

Auxiliar #1

Balance Estequiométrico, balance de masa, mezcla completa y flujo pistón

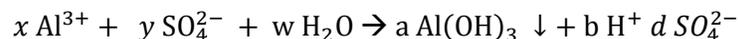
Problema 1. Proceso de coagulación

Una de las fases principales del proceso de tratamiento para producir agua potable es la denominada *coagulación*. Durante esta fase se procede a agregar sustancias químicas al agua para eliminar las cargas eléctricas de los coloides (material en suspensión), y permitir que éstos se junten entre ellos y generen elementos de mayor tamaño (*flocs*) que puedan sedimentar por su propio peso. Uno de los principales elementos químicos que se utiliza para llevar a cabo este proceso de coagulación es el sulfato de aluminio hidratado ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$). Este proceso consta de las tres fases que se describen a continuación:

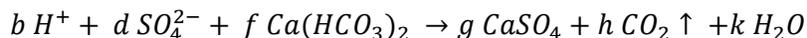
1. El sulfato de aluminio se ioniza en agua produciendo Al^{3+} y SO_4^{2-} :



2. La mayor parte del Al^{3+} se combina con iones hidróxido, OH^- , para formar un compuesto denominado hidróxido de aluminio $\text{Al}(\text{OH})_3$ que sedimenta y arrastra los coloides hacia el fondo de la unidad de sedimentación:



3. El exceso de iones hidrógeno (H^+) tiende a disminuir el *pH* de la solución (aumenta la concentración de los iones hidrógeno presentes en la solución) lo que es perjudicial para el proceso de coagulación en su conjunto. Para evitar esta situación se incorpora bicarbonato de calcio ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$) para controlar el *pH* de la solución:



A partir de la información anterior se pide:

- a. Determinar las constantes estequiométricas $x, y, z, w, a, b, d, f, g, h$ y k .
- b. Desarrollar una ecuación que describa el proceso de coagulación en su totalidad.
- c. Si se utilizan 600 mg/L de sulfato de aluminio hidratado para el tratamiento de un tipo de agua específico, ¿Cuántos mg/L de $\text{Al}(\text{OH})_3$ sedimentan?, ¿Cuántos kilogramos de $\text{Al}(\text{OH})_3$ sedimentan cada día si se está tratando un caudal de 50 l/s?
- d. Si se utilizan 600 mg/L de sulfato de aluminio hidratado, ¿Cuántos mg/L de H^+ se producen durante el tratamiento? ¿Qué cantidad de $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ se requiere para neutralizar la disminución de *pH* causada durante la *coagulación*?

Elemento	Símbolo	Peso Atómico [gr/mol]
Hidrogeno	H	1
Oxigeno	O	16
Carbono	C	12
Azufre	A	32
Aluminio	Al	27
Calcio	Ca	40

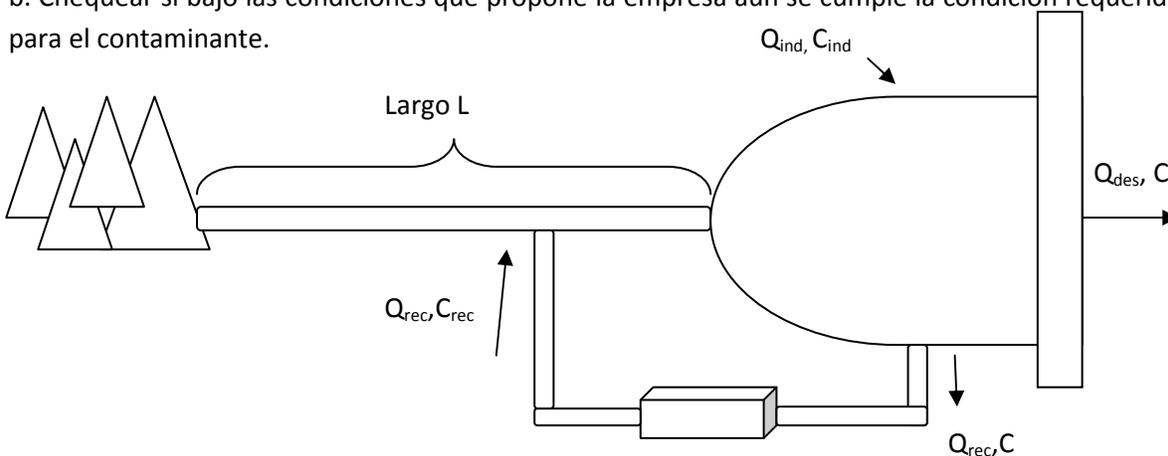
Problema 2.

En un río que surge de una napa subterránea presenta un contaminante X, debido a los procesos de erosión que genera el cauce a través de su correr antes de salir a la superficie. Este contaminante en contacto con la atmósfera empieza a decaer según una reacción de primer orden, de valor k_{d1} . Dado que esta fuente de agua pretende utilizarse para el abastecimiento de una comunidad cercana, se ha construido un embalse a una distancia L_1 aguas abajo del afloramiento, con el fin de acumular el agua y aplicarle productos químicos que generan un cambio de pH lo cual aceleraría la reacción de decaimiento, obteniéndose un nuevo valor de k_{d2} para esta reacción, además de generar de generar una reacción de sedimentación del contaminante, de velocidad v_s . Si la concentración máxima permitida de contaminante X a la salida del embalse es de 0,0002 [mg/L], se le pide que:

a. Calcule el valor de la concentración del contaminante a la salida del embalse, considerando que el río se comporta como flujo pistón.

Dado el buen funcionamiento del embalse y los niveles casi nulos del contaminante, una industria que debido a sus procesos industriales genera un ril que presenta este mismo compuesto ha solicitado autorización para descargar sus aguas contaminadas en el embalse, de caudal Q_{ind} y de concentración C_{ind} , y además a extraer una cantidad Q_{rec} de agua del embalse y devolverla al mismo cauce a una distancia $L/3$ aguas arriba del embalse con una concentración C_{rec} , a cambio de una bonificación económica.

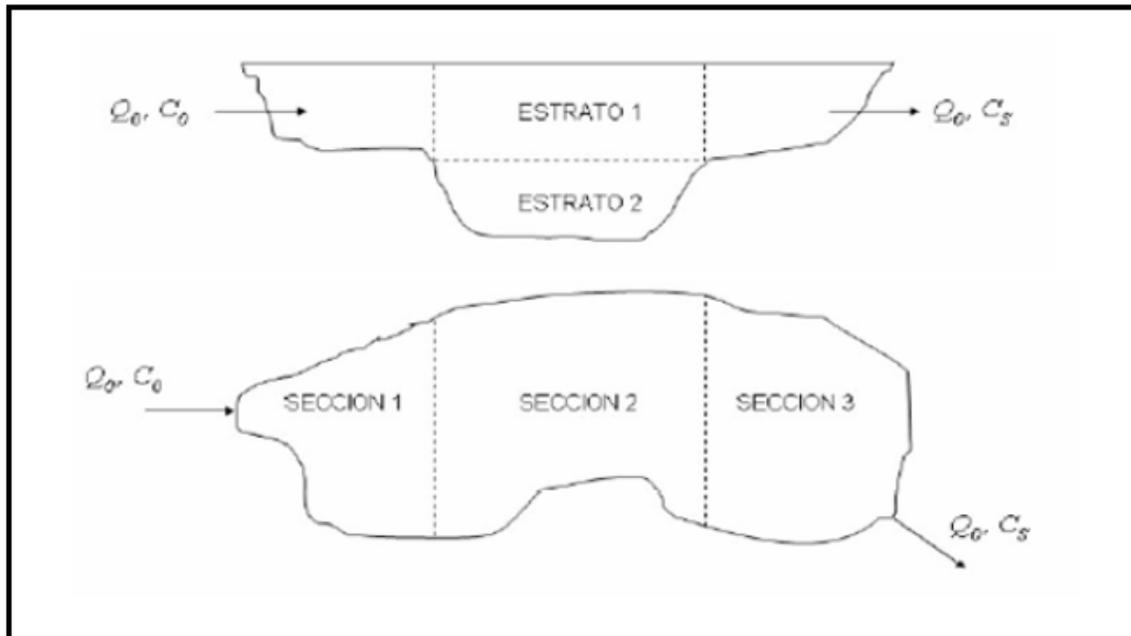
b. Chequear si bajo las condiciones que propone la empresa aún se cumple la condición requerida para el contaminante.



Parámetro	Unidad	Medida
$Q_{\text{río}}$	[m ³ /s]	3
Q_{ind}	[m ³ /s]	0,2
Q_{rec}	[m ³ /s]	0,8
$C_{\text{río}}$	[mg/L]	0,005
C_{ind}	[mg/L]	0,033
C_{rec}	[mg/L]	0,001
$K_{d_{\text{río}}}$	[1/día]	1
$K_{d_{\text{embalse}}}$	[1/día]	1,5
V_s	[m/s]	0,005
Área superficial	[m ²]	20.000
Volumen	[m ³]	1.000.000
Largo L	[m]	6.000

Problema 3.

Un lago ubicado en la zona central de Chile es alimentado por un río con un caudal promedio de 3 m³/s. El principal compuesto que se encuentra en las aguas del río es el fósforo. 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 3, es posible diferenciar el lago en tres secciones,, donde las secciones 1 y 2 son de profundidades someras y la sección 2 del lago se presenta como la zona mas profunda. Esta última zona es posible dividirla en dos estratos de características bastante marcadas debido a su comportamiento.



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, figura 4). Los mecanismos de transporte de fósforo entre el estrato superior e inferior en la sección 2 del lago se produce debido

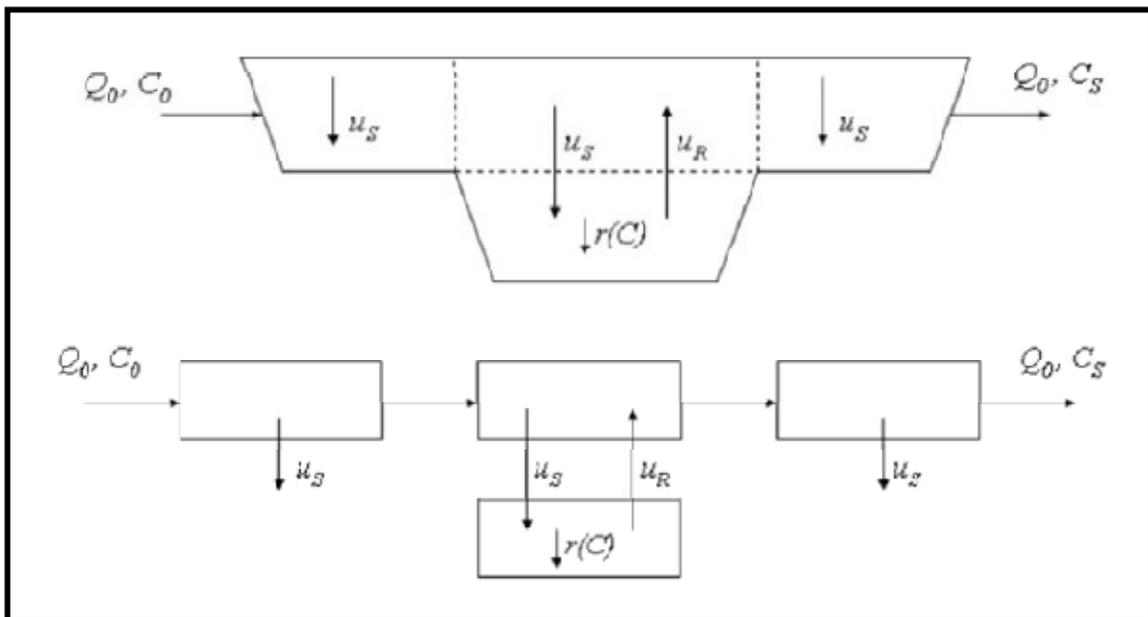
a sedimentación y resuspensión. En tanto, en las secciones 1 y 2 el único mecanismo de pérdida de masa corresponde a procesos de sedimentación.

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 a continuación 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 de iguales dimensiones. Las medidas medias de cada reactor se presentan en la tabla a continuación.

a. Suponiendo condiciones estacionarias, encuentre expresiones algebraicas 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. Considere que los procesos de sedimentación y resuspensión (u_s , u_r) se pueden modelar según una tasa de velocidad.

b) 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 eutroficación en el lago. Comente sus resultados.



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]