

**CI 61Q PRINCIPIOS DE REMEDIACION Y RESTAURACION
SEMESTRE PRIMAVERA 2013
EJERCICIO 5**

Octubre 9, 2013

Problema#1

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 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:

- 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/L²/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).

Problema#2

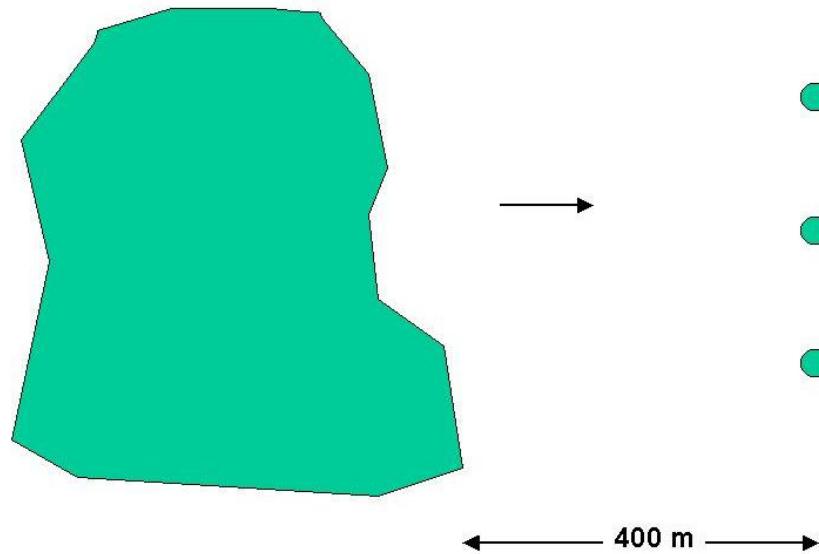
Determinar el volumen de agua potable que puede ser contaminado por 1 litro de tricloroetileno (TCE). El límite máximo permitido (MCL) para este compuesto en agua potable es 5 µg/L. La densidad del TCE puro es de 1.46 T/m³ a 20°C.

Determinar el volumen de TCE que se requiere para contaminar (exceder el MCL) un volumen de 1 litro de agua potable.

Problema#3

Residuos de cenizas provenientes de una turbina de vapor para generación eléctrica son depositados en una serie de pozas, como se muestra en la Figura 3.1. Estas pozas se ubican sobre un acuífero superficial no confinado, y se encuentra aguas arriba de un sistema de pozos de bombeo que se utilizan para riego.

Figura 3.1
Vista en Planta Zona Contaminada



La velocidad promedio lineal es 0.15 m/día y el coeficiente de difusión molecular es $1 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$. Los residuos contienen una mezcla de ceniza muy fina y agua, y tiene una concentración de boro igual a 7.5 mg/l. De acuerdo a información agronómica, un daño muy serio a los cultivos se produce si el agua de riego contiene más de 0.75 mg/l.

- Si la dispersividad longitudinal es igual a 1.0 m, en cuanto tiempo los pozos de bombeo deberán ser abandonados? Asuma flujo unidimensional y uniforme, e ignore dispersión transversal. Asuma que el boro se comporta como un contaminante altamente conservativo, y que no se ha detectado la presencia de boro en este acuífero. Discuta sus resultados.
- Suponga que el boro se adsorbe en el material del acuífero, y su comportamiento se puede representar mediante una isoterma lineal cuyos parámetros son $K_d = 1.5 \text{ ml/g}$, $\rho_b = 1.5 \text{ g/cm}^3$, y $n = 0.25$. repita la parte a). Discuta sus resultados.
- Comente los resultados obtenidos en las partes a) y b).

Problema#4

Un suelo que contiene 3% de materia orgánica en peso ($f_{oc}=0.03$), ha sido contaminado con un hidrocarburo que se caracteriza por un coeficiente $k_{ow}=1000$ y una constante de la Ley de Henry, $H = 4 \times 10^{-12}$. Se han llevado a cabo ensayos de laboratorio para obtener el valor del coeficiente de distribución K_d , para lo cual se añadió 100 mg del compuesto (solute) a 500 g de suelo seco. Posteriormente se añadieron a la mezcla unos volúmenes de agua conocidos y se almacenaron las muestras en contenedores sin cubierta. Los resultados obtenidos a partir de los experimentos se muestran a continuación.

Tabla 4.1
Resultados de Pruebas de Adsorción

Volumen (L)	C_e ($\mu\text{g/l}$)
1	11.8
2	10.5
3	9.5
4	8.7
5	8.0

- ¿Fue adecuado el empleo de contenedores sin cubierta, en este caso? Explicar la respuesta.
- Utilice la información disponible para determinar el valor de K_d correspondiente, expresado en m^3/g . Comente sus resultados.
- Algunas referencias indican que un modelo adecuado para la estimación del K_d es el siguiente:

$$K_d = 6.3 \cdot 10^{-7} \cdot f_{oc} \cdot k_{ow}$$

Según sus resultados, sería este modelo adecuado para representar el comportamiento de este hidrocarburo.

Problema#5

10 mg de 1,1,1-tricloroetano (1,1,1-TCA) se agrega a una botella cerrada de 500 mL, la que contiene 200 mL de agua y 300 mL de octanol. La botella es dejada en un agitador operado a baja velocidad por 24 horas y los fluidos son dejados para que se estabilicen. El análisis de 1,1,1-TCA en cada líquido muestra los siguientes valores: $C_{AGUA}=105 \mu\text{g/L}$ y $C_{OCTANOL}= 33.3 \text{ mg/L}$. Determine k_{ow} y chequee el balance de masas.

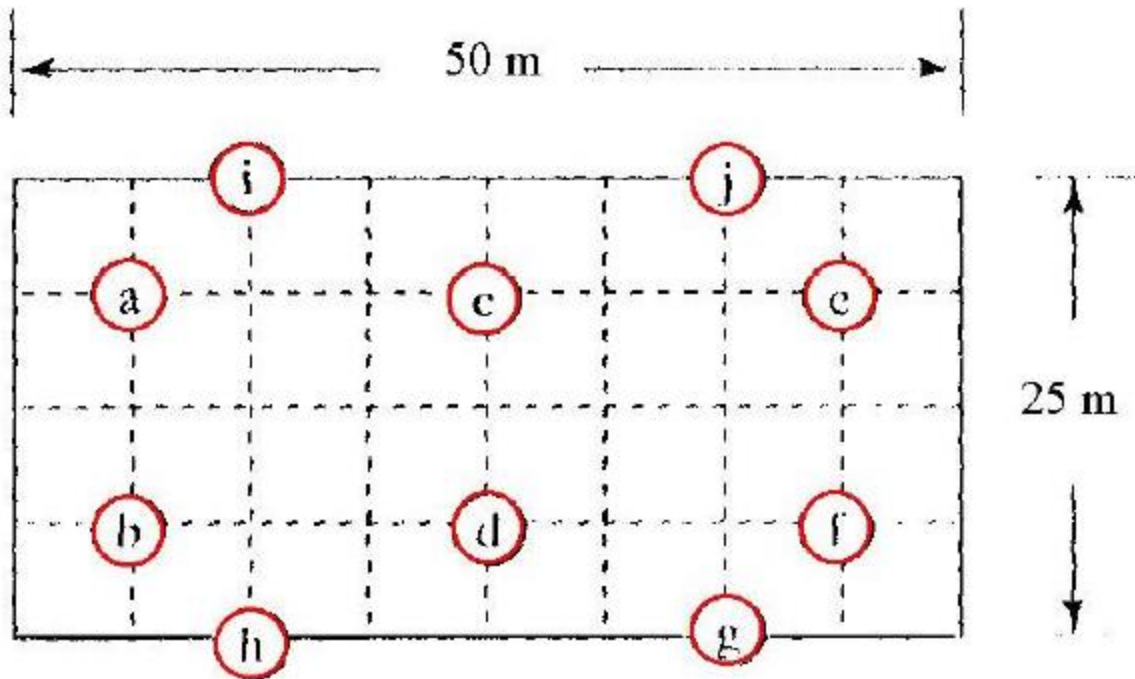
Problema#6

Estime el volumen y la concentración promedio de TCE (tricloroetileno) contenida en un acuífero superficial. Utilice la información presentada en la Tabla 4.1 y la distribución de puntos de muestreo en la Figura 4.1.

Tabla 4.1
Concentración de TCE en Fase Líquida

Punto Muestreo	Profundidad (m)					
	5	10	15	20	25	30
a	20	50	75	25	0	0
b	10	30	65	50	20	0
c	180	300	350	150	50	0
d	340	650	700	300	150	30
e	60	90	110	70	35	10
f	30	55	70	25	0	0
g	3	5	7	0	0	0
h	15	25	30	20	5	0
i	1	3	6	1	0	0
j	0	2	3	0	0	0

Figura 4.1
Ubicación de Puntos de Muestreo



Problema#7

Dado los siguientes resultados, Tabla 7.1, de una experiencia de laboratorio (isoterma), y suponiendo que f_{oc} es igual a 0.02, calcule el valor de k_{oc} para este contaminante.

Tabla 7.1
Resultados Isoterma

Concentración en fase acuosa (mg/L)	Concentración en fase sólida (mg/Kg)
0.1	0.8
0.2	1.6
0.3	2.4
0.4	3.2
0.5	4.0

Para el compuesto anterior, determine la fracción de contaminante que se encuentra asociada con los materiales sólidos del acuífero. Suponga una porosidad del 25%.

RESUMEN DE SOLUCIONES ANALITICAS

Elemento o especie conservativa

$$D_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - v_x \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{\partial C}{\partial t} \qquad D = D^* + \alpha_L \cdot v_x$$

Elemento o especie no conservativa

$$D_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - v_x \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial S}{\partial t} \qquad S = \frac{\rho_b}{n} \cdot K_d \cdot C$$

Inyección Continua, Dominio Semi-Infinito, Condición de Borde de "Primer Tipo"

$$\frac{C(x,t) - C_i}{C_0 - C_i} = \frac{1}{2} \cdot \left[\operatorname{erfc} \left(\frac{x - v_x \cdot t}{2 \cdot \sqrt{D_x \cdot t}} \right) + \exp \left(\frac{v_x \cdot x}{D_x} \right) \cdot \operatorname{erfc} \left(\frac{x + v_x \cdot t}{2 \cdot \sqrt{D_x \cdot t}} \right) \right]$$

$$C(x, t = 0) = C_i \qquad C(x = 0, t) = C_0 \qquad C(x \rightarrow \infty, t) = C_i$$

Si $Pe > 500$ ($Pe = \frac{v_x \cdot L}{D_x}$), la solución analítica se simplifica a:

$$\frac{C(x,t) - C_i}{C_0 - C_i} = \frac{1}{2} \cdot \operatorname{erfc} \left(\frac{x - v_x \cdot t}{2 \cdot \sqrt{D_x \cdot t}} \right)$$

Tabla 3.1
Valores de la Función de Error (erf) y la Función de Error Complementaria (erfc)

β	$erf(\beta)$	$erfc(\beta)$
0	0.000000	1.000000
0.05	0.056372	0.943628
0.10	0.112463	0.887537
0.15	0.167996	0.832004
0.20	0.222703	0.777297
0.25	0.276326	0.723674
0.30	0.328627	0.671373
0.35	0.379382	0.620618
0.40	0.428392	0.571608
0.45	0.475482	0.524518
0.50	0.520500	0.479500
0.55	0.563323	0.436677
0.60	0.603856	0.396144
0.65	0.642029	0.357971
0.70	0.677801	0.322199
0.75	0.711155	0.288845
0.80	0.742101	0.257899
0.85	0.770668	0.229332
0.90	0.796908	0.203092
0.95	0.820891	0.179109
1.00	0.842701	0.157299
1.10	0.880205	0.119795
1.20	0.910314	0.089686
1.30	0.934008	0.065992
1.40	0.952285	0.047715
1.50	0.966105	0.033895
1.60	0.976348	0.023652
1.70	0.983790	0.016210
1.80	0.989091	0.010909
1.90	0.992790	0.007210
2.00	0.995322	0.004678
2.10	0.997021	0.002979
2.20	0.998137	0.001863
2.30	0.998857	0.001143
2.40	0.999311	0.000689
2.50	0.999593	0.000407
2.60	0.999764	0.000236
2.70	0.999866	0.000134
2.80	0.999925	0.000075
2.90	0.999959	0.000041
3.00	0.999978	0.000022

$$erfc(\beta) = 1 - erf(\beta)$$

$$erfc(-\beta) = 1 + erf(\beta)$$