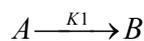


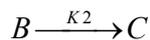
Pregunta # 1

En la matriz de aguas residuales proveniente una ciudad se encuentra un contaminante A de concentración C_0 . Este, para ser removido debe pasar por dos reacciones biológicas, donde la especie final de contaminante, contaminante C, es liberado a la atmósfera en forma de gas inmediatamente de ser creado.

- Bajo condiciones aeróbicas el contaminante A reacciona con una tasa de primer orden K_1 , transformándose en un contaminante B



- Bajo condiciones anóxicas el contaminante B reacciona con una tasa de primer orden K_2 , transformándose en un contaminante C



Dado el diseño preliminar de la planta de tratamiento, el cual incluye recirculación, y los valores adjuntos en tabla #1 se pide:

- Determinar las expresiones para las concentraciones de contaminante A y B afluentes y efluentes de cada estanque. Para ello, realizar balances de masas en cada estanque para los contaminantes A y B.
- Determinar el volumen del tercer estanque (segundo tanque Anóxico) para que en el efluente de la planta se cumpla con la normativa vigente.

$$C \text{ norma} = \text{Contaminante A Efluente} + \text{Contaminante B Efluente}$$

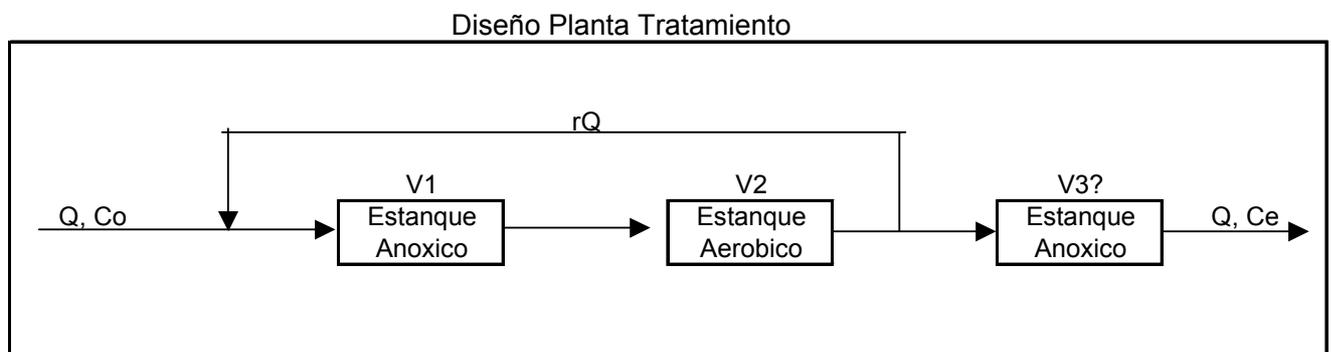


Tabla #1

Variable	Valor	Unidad
Q	150	l/s
r	2.5	
Co	50	mg/l
K1	20	1/d
V1	1500	m ³
K2	40	1/d
V2	2000	m ³
C norma	10	mg/l

Pregunta # 2

Un lago formado por un embalse con fines de riego ubicado en la zona central de Chile es alimentado por un estero con un caudal promedio Q_E de $2 \text{ m}^3/\text{s}$, que trae aguas sin ningún tipo de contaminantes. Uno de los principales problemas para satisfacer la demanda de riego promedio Q_S de $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ es un contaminante A, que ha sido evaluado como peligroso según la normativa actual y que es descargado como residuo industrial líquido al lago sin ningún tipo de tratamiento por una industria. Suponiendo que en el lago se dan muy buenas condiciones de mezcla (Mezcla Completa) Se le pide a ud. que realice un estudio del contaminante A. Para ello conteste las siguientes preguntas.

Figura 1
Vista en Planta del Lago en Estudio

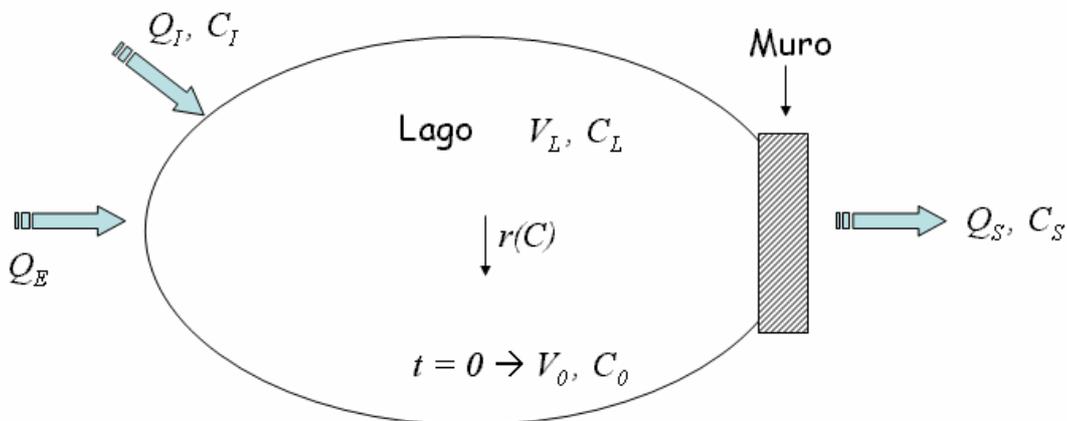
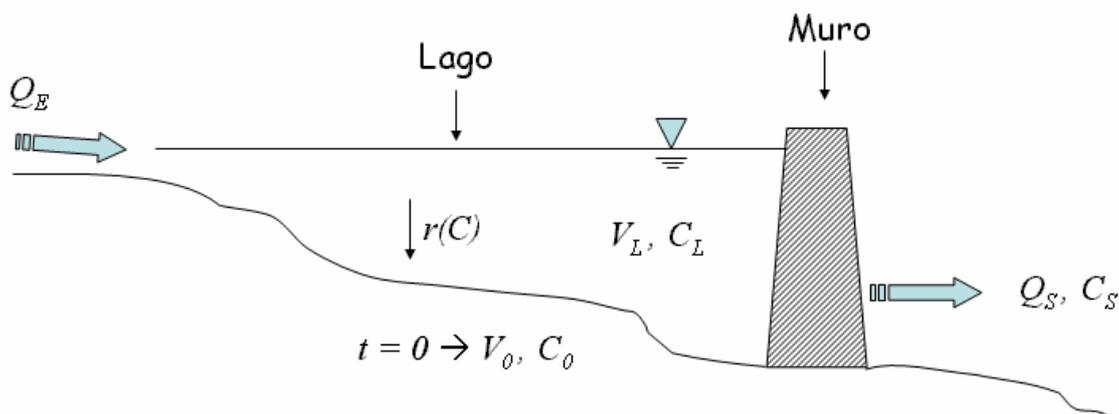


Figura 2
Vista Longitudinal del Lago en Estudio



- a) Suponiendo condiciones impermanentes para el flujo y la masa. Plantee las expresiones de balance de volumen y de balance de masa para determinar la concentración a la salida del Embalse C_s . Además suponga que el compuesto es NO CONSERVATIVO (Utilice algún modelo simple visto en clases). Explique claramente cuales son entradas y salidas del sistema. ¿Qué otra expresión impondría para resolver el sistema? (2pts).
- b) Suponiendo condiciones impermanentes para el flujo y la masa. Encuentre una expresión algebraica para determinar el volumen y la concentración del contaminante a la salida del embalse $C_s(t)$ en función de variables conocidas del problema (Tabla 1) y $V(t)$. Para ello suponga que el compuesto es de tipo CONSERVATIVO. (2Pts)
- c) A partir de la expresión algebraica encontrada en la parte b) realice un gráfico en función del tiempo de la concentración en el lago en función del tiempo. Identifique puntos conocidos. ¿Cuál es el efecto de eliminar la descarga a partir de un tiempo t^* ? ¿Cuál es el efecto de eliminar el caudal del estero a partir de t^* ? Indique el efecto para un tiempo de $2t^*$. Evalúe y Comente. (2Pts)

Tabla 1
Valores de Parámetros Conocidos

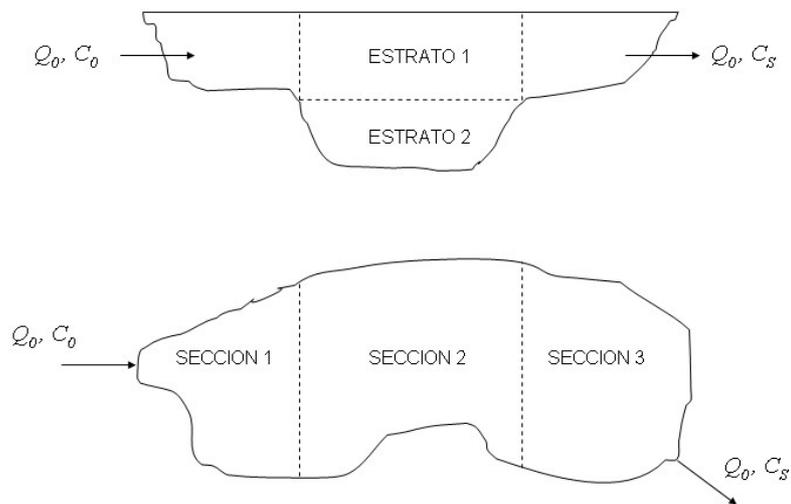
Parámetro	Valor	Unidad
Industria		
Q_I	86.400	[m ³ /día]
	1	[m ³ /s]
C_I	1.200	[mg/L]
Estero		
Q_E	172.800	[m ³ /día]
	2	[m ³ /s]
Salida		
Q_S	129.600	[m ³ /día]
	1,5	[m ³ /s]
Lago		
V_0	1.000.000	[m ³]
C_0	50	[mg/L]
t^*	5	[dias]

(,) Decimal, (.) Miles

Pregunta # 3

Un lago ubicado en la zona central de Chile es alimentado por un río con un caudal promedio de $3 \text{ m}^3/\text{s}$. El principal compuesto que se encuentra en las aguas del río es el fósforo, el que tiene una importancia fundamental para el problema de eutrofización de lagos. Una estimación promedio de la concentración de fósforo en el río, se estima igual a 0.014 mg/L . Como se muestra en la Figura 1, es posible diferenciar el lago en tres secciones, donde las secciones 1 y 3 son de profundidades someras y la sección 2 del lago se presenta como la zona más profunda. Esta última zona es posible dividirla en dos estratos de características bastante marcadas debido a su comportamiento.

Figura 1
Vista Transversal y Vista en Planta del Lago en Estudio.



A partir de estudios hidrodinámicos se ha identificado que el estrato superior se comporta como un sistema de flujo pistón, mientras que el inferior presenta condiciones de mezcla completa. Los puntos de entrada y salida del río se ubican dentro del área de influencia del estrato superior (es decir el río no contribuye masa de fósforo al estrato inferior del lago, ver Figura 2). Los mecanismos de transporte de fósforo entre el estrato superior e inferior en la sección 2 del lago se produce debido a sedimentación y resuspensión. En tanto, en las secciones 1 y 2 el único mecanismo de pérdida de masa corresponde a procesos de sedimentación.

Por otra parte, estudios de laboratorio muestran que el fósforo presente en el estrato superior no sufre ningún tipo de reacción química, mientras que el fósforo del estrato inferior se consume siguiendo una ley de orden cero, cuya constante k_0 es igual a 2 mg/L/día .

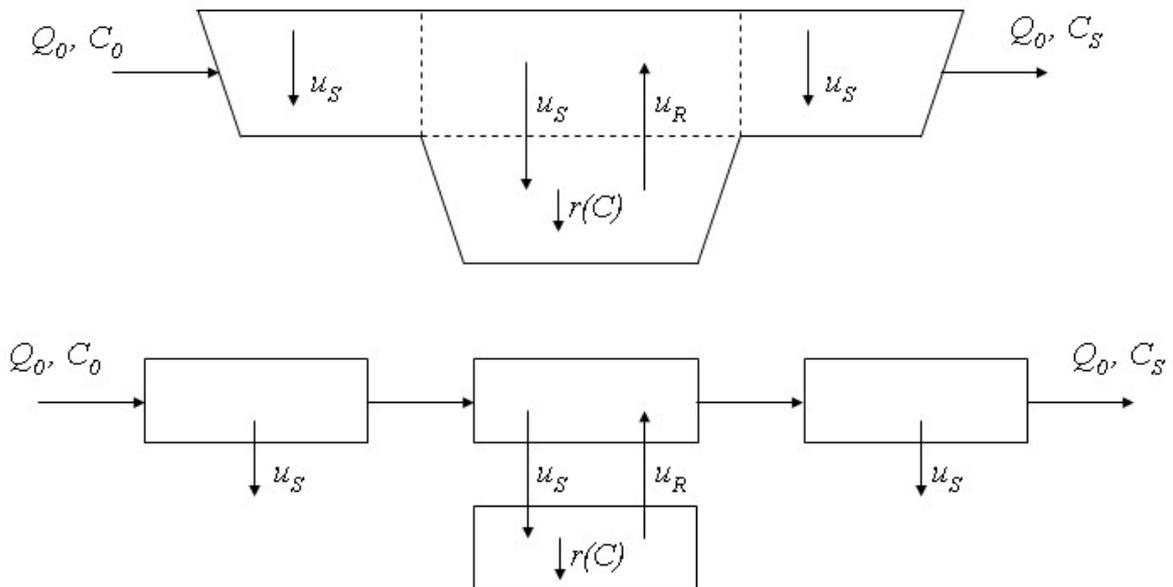
La Figura 2 muestra un esquema conceptual del lago, simulado como tres reactores de flujo pistón en serie para el estrato superior y por un reactor de mezcla completa en el estrato inferior. Cada uno de estos reactores puede asimilarse a un paralelepípedo rectangular iguales dimensiones. Las medidas medias de cada reactor se presentan en la Tabla 3.

Tabla 1
Valores Medios de los Cuatro Reactores

Parámetro	Valor	Unidad
Altura (H)	5	m
Ancho (a)	100	m
Largo (L)	100	m
u_S	6	m/día
u_R	3	m/día
k_0	0,0001	mg/L/día

- (1) Suponiendo condiciones estacionarias, encuentre expresiones algebraicas (no numéricas) que describan la concentración de equilibrio de fósforo a la salida de cada sección del lago y en el estrato inferior. Para ello considere que cada sección es independiente de la otra. Como indicación comience por la sección 2 del lago.
- (2) Calcule la concentración de equilibrio de fósforo, a la salida del lago y en el estrato inferior, para las condiciones indicadas en el problema. Considere un valor de concentración de fósforo de 0.015 mg/L como un valor límite para que se produzca eutrofización en el lago. Comente sus resultados.

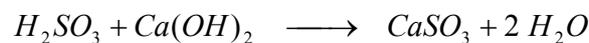
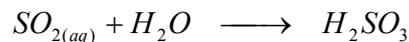
Figura 2
Modelo Conceptual del Lago en Estudio



Pregunta # 4

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 # 5

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 # 6

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?

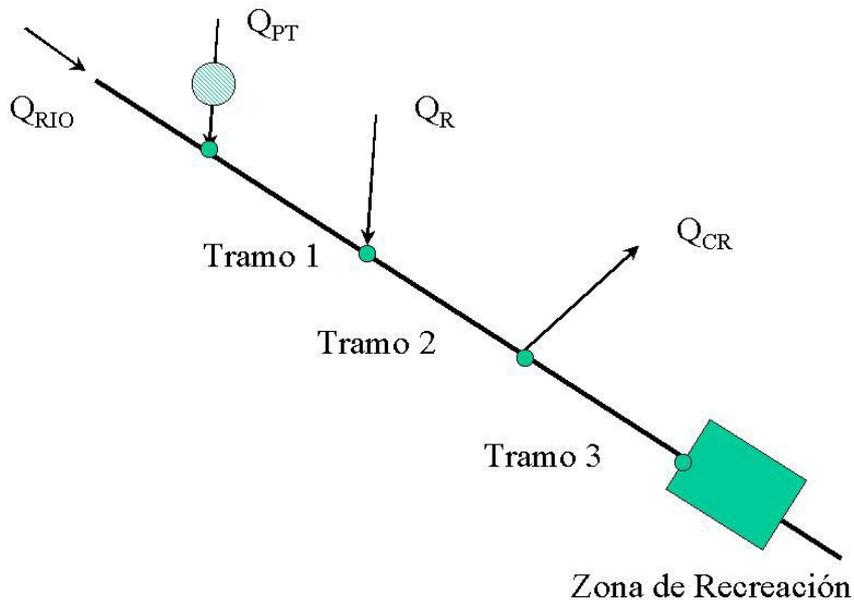
Tabla 3
Resumen Información Básica

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 # 7

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:

- i) la densidad de la gasolina es de 800 g/L
- ii) el agua del lago está bien mezclada e inicialmente no contiene benceno
- iii) el benceno es un compuesto conservativo
- iv) 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 $1000 \text{ m}^3/\text{día}$, 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:

- i) el tiempo promedio de residencia del agua en el lago, θ_H .
- ii) la concentración de benceno en estado estacionario, resultante del vertimiento de la gasolina.
- iii) 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:

$$J_B = -K_L \cdot C_B$$

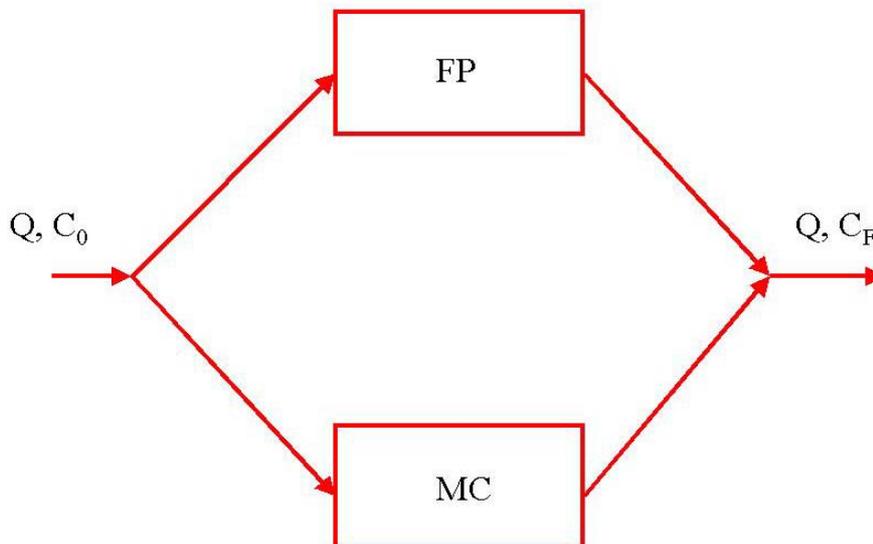
donde J_B es el flujo de benceno desde la superficie del lago a la atmósfera ($M/L^2/T$), C_B es la concentración de benceno en el lago y K_L es el coeficiente de transferencia de masa (10^{-6} m/s).

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

Pregunta # 8

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

