a medida que el caudal de gas alimentado al equipo de contacto, tanto el número de burbujas como el diámetro de estas sufren un aumento.

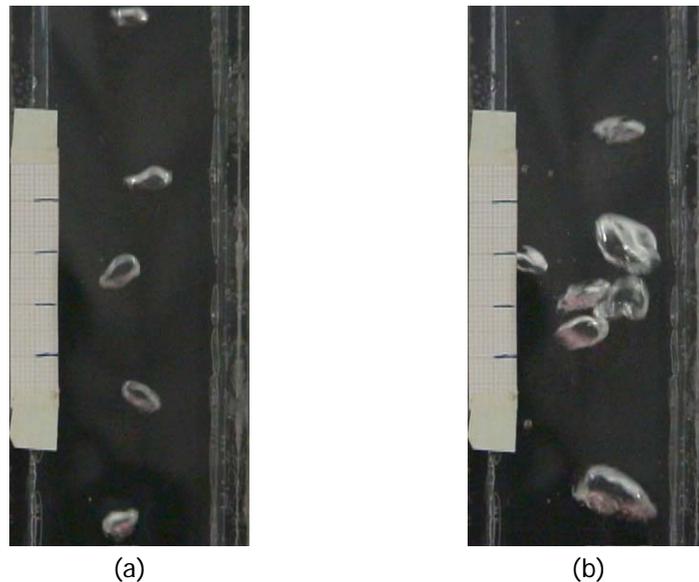


Fig. 2: Fotografías tomadas del interior del equipo de contacto. Influencia del caudal de gas. (a) $Q_g = 18 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$, (b) $Q_g = 42 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$.

Analizando todas las fotografías tomadas a los distintos caudales de gas y en las distintas secciones del equipo gas-líquido, se puede obtener un comportamiento más claro sobre la influencia del caudal de gas sobre el diámetro de las burbujas. En la Figura 3 se muestra la distribución del tamaño de burbuja obtenido para dos caudales de gas. Se observa que para el caudal menor se obtiene una distribución de tamaño de burbuja más estrecha, y tomando valores menores que en el caso de un caudal mayor, en el que la distribución es mucho más ancha, con una mayor dispersión, y siendo las burbujas de mayor tamaño en prácticamente la totalidad de los casos.

Mediante la determinación de diámetro medio, se puede analizar más en detalle los resultados experimentales y dicho comportamiento se muestra en la Figura 4, observándose que se produce un aumento continuado del

tamaño de burbuja a medida que aumenta el caudal de gas que es alimentado al reactor, observándose una tendencia de tipo lineal en el rango de caudal de gas estudiado.

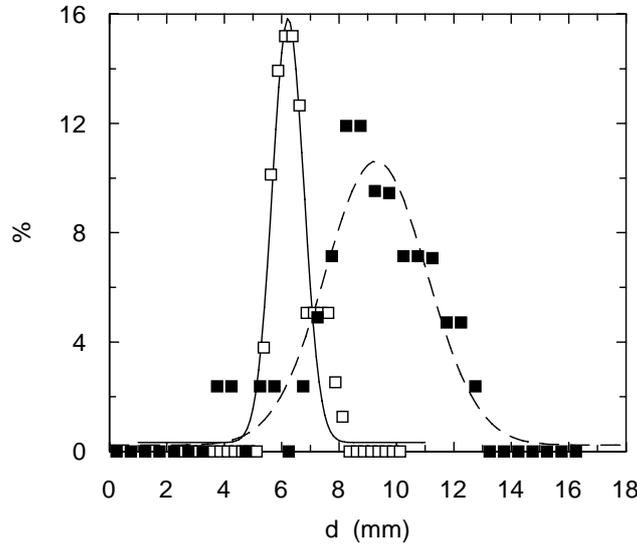


Fig. 3: Distribución de tamaños de burbujas obtenidas para distintos caudales de gas. (□) $Q_g = 15 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$; (■) $Q_g = 36 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$.

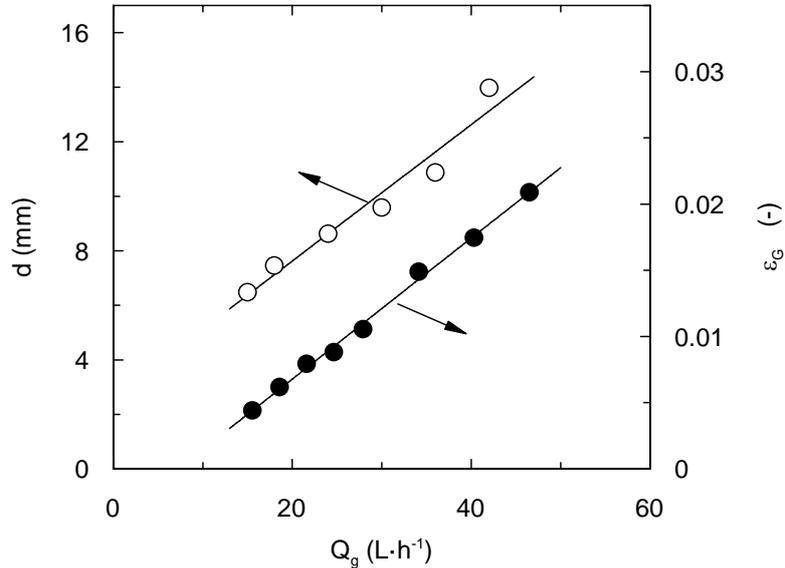


Fig. 4: Influencia del caudal de gas sobre el valor del diámetro de las burbujas y sobre la retención de gas.

En la Figura 4 también se muestra la influencia del caudal de gas sobre la cantidad de gas retenido en el equipo y que está en contacto con la fase líquida. Este es uno de los parámetros de gran importancia, junto al diámetro de burbuja, para la determinación del área interfacial. El comportamiento es muy similar al previamente
 AVANCES EN CIENCIAS E INGENIERÍA (ISSN: 0718-8706)

comentado para el diámetro de burbuja, o sea, un aumento de tipo lineal al aumentar el caudal de gas. Esto significa que se produce un aumento de la cantidad de gas en contacto con el líquido.

Distintos estudios han sido llevados a cabo con el fin de evaluar, además de la influencia del caudal de gas, el efecto que la concentración de glucosamina y por lo tanto de la reacción química tiene sobre el diámetro de las burbujas y la retención de gas. Debido a que la reacción química que tiene lugar entre el dióxido de carbono absorbido y la glucosamina no es demasiada rápida (Gómez-Díaz y Navaza, 2008), el resultado que se observó es que no existía una influencia significativa tanto sobre el diámetro de las burbujas, como respecto a la retención de gas. Este comportamiento es distinto que el encontrado en el caso de disoluciones acuosas de otras aminas comúnmente empleadas para la captura de dióxido de carbono usando concentraciones semejantes, y con velocidades de reacción similares. En este caso, la elevada influencia de otras aminas sobre el valor de la tensión superficial provoca cambios significativos sobre el área interfacial gas-líquido, que no son producidas por las disoluciones acuosas de glucosamina.

Una vez determinado tanto el diámetro medio de las burbujas bajo las distintas condiciones de operación, y la retención de gas, es posible calcular el área interfacial gas-líquido. Teniendo en cuenta la ecuación 5, se puede concluir que estos dos parámetros tienen un efecto contrario sobre el valor del área interfacial, ya que un aumento del diámetro de las burbujas produce una disminución del área interfacial, mientras que un aumento en la retención de gas produce el efecto contrario. La Figura 5 muestra el comportamiento obtenido para el área interfacial gas-líquido. En dicha figura, se observa que a medida que el caudal de gas es incrementado, el área interfacial generada entre las fases gas y líquido aumenta. Este comportamiento es debido a que, aunque se produce un aumento en el tamaño de las burbujas, es más importante el efecto causado por la retención de gas. Pero a medida que se aumenta en mayor grado el caudal de gas alimentado al equipo de contacto, se alcanza un momento a partir del cual el área interfacial deja de aumentar y se mantiene relativamente constante. Este comportamiento se debe a que el efecto provocado por el aumento del diámetro de las burbujas toma más importancia y compensa el efecto positivo que genera el aumento en la retención de gas.

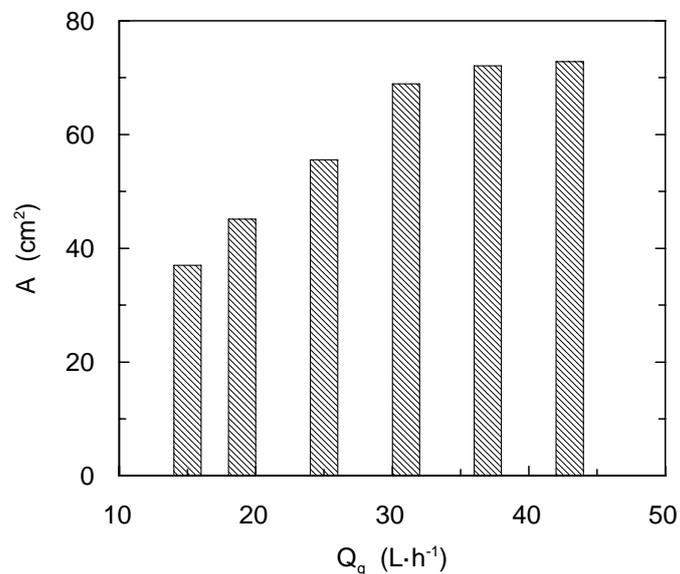


Fig. 5: Influencia del caudal de gas alimentado sobre el área interfacial gas-líquido.

En relación a la velocidad de la fase líquida generada por el ascenso del gas, la Figura 6 muestra que un aumento en el caudal de la fase gaseosa produce un incremento continuo en la velocidad del líquido en el

equipo de contacto, pero parece que tendiendo a alcanzar un valor constante para esta variable cuando se alcanzan valores de caudal de gas elevados (en el rango estudiado).

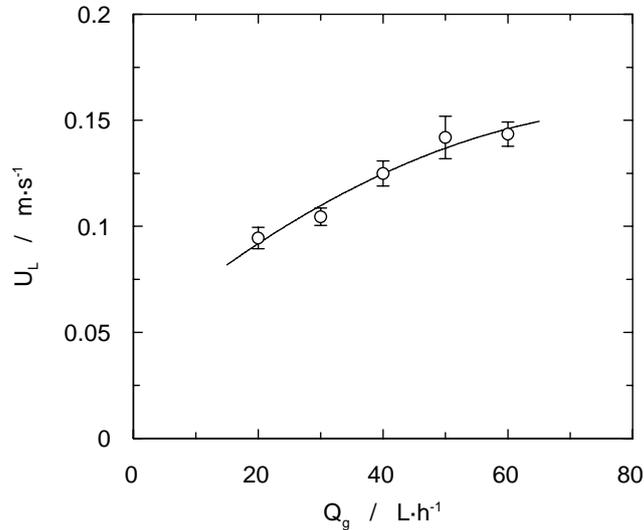


Fig. 6: Influencia del caudal de gas sobre la velocidad de líquido en el equipo de contacto.

Proceso de absorción

Además de los estudios previamente comentados sobre aspectos hidrodinámicos existentes en el equipo de contacto gas-líquido, se han llevado a cabo estudios sobre el proceso de transferencia de materia correspondiente a la absorción de dióxido de carbono en disoluciones acuosas de glucosamina. Este sistema implica también la reacción química entre dióxido de carbono transferido a la fase líquida y la glucosamina, por reacción entre la molécula de gas y el grupo amino existente en la glucosamina.

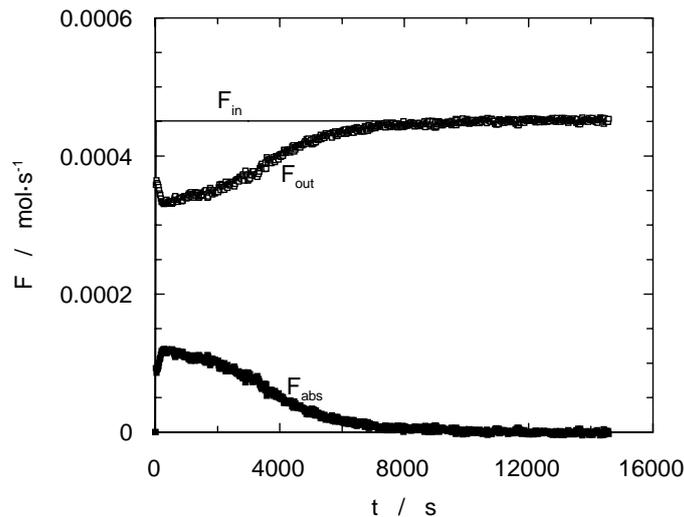


Fig. 7: Ejemplo de los datos experimentales correspondientes a un experimento de absorción. $C_{Bo} = 0.1 \text{ mol} \cdot L^{-1}$. $Q_g = 40 \text{ L} \cdot h^{-1}$.

Un ejemplo de los datos experimentales obtenidos para evaluar el proceso de absorción acompañado de reacción química empleado en el presente estudio se muestra en la Figura 7. Como ya se ha comentado en la sección experimental, la evaluación del proceso de absorción ha sido llevada a cabo en base a los caudales de gas de entrada y de salida del reactor air-lift. Precisamente en la Figura 7 se muestra la evaluación temporal de estas variables. El caudal de entrada fue mantenido constante (representado por una línea en la Figura 7) a lo largo de todo el experimento, y se registró la evolución temporal del caudal de salida. Esta última variable toma un valor mínimo en los instantes iniciales del experimento, y posteriormente va aumentando su valor hasta alcanzar el valor del caudal de entrada. A partir de estos datos, se puede calcular (por diferencia) el caudal de dióxido de carbono que transferido a la fase líquida, el cual también se muestra en la Figura 7. El comportamiento es el contrario al previamente comentado para el caudal de salida, o sea, alcanza un máximo en la cantidad de gas transferida, y posteriormente disminuye hasta que toma valores cercanos a cero. O sea, la velocidad de transferencia de materia es mayor en los instantes iniciales, y posteriormente, debido a que el reactivo en la fase líquida disminuye y que la fuerza impulsora del proceso de absorción también disminuye, la velocidad de transferencia de materia va disminuyendo hasta alcanzar el valor nulo, que indica que se ha alcanzado la saturación.

Si se analiza la influencia de las variables de operación sobre la velocidad de transferencia de materia, de igual manera que anteriormente se llevó a cabo para el área interfacial, o sea, evaluando el efecto que causa la concentración de glucosamina, y el caudal de gas alimentado al reactor, respecto a la primera variables, en la Figura 8 se muestra el comportamiento que se ha observado respecto a la cinética de la cantidad de gas transferida a lo largo de tiempo. En dicha figura se observa un comportamiento semejante al mostrado en la Figura 7, observándose un máximo en la cantidad de gas transferido a la fase líquida, y posteriormente un descenso continuado hasta alcanzar valores cercanos a cero. Respecto a la influencia de la concentración de glucosamina, se observa claramente que a medida que se aumenta dicha concentración, se observa que se alcanza la saturación a un mayor tiempo de operación. Esto es debido a la existencia de reacción química en el seno de la fase líquida entre el dióxido de carbono y la glucosamina, ya que en el caso de que no existiese, la serie de datos correspondiente a la mayor concentración de glucosamina no alcanzaría valores superiores de velocidad de transferencia de materia debido a que la fase líquida tendría mayor viscosidad (Gómez-Díaz y Navaza, 2005), y por lo tanto este hecho reduciría la velocidad de la transferencia, como numerosos estudios han demostrado (Nakanoh y Fumitake, 1980; Álvarez et al., 2000).

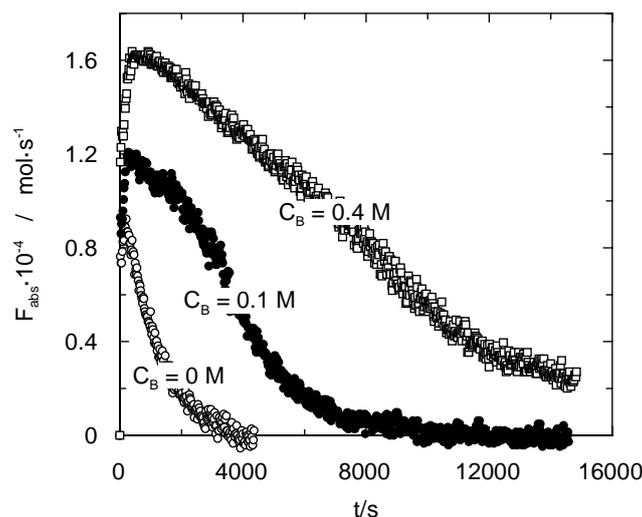


Fig. 8: Influencia de la concentración de glucosamina sobre la velocidad de transferencia de materia. $Q_G = 40 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$

En cuanto a la cantidad de gas absorbido, en la Figura 9 se muestra una comparativa de la cantidad total de gas que se ha transferido de la fase gaseosa a la líquida, observándose que cuanto mayor es la concentración de glucosamina en la fase líquida, la cantidad total de dióxido de carbono transferida aumenta de manera muy notable. El comportamiento observado es típico de un proceso de absorción con reacción química, ya que al aumentar la concentración de glucosamina, se aumenta el número de moles de amina que pueden reaccionar con el dióxido de carbono. Pero a la vista de los datos mostrados en la Figura 9, y analizándolos en base a la capacidad de captura definido como el cociente entre los moles de dióxido de carbono absorbidos partido de los moles de glucosamina presentes en el medio, se puede observar que a medida que la concentración de glucosamina es mayor en la fase líquida se produce una disminución de la capacidad de captura. Este comportamiento ha sido asignado en estudios previos a distintas causas (Bonenfant et al., 2005):

- Un aumento en la viscosidad de la fase líquida debido al aumento en la concentración en glucosamina, lo cual produce una disminución en el coeficiente de difusión.
- Existencia de un proceso de agregación entre las moléculas de amina cuando su concentración aumenta, lo cual produce un aumento en la dificultad de acceso del dióxido de carbono al centro reactivo (grupo amino).

En este caso concreto, la influencia de la concentración de glucosamina sobre la viscosidad no es demasiado significativa teniendo en cuenta los valores de viscosidad previamente determinados (Gómez-Díaz y Navaza, 2005), por lo que la segunda causa podría ser la causante de dicho comportamiento. De todas maneras, se observa que al aumentar la concentración de glucosamina se produce una disminución de la capacidad de captura, como anteriormente se ha comentado, pero para la mayor concentración, dicha capacidad de captura se encuentra muy cercana a 1, por lo que no parece que la segunda causa comentada para la reducción sea viable. A la vista de estos resultados, y atendiendo a que a concentraciones bajas de glucosamina, la capacidad de captura toma valores superiores a la unidad, la conclusión que se puede alcanzar, es que a bajas concentraciones, la parte de absorción física que siempre acompaña al proceso químico tiene una importancia elevada sobre el valor calculado de la capacidad de captura, y a este hecho es al que hay que asignar la disminución en el valor de la capacidad de captura a medida que se aumenta la concentración de glucosamina. Cuando se estudian concentraciones superiores, lo que sucede es que la parte de absorción física pierde importancia respecto a la parte química, reduciéndose el valor de la capacidad de captura.

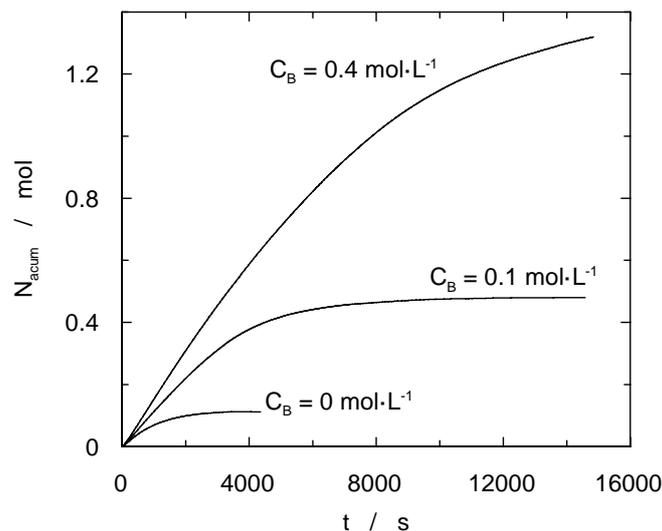


Fig. 9: Influencia de la concentración de glucosamine sobre la cantidad de dióxido de carbono transferido. $Q_q = 40 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$.

Respecto a la influencia del caudal de gas sobre la velocidad de transferencia de materia en el sistema dióxido de carbono – disoluciones acuosas de glucosamina, la Figura 10 muestra un ejemplo de los resultados experimentales obtenidos. Concretamente se observa que existe una importante influencia del caudal sobre la velocidad al cual se transfiere dióxido de carbono a la fase líquida. A medida que el caudal de gas es mayor, ya desde el comienzo de los experimentos, se observa que se transfiere una cantidad mayor y se alcanza la saturación en un menor tiempo de operación. Este comportamiento es debido a dos aspectos, en primer lugar, como ya se comentó en la sección dedicada al estudio de la hidrodinámica del sistema, cuando se aumenta el caudal, se produce un aumento del área interfacial, lo cual tiene una gran importancia sobre la velocidad a la cual se produce la transferencia de materia. Por otra parte, un aumento en el caudal de gas produce un aumento en la turbulencia existente en el seno de la fase líquida, y por lo tanto incrementa la renovación de los elementos de líquido, aumentando a su vez la fuerza impulsora del proceso de transferencia de materia. Ambos aspectos son positivos y favorecen que el gas sea transferido a la fase líquida.

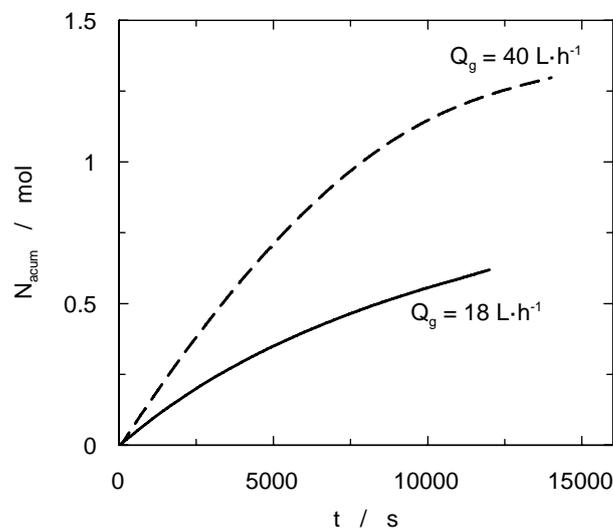


Fig. 10: Efecto del caudal de gas alimentado sobre la velocidad de absorción y la cantidad transferida. $C_{Bo} = 0.4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

CONCLUSIONES

El presente estudio ha analizado el proceso de absorción química de dióxido de carbono en disoluciones acuosas de glucosamina atendiendo a las especiales características del uso de un reactor air-lift. En relación a los aspectos hidrodinámicos de importancia, se ha determinado la velocidad del líquido en el equipo observándose que a medida que se aumenta el caudal de gas alimentado al reactor la velocidad del líquido aumentaba de manera continua hasta alcanzar un valor estable. Un comportamiento semejante fue obtenido para el área interfacial en relación a la influencia del caudal de gas. En cambio, no se observó influencia significativa de la concentración de glucosamina sobre el área interfacial, lo cual muestra diferencias con respecto a otras aminos usadas para el mismo fin.

Respecto a los estudios de transferencia de materia, se ha evaluado tanto la existencia de reacción química como el efecto del caudal de gas y la concentración de glucosamina. Se observó que a medida que se aumenta el caudal de gas se produce un aumento en la velocidad a la cual se satura la fase líquida, debido tanto al aumento en el área interfacial como al aumento en la turbulencia producida en la fase líquida. Por otro lado una aumento en la concentración de glucosamina produce también un aumento en la cantidad de gas capturado, debido a que hay una mayor cantidad de reactivo en la fase líquida.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha sido parcialmente financiada por la Xunta de Galicia a través del proyecto No. 07MDS005265PR. Diego Gómez-Díaz agradece al Ministerio de Ciencia e Innovación la concesión de una plaza "Ramón y Cajal".

REFERENCIAS

- Álvarez, E.; Sanjurjo, B.; Cancela, A.; Navaza, J.M. (2000); *Mass transfer and influence of physical properties of solutions in a bubble column*. Chemical Engineering Research and Design: 78, 889–893.
- Bonenfant, D.; Mimeault, M.; Hausler, R. (2005); *Comparative analysis of the carbon dioxide absorption and recuperation capacities in aqueous 2-(2-aminoethylamino)ethanol (AEE) and blends of aqueous AEE and n-methyldiethanolamine solutions*. Industrial and Engineering Chemistry Research: 44, 3720-3725.
- Bonenfant, D.; Mimeault, M.; Hausler, R. (2007); *Estimation of the CO₂ absorption capacities in aqueous 2-(2-aminoethylamino)ethanol and its blends with MDEA and TEA in the presence of SO₂*. Industrial and Engineering Chemistry Research: 46, 8968-8971.
- Glasscock, D.A.; Critchfield, J.A.; Rochelle, G.T. (1991); *CO₂ absorption/desorption in mixtures of Methyldiethanolamine with Monoethanolamine or Diethanolamine*. Chemical Engineering Science: 46, 2829-2845.
- Gómez-Díaz, D.; Navaza, J.M. (2005); *Viscosimetric study of aqueous solutions of glucosamine and its mixtures with glucose*. Journal of Food Engineering: 68, 403–408.
- Gómez-Díaz, D.; Navaza, J. M.; Sanjurjo, B.; Vázquez-Orgeira, L. (2007); *New absorbent for CO₂ removal*. Afinidad: 64, 705-708.
- Gómez-Díaz, D.; Navaza, J. M. (2008); *Kinetics of carbon dioxide absorption into aqueous glucosamine solutions*. AIChE Journal: 54, 321-326.
- Horng, S.-Y.; Li, M. (2002); *Kinetics of absorption of carbon dioxide into aqueous solutions of Monoethanolamine + Triethanolamine*, Industrial and Engineering Chemistry Research: 41, 257-266.
- Liao, C.-H.; Li, M. (2002); *Kinetics of absorption of carbon dioxide into aqueous solutions of Monoethanolamine + N-Methyldiethanolamine*. Chemical Engineering Science: 57, 4569-4582.
- Linek, V.; Sinkule, J.; Havelka, P. (1994); *Empirical design method of industrial carbon dioxide-mixed solvent absorbers with axial dispersion in gas*. Industrial and Engineering Chemistry Research: 33, 2731-2737.
- Nakanoh, M.; Fumitake, Y. (1980); *Gas absorption by Newtonian and non-Newtonian liquids in a bubble column*. Industrial and Engineering Chemistry Research: 19, 190–195.
- Shah, Y.T.; Kelkar, B.G.; Godbole, S.P.; Deckwer, W.-D. (1982); *Design parameters estimation for bubble Column reactors*. AIChE Journal: 28, 353-379.
- van't Riet, K.V.; Tramper, J. (1991); *Basic bioreactor design*. New York, Marcel Dekker Inc.
- Versteeg, G.F.; van Swaaij, W.P.M. (1988); *On the kinetics between CO₂ and alkanolamines both in aqueous and non-aqueous solutions I. Primary and secondary amines*. Chemical Engineering Science: 43, 573-585.