

Clase Auxiliar 2 “Balance de Masa, reacciones y Balance de Energía”

Problema N° 1: El lago de la Figura 1, recibe entradas de una sustancia B a través de tres fuentes: dos fuentes puntuales, que es el río y la descarga de la PT, y fuentes difusas que se distribuyen a lo largo de la orilla norte. Estas fuentes difusas derivan del uso de fertilizantes en la agricultura, actividad que se desarrolla justamente en el sector norte del lago, y que son transportados al lago por el escurrimiento superficial producido por las lluvias. B es una sustancia que es utilizada por las plantas acuáticas y fitoplancton (microalgas) en el sistema acuático para obtener nitrógeno (N), que es un nutriente necesario para su crecimiento y desarrollo. La situación de la concentración de B preocupa a la comunidad del sector por el efecto que puede tener al incrementar el crecimiento de las algas y deteriorar la calidad del sistema y su aspecto. De esta manera, se ha decidido realizar un estudio.

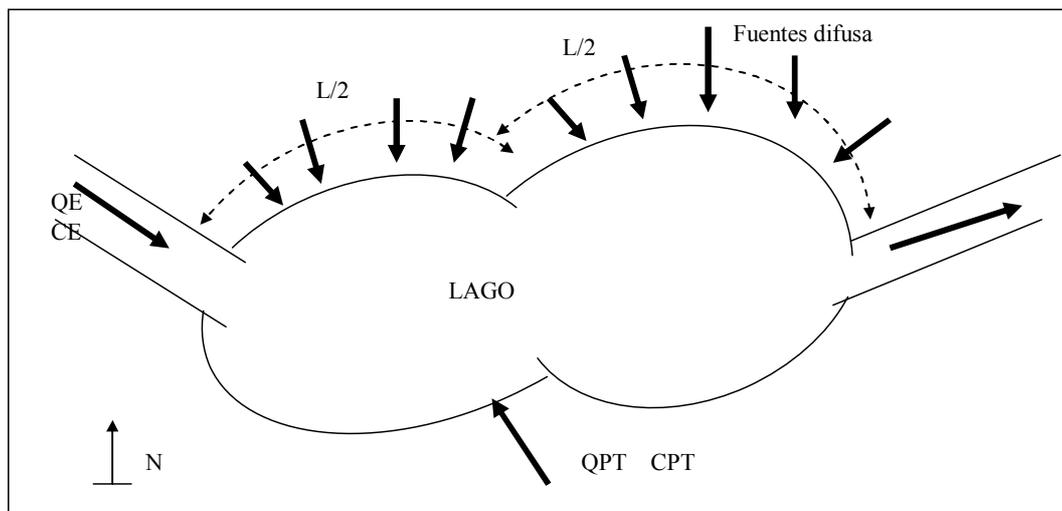


Figura N° 1: Configuración del sistema lago

- a) Dada la configuración del sistema, se podría esperar que en la realidad el lago se comportara como dos sistemas separados dada la dinámica de los procesos físicos. Sin embargo, como no hay datos suficientes en una primera etapa se plantean dos opciones para realizar el estudio (figura 2):
- Considerar el lago como un solo sistema y asumir mezcla completa
 - Considerar el lago como dos sistemas independientes y asumir mezcla completa en cada uno de ellos.

Para verificar las diferencias en los resultados obtenidos al utilizar cada una de las opciones mencionadas anteriormente, se puede realizar el siguiente ejercicio:

- i) Calcular la concentración a la salida del lago de una sustancia conservativa y para el caso de un sistema con mezcla completa y el caso de dos sistemas con mezcla completa. Compare las concentraciones obtenidas.
- ii) Calcular la concentración a la salida del lago de una sustancia no conservativa con una tasa de decaimiento k de primer orden, para el caso de un sistema con mezcla completa y el caso de dos sistemas con mezcla completa. Compare las concentraciones obtenidas.

En este caso los datos son Q_E , C_E , Q_{PT} , C_{PT} . Considere una situación de equilibrio sin fuentes difusas.

- b) Suponiendo que el modelo de dos sistemas de mezcla completa se ajusta mejor a la situación, calcule la concentración a la salida del lago en situación de equilibrio de la concentración de B. Considere las fuentes difusas. Considere además que B está sujeto a dos procesos:
 - Consumo por parte de algas y fitoplancton. Este proceso se puede caracterizar con una tasa de primer orden constante de consumo k_c .
 - Generación de B por la transformación de una sustancia A en B. Esta reacción es de primer orden con un coeficiente de reacción k_g .

Datos:

A_O , B_O , A_E , B_E , Q_E , A_{PT} , B_{PT} , Q_{PT} , A_{dif} , B_{dif} , q_{dif} , L , V . Donde q_{dif} es el caudal por unidad de longitud correspondiente a la fuente difusa.

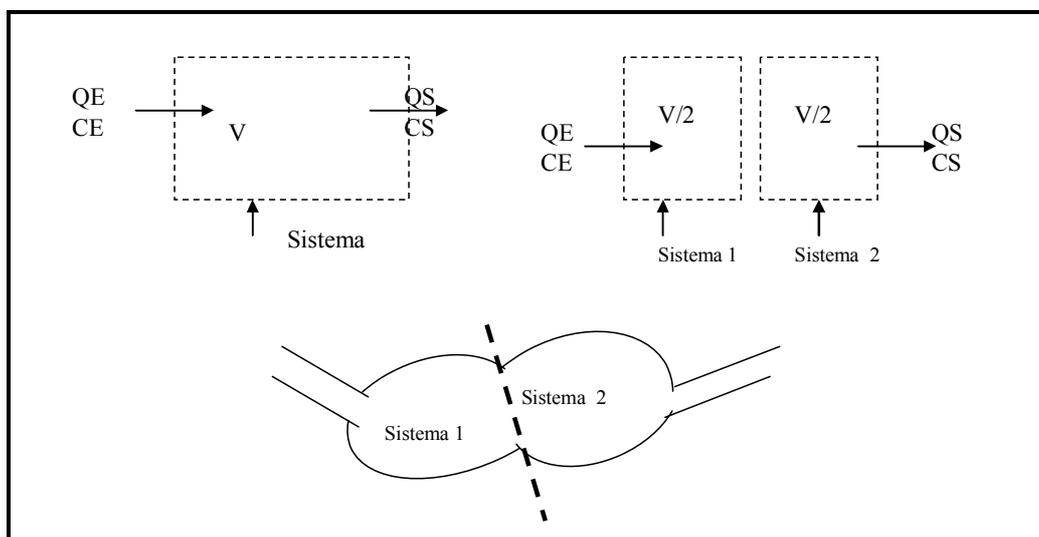


Figura N° 2: Configuración de las opciones de modelación del sistema

Problema N° 2: 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. 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.

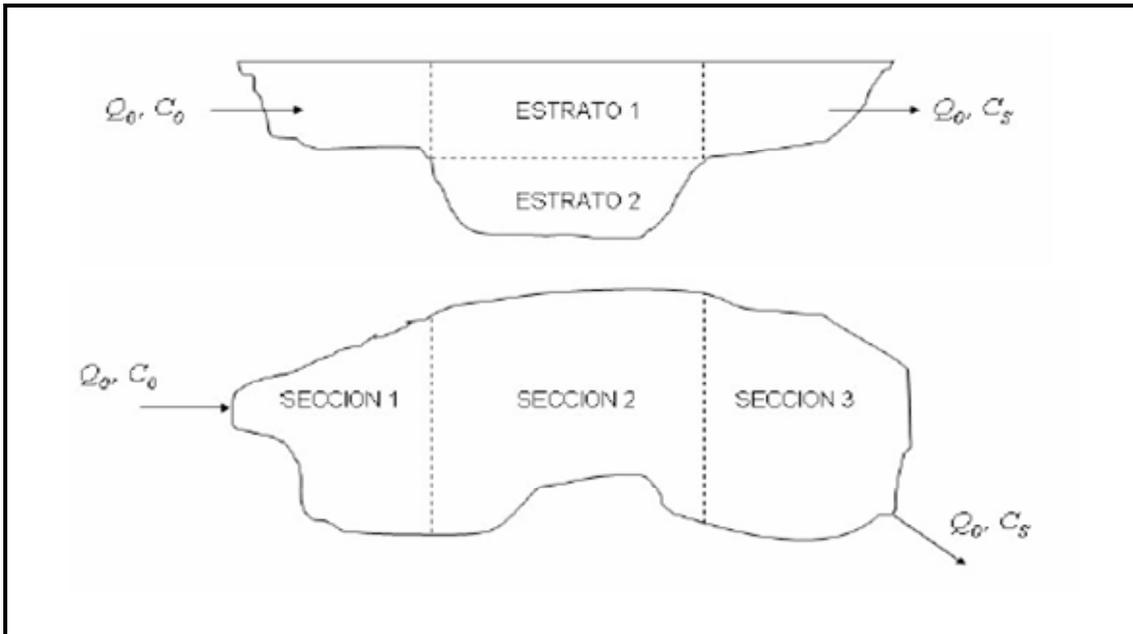


Figura N° 3

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 4 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 1.

- 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.

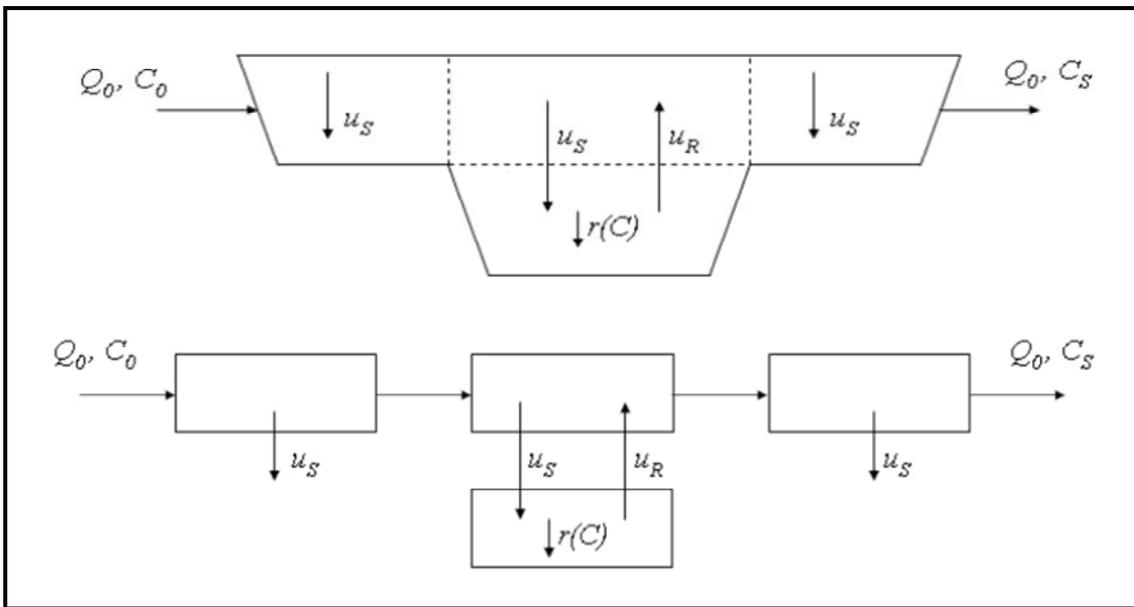


Figura N° 4

Tabla N° 1: Valores medios de los cuatro reactores

Parametro	Valor	Unidad
Altura (H)	5	m
Ancho (a)	100	m
Largo (L)	100	m
u_s	6	m/dia
u_r	3	m/dia
k_0	0,0001	mg/l/dia

Problema N° 3: El sistema de la figura 5 muestra un río que desemboca en un lago, el cual transporta una cierta cantidad de sedimentos en suspensión. Se contempla incorporar al río agua que proviene de un proceso industrial y que se obtuvo de la napa subterránea. Se quiere calcular el efecto que tendrá este aporte de caudal en la cantidad de sedimentos que llegará al lago. Para esto se pide que determines la concentración de entrada en el lago considerando los siguientes datos del problema:

Datos del problema:

Q_a , C_a , $Q_{descarga}$, $C_{descarga}$, b (ancho de río), h (altura de escurrimiento), L

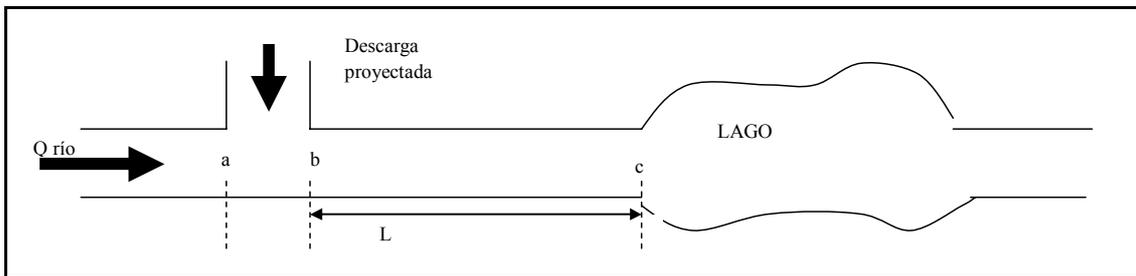
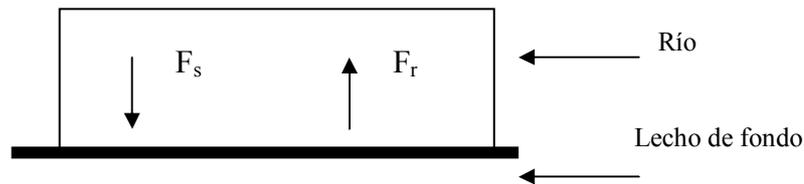


Figura N° 5: Configuración del sistema y descarga

Indicación:

- Asuma que el sistema está bien mezclado en la vertical
- Asuma Flujo Pistón.
- El problema de sedimentos implica que hay resuspensión y sedimentación, con sus respectivas tasas. Para incluir este efecto se sugiere considerar el siguiente sistema.



Donde:

F_r = Flujo de resuspensión por unidad de área. Este proceso se define como de orden cero con una tasa igual a E_r [$M/T/L^3$]

F_s = flujo de sedimentación por unidad de área. Este proceso se define como de primer orden con una tasa de sedimentación igual a K_s [$1/T$]

Problema N° 4: Una planta termoeléctrica de 600 MW (energía eléctrica) tiene una eficiencia de 36%, con 15% de las pérdidas de calor liberadas a la atmósfera a través de la chimenea y el otro 85% entregado a agua de enfriamiento que es obtenido de un río cercano. En vez de devolver el agua de enfriamiento al río, esta planta usa una torre de evaporación donde el calor es liberado a la atmósfera a través del agua de enfriamiento que ha sido evaporada.

- Cual es el caudal de agua del río, que tiene una temperatura de 17 °C, que debe ser utilizada para poder liberar las pérdidas de calor por medio de la torre de evaporación?
- Comente acerca de las consecuencias del uso de la torre de enfriamiento versus descargar el agua de enfriamiento en el río, para el medio ambiente.
- Si el combustible utilizado contiene un 7% de material particulado, cual es la cantidad de material particulado que la planta emite por año?

Datos:

$c = 4.184 \text{ [KJ/Kg/}^\circ\text{C]}$ (calor específico del agua, asumir constante)

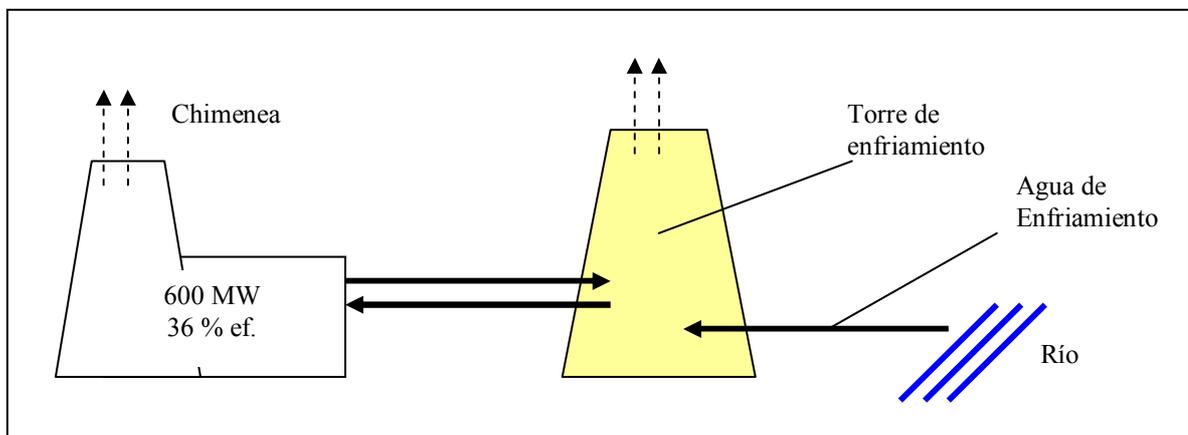
$PC = 24 \text{ [KJ/Kg]}$ (poder calórico del combustible)

$H_L = 2258 \text{ [KJ/Kg]}$ (calor latente de evaporación)

$\rho_{\text{agua}} = 1000 \text{ [Kg/m}^3\text{]}$ (densidad del agua)

$T_{\text{evaporación}} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$

Eficiencia de remoción Material Particulado = 99.5 %

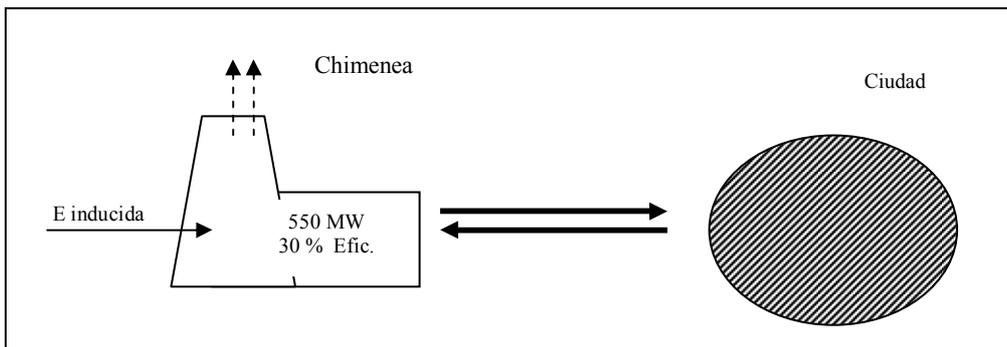


Nota: considere que el flujo de energía para evaporar queda expresado como se indica en la siguiente expresión:

$$\text{flujo_energia_evaporar} = \dot{m} \cdot H_L$$

Problema N° 5: En el último tiempo se ha generado una gran controversia referente a las demandas energéticas que tendrá el país. No tan solo por el aumento de población, sino que también por las nuevas tecnologías que se están utilizando en los hogares. Es por esto que las autoridades de la localidad de “Pueblo Lindo” se encuentran analizando la situación energética que se tiene en la zona y a la que se llegará en un corto plazo.

Actualmente la energía eléctrica que se entrega a la localidad es proporcionada por la termoeléctrica “chilquinto”. La central de 550 MW, trabaja con una eficiencia de 30 % y remueve un 99.5% del material particulado. Con esta energía eléctrica se abastece a la población en el año 2008. Como dato se sabe que en promedio una persona consume 2.9 KW-h/día



Si la población para el año 2015 se puede realizar mediante una proyección geométrica como se indica en la siguiente expresión. Considere una tasa de crecimiento, G , de 5%. K representa el periodo, en años, para el cual se esta realizando la proyección (2008 al 2015):

$$P_{i+k} = P_i \cdot (1 + G)^k$$

Para evaluar la situación se le pide:

- Estime la población para el año 2015
- estime la nueva generación eléctrica que debe tener la planta para cumplir con las demandas para el año 2015. Además de indicar la cantidad de combustible que se usa en el año 2008 y el que se requerirá para el año 2015. Para ello considere que la planta trabaja con la misma eficiencia durante todo el tiempo.
- Dado que el combustible utilizado corresponde a carbón, y que este tiene un 10% de material particulado y un 5% de dióxido de azufre (SO₂), se pide determinar las emisiones que se producirán para el año 2008 y 2015.

Nota: El poder calorífico del combustible para el carbón se estima en 28000 [KJ/Kg].

Problema N° 6: El poder calórico del combustible fósil usado en una termoeléctrica es de 24 KJ/g y tiene un contenido de carbón del 62%. Para casi todas las nuevas plantas, se ha impuesto estándares de emisiones límites para sulfuro de 260 g. de dióxido de sulfuro (SO₂) por millón de KJ de calor introducido a la planta (130 g de sulfuro elemental por 10⁶ KJ). También se ha restringido las emisiones de material particulado a 13 g/10⁶ KJ.

Suponga que en promedio la planta quema combustible con un contenido de 2% de sulfuro y 10% de material que se convierte en cenizas (no se desintegra). Un 70% de estas cenizas se libera como cenizas flotantes y el 30% sedimenta y se recolecta como cenizas de fondo.

Asuma que esta es una típica planta de combustión con 3 unidades de calor para generar una unidad de energía eléctrica.

- a) Por KW-hora de energía eléctrica producida, encontrar las emisiones de SO₂, material particulado y carbón (asuma que todo el carbón en el combustible es liberado a la atmósfera)
- b) Que tan eficiente debe ser el control de emisiones para cumplir con la limitación en las emisiones de azufre elemental?
- c) Si usted asume que todo el material particulado esta constituido por las cenizas flotantes que tan eficiente debería ser el sistema de control de partículas para cumplir con la norma?