

# Simulación de una torre de absorción para la purificación de biogas

Gloria Plaza\*

Graciela Morales†

Daniel Cabrera ‡

INENCO§

Universidad Nacional de Salta

Buenos Aires 177

4400 - Salta

Te/Fax (087) 251034

## Resumen

El biogas, producto de la biodigestión de desechos agroindustriales, necesita ser purificado para su directa utilización en viviendas o como combustible para automotores de alto poder calorífico ( $8.600 \text{ kcal/m}^3$ ).

La purificación del biogas prevee una primera etapa de liberación del sulfuro de hidrógeno, antes de ser alimentado a la torre de absorción donde se libera el  $\text{CO}_2$ .

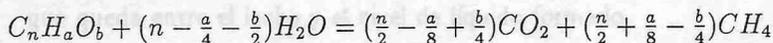
Para el diseño de la torre rellena de absorción se trabajó en base al simulador desarrollado en (1). El uso de este simulador permitió determinar el diámetro y la altura de la torre rellena con anillos Raschig de 1 *pulg.*

Se simuló la purificación de biogas para la producción diaria del mismo en un reactor de 160 l de capacidad para una escala laboratorio y otro de 40.000 l para la escala piloto.

## 1 Introducción

La producción de metano a partir de desechos es el beneficio mas tangible de la digestión anaeróbica, considerando que los otros beneficios son difíciles de cuantificar.

El biogas que se produce en el digestor no es metano puro, siendo la cantidad y composición del mismo función de la alimentación al digestor y puede ser determinada por la fórmula de Buswell (1).



Cuando esta ecuación es aplicada a los tres principales constituyentes de la materia orgánica se obtiene un rango de composición para la obtención de biogas. Como componentes principales se encuentra el metano en un rango de 60 a 70 % y dióxido de carbono de 30 a 40 %. El biogas contiene otros componentes tales como monóxido de carbono, hidrógeno, nitrógeno, oxígeno y sulfuro de hidrógeno, cuya composición exacta depende de

\*Profesional del CONICET

†Facultad de Ingeniería

‡Facultad de Ingeniería

§Instituto UNSa. CONICET

la alimentación y modo de operación. La presencia de nitrógeno en el digestor en cantidades superiores a 3% es indicativo de la contaminación del reactor con aire, de la misma manera se interpreta para concentraciones superiores a 0,1 % de oxígeno. El hidrógeno es un producto normal de la etapa formadora de ácido, pero considerando que puede ser utilizado directamente por las bacterias metanogénicas, su concentración en el biogas es a veces alta (entre 1 a 10 %). El sulfuro de hidrógeno se forma por las bacterias reductoras de sulfato y su producción depende de la presencia de componentes sulfurados en la alimentación y se encuentra generalmente en trazas, excepto en algunos desechos industriales para los cuales puede superar el 5 %.

El volumen de biogas producido por peso de materia orgánica alimentada al digestor también varía y depende de varios factores tales como tipo de digestor, temperatura y velocidad de carga al sistema.

El valor calorífico del biogas obviamente depende de las proporciones de metano y dióxido de carbono y de la saturación del gas con agua. El gas contiene gran cantidad de agua que se mezclará con el metano, la misma proviene de la vaporización de la humedad de la mezcla en digestión por la temperatura del reactor. Para los rangos normales de metano y dióxido de carbono, los valores caloríficos variarán entre 4.860 a 6.300  $\frac{kcal}{l}$ . Si el gas es secado su valor calorífico aumenta y una vez librado de su componente dióxido de carbono el valor calorífico se aproxima al gas metano puro. En la siguiente tabla se muestra el valor calorífico del biogas y otros gases.

Gas	Valor Calorífico $\frac{kcal}{m^3}$
gas de carbon	4050 a 4500
biogas	4860 a 6300
metano	8064 a 9621
gas natural	9450 a 19800
propano	19800 a 23400
butano	26100 a 30600

Tabla 1: **Comparación de los valores caloríficos del biogas y otros gases combustibles**

Es importante resaltar que el metano mezclado con ciertas proporciones de aire (5 a 14% de metano) da lugar a una mezcla altamente inflamable y puede fácilmente ocasionar explosiones.

### 1.1 Disposición del biogas

La disposición del biogas para el consumo requiere algunos procesos adicionales como acumulación, depuración y lavado, con el fin de tener un fluido de alto poder calórico.

Si tenemos en cuenta que los gases obtenidos por el biodigestor tienen un pequeño porcentaje de sulfhídrico, gas sumamente tóxico y corrosivo, es necesario eliminarlo de la corriente gaseosa, para evitar su acción nociva antes de almacenarlo en un gasógeno. Asimismo es necesario liberar al biogas de  $CO_2$  para mejorar su valor calorífico.

## 1.2 Utilidad del biogas

El biogas o el metano puede ser utilizado de diversas maneras, como el gas natural, y el interés de utilizarlo depende de la cantidad de biogas producido.

En nuestra región NOA el consumo promedio anual per cápita es de  $5000 \frac{kcal}{dia}$  para satisfacer variadas necesidades. Si bien Salta es una de las provincias Argentinas privilegiadas por las reservas comprobadas de gas natural que estan en el orden de  $150.000 * 10^6 m^3$ , su disponibilidad es nula en sitios aislados, y gran parte de regiones rurales.

En otros países, tal es el caso de Gran Bretaña necesita  $5.500 \frac{kcal}{dia}$  sólo para propósitos culinarios, lo que corresponde a  $255 l$  de biogas, cifra que puede ser provista por el tratamiento de sus desechos .

El biogas tambien es utilizado internamente en el proceso de tratamiento de residuos como gas recirculante dentro del digestor con el fin de homogeneizar el mismo y como gas calefactor del reactor para controlar la temperatura de funcionamiento de digestión.

Una utilidad muy difundida del biogas es como combustible de medios de transporte para lo cual se debe comprimir a altas presiones.

Para todo uso es primordial su purificación, previo almacenamiento en un gasómetro.

## 2 Sistema de purificación del biogas

El sistema de purificación comprende principalmente, la concentración del gas metano y eliminación del sulfhídrico y anhídrido carbónico.

De la parte superior del digestor, se conduce el biogas al sistema de purificación.

El sistema de purificación propuesto comprende básicamente:

- **FILTRO DE  $SH_2$ :** El procedimiento más seguro para eliminar el  $SH_2$  del biogas, es utilizando un filtro que tiene óxidos de hierro hidratados, como la limonita. Este material se lo encuentra en estado natural. El equipo necesita que se trabaje con una humedad del 35 a 40%, y el rango de operación donde mejor se comporta está entre los 20 y 35°C. Es conveniente que el medio sea levemente alcalino. La operación consiste en hacer pasar el gas a purificar por un lecho de limonita sostenida por una malla dentro de una caja metálica. Por la reacción del  $SH_2$  se produce una solución de  $SFe$  que sale por la parte inferior; y el gas purificado se evacúa por un espacio que queda entre el lecho y el nivel de líquido formado.



- **ABSORCION DE  $CO_2$**

El absorbedor de  $CO_2$  es una columna rellena con anillos Raschig de 1 pulg, colocados sobre una rejilla. Aquí el gas fluye hacia arriba contra una corriente de una solución absorbente. En el presente trabajo se utiliza al agua como líquido absorbente

En la Figura 1, se esquematiza el sistema de purificación planteado.

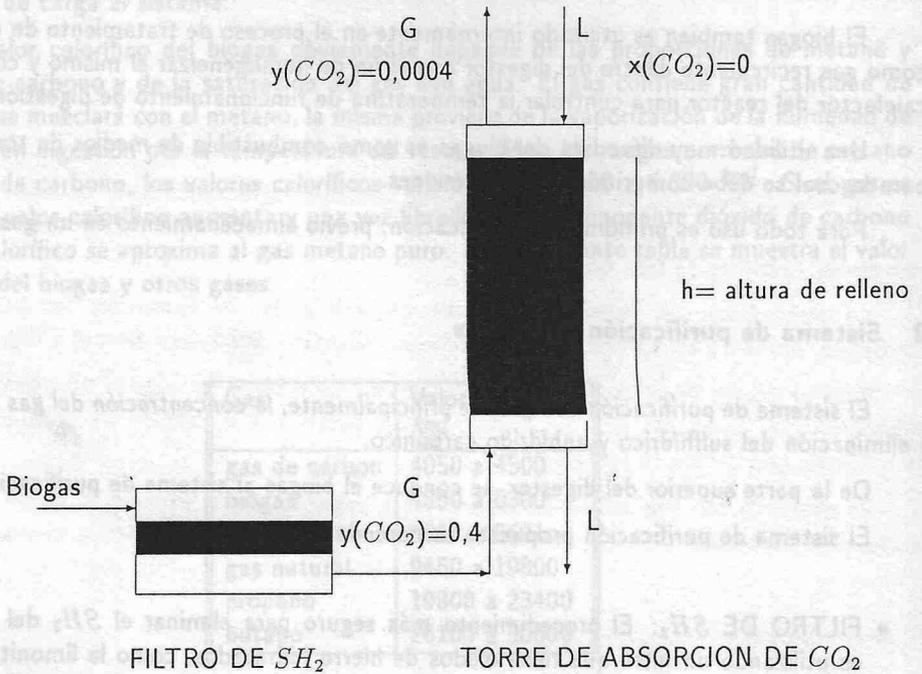


Figura 1: Sistema de purificación de biogas

## 4 Líquidos Absorbentes

En esta primera etapa se ha seleccionado agua como líquido absorbente, quedando abierta la posibilidad de un posterior estudio de absorción de  $CO_2$  en las disoluciones acuosas que se emplean mas corrientemente: monoetanolamina (M.E.A.) de 15 a 20% y dietanolamina (D.E.A.) a 20 o 30%. En ambos casos es necesario considerar las reacciones químicas que tienen lugar.

Otro líquido de interés a utilizar como absorbente es la solución de carbonato de potasio.

## 5 Resultados de la simulación

El programa permite conocer la altura del relleno de torre necesario para absorber el  $CO_2$  de una corriente gaseosa de caudal y composición conocidos en una torre de diámetro especificado, mediante la integración del sistema de ecuaciones diferenciales que definen el proceso. El programa determina también el flujo de líquido absorbente necesario, la relación de flujo de líquido de trabajo a flujo de inundación y la pérdida de presión a lo largo del lecho relleno.

En los casos en que no se especifique el diámetro de la torre previamente, el programa determina juntamente con la altura del relleno, el diámetro de la misma necesario para las condiciones de absorción especificadas.

Se realizó la simulación de la torre de absorción de 0,11m de diámetro, rellena con anillos Raschig de 1 pulg para absorber  $CO_2$  de un flujo de gas de  $6,10410^{-3} \frac{kg}{hr}$  para la escala laboratorio; y  $1,525 \frac{kg}{hr}$  para la escala piloto.

La fracción molar de  $CO_2$  en el biogas a la entrada de la torre fue de 0,4. La simulación se realizó a la temperatura de  $15^{\circ}C$  y a presión de 1 atm.

De la simulación de la torre a  $15^{\circ}C$ , con el sistema  $CH_4 - CO_2 - H_2O$ , a presión de 1 atm y considerando que la fracción de  $CO_2$  en el gas a la salida de la torre purificadora es de 0,0004 se obtienen los siguientes resultados:

	Escala laboratorio	Escala Piloto
Flujo total de gas a la entrada ( $kg/hr$ )	0,0061	1,5250
Area/Volumen de relleno ( $m^2/m^3$ )	190	190
Fracción de huecos del lecho	0,73	0,73
Diámetro de la torre ( $m$ )	0,11	0,11
Sección de la torre ( $m^2$ )	0,0095	0,0095
Altura de relleno ( $m$ )	0,10	0,32
Pérdida de carga ( $mm$ de agua)	$0,12 * 10^{-6}$	$0,26 * 10^{-1}$
Flujo del líquido absorbente ( $kg/hr$ )	258,405	3725,325

Tabla 2: Simulación de la torre de absorción para el sistema  $CH_4 - CO_2 - H_2O$

### 3 Simulación de una torre de absorción

Dado que se intenta usar como unidad de purificación una torre de absorción, se realizó en esta primera etapa el diseño y la simulación de la misma. Se considera que la torre trabaja en forma isotérmica.

Para el diseño y simulación de la torre se utilizó el programa de computación desarrollado por Capretto de Castillo et al. (1).

Este programa de cálculo por computadora está desarrollado en lenguaje de máquina BASIC y requiere de un previo análisis del comportamiento fluidodinámico del sistema y de la ecuación de equilibrio del componente que se transfiere en las fases en contacto.

El método de cálculo empleado por el simulador consiste en la resolución de las ecuaciones de balance de materia para el componente  $CO_2$  en cada fase. El cálculo de la composición de equilibrio entre fases se realiza determinando previamente una función polinómica que ajusta los datos de equilibrio. Para el cálculo de los coeficientes de transferencia de materia se utilizan correlaciones apropiadas que se dan en bibliografía (2) y (3).

#### 3.1 Procedimiento para el diseño de la torre de absorción

Para diseñar una torre de absorción, es necesario confeccionar una base de datos que básicamente comprende:

- Determinar la composición, temperatura y presión de la corriente gaseosa a tratar.
- Decidir el componente a ser eliminado y la máxima tolerancia admisible que puede tener del mismo la corriente gaseosa a la salida de la torre.
- Determinar los datos físicos químicos de ambas fases. Se deben especificar datos para ambas fases tales como viscosidad, densidad, composición de equilibrio, coeficientes de difusividad y tensión superficial del líquido para el cálculo de los coeficientes de transferencia de masa.
- Definir las condiciones operativas del sistema. El sistema se opera en estado estacionario e isotérmico.
- Seleccionar el tipo de relleno. Se adoptan anillos Raschig de 1 pulgada
- Adoptar el diámetro de la torre. Diámetro adoptado 0,11m.
- Definir las condiciones iniciales y de contorno del sistema.

Con esta base de dato se procede a ejecutar el programa de simulación.

El biogas alimentado a la torre de absorción tiene una densidad de  $1,159 \text{ kg/m}^3$  y una viscosidad de  $0,018605 \text{ cp}$ , siendo la temperatura de trabajo de la torre de  $15^\circ\text{C}$ . En consecuencia se diseñaron a temperatura constante ( $15^\circ\text{C}$ ) las torres que operan purificando el gas producido por los reactores laboratorio y planta piloto.

En la Figura 2 se observan los perfiles de concentración de  $CO_2$  a lo largo de la torre en ambas fases para la escala laboratorio.

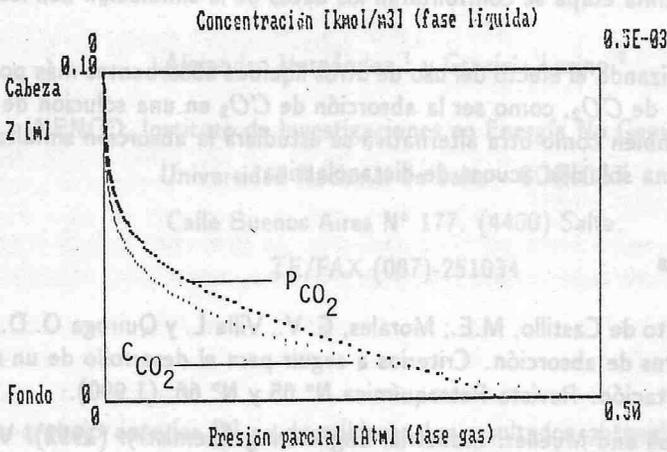


Figura 2: Perfiles de concentración de  $CO_2$  en escala laboratorio

Para la escala piloto la variación de la concentración de  $CO_2$  a lo largo de la torre se gráfica en Figura 3.

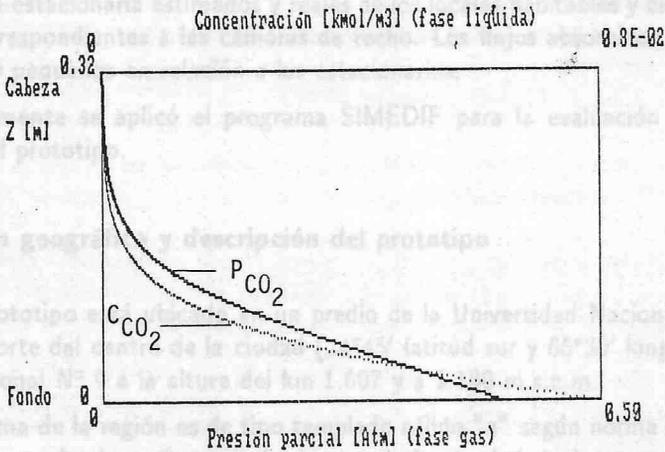


Figura 3: Perfiles de concentración de  $CO_2$  en escala piloto

## 6 Conclusiones

En la primera etapa se utilizó agua como líquido absorbente, para separar  $CO_2$  del biogas, previa separación del  $SH_2$ , obteniéndose como resultado la construcción de una torre rellena de una altura de 0,10 m con un caudal líquido absorbente (agua)

de 258,405  $kg/hr$  para la escala laboratorio y una altura de 0,32  $m$  con un caudal de agua de 3.725  $kg/hr$ , ambas de 11  $cm$  de diámetro.

En una próxima etapa se confrontarán los datos de la simulación con los datos experimentales.

Se está analizando el efecto del uso de otros líquidos absorbentes más poderosos para la absorción de  $CO_2$ , como ser la absorción de  $CO_2$  en una solución de monoetanolamina. También como otra alternativa se estudiará la absorción simultanea de  $SH_2$  y  $CO_2$  en una solución acuosa de dietanolamina.

## Referencias

1. Capretto de Castillo, M.E.; Morales, G. V., Villa L. y Quiroga O. D.. Simulación de torres de absorción. Criterios a seguir para el desarrollo de un programa de computación. Revista Petroquímica N° 65 y N° 66, (1.990).
2. Busswell and Mueller. Industrial Engineering Chemistry. (1952). V 44. 550.
3. Astarita G., Savage D. W.. Chemical Absortion in Concepts and design of Chemical Reactors. Chapter 9 . Edited by S. Whitaker and A. E. Cassano, Gordon and Breach Sc. Publishers S.A. (1.986).
4. De Leye, Froment G. F. , Computer of Chemical Engineering, Vol 10, N 5, pp. 493 - 504 (1.986).