

Pregunta # 1

Como resultado de un proceso industrial se genera un residuo contaminante de tipo orgánico, el que debe ser tratado antes de descargarlo al sistema de alcantarillado. En condiciones normales de operación este sistema debe tratar un caudal de residuo igual a 6 m³/min.

Estudios realizados en la industria han permitido caracterizar la ley que describe la degradación de este compuesto en un reactor de tipo cerrado, la que tiene la siguiente forma:

$$r(C) = \frac{k_A}{1 + k_B \cdot C}$$

donde k_A y k_B son constantes conocidas.

Para el tratamiento de este compuesto en la industria se ha diseñado un sistema en base a cuatro reactores, dos de ellos de mezcla completa y dos de flujo pistón en paralelo, cuyos volúmenes son conocidos. Un esquema que ilustra el sistema de tratamiento se presenta en la Figura 1.

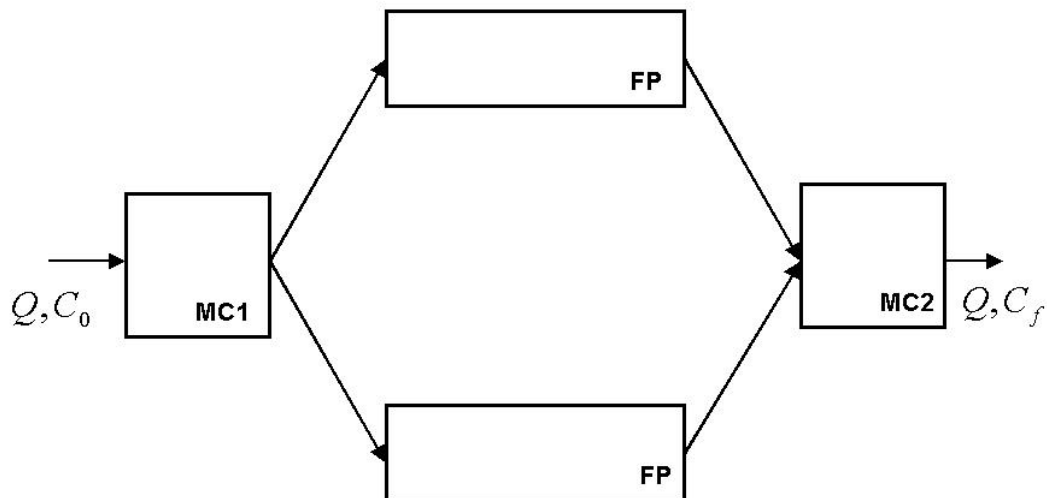
En base a la información anterior se pide:

- ¿Qué porcentaje de remoción del compuesto contaminante se logra con este sistema de tratamiento?
- ¿Qué porcentaje de remoción del compuesto contaminante se lograría en el caso que uno de los dos estanques de Flujo Pistón estuviera fuera de operación? Suponga que el sistema debe seguir tratando los 100 l/s. Comente su resultado.
- ¿Cómo calcularía el caudal que sería posible tratar en el caso d) para mantener la remoción obtenida en a)? No calcule, sólo indique el procedimiento que seguiría.
- ¿Qué porcentaje de remoción del compuesto contaminante se lograría con este sistema de tratamiento si la constante k_B fuera igual a 0? ¿Qué porcentaje de remoción del compuesto contaminante se lograría con este sistema de tratamiento si la constante k_A fuera igual a 0? Comente sus resultados.

Tabla 1
Parámetros Básicos para Problema 1

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Concentración de entrada	C_0	$\mu\text{g/L}$	200.000
Caudal a tratar	Q	m^3/min	6
Constante de decaimiento	k_A	$\text{mg}/(\text{L-minuto})$	1
Constante de decaimiento	k_B	L/g	10
Volumen Reactor Mezcla Completa 1	V_{MC1}	m^3	360
Volumen de <u>cada</u> Reactor Flujo Pistón	V_{FP}	m^3	720
Area Transversal de cada Reactor de Flujo Pistón	A_T	m^2	7.2
Volumen Reactor Mezcla Completa 2	V_{MC2}	m^3	180

Figura 1
Esquema de Sistema de Tratamiento



Problema # 2

Un sistema de tratamiento en una industria está compuesto por un tanque rectangular funcionando como reactor de flujo. En este reactor se procesan residuos orgánicos mediante un tratamiento de tipo biológico. Estudios preliminares han indicado que la tasa de remoción de la materia orgánica puede ser descrita mediante una relación de saturación como la siguiente:

$$r = \frac{k_1 \cdot C}{1 + k_2 \cdot C}$$

donde C es la concentración de materia orgánica, y k_1 y k_2 son constantes. En la actualidad este sistema funciona sin mezcladores de ningún tipo por lo que puede ser asimilado a un reactor de flujo pistón. La concentración de entrada al reactor es constante, $C_0 = 100$ mg/L.

Un grupo de experiencias con este reactor permitieron determinar la remoción porcentual que se logró para dos caudales de tratamiento distintos. Esta información se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2
Experiencias con Reactor en Flujo Pistón

Caudal (l/s)	Remoción (%)	Tiempo retención Hidráulico (hr)
300	90	2.0
400	70	1.5

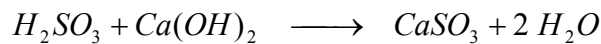
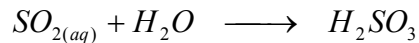
Estudios de mercado han mostrado que existe una oferta de mezcladores hidráulicos que permitirían convertir este reactor de flujo pistón en uno de mezcla completa, a un costo muy reducido. Con base en sus conocimientos técnicos determine si se justifica la inversión propuesta. Justifique todos los supuestos y expresiones que utilice.

Indicación: Para evaluar la factibilidad técnica de esta solución se debería determinar la remoción esperada mediante un reactor de mezcla completa, para los dos caudales indicados en la Tabla 2, y compararla con aquella correspondiente al de flujo pistón.

Problema # 3

Como un Ingeniero del Servicio de Salud del Ambiente le corresponde controlar una industria con el propósito de reducir el efecto de sus emisiones contaminantes sobre el medio ambiente. Este objetivo se logra al neutralizar el dióxido de sulfuro (SO_2) producido en las labores de fundición de plomo zinc. La remoción del dióxido de sulfuro se logra mediante un proceso que combina un filtro húmedo y el uso de hidróxido de calcio ($Ca(OH)_2$) para transformar el SO_2 en un producto más controlable, sulfito de calcio ($CaSO_3$)

- a) Basados en las siguientes reacciones químicas, ¿Cuántos kilogramos de hidróxido de calcio ($Ca(OH)_2$) son necesarios para neutralizar los 120 Kg de SO_2 producidos cada día?



- b) Calcular los kilogramos de H_2SO_3 producidos después de usar el filtro de agua, en la primera etapa del tratamiento.
- c) ¿Cuántos litros de una solución 2M de $Ca(OH)_2$ son necesarios para neutralizar el SO_2 ?

Nota: Una solución 2M de $Ca(OH)_2$ contiene 2 moles de $Ca(OH)_2$ por litro de solución.

Pregunta # 4

Considere un reactor de características conocidas (área transversal, A) en el cual se produce el decaimiento de una sustancia de tipo orgánico, a una tasa como la indicada a continuación:

$$r(C) = -(k_1 \cdot C + k_0)$$

El caudal tratado en este reactor es Q y la concentración de entrada es C_0 . Considere que el reactor funciona en una situación de equilibrio.

- a) Si este reactor funciona como uno de mezcla completa determine una expresión para la concentración al final del reactor. Determine además la longitud del reactor para que el contaminante se consuma completamente (100% de remoción) antes de salir al exterior.
- b) Repita el paso anterior suponiendo que el reactor funciona como uno de flujo pistón.
- c) Utilice las expresiones anteriores para responder las siguientes preguntas:
- ¿Cuál sería la longitud del reactor en cada caso (mezcla completa y flujo pistón) si k_1 es igual a cero?
 - ¿Cuál sería la longitud del reactor en cada caso (mezcla completa y flujo pistón) si k_0 es igual a cero?

En ambos casos comente su respuesta

Problema # 5

Una planta de tratamiento se encuentra descargando hacia un río un efluente con una elevada concentración de bacterias coliformes. Aguas abajo del punto de descarga se encuentran localizados una devolución de riego, la extracción para un canal de regadío y una zona de recreación. En esta última es necesario cumplir con la normativa ambiental que indica que la concentración de coliformes no debe exceder los 1000 coliformes por 100 ml.

Una vez en el río las bacterias coliformes son eliminadas a una tasa de primer orden (tasa de consumo), mientras que su crecimiento ocurre a una tasa de orden cero:

$$r_c = \left. \frac{dX}{dt} \right|_{\text{CONSUMO}} = -k_1 \cdot X$$

$$r_x = \left. \frac{dX}{dt} \right|_{\text{CRECIMIENTO}} = b$$

donde k_1 y b son dos constantes.

Si cada tramo de río (ver Figura 2) puede ser modelado como un reactor de flujo pistón determine la concentración de coliformes a la salida de un tramo de río en función de variables como la concentración de entrada (X_0), el volumen del tramo (V), el área de escurrimiento (A), el caudal transportado (Q), entre otros.

Utilizando los datos entregados en las Tablas 3 y 4 determine la concentración de coliformes esperada al inicio de la zona de recreación. ¿Es posible autorizar su funcionamiento? En caso que su respuesta sea negativa, ¿Cuál sería el porcentaje de remoción de bacterias (mediante desinfección) que debería utilizarse para lograr la autorización de la zona recreacional?

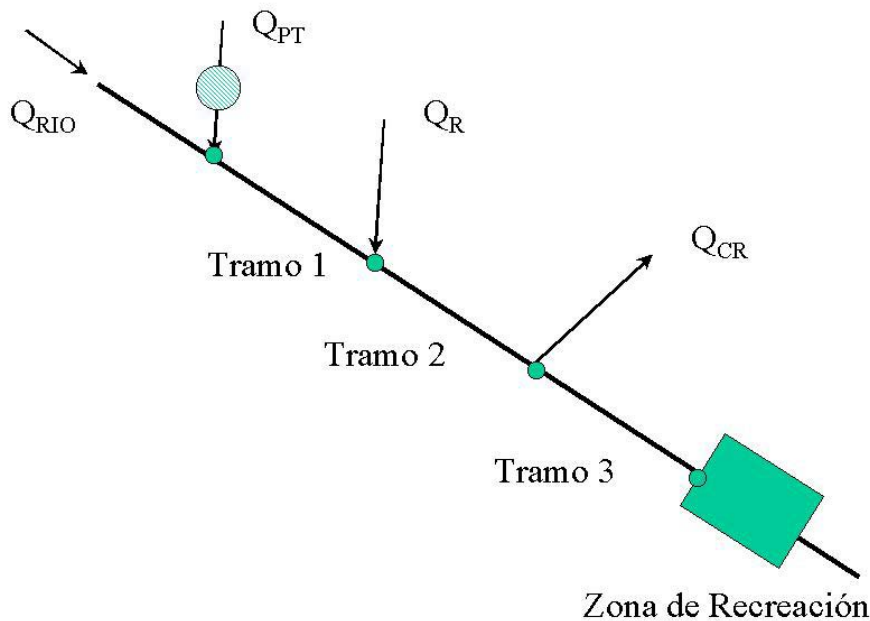
Tabla 3
Resumen Información Básica

Parámetro	Unidad	Valor
Q_{RIO}	m^3/s	10
X_{RIO}	Coliformes/100 ml	0
Q_{PT}	$\text{m}^3/\text{día}$	2.000
X_{PT}	Coliformes/100 ml	10.000.000
Q_{R}	$\text{m}^3/\text{día}$	500
X_{R}	Coliformes/100 ml	1.000
Q_{CR}	$\text{m}^3/\text{día}$	2.500
k_1	1/día	1.3
b	Coliformes/100 ml/día	1.000

Tabla 4
Datos por Tramo de Río

Tramo	Area (m^2)	Longitud (m)	Volumen (m^3)
1	3.0	700	2.100
2	3.5	1.000	3.500
3	3.2	500	1.600

Figura 2
Esquema de Sistema Analizado



Pregunta # 6

- a) Gasolina que se almacena en un embarcadero se descarga accidentalmente en un pequeño lago (100 Há de superficie y una profundidad promedio de 7 m) a una tasa de 1 L/día. Aproximadamente el 1% de la gasolina, en peso, está compuesta de benceno. Determine el tiempo requerido para que el límite máximo permitido (MCL) de benceno en agua potable, 0.005 mg/L, sea excedido. Suponga que:
- la densidad de la gasolina es de 800 g/L
 - el agua del lago está bien mezclada e inicialmente no contiene benceno
 - el benceno es un compuesto conservativo
 - los flujos de entrada y salida al lago son despreciables
- b) Considere que el flujo promedio de entrada y salida en el lago es de 1000 m³/día, y que el lago está bien mezclado. Considere además que el benceno es conservativo, y que el contenido inicial de benceno en el agua del lago y en el flujo de entrada al lago es nulo.

Determine:

- el tiempo promedio de residencia del agua en el lago, θ_H .
- la concentración de benceno en estado estacionario, resultante del vertimiento de la gasolina.
- si, y cuando, se excederá el límite máximo admisible para TCE.

- c) Considere una situación como la esquematizada en b) pero suponga ahora que el benceno contenido en el agua es no conservativo, y que se volatiliza (pasa de su forma líquida a gaseosa) según la siguiente ley:

$$J_B = -K_L \cdot C_B$$

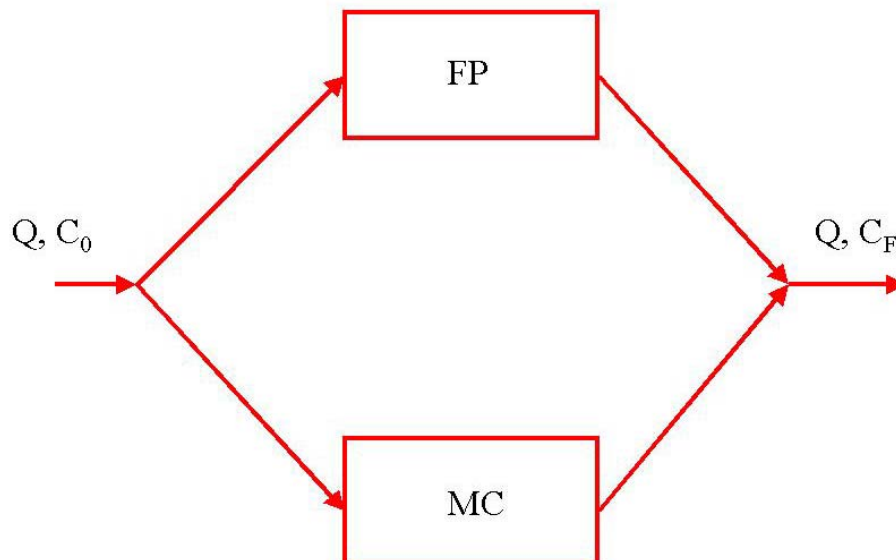
donde J_B es el flujo de benceno desde la superficie del lago a la atmósfera ($M/L^2/T$), C_B es la concentración de benceno en el lago y K_L es el coeficiente de transferencia de masa (10^{-6} m/s).

Determine la concentración de benceno en estado estacionario y si se excederá el límite máximo en agua potable (MCL).

Pregunta # 7

Un sistema de tratamiento biológico se ha diseñado para funcionar con dos unidades de tamaño similar, en paralelo como se indica en la Figura 3. La primera unidad se ha diseñado para operar como un reactor de mezcla completa, mientras que la segunda unidad operaría como un reactor de flujo pistón. El caudal total de operación es igual a 100 l/s, mientras que la concentración de entrada es igual a 100 mg/L.

Figura 3
Sistema de Tratamiento Diseñado



La tasa de reacción de un contaminante orgánico presente en el afluente a la planta de tratamiento se puede modelar como un proceso de primer orden, i.e.,

$$r = -k \cdot C$$

donde la constante k es igual a 0.2 1/hora.

Determine el volumen de cada unidad de tratamiento para que el sistema completo produzca una concentración de salida igual a 20 mg/L, es decir una remoción del 80%. Suponga que el tiempo de retención hidráulico de cada unidad es igual a 10 horas.

- a) Suponga que la unidad de Flujo Pistón (FP) debe ser puesta en mantención, para lo cual se construye un sistema de desviación que conduce parte del afluente sin tratamiento (ver Figura 4). Determine el caudal a tratar en la unidad de mezcla completa para mantener el porcentaje de remoción indicado en la parte a). Comente su respuesta.

Figura 4
Sistema de Tratamiento con Desviación

