

**CI 41B INGENIERIA AMBIENTAL - SEMESTRE PRIMAVERA 2005**  
**EJERCICIO ESPECIAL**

**Diciembre 07 de 2005**

**Fecha de entrega: Martes 13 de Diciembre, 12:00, Secretaría de Hidráulica.**

---

Una industria produce un residuo industrial líquido que contiene tres compuestos orgánicos cuyas tasas de degradación o eliminación dependen de sus respectivas concentraciones. Una revisión bibliográfica permitió identificar las siguientes expresiones para las tasas de decaimiento de cada compuesto:

$$\text{Compuesto 1: } \left. \frac{dC_1}{dt} \right|_{\text{remoción}} = -k_1 \cdot C_1 \cdot C_3$$

$$\text{Compuesto 2: } \left. \frac{dC_2}{dt} \right|_{\text{remoción}} = -k_2 \cdot C_2$$

$$\text{Compuesto 3: } \left. \frac{dC_3}{dt} \right|_{\text{remoción}} = -k_3 \cdot C_2 \cdot C_3$$

### **Experiencia Piloto**

Una experiencia piloto llevada a cabo en un reactor de laboratorio con una capacidad de 100 litros y a través del cual se hizo circular un caudal de 10 litros/hora, permitió estudiar el proceso de remoción o eliminación de contaminantes presentes en este residuo líquido industrial. Esta experiencia, la que se desarrolló como un proceso de mezcla completa y en condiciones permanentes, entregó los resultados (T=20°C) que se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1**  
**Resultados Experiencia Piloto**

| <b>Compuesto</b> | <b>Concentración<br/>Entrada, mg/l</b> | <b>Concentración<br/>Salida, mg/l</b> |
|------------------|--|---------------------------------------|
| 1                | 100                                    | 15                                    |
| 2                | 300                                    | 65                                    |
| 3                | 50                                     | 23                                    |

### **Reactor a Escala Real**

Las concentraciones de cada compuesto que ingresan al reactor a escala real, el cual será operado con un volumen total (V) de 380 (m<sup>3</sup>) y un caudal (Q) de 870 (m<sup>3</sup>/día), se indican en Tabla 2:

**Tabla 2**  
**Resultados Experiencia a Escala Real**

| Compuesto | Concentración<br>Entrada, mg/l |
|-----------|--------------------------------|
| 1         | 120                            |
| 2         | 230                            |
| 3         | 80                             |

Considere que el sistema funciona como uno de mezcla completa. Utilizando los valores anteriores se pide estudiar los niveles de remoción de cada contaminante que se producirían en el sistema a escala real. Para esto estudie las siguientes configuraciones de sistemas de tratamiento:

**Configuración 1:** Un estanque de  $V$  ( $m^3$ ).

**Configuración 2:** Dos estanques de  $(V/2)$  ( $m^3$ ) cada uno, localizados en serie.

**Configuración 3:** Tres estanques de  $(V/3)$  ( $m^3$ ) cada uno, localizados en serie.

### Parte 1

Considerando que el sistema de estanques funciona en régimen permanente determine el nivel de remoción de cada contaminante, para las distintas configuraciones. ¿Qué configuración presenta el mejor nivel de remoción para los distintos compuestos?

### Parte 2

Considerando que el sistema de estanques funciona en régimen permanente, en lo referente al flujo, pero impermanente respecto al balance másico de cada contaminante:

- Escriba las ecuaciones de balance másico, en régimen impermanente, para cada contaminante. Suponga un único estanque que se encuentra inicialmente lleno de agua limpia (no contiene ningún contaminante).
- Utilizando un esquema de aproximación basado en el esquema de diferencias finitas implícito, escriba un programa (por ejemplo en planilla tipo EXCEL) que permita estudiar la evolución de la concentración de cada compuesto dentro de un estanque individual.
- Utilice el programa anterior para evaluar el funcionamiento de las configuraciones 1, 2 y 3 señaladas anteriormente. Para cada caso, ¿Cuanto se demora el sistema en alcanzar la condición de régimen permanente que calculó en la Parte 1? Muestre gráficos que ilustren su respuesta. Suponga que a temperatura de operación es similar a la del reactor piloto:  $T=20^{\circ}C$ .

- d) Determinar el efecto de un cambio en la temperatura de funcionamiento del reactor sobre el tiempo calculado en c). Suponga que la temperatura de operación se eleva a  $T=30^{\circ}\text{C}$ . Utilice la siguiente expresión para calcular las nuevas constantes de reacción:

$$k_T = k_{20} \cdot \theta^{T-20}$$

con  $\theta=1.085$ .

## Esquema de Diferencias Finitas

Si tenemos una ecuación diferencial del tipo:

$$\frac{dC_i}{dt} = f(C_1, C_2, C_3) \quad (1)$$

podemos utilizar diversos esquemas numéricos para evaluar la evolución temporal de la concentración de la especie i.

El esquema más simple de aproximación en Diferencias Finitas se denomina esquema **explícito** y consiste en la siguiente ecuación de diferencias:

$$\frac{dC_i}{dt} \approx \frac{C_i^{k+1} - C_i^k}{\Delta t} = f(C_1^k, C_2^k, C_3^k) \quad (2)$$

donde  $C_i^k$  se refiere a la concentración de la especie i en el tiempo k, y  $\Delta t$  es el intervalo de tiempo para la discretización. La ecuación anterior se puede simplificar en forma importante al suponer que las condiciones en el período de tiempo k son conocidas. De esta manera se puede escribir:

$$C_i^{k+1} = C_i^k + \Delta t \cdot f(C_1^k, C_2^k, C_3^k) \quad (3)$$

que representa la concentración de la especie i en el período de tiempo k+1, suponiendo que las concentraciones en el período k son conocidas.

El esquema anterior presenta problemas de estabilidad y convergencia, por lo que a menudo se prefiere utilizar un esquema de tipo **implícito**, en el cual la ecuación original se expresa como:

$$\frac{dC_i}{dt} \approx \frac{C_i^{k+1} - C_i^k}{\Delta t} = f(C_1^{k+1}, C_2^{k+1}, C_3^{k+1}) \quad (4)$$

con lo cual la concentración de la especie i en el tiempo k+1 se puede calcular como:

$$C_i^{k+1} - \Delta t \cdot f(C_1^{k+1}, C_2^{k+1}, C_3^{k+1}) = C_i^k \quad (5)$$

La última expresión permite calcular el valor de la concentración de la especie i en el tiempo k+1, para lo cual se requiere conocer la forma de la función  $f()$ .