



UNIVERSIDAD  
DE LA REPÚBLICA  
URUGUAY



UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

TESIS DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA  
Opción: Ingeniería Química

MODELADO DE REACTORES ANAEROBIOS  
INTEGRACIÓN DE ASPECTOS CINÉTICOS, DIFUSIVOS,  
FLUIDODINÁMICOS Y DE CRECIMIENTO GRANULAR

Autor: MAGELA ODRIozOLA ARBIZA

Tutores:  
Dra. LILIANA BORZACCONI VIDAL  
Dr. IVÁN LÓPEZ MOREDA

Montevideo, Uruguay

Mayo, 2014

## **RESUMEN**

Se postuló un modelo para reactores granulares que describe el comportamiento del reactor y predice el desarrollo del gránulo (crecimiento y composición). El modelo acopla procesos cinéticos con fenómenos de transferencia de masa en el gránulo y aspectos fluidodinámicos del reactor.

El modelo pudo implementarse en Matlab® como un sistema de ecuaciones diferenciales con 449 ecuaciones e incógnitas para cada tamaño de gránulo considerado y otras 23 ecuaciones e incógnitas que describen las condiciones en el seno del líquido.

El modelo cinético implementado fue el ADM1 (Anaerobic Digestion Model No.1) con algunas modificaciones; se incluyó la inhibición de la metanogénesis acetoclástica por ácidos grasos volátiles totales. Se tomaron parámetros de degradación e hidrólisis específicos para biomasa muerta y los restantes parámetros se consideraron los sugeridos en el ADM1. La necesidad de incluir en el modelo el factor que toma en cuenta la inhibición del proceso de metanogénesis se verificó mediante un ensayo estímulo respuesta con acetato en un reactor EGSB de laboratorio.

Se ajustó simultáneamente la constante de desprendimiento ( $k_{dt}$ ) y la fracción volumétrica de líquido en el gránulo ( $\varepsilon_L$ ) obteniéndose valores de

$k_{dt} = 1 \text{ nm s}^2 \text{ kg}^{-1}$  y  $\varepsilon_L = 0.82$ . El crecimiento del gránulo resultó muy sensible a la  $\varepsilon_L$  y no así a la  $k_{dt}$ , indicando que el crecimiento está asociado mayormente a fenómenos cinéticos (crecimiento y decaimiento de la biomasa). Por otro lado, se ajustó la constante de inhibición por AGV totales mediante un ensayo estímulo respuesta con acetato, se ajustó el valor de  $K_{I,AGVT} = 2.5 \text{ kg}_{DQO} \text{ m}^{-3}$ .

La validación se realizó mediante cambios repentinos en las condiciones de alimentación del reactor, la producción de metano modelada se ajustó adecuadamente a la experimental. A su vez, el modelo predijo correctamente la distribución de tamaños de gránulos obtenida experimentalmente luego de 51 días de operación.

Se estudió la diferencia que se obtiene al considerar un tamaño medio en lugar de la distribución de tamaños de gránulos encontrándose que este aspecto solo resulta importante para la concentración de material particulado en el líquido.

Mediante la simulación del reactor alimentado con distintos sustratos solubles se encontró que la composición del influente resulta determinante para la estructura del gránulo (composición y tamaño) y no así para la concentración de solubles en la descarga del reactor y la producción de gas.

Aplicando un perfil de velocidades ascensionales en la simulación se determinó que el perfil únicamente tiene incidencia en la concentración de material particulado en la corriente de salida del reactor.

Se evaluó la sensibilidad del comportamiento del reactor y la estructura de los gránulos frente a los parámetros difusivos y cinéticos obteniéndose que la concentración de biomasa activa es mayor a menor constante cinética y/o mayor difusividad efectiva y viceversa. A su vez, no se encontraron diferencias apreciables en el comportamiento del reactor a excepción de la concentración de material particulado en el seno del líquido.

Palabras claves: modelo, reactores anaerobios, crecimiento de gránulos, ADM1, EGSB