



**VI** CONGRESO NACIONAL DE TECNOLOGÍA  
APLICADA A CIENCIAS DE LA SALUD  
4, 5 y 6 de junio de 2015  
“Generación de Nuevas Técnicas  
de Diagnóstico y Tratamiento”

## **AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL INTELIGENTE FUZZY DE UN REACTOR UASB VÍA WIRELESS CON LABVIEW**

I. O. Rico Ascención<sup>a</sup>, E. Sánchez Velarde<sup>a</sup>, M. G. Ramírez Sotelo<sup>b</sup>, A.I. Cabrera Llanos<sup>a</sup>.

<sup>a</sup>Departamento de Bioprocesos, Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, Instituto Politécnico Nacional, México D.F., [aicllbuda@yahoo.com](mailto:aicllbuda@yahoo.com)

<sup>b</sup>Departamento de Bioingeniería, Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, Instituto Politécnico Nacional, México D.F.

### **RESUMEN**

El trabajo que se presenta, es un prototipo para la automatización y el control inteligente de la medición de pH, aplicado a un biorreactor de recirculación de flujo ascendente (UASB), implementando el uso de la plataforma de LabVIEW y la tarjeta de adquisición de datos myRIO, para el monitoreo Wireless del mismo. El prototipo está construido de acrílico con cuatro depósitos independientes, tres de estos para el suministro de diferentes sustancias a utilizar en el proceso de medición del pH y uno para el desecho; la capacidad que suministra cada reservorio es para un volumen máximo de 5.5 litros. El bombeo de las sustancias se realiza mediante una bomba de tipo sumergible para el agua destilada y dos bomba peristálticas, una para la inyección de nutrientes al reactor, y la segunda para el drenado de medio del reactor, mientras que el control del paso de la muestra, se realiza mediante electroválvulas, la manipulación de estos elementos se realiza mediante un circuito de control, el cual consta de dos etapas, una parte para acondicionamiento de la señal transmitida vía Wireless a nuestra tarjeta myRIO, y la otra para el cambio de baja a alta potencia, la cual nos permitirá controlar los elementos antes mencionados. El algoritmo del control difuso fue programado mediante el uso de las herramientas de lógica difusa que presenta la plataforma, realizándose una serie de reglas, las cuales se les otorga una etiqueta de pertenencia asociado a un nivel de pH, con lo cual, dependiendo del valor adquirido de pH con los niveles etiquetados, se genera una acción correspondiente, con la que se suministrara el volumen de nutrientes correspondiente del prototipo al biorreactor.

### **1. INTRODUCCIÓN**

Los reactores UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) se pueden aplicar a una amplia variedad de tipos de tratamientos de aguas residuales. En estos reactores es muy importante realizar una serie de tratamientos adecuados al efluente antes de ingresarlo al reactor, estos pueden consistir en la eliminación de aceites y grasas, y lo que nos interesa en este trabajo; el ajuste del nivel de pH, lo cual brinda la capacidad o el rendimiento de convertir la materia orgánica biodegradable en una fuente de biogás valorizable. La aplicación eficaz de un control en estos tipos de reactores nos ayuda a mejorar el rendimiento de la generación de biogás, al poder aplicar un control adecuado para el manejo óptimo del pH, al aplicar un control de tipo inteligente, en este caso un control difuso, nos brinda la opción de controlar adecuadamente las variables de importancia en el reactor, aplicando la experiencia del experto en las reglas de inferencia que aplicaran el control y las acciones adecuadas para la realización del control difuso. Todo este control está diseñado en la plataforma de LabVIEW, lo cual permite obtener los datos e ingresarlos a nuestro control difuso mediante el uso de la programación a bloques,



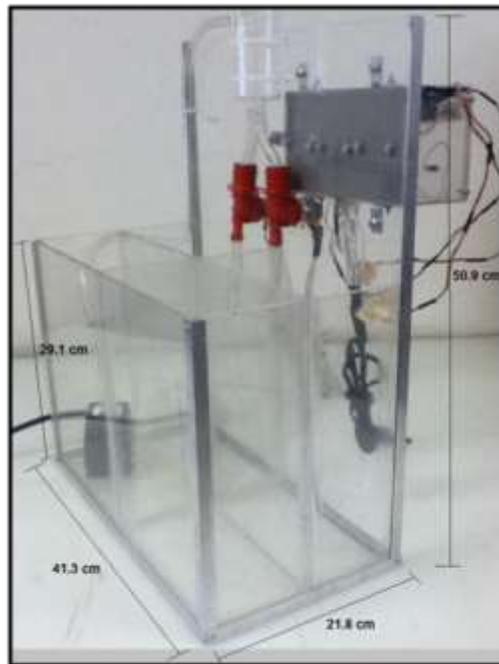
así también poder interfazar nuestro sistema de control en LabVIEW con la tarjeta de adquisición de datos myRIO para el control de los elementos de nuestro prototipo, mediante una conexión Wireless.

## 2. TEORÍA

En los siguientes apartados se menciona la teoría y metodología implementada para construcción y adaptación del prototipo al reactor UASB.

### Prototipo físico.

El prototipo realizado, está construido de acrílico de 5mm de espesor, presentando unas dimensiones de 41.3 cm x 21.8 cm x 29.1 cm, el cual está dividido en cuatro depósitos independientes, dos de estos para el suministro de diferentes sustancias a utilizar en el proceso de medición del pH y dos para el desecho; la capacidad que suministra cada reservorio es para un volumen máximo de 5.5 litros.



*Figura 1: Vista Lateral Derecha del prototipo.*

### Diseño del control difuso en LabVIEW.

El control difuso se diseñó a partir de los siguientes elementos; los datos de entrada para el sistema serían las variables monitoreadas en el reactor, estas fueron pH y temperatura, las cuales serían ingresadas al control difuso, y como datos de salida se determinó la implementación de dos valores numérico, uno para controlar el volumen de nutrientes a través de una bomba peristáltica, y el segundo valor numérico, utilizado como el tiempo requerido para realizar la próxima medición en el sistema.

# VI CONGRESO NACIONAL DE TECNOLOGÍA APLICADA A CIENCIAS DE LA SALUD

4, 5 y 6 de junio de 2015  
 “Generación de Nuevas Técnicas de Diagnóstico y Tratamiento”

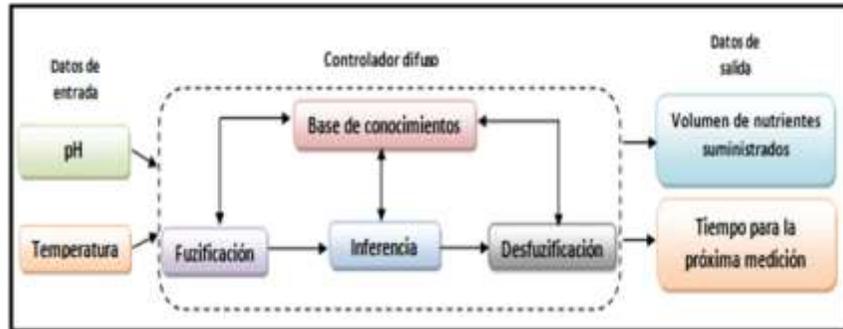


Figura 2: Diagrama a bloques del control difuso.

El diseño del control difuso se realizó en la plataforma de LabVIEW, esto mediante los módulos que presenta el software, los cuales son conocidos como Toolkits, donde se utilizó el Fuzzy Logic. Al ingresar al módulo, se despliega una pantalla donde nos pide los datos requeridos para el control difuso, como son las variables de entrada y las variables de salida, el tipo de control que se utilizó fue de tipo MIMO por sus siglas en inglés (Multi-Input Multi-Output), teniendo como variables de entrada (pH y temperatura) y de salida (tiempo de muestra, y volumen de nutrientes suministrados).

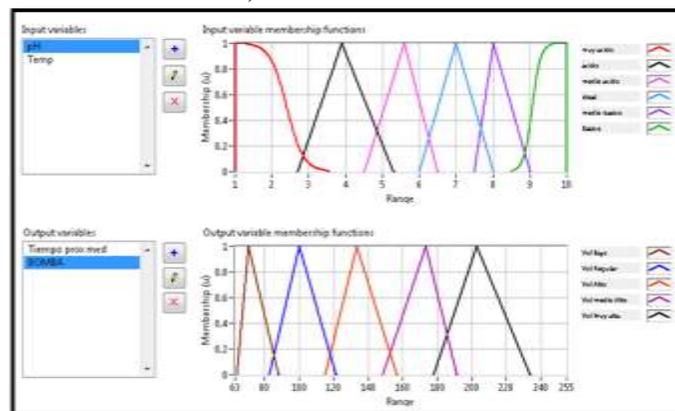


Figura 3: Variables de entrada y salida, en el control difuso.

Al determinarlas variables de entrada y salida, se procedió a realizar las reglas de inferencia que determinaran el comportamiento de nuestro control difuso, en este caso se realizó con un total de dieciocho reglas, las cuales se basan en el tipo Si – Entonces (IF - THEN), como se puede observar en la Figura 4. Por mencionar la estructura de las reglas se muestran una serie de estas mismas a continuación:

**Regla 1:** IF ‘pH’ IS ‘muy ácido’ AND ‘Temp’ IS ‘baja’ THEN ‘Tiempo prox med’ IS ‘4-med’ ALSO ‘BOMBA’ IS ‘Vol Bajo’.



**Regla 5:** IF 'pH' IS 'medio basico' AND 'Temp' IS 'baja' THEN 'Tiempo prox med' IS '1-med' ALSO 'BOMBA' IS 'Vol Regular'.

**Regla 9:** IF 'pH' IS 'medio ácido' AND 'Temp' IS 'templada' THEN 'Tiempo prox med' IS '2-med' ALSO 'BOMBA' IS 'Vol Bajo'.

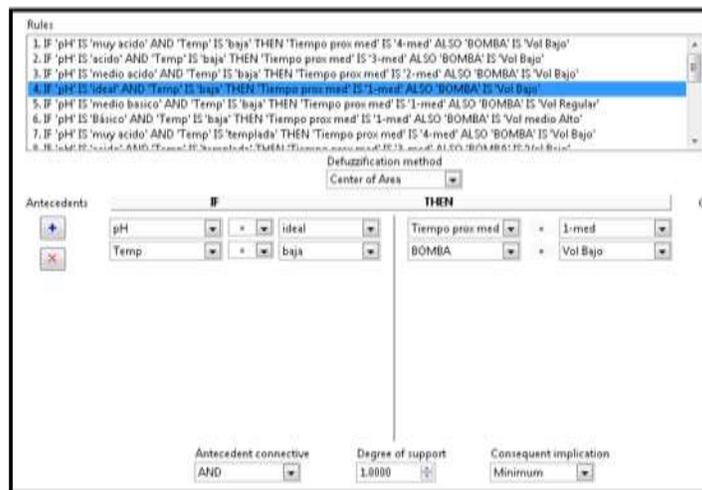


Figura 4: Construcción de la reglas de inferencia del control difuso.

Con la construcción de estas reglas de inferencia, se obtuvieron las siguientes superficies de respuesta dadas por la relación entre nuestras reglas de inferencia, donde en la Figura 5, se puede observar en una superficie la respuesta en base al próximo tiempo de medición, mientras que en la segunda superficie se observa la respuesta para el volumen suministrado por la bomba.

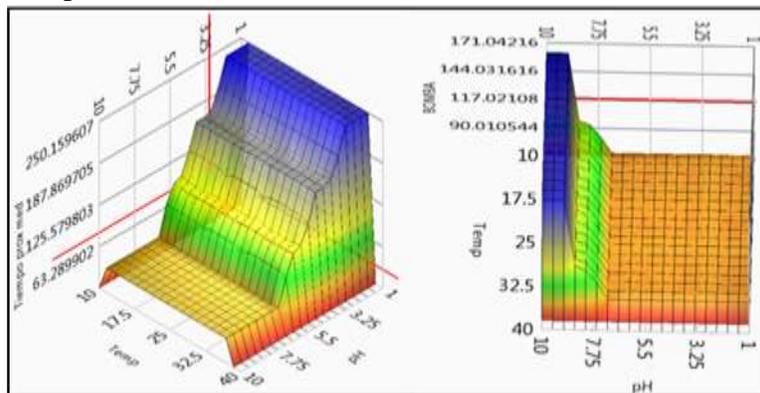


Figura 5: Superficies de respuesta: (pH vs Temp vs Tiempo prox med), (pH vs Temp vs BOMBA).

### Descripción del proceso de medición.

El funcionamiento del sistema consta de una bomba BM-101 y una electroválvula EV-101 que se activan al mismo tiempo para permitir el llenado del contenedor con la muestra, el electrodo mide el pH y manda la señal



a la computadora, mediante la transmisión Wireless del dato medido en la tarjeta myRIO, donde la lectura entra al sistema de control de lógica difusa en la plataforma LabVIEW, esta etapa programada se puede observar en la Figura 6, mientras que en la Figura 7, se puede observar la programación del envío de los datos de entrada y salida entre la tarjeta myRIO y el ordenador.

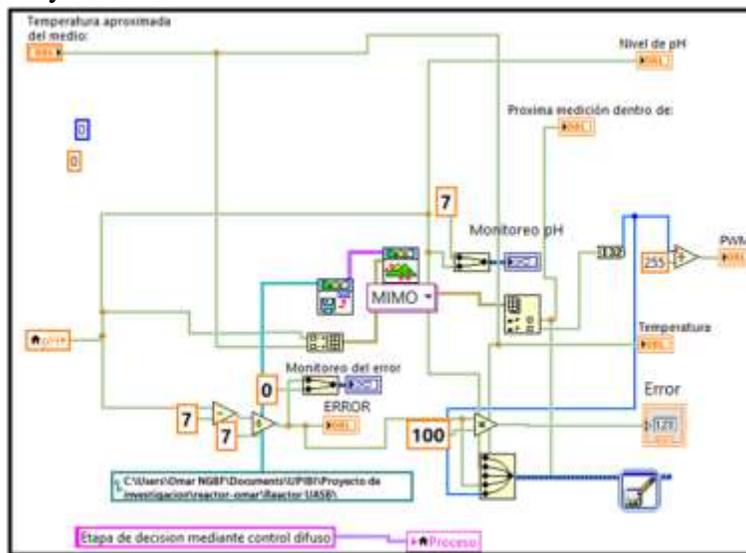


Figura 6: Programación a bloques del control difuso, en LabVIEW.

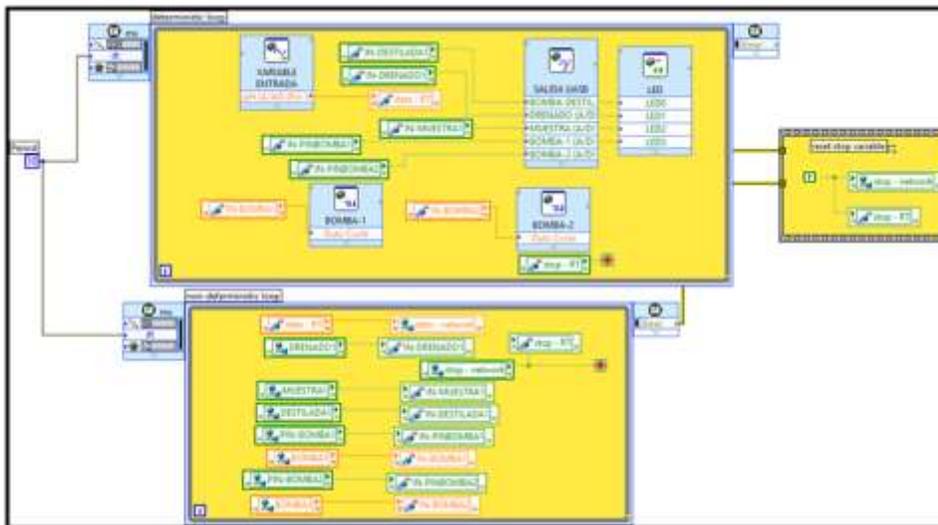


Figura 7: Programación de los periféricos de la myRIO para la transmisión vía Wireless de los datos al ordenador

# VI CONGRESO NACIONAL DE TECNOLOGÍA APLICADA A CIENCIAS DE LA SALUD 4, 5 y 6 de junio de 2015 “Generación de Nuevas Técnicas de Diagnóstico y Tratamiento”

En esta etapa el sistema de lógica difusa pondera la lectura del pH en función de una temperatura establecida y genera una orden de control, que determina la periodicidad con que se ha de repetir el proceso de medición del pH y el volumen de nutrientes a suministrar al reactor.

Posteriormente, las señales de salida del sistema son enviadas via Wireless a la tarjeta myRIO y acondicionadas, para ejecutar la acción de medición automática del pH por el prototipo. La Figura 8, muestra el diagrama general de la conexión del sistema con los diferentes elementos que controlan el prototipo, y la toma de medición del efluente del reactor UASB.

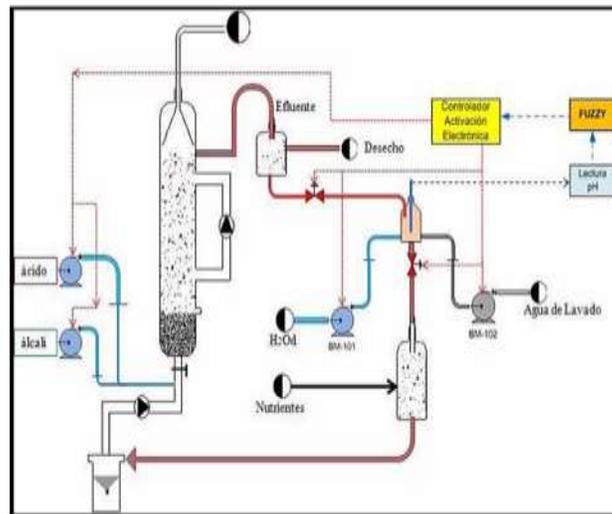


Figura 8: Esquema general de la conexión del prototipo y el control, hacia el reactor biológico tipo UASB.

### 3. PARTE EXPERIMENTAL

Se cuenta con una interfaz de usuario en el panel frontal, dividido en pestañas, esto mediante la implementación de un Tab Control, lo cual le permite al usuario observar el monitoreo del sistema o las gráficas del monitoreo de las variables del sistema.

La pestaña del monitoreo del sistema, permite observar el proceso en el que se encuentra la activación del prototipo, esto mediante un diagrama de conexión animado, programado con la misma acción de salida que se realiza hacia el prototipo vía Wireless. Así como indicadores visuales para observar el dato obtenido tanto de pH, Temperatura y el valor obtenido de la variable de salida del control difuso que nos indica el tiempo que debe de transcurrir para realizar la próxima medición en el sistema, esta pestaña de la interfaz de usuario se puede observar en la Figura 9.

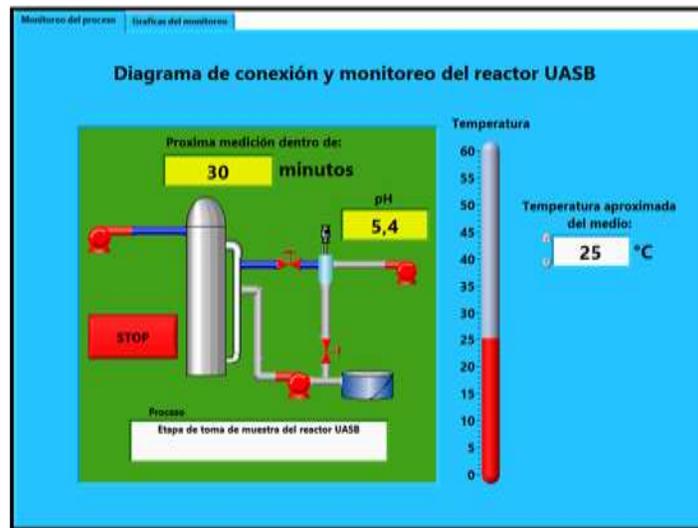


Figura 9: Interfaz diseñada para el monitoreo del proceso.

En la pestaña de graficas del monitoreo del sistema, se despliegan dos indicadores de tipo gráfico, uno donde se muestra el valor monitoreado de pH, así también con una línea punteada se indica el nivel ideal al cual se debe de mantener el nivel de pH, de igual manera en el segundo indicador grafico se muestra el error que se tiene en el control del pH, estos datos mostrados en los indicadores gráficos de igual manera son desplegados en indicadores de tipo velocímetro, esta pestaña de la interfaz de usuario se puede observar en la Figura 10.

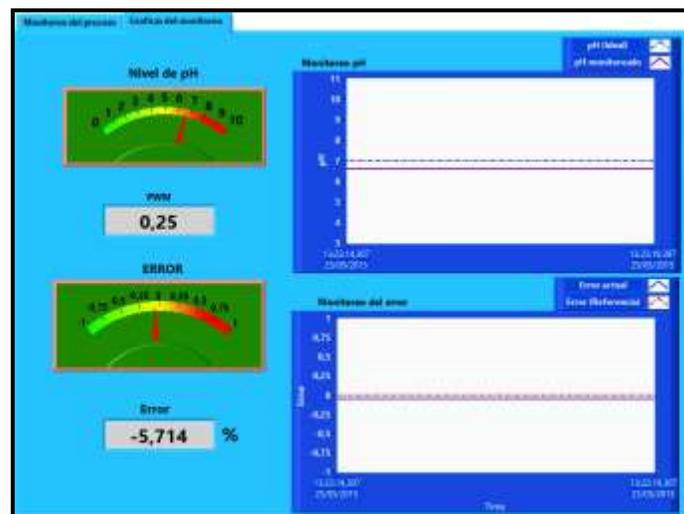


Figura 10: Interfaz diseñada para las gráficas del monitoreo



#### **4. CONCLUSIONES**

El sistema que se diseñó para la automatización y monitoreo en un reactor UASB con técnicas Fuzzy, permite que el control y la acción sea realizada de manera semejante a la que el operario realizaba, debido a que en las reglas de inferencia del sistema Fuzzy están programadas las reglas con la experiencia y acciones dadas por el expertis. El control, sensado y transmisión de las variables del sistema de manera Wireless mediante la tarjeta myRIO, nos permite realizar un seguimiento y monitoreo a distancia del sistema y de las acciones llevadas a cabo durante el proceso de medición y control del mismo sistema, así como de las variables sensadas y su error durante el proceso de control.

#### **BIBLIOGRAFÍA**

1. Passino,-Kevin M, et al, (1998), “Fuzzy Control”, Department of electrical engineering, The Ohio State University, USA.
2. Wallenius J., Uuksulainen T., Salonen K., Rautio J., & Eerikäinen T., The effect of temperature and pH gradients on *Lactobacillus Rhamnosus* gene expression of stress-related genes. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, Springer-Verlag 2011.
3. Aguilar R., Soto G., Neria M. I., Monitoreo en línea de un biorreactor continuo empleando observadores de modo deslizante. *AMIDIQ* 1665-2738, Año/Vol. 5 num. 1., Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, D. F. México, 2006.
4. Ferreyra A., Fuentes R., Sacristán E., Control Difuso una alternativa para aplicaciones de alta precisión. *MEMORIAS SOMI XIII CONGRESO DE INSTRUMENTACIÓN*, Sociedad Mexicana de Instrumentación, A. C., Ensenada, B. C. N., México, 1998.
5. Avellaneda A., Mondragón N., Ibarra O., Ramírez M. G. & Cabrera A. Regulación de la temperatura en tiempo real, empleando un sistema difuso en la plataforma LabView. *IX Congreso Internacional sobre Innovación y Desarrollo Tecnológico, CIINDET*. UPIBI-IPN, 2011