

**PICK OF THE TEST OF VARIABLES AND PROCESS SYSTEM
BIODIGESTION IN SEPARATE PHASES (ACIDOGENESIS AND
METHANOGENESIS)**

**SELECCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN Y VARIABLES DE PROCESO DE
UN SISTEMA DE BIODIGESTION EN FASES SEPARADAS
(ACIDOGÉNESIS Y METANOGÉNESIS)**

**PhD. Jacipt Alexander Ramón V., Ing. Erika Yesenia Carrillo Sánchez
PhD. Mario Javier Vargas**

Universidad de Pamplona

Grupo de Investigaciones Ambientales Agua, Aire y Suelo (GIAAS)

Tel: 57-7-5685303, Fax: 57-7-5685303 Ext. 140

E-mail: {jacipt, mvargas}@unipamplona.edu.co

Abstract: The control of biochemical processes in which the degradation of biomass by the action of microorganisms allows the generation of alternative energy carries with it the importance of selecting proper instrumentation to provide an optimum monitoring and control of the process variables, taking into account the above In this paper describes the selection criteria for implementation of a process of anaerobic biodigestión in separate phases in which they monitor and control variables such as pressure, temperature, pH level, agitation, determining factors in stages in the acidic and methanogenic degradation of the material and production of biogas.

Resumen: El control de procesos bioquímicos en donde la degradación de la biomasa por la acción de microorganismos permite la generación de energías alternativas lleva consigo la importancia de seleccionar adecuadamente la instrumentación que proporcione un óptimo monitoreo y control de las variables del proceso; teniendo en cuenta lo anterior, en este trabajo se describe los criterios de selección de instrumentación de un proceso de biodigestión anaerobia en fases separadas en el que se supervisarán y controlarán variables como presión, temperatura, pH, nivel, agitación, factores determinantes en las fases acidogénica y metanogénica en la degradación de la materia y producción de biogás.

Keywords: Acidogénesis, biodigestion anaerobic, biodigestor, detailed, level, methanogenesis, measurement, pH, pressure, temperature, separate phases.

1. INTRODUCCIÓN

Los procesos industriales exigen el control de la fabricación de los diversos productos obtenidos. Los procesos son muy variados y abarcan muchos tipos de productos: la fabricación de los productos

derivados del petróleo, de los productos alimenticios, la industria cerámica, las centrales generadoras de energía, la siderurgia, los tratamientos térmicos, la industria papelera, la industria textil, la industria química, entre otros. (Bustillos, 2001).

En todos estos procesos es absolutamente necesario controlar y mantener constantes algunas magnitudes, tales como la presión, el caudal, el nivel, la temperatura, el pH, entre otros. Los instrumentos de medición y control permiten el mantenimiento y la regulación de estas constantes en condiciones más idóneas que las que el propio operador podría realizar. (Bustillos, 2001)

El sistema de control exige pues, para que esta comparación y subsiguiente corrección sean posibles, que se incluya una unidad de medida, una unidad de control, un elemento final de control y el propio proceso, mediante estas unidades se compara el valor de la variable o condición a controlar con un valor deseado y se toma una acción de corrección de acuerdo con la situación existente sin que el personal intervenga en absoluto. (Bustillos, 2001)

2. CÁLCULO DE LAS VÁLVULAS DE CONTROL DE PRESIÓN

Para el cálculo de las válvulas de control de presión se utilizaron datos del diseño de una planta generadora de biogás, a partir de las siguientes variables:

$$Q = 0.79222825 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$P_{11} = P_{13} = 3.8394 \text{ psia}$$

$$P_{12} = P_{14} = 2.4885 \text{ psia}$$

$$T = 32.5^\circ \text{C}$$

En la figura 1 se muestra el esquema general del sistema, con sus respectivas válvulas de control de presión para la salida de los gases.

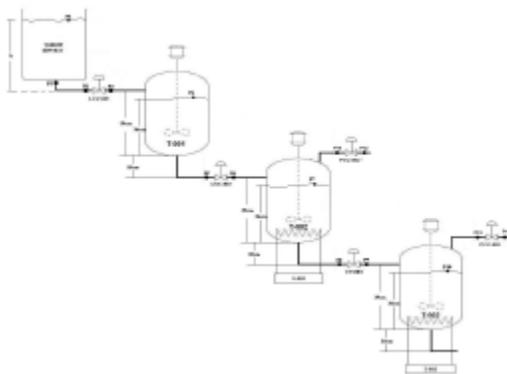


Fig. 1. Cálculo de las presiones del sistema para el cálculo de las válvulas PCV-002 y PCV-003

Para hacer el cálculo de estas válvulas se tuvo en

cuenta la gravedad específica de los gases que se van a generar, esta se obtiene multiplicando los porcentajes de la composición molar de cada uno de los compuestos, con el fin de obtener mediante sus porcentajes, las temperaturas y presiones críticas para luego conseguir las temperatura y presiones reducidas para los gases generados. En la tabla 1 se muestra las características básicas de los gases (Carbono y Metano) que se generarán en el proceso de biodigestión para el cálculo y selección de las válvulas de presión.

Tabla 1. Características del Metano y el Dióxido de carbono

Gases	Porcentaje del gas combustible	G (lbs/ft ³)	Temperatura Crítica (°C)	Presión Crítica (psi)
CH ₄	60 %	0.0251	-49.8	403.8
CO ₂	40 %	0.0468	12.4	428.8

La densidad es 0.159 lbs/ft³. Para obtener la densidad específica del gas, se divide la densidad entre la densidad del aire.

$$G=0,452201257$$

$$T_c=37,4^\circ\text{C}$$

Las temperaturas y presiones reducidas se obtienen mediante las siguientes ecuaciones 1 y 2:

$$P_r = \frac{\text{Presión del proceso (absoluta)}}{\text{Presión crítica (absoluta)}} \quad (\text{Ecuación 1})$$

$$T_r = \frac{\text{Temperatura del proceso (absoluta)}}{\text{Temperatura crítica (absoluta)}} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Teniendo en cuenta la tabla de compresibilidades, se nota que el factor de compresibilidad es $Z=0.97$. Ahora se calculará el C_v de la válvula, para lo cual se tendrán en cuenta los valores en unidades de bares correspondientes a las presiones.

$$P_{11}=0.169218 \text{ bar}$$

$$P_{12}=0.26453466 \text{ bar}$$

$$\Delta P= 0.09531666 \text{ bar}$$

$$P_{11} + P_{12}=0.43375266 \text{ bar.}$$

Aplicando todos los datos obtenidos a partir de ecuación 3 de la siguiente forma:

$$C_v = \frac{Q}{295} \sqrt{\frac{GTZ}{\Delta P(P_1 + P_2)}} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Se tiene que $C_v = 0.049867346$

2.1 Cálculo de la placa de orificio

Con el fin de que se obtenga un β óptimo se escoge un $\Delta P=2.5$ bar y se hará un cambio de unidades a kg/dm^3 . Donde $G=0.45 \text{ lbs}/\text{ft}^3= 5.6932 \times 10^{-4} \text{ kg}/\text{dm}^3$. Entonces se tiene las ecuaciones 4 y 5:

$$K_v = Q \sqrt{\frac{G}{\Delta P}} = 0.11955246 \quad (\text{Ecuación 4})$$

Como la tubería es de 2.54cm de diámetro, el diámetro de la placa orificio se obtiene mediante:

$$d = \sqrt[4]{\frac{4K_v^2 d^4}{d^4 p^2 + 4K_v^2}} = 1.8005 \text{ cm} \quad (\text{Ecuación 5})$$

Las características de la válvula deben ser:

$$C_v = 0.049867346$$

$$K_v = 0.11955246$$

$$d = 1.8005 \text{ cm}$$

3. AGITADORES

3.1 Número de Reynolds

La transición del flujo laminar a flujo turbulento no depende únicamente de la velocidad del fluido sino también de su viscosidad y su densidad. El número de Reynolds es un parámetro utilizado para caracterizar el flujo de fluido. Para el caso del flujo desarrollado en tuberías con área transversal circular, el número de Reynolds Re se define como se muestra en la ecuación 6:

$$Re = \frac{D u \rho}{\mu} \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde D = diámetro de la tubería.

u = velocidad lineal media del fluido

ρ = Densidad del fluido

μ = La viscosidad del fluido.

Como en nuestro caso, se trata de recipientes agitados, el número de Reynolds se define en la ecuación 7:

$$Re_i = \frac{N_i^2 D_i^2 \rho}{\mu} \quad (\text{Ecuación 7})$$

Donde Re_i = Número de Reynolds rodete.

N_i =Velocidad del agitador.

D_i =Diámetro del rodete.

ρ = Densidad del fluido.

μ = La viscosidad del fluido.

El diseño del equipo de mezcla se utilizara un rodete que va soportado sobre el tanque. Hay que tener en cuenta que cuando se utilizan fluidos newtonianos, la relación entre el diámetro del tanque y la del rodete es normalmente 3:1. El rodete va colocado en la parte inferior de un agitador mecánico, situado en el centro del tanque, en este caso, el agitador se moverá por medio de un motor.(Doran, 1998)

El tipo de flujo existente en un tanque agitado depende del diseño del rodete, de las propiedades del fluido y del tamaño y las proporciones geométricas del recipiente, de los deflectores y del agitador.

Para nuestro caso, como el fluido contiene sólidos, utilizaremos un rodete de flujo axial ya que este impedirá que los sólidos se depositen en el fondo del tanque.

Otro de los aspectos importantes en el diseño del equipo de mezclado es el tiempo de la mezcla, ya que es un parámetro útil para valorar la efectividad de la mezcla y se aplica para la caracterización del flujo en fermentadores y reactores, que es el caso en cuestión. El tiempo de mezcla es el tiempo necesario para alcanzar un cierto grado de homogeneidad, partiendo de un estado completamente segregado.

Para mover los rodetes en los recipientes se utiliza energía eléctrica. Para una determinada velocidad de agitación, la potencia necesaria depende de la resistencia ofrecida por el fluido a la rotación del rodete. La potencia de mezcla para fluidos no aireados depende de la velocidad del agitador, del diámetro y geometría del rodete y de propiedades del fluido como la densidad y la viscosidad. (Doran, 1998)

El número de potencia N_p se define como se muestra en la ecuación 8:

$$N_p = \frac{P}{\rho N_i^3 D_i^5} \quad (\text{Ecuación 8})$$

Donde P = Potencia

N_i =Velocidad del agitador.

D_i =Diámetro del rodete.

ρ = Densidad del fluido.

Como se trata de un régimen turbulento es independiente del número de Reynolds, entonces la potencia se calcula a partir de la ecuación 9:

$$P = N_p' r N_i^3 D_i^5$$

Donde N_p' es un valor constante del número de potencia en el régimen turbulento. En la tabla 2, se muestran los valores aproximados de N_p' para rodetes de tipo turbina Rushton, canaleta, hélice marina, ancla y cinta helicoidal.

*Tabla 2. Valores de las Constantes K_l y N_p' .
(Doran, 1998)*

Tipo de rodetete	K_l ($R_e=1$)	N_p' ($R_e=10^5$)
Turbina Rushton	70	5-6
Canaleta	35	2
Hélice Marina	40	0.35
Ancla	420	0.53
Cinta Helicoidal	1000	0.35

Como el diámetro del tanque a utilizar en el diseño es de 36cm, y teniendo en cuenta se debe mantener una relación de 3:1 entre el diámetro del tanque y el diámetro del rodetete, entonces, el diámetro del rodetete debe ser de 12 cm, y se va a utilizar del tipo hélice marina, ya que este opera con velocidad elevada y se emplea para líquidos pocos viscosos, aplicando la ecuación 9, se tiene:

$$\begin{aligned} N_p' &= 0.35 \\ \rho &= 961.107866 \text{ kg/m}^3 \\ N_i &= 1550 \text{ rpm o } 25.83333 \text{ rps} \\ D_i &= 0.12 \\ P &= 144.30w \end{aligned}$$

4. MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA

Los sistemas térmicos son aquellos que comprenden la transferencia o transmisión de calor de una sustancia a otra. [Ogata, 1993].

Existen diferentes sensores que se utilizan en la industria de procesos para medir la temperatura, entre los que se pueden mencionar: Termómetro de bulbo (líquido, gas y vapor); Termómetros bimetalicos; Termopares, Termoresistencias, etc.

La selección y especificación apropiada de un instrumento de temperatura, depende mucho del conocimiento de los diferentes tipos de sensores disponibles, de sus limitaciones y de consideraciones prácticas.

Para el desarrollo de este proyecto se utilizarán sensores de temperatura de tipo RTD, debido a que son lineales, tienen elementos sensitivos basados en conductores metálicos, que cambian su resistencia eléctrica en función de la temperatura.

Inicialmente se trabajará con una PT100, que es un resistor, que cambia su valor según el cambio de la temperatura. Es un "PTC", un resistor con un "Positive Temperature Coefficient", es decir que cuando la temperatura aumenta, también el valor de resistencia aumenta.

5. MEDICIÓN DEL NIVEL

Para el desarrollo del proyecto se analizará los sistemas con flujo turbulento, estos sistemas suelen representarse mediante ecuaciones diferenciales no lineales. Para ello se tendrá en cuenta el concepto de resistencia y capacitancia con el fin de describir las características dinámicas del sistema de forma sencilla.

Para la medición del nivel se debe tener en cuenta que la medición puede ser de varios tipos: por medida directa de la altura del líquido en el tanque con relación a una línea de referencia, por la medida de la presión hidrostática, por el desplazamiento producido en un flotador y por el propio líquido o aprovechando las características eléctricas del líquido.

Para medir el nivel del tanque en este proyecto se tendrá en cuenta que se trata de tanques cerrados y a presión. Por esta razón, una medición simple de presión hidrostática no se puede usar. La influencia de la presión en un tanque cerrado incluye: el peso o presión del líquido y la presión o el vacío ejercidos encima de la superficie del líquido.

6. MEDICIÓN DE LA PRESIÓN

Existen muchas razones por las cuales en un determinado proceso se debe medir presión. Entre estas se tienen: Calidad del producto, la cual frecuentemente depende de ciertas presiones que se deben mantener en un proceso; Por seguridad, como por ejemplo, en recipientes donde la presión no debe exceder un valor máximo dado por las especificaciones del diseño; En aplicaciones de medición de nivel; en aplicaciones de medición de flujo. Las razones por las cuales se medirá la presión en este proyecto son las expuestas anteriormente, puesto que se trata de tanques

cerrados en donde por medio del proceso de biodigestión anaerobia se producirán gases. Para este proyecto, se utilizaron transductores piezoresistivos debido a las características que estos presentan y las ventajas que nos ofrecen con respecto a las características del sistema a implementar.

La piezoelectricidad se define como la producción de un potencial eléctrico debido a la presión sobre ciertas sustancias cristalinas como el cuarzo, titanato de bario, etc. En un sensor piezoeléctrico la presión aplicada sobre varios cristales produce una deformación elástica.

7. MEDICIÓN DEL pH

El control de pH es un problema muy importante en muchos procesos. La importancia del pH en el proceso de biodigestión anaeróbica radica en la estimación de las fases de este proceso. Cuando el pH es ácido, se favorece la tasa de crecimiento de los microorganismos hidrolíticos y acidogénicos y por consiguiente un buen desempeño en la etapa acidogénica mediante la degradación de la materia orgánica a ácidos grasos volátiles, con un pH básico, se favorece el crecimiento de los microorganismos metanogénicos ya que actúan sobre los ácidos grasos volátiles provenientes de la etapa acidogénica para obtener el biogás. En la etapa metanogénica una disminución del pH lleva a que el metabolismo de las bacterias metanogénicas se reduzca generando acumulaciones de ácidos grasos volátiles.

A mayor estabilidad de pH, la producción de metano, aumenta pronunciadamente permitiendo que las bacterias metanogénicas puedan consumir los ácidos grasos volátiles presentes.

Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado, resulta un factor importante la medición del pH, pues de éste depende notablemente el proceso de biodigestión anaerobia, por ello la selección adecuada del instrumento de medición juega un papel fundamental.

8. CONCLUSIONES

La selección adecuada de los Instrumentos de medición permite en gran parte asegurar el óptimo funcionamiento de la planta, puesto que al mantener una buena medición de las variables,

permite tener un control óptimo del proceso, más fácil y confiable en la toma de decisiones.

Un sistema de control exige fundamental de cuatro partes: el proceso, la unidad de medida, la unidad de control y el elemento final de control. La unidad de medida juega un papel importante en el sistema, ya que mediante ésta se adquiere un conocimiento del estado del proceso, para que la unidad de control actúe y tome decisiones frente al proceso.

En el proceso de biodigestión anaerobia resulta de gran importancia el monitoreo y control de las variables que intervienen en este proceso, puesto que estas variables están unidas inevitablemente en la estabilidad del proceso en general. Como se mencionó anteriormente, una disminución o un aumento de pH, presión, temperatura, etc., afectan directamente el metabolismo de las bacterias que intervienen en el proceso, afectando directamente la calidad del producto final (biogás y bioabono).

REFERENCIAS

- Arteaga C, Y., Carballo A, L., Márquez M, F., Urbáez M, C. "Biomasa: alternativa sustentable para la producción de Biogás". Universidad de Pinar del Río "Hermanos Saíz Montes de Oca". Facultad de Forestal y Agronomía. Departamento de Química. Cuba,
- Arenas, L., Castillo A, J., Castillo M, E., Cristancho, D., Hernández, M., Luna, H., Martínez, A., Sandoval, C., Vergara, M. "Digestión Anaerobia: Una alternativa para el tratamiento de residuos sólidos urbanos". Universidad Industrial de Santander. Centro de estudios e investigaciones ambientales. Colombia, 2007.
- Bedoya, J. C. "Diseño de la automatización de una planta generadora de Biogás". Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Electrónico. Universidad de Pamplona. Pamplona-Colombia, 2006.
- Bustillos P, O. "Instrumentación Industrial". Universidad de Oriente. Escuela de ingeniería y ciencias aplicadas. Departamento de eléctrica. Postgrado en ingeniería eléctrica. Especialización en automatización e Informática industrial. Puerto la cruz, 2001.
- Doran, P M., "Principios de ingeniería de los bioprocesos". Academic Press Limited. Editorial Acribia, S.A. España, 1998.

- Gastelbondo B, Walter. "Ingeniería para la construcción de procesos de capacidad simple para el desarrollo de métodos de detección y diagnóstico de fallas". Universidad De Pamplona. Instituto De Investigación Y Desarrollo De Tecnologías Aplicadas IIDTA. Grupo De Automatización Y Control. Pamplona-Colombia, 2005.
- Landeros P, E., Martí M, J., Saavedra L, M., Ruíz F, G., Chamy, R., Pulgar, L. "Modelación operacional de digestores en planta de tratamiento de aguas servidas". Grupo Aguas y Escuela de Ingeniería Bioquímica de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Chile, 2006.
- Lay, J., Li, Y., Noyke, T. "The Influence of pH and Ammonia Concentration on the Methane Production in High-Solids Digestion Processes". Water Environment Research, Vol 50, N°5, Julio/Agosto (1998).
- Ogata, K., "Ingeniería de control moderna". University of Minnesota. Segunda Edición. Prentice Hall Hispanoamericana, S.A. México, 1993.