

# **BASES DE LA INGENIERÍA AMBIENTAL**

## ***GUIÓN DE LAS PRÁCTICAS***

TUTOR TEORÍA: Enric Centelles

TUTOR PRÁCTICAS: Enric Centelles

## PRACTICA 1. Convección Natural

La transmisión de calor puede ocurrir por tres fenómenos: conducción, convección y radiación, y es debida a una diferencia de temperatura entre las zonas en las que se produce el intercambio.

Dependiendo del sistema, el intercambio de calor se produce mayoritariamente por uno de los tres mecanismos.

En este trabajo experimental se desea fijar la atención sobre el mecanismo de convección. La convección es la transmisión de calor de un punto a otro de un fluido, entre un fluido y un sólido, o entre dos fluidos inmiscibles. Interviene pues el movimiento que dentro de un líquido tienen sus moléculas y agregados. Esta movilidad en el líquido puede surgir como diferencia de densidades debida a la diferencia de temperatura (convección natural) y la debida a la agitación mecánica (convección forzada).

La transmisión de calor por convección, dentro de un medio fluido, responde a la ley general:

$$Q = h a (T_s - T_a)$$

$Q$  es un flujo de calor, por tanto calor transmitido por unidad de tiempo, a través del área  $a$  normal a la dirección del flujo.

$T_s$  y  $T_a$  las temperaturas en las posiciones donde se contempla el flujo.

$h$  el coeficiente de proporcionalidad, o coeficiente de intercambio por convección.

Si el flujo de calor se produce entre un sólido y un fluido, responde a la misma expresión, si bien es difícil hallar la temperatura del sólido en contacto con el fluido, y en cambio se puede conocer con más exactitud la temperatura en el interior del sólido a una distancia  $e$  de la pared y tener en cuenta la transmisión de calor por conducción, que se produce en el sólido.

$$Q = \frac{k}{e} a (T_I - T_s) = h a (T_s - T_a)$$

$k$  es la conductividad calorífica del sólido

Teniendo en cuenta conjuntamente ambos fenómenos:

$$Q = \frac{(T_I - T_S)}{\frac{e}{ka}} = \frac{(T_S - T_A)}{\frac{1}{ha}} = \frac{(T_I - T_S) + (T_S - T_A)}{\frac{e}{ka} + \frac{1}{ha}} = \frac{(T_I - T_A)}{\frac{e}{ka} + \frac{1}{ha}}$$

De este modo relacionamos un flujo de calor entre dos posiciones de temperaturas conocidas.

Por otro lado, el flujo de calor  $Q = dq/dt$  se puede conocer por el enfriamiento de la masa de agua:

$Q = m c_p dT_I$ . Por tanto :

$$Q = \frac{dq}{dt} = m c_p \frac{dT_I}{dt} = \frac{(T_I - T_A)}{\frac{e}{ka} + \frac{1}{ha}}$$

Reagrupando las variables

$$\frac{dT_I}{(T_I - T_A)} = \frac{a}{m c_p \left[ \frac{e}{k} + \frac{1}{h} \right]} dt$$

La integral de la expresión:

$$\ln \frac{(T_I - T_A)_t}{(T_I - T_A)_{t_0}} = \frac{a}{m c_p \left[ \frac{e}{k} + \frac{1}{h} \right]} t$$

La representación del  $\ln (T_I - T_A)$  de la expresión respecto del tiempo debe proporcionar una línea recta de ordenada en el origen  $\ln (T_I - T_A)_{t_0}$  y **de cuya pendiente se puede estimar el valor del coeficiente h** si se conocen, a, superficie del recipiente, e, espesor del vidrio k conductividad del vidrio, m masa de agua introducida y  $c_p$  calor específico del agua (1 cal/g·°C).

- OBJETIVO

En la práctica se pretende conocer la convección natural vidrio-aire y calcular el coeficiente de intercambio por convección en dicho sistema.

- PROCEDIMIENTO Y CONSIDERACIONES

- Se introduce una masa de agua conocida (200 ml) a una temperatura determinada T (entre 60-90°C)
- Esta temperatura ( $T_I$ ) ira disminuyendo debido al intercambio de calor con el ambiente.
- Medir la temperatura a diferentes intervalos de tiempo (más a menudo en los tiempos iniciales i cuanto más alta sea la T)
- Determinar la temperatura ambiente. Se considera constante  $T_a$
- Consideramos la pared del vidrio a la misma temperatura que el agua ( $T_I$ ).
- La experiencia se realizará en dos ocasiones. En una el intervalo de trabajo será de alrededor de los 90°C hasta alrededor de los 55°C

- RESULTADOS.

Para cada una de las dos experiencias:

- Confeccionar una tabla tal como:

Tiempo (s)	$T_I$ (°C)	$\ln (T_I - T_A)t / (T_I - T_A)t_0$

- Respresentar gráficamente T vs tiempo.
- Representar gráficamente  $\ln (T_I - T_A)t / (T_I - T_A)t_0$  vs tiempo.
- Determinad el valor del coeficiente h a partir del los siguientes valores de K ( $\text{cal cm}^{-2} \text{s}^{-1} \text{°C}^{-1}$ ) para vidrio pirex.

-100 °C	0 °C	+100 °C
$21 \cdot 10^{-4}$	$26 \cdot 10^{-4}$	$30 \cdot 10^{-4}$

## **PRACTICA 2. Sedimentación**

Es una operación unitaria que consiste en separar por acción de la gravedad, las partículas suspendidas cuyo peso específico sea mayor que el del agua. Se emplea para retirar arenas, agregados químicos y biológicos, espesar fangos, etc. Es un proceso barato pero en muchos casos ineficiente cuando se trata de partículas de muy bajo peso como materiales biológicos. A pesar de esto, la sedimentación se utiliza actualmente en tratamiento de aguas.

Talmadge y Fitch desarrollaron un método para determinar la superficie necesaria para el espesado de fangos. Se llena una columna de altura  $h$  con una suspensión de sólidos de concentración  $C_0$ . Al pasar el tiempo los sólidos van sedimentando y la altura de la suspensión irá disminuyendo. Según este método, el área crítica para el espesado se puede expresar como:

$$S = \frac{Q_0 t_f}{h_0}$$

donde  $S$  = área para espesar los sólidos, en  $m^2$

$Q_0$  = caudal de entrada, en  $m^3 s^{-1}$

$h_0$  = altura inicial de la suspensión en la columna, en m

$t_f$  = tiempo al que se alcanza la concentración de sólidos deseada en el fondo del tanque, en s.

Por otra parte, la concentración final de fangos o de material depositado que se requiere conseguir viene dada por una expresión del tipo:

$$C_f = \frac{C_0 h_0}{h_f}$$

- **OBJETIVO**

En esta práctica se pretende comparar la velocidad de sedimentación de diferentes tamaños de partícula y su relación con la superficie de carga.

- **PROCEDIMIENTO Y CONSIDERACIONES**

- Preparar 3 disoluciones (de 10 mL cada una, con una concentración de 25 gr/l, 50 gr/l y 75 gr/l de  $CaCO_3$ ) en una probeta de 10 ml con tapón. (Se

puede añadir a estas disoluciones una gota de de una solución de permanganato potásico para ayudar en la visualización de la interfase).

- Con las probetas tapadas, agitar bien las tres disoluciones. Una vez realizada esta operación, dejar las tres probetas simultáneamente en reposo. Este momento se considera tiempo 0.
- Medir y anotar la altura del sedimento a diferentes intervalos de tiempo (más a menudo en los tiempos iniciales y cuanto más diluida es la solución).

- RESULTADOS.

Para cada una de las disoluciones:

- Confeccionar una tabla tal como:

Tiempo (min)	Altura	C <sub>final</sub>

- Representar la altura de la interfase frente al tiempo.
- Considerando que la concentración final del residuo sólido sedimentado queremos que sea de 250 gr/l, determinar el radio de un decantador circular para espesar un caudal de 100 m<sup>3</sup> min<sup>-1</sup>. (Ver Tema 10 de la Unidad Didáctica apartado "Diseño de un sedimentador" y aplicar la resolución gráfica de Talmadge y Fitch)

### **PRACTICA 3. Coagulación-Floculación.**

Es el proceso más utilizado para eliminar las sustancias que producen turbidez en el agua. Consiste en añadir productos químicos que provocan la alteración del estado físico de los sólidos disueltos y de aquellos que están en suspensión, produciendo su precipitación y posterior eliminación por sedimentación o filtración. Esta alteración del estado físico se produce debido a la interacción de las diferentes partículas presentes en el líquido, que aunque globalmente la carga neta de la suspensión es 0, a nivel microscópico existen diferencias significativas de carga.

Esta operación consta de cuatro procesos o etapas: mezclado, coagulación (proceso en la que se desestabilizan las partículas coloidales), floculación (proceso en el que los diferentes coágulos suspendidos se aglomeran unos a otros) y decantación.

- **OBJETIVO**

En la práctica se pretende observar los procesos de coagulación y floculación a partir de una solución en suspensión y determinar la concentración óptima de floculante.

- **PROCEDIMIENTO Y CONSIDERACIONES**

- Se preparan 5 vasos de precipitado con 200 mL de solución con suspensión al 3% de una tierra.
- Determinar el pH y ajustarlo con NaOH o HCl al 0,1N hasta que quede comprendido entre 6 y 7.
- Situar los vasos en el floculador (JarTest).
- Agitar a unas 100 rpm.
- Añadir, a partir de una solución de  $Al_2(SO_4)_3$  de 1000ppm, diferentes cantidades de coagulante a cada uno de los vasos, dejando uno de ellos sin coagulante que nos servirá de control (ej. 0, 2, 5, 10, 25, 50 mL).
- Agitar las soluciones con las aspas del floculador durante 1 min a 100rpm (mezcla rápida y coagulación)
- Agitar a 40 rpm durante 5 min (observar el efecto del coagulante).
- Agitar a unas 100 rpm y añadir 2 gotas del floculante.
- Agitar a 40 rpm durante 5 min (observar el efecto del floculante).
- Dejar en reposo el sistema durante 10 min. Observar la apariencia y consistencia del flock y su velocidad de decantación.

- RESULTADOS.

- Determinar la dosis óptima de coagulante

NOTA: La dosis óptima la dará aquel vaso donde los valores de color y turbidez sean los más bajos y en donde la velocidad de decantación y la consistencia del flóculo sean mejores.

- ¿Qué tamaño crees que tendrá un sedimentador en el que se haya realizado previamente este proceso de coagulación floculación respecto a uno en el que no se haya efectuado?

## PRACTICA 4 y 5. Adsorción

La operación básica de adsorción se basa en el hecho físico de enlazar unas determinadas partículas sobre una superficie dotada de centros químicamente activos. No debe confundirse con absorción que es el hecho de introducir estas partículas en porosidades del sólido.

El enlace con la superficie, en la mayoría de los casos, es débil y reversible. Casi todo lo que puede contenerse por disolución o suspensión en un fluido es susceptible de ser enlazado.

Para los procesos de adsorción, la ingeniería ambiental utiliza adsorbentes, tanto naturales como sintéticos, capaces de enlazar componentes de un gas o líquido en una superficie sólida.

Los adsorbentes más comunes debido a su elevada relación de área por unidad de peso son el carbón activo, gel sílice, alúmina y determinados polímeros sintéticos especializados. Los procesos de adsorción son extremadamente útiles en las etapas de limpieza del tratamiento de aguas y para la decolorización y control de olores y sabores de determinados productos.

La cantidad de soluto que se reparte entre ambas fases, líquida y sólida, responde a unas condiciones de equilibrio. Los datos de la cantidad de soluto adsorbido sobre el sólido  $\text{mol g}^{-1}$  respecto a la cantidad de soluto que permanece en la fase líquida  $\text{mol / L}^{-1}$  para una misma temperatura se denomina isoterma de adsorción.

En la operación de adsorción además de los datos de equilibrio, es decir cuanta cantidad de soluto puedo retirar del disolvente, es necesario conocer también la velocidad, o el tiempo necesario para alcanzar una cantidad que supone un porcentaje del equilibrio.

Si se parte de una cantidad inicial de  $C_0$  moles de soluto S contenidos en L litros de disolvente y M g de sólido adsorbente, esta disminuirá a  $C_1$  a tiempo  $t_1$ ,  $C_2$  a tiempo  $t_2$ ,  $C_n$  a tiempo  $t_n$ , El sólido recibe  $(C_0-C_1)$ ,  $(C_0-C_2)$  .....  $(C_0-C_n)$  moles en los respectivos tiempos. Si se disponen los datos

			C	Q
$t_0$	$C_0$	$C_0-C_0 = q_0$	$C_0 \text{ L}^{-1}$	$q_0 \text{ M}^{-1}$
$t_1$	$C_1$	$C_0-C_1 = q_1$	$C_1 \text{ L}^{-1}$	$q_{01} \text{ M}^{-1}$
$t_2$	$C_2$	$C_0-C_2 = q_2$	$C_2 \text{ L}^{-1}$	$q_{02} \text{ M}^{-1}$
$t_i$	$C_i$	$C_0-C_i = q_i$	$C_i \text{ L}^{-1}$	$q_{0i} \text{ M}^{-1}$
$t_n$	$C_n$	$C_0-C_n = q_n$	$C_n \text{ L}^{-1}$	$q_{0n} \text{ M}^{-1}$

La representación de  $Q$  frente a  $C$ , nos da la curva cinética y de ella se puede obtener la derivada es decir la velocidad de adsorción en función de las condiciones del ensayo , ( $C, q,$ ).

- OBJETIVO

En la práctica se pretende determinar la capacidad de adsorción de un carbón activado (I) y el tiempo necesario para alcanzar el equilibrio de adsorción (II).

### **Adsorción Ácido Acético (HAc) con carbón activo. (Práctica 4)**

- PROCEDIMIENTO Y CONSIDERACIONES

(SOLUCIÓN NaOH 0,01M Y SOLUCIÓN HAc 0,01M)

**(I) CAPACIDAD DE ADSORCIÓN (FENOLFTALEINA)**

- Preparar 4 vasos de precipitado con 0 (blanco), 0,2; 0,4; 0,8 g de carbón activo.
- Mojar con 2 mL de agua destilada para facilitar la adsorción del acético (HAc).
- Añadir 20 mL HAc previamente valorado con sosa para conocer su concentración original.
- Dejar actuar agitando de vez en cuando.
- A las 2h separar las disoluciones del carbón por filtración con büchner y poner el filtrado en vasos de precipitados.
- De cada vaso, tomar una alícuota de 10 mL y valorar con sosa para medir la concentración resultante de HAc, usando como indicador fenolftaleina.
- Repetir la operación tomando una segunda alícuota de 10 mL (Tomar como resultado el valor medio de las dos valoraciones).

- RESULTADOS.

- Confeccionar una tabla tal como:

$C_{\text{inicial}}$	$C_{\text{final}}$ (por valoración)	Reducción del contaminante del agua	g de carbón	Cantidad adsorbida
mol/L	mol/L	%	0	mol/g carbón
mol/L	mol/L	%	0,2	mol/g carbón
mol/L	mol/L	%	0,4	mol/g carbón
mol/L	mol/L	%	0,8	mol/g carbón

- Representar la reducción del contaminante frente a los gramos de carbón y sacar conclusiones al respecto.
- Representar la cantidad adsorbida por gramo de carbón frente a la concentración en el líquido.

## **(II) CINÉTICA**

- Se introducen 0,4 g de carbón activo en 3 vasos de precipitados.
- Mojar con 2 mL de agua destilada para facilitar la adsorción del acético (HAc).
- Añadir 20 mL HAc (previamente se ha valorado por triplicado con sosa para conocer su concentración original).
- Dejar actuar agitando de vez en cuando.
- A los 30, 60, 120 min se separan las disoluciones del carbón por filtración con büchner de los diferentes vasos y poner el filtrado en vasos de precipitados.
- De cada vaso, tomar una alícuota de 10 mL y se valora con sosa para medir la concentración resultante de HAc, usando como indicador fenolftaleína.
- Repetir la operación tomando una segunda alícuota de 10 mL (Tomar como resultado el valor medio de las dos valoraciones).

- **RESULTADOS.**

- Confeccionar una tabla tal como:

C <sub>inicial</sub>	C <sub>final</sub> (por valoración)	Reducción del contaminante del agua	Tiempo (min)	Cantidad adsorbida
mol/L	mol/L	%	30	mol/g carbon
mol/L	mol/L	%	60	mol/g carbon
mol/L	mol/L	%	120	mol/g carbon

- Representar la cantidad adsorbida por gramo de carbón frente al tiempo y la cantidad adsorbida por gramo de carbón frente a la concentración en el líquido
- Determinar de forma aproximada el tiempo de equilibrio.

### **Adsorción de Dicromato de Potasio con carbón activo. (Práctica 5)**

- PROCEDIMIENTO Y CONSIDERACIONES (práctica 5)

(Disolución de Dicromato de Potasio de  $2,5 \cdot 10^{-3}M$ )

#### **(I) CAPACIDAD DE ADSORCIÓN**

- Preparar 4 vasos de precipitado con 0 (blanco), 0,2; 0,4; 0,8 g de carbón activo.
- Mojar con 2 mL de agua destilada para facilitar la adsorción dicromato.
- Añadir 20 mL del dicromato de concentración perfectamente conocida.
- Dejar actuar agitando de vez en cuando.
- A la 1h separar las disoluciones del carbón por filtración con büchner y poner el filtrado en vasos de precipitados.
- Medir la absorbancia de las muestras a una  $\lambda = 428 \text{ nm}$ , restando el blanco. Calcular las concentraciones a que corresponden esas absorbancias.

*La concentración se relaciona con la absorbancia mediante la ley de Lambert-Beer.*

*Ley de Lambert-Beer*

$$A = e \cdot C \cdot L$$

*Siendo A = absorbancia; e = coeficiente de extinción molar; C = concentración en mol/L y l = paso de la cubeta en cm.*

*NOTA: Es necesaria una calibración previa mediante diferentes soluciones de concentración conocida de dicromato y confeccionando una recta de calibrado (Abs VS conc.)*

*Hay que tener en cuenta la absorbancia del blanco y para ello es necesario hacer un autocero.*

- RESULTADOS.

- Confeccionar una tabla tal como:

Conc <sub>inicial</sub> (Espect)	Conc <sub>final</sub> (Espect)	Reducción del contaminante del agua	g carbón	Cantidad adsorbida (mol/g carbón)
		%	0	
		%	0.2	
		%	0.4	
		%	0.8	

- Representar la reducción del contaminante frente a los gramos de carbón y sacar conclusiones al respecto.
- Representar la cantidad adsorbida por gramo de carbón frente a la concentración en el líquido.

## **(II) CINÉTICA**

- Se introducen 0,4 g de carbón activo en 5 vasos de precipitados.
- Mojar con 2 mL de agua destilada para facilitar la adsorción de la solución de dicromato.
- Añadir 20 mL del dicromato de concentración perfectamente conocida.
- Dejar actuar agitando de vez en cuando.
- A los 5, 10, 20, 40 y 60 min se separan las disoluciones del carbón por filtración con büchner de los diferentes vasos y se pone el filtrado en vasos de precipitados.
- Determinar la cantidad de dicromato no adsorbida mediante colorimetría, midiendo una alícuota de cada uno de los vasos en el espectrofotómetro a 428nm.

- **RESULTADOS.**

- Confeccionar una tabla tal como:

Conc <sub>inicial</sub> (Espect)	Conc <sub>final</sub> (Espect)	Reducción del contaminante del agua	Tiempo	Cantidad adsorbida (mol/g carbón)
			5	
		%	10	
		%	20	
		%	40	
		%	60	

- Representar la cantidad adsorbida por gramo de carbón frente al tiempo y la cantidad adsorbida por gramo de carbón frente a la concentración en el líquido.
- Determinar de forma aproximada el tiempo de equilibrio.

## **PRACTICA 6. Demanda Química de Oxígeno.**

La demanda química de oxígeno o DQO es un valor utilizado en el tratamiento de las aguas residuales. Indica la cantidad de oxígeno requerido para oxidar determinadas sustancias presentes en una muestra de agua residual, bajo condiciones específicas de: temperatura, tiempo y agente oxidante.

Generalmente estas sustancias son compuestos orgánicos pero también se incluyen algunos compuestos del azufre (ej. el sulfhídrico y los sulfitos), los yoduros etc.

El valor de la DQO suele ser superior a la demanda biológica de oxígeno (DBO; cantidad de oxígeno necesario para la oxidación bioquímica de los compuestos orgánicos degradables existentes en un líquido residual, fijando ciertas condiciones de tiempo y temperatura, normalmente 5 días y a 20 ° C). Esto es debido a que suele ser mayor el número de compuestos que se oxidan por vía química que biológica.

La materia orgánica oxidable se calcula en términos de oxígeno equivalente (mg O<sub>2</sub>/L).

La relación entre los dos parámetros es indicativo para la calidad del agua.

Los compuestos alifáticos volátiles de cadena lineal no se oxidan en cantidad apreciable, en parte debido a que están presentes en la fase de vapor y no entran en contacto con el líquido oxidante; tales compuestos se oxidan más efectivamente cuando se agrega Ag<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> como catalizador. Sin embargo, éste reacciona con los iones cloruro, bromuro y yoduro produciendo precipitados que son oxidados parcialmente.

Las dificultades causadas por la presencia de los haluros pueden superarse en buena parte, aunque no completamente, por acomplejamiento antes del proceso de reflujo con sulfato de mercurio (HgSO<sub>4</sub>), que forma el haluro mercuríco correspondiente, muy poco soluble en medio acuoso. La técnica no se debe usar para muestras que contengan más de 2 000 mg de Cl<sup>-</sup>/L; existen otros procedimientos diseñados para determinar la DQO en aguas salinas.

En este caso se considera la interferencia de nitritos despreciable.

- **OBJETIVO**

Determinar la DQO de una muestra de agua mediante una modificación del método 55220D Standard y digestión ácida en caliente con tubos (reflujo cerrado).

- PROCEDIMIENTO Y CONSIDERACIONES

a) Material y reactivos.

- Bloque termostático.
- Tubos de vidrio con tapón de rosca y junta de teflón.
- Bureta de 10 ml.
- Solución de digestión: 0.035 M de  $K_2Cr_2O_7$  que contiene un 16,7 % de  $H_2SO_4$  (v/v) y un 3,33 % de  $HgSO_4$  (w/v)
- Solución catalizadora:  $Ag_2SO_4$  0,55 % en  $H_2SO_4$ .
- Disolución patrón: Hidrogenoflato de potasio (FHP) de DQO 500 mg  $O_2/L$  (La DQO del reactivo es de 1,176 mg  $O_2/L$ ).
- Solución de valoración: Sulfato de amonio y hierro (II) (SAF) 0,035 M con un 20% de  $H_2SO_4$ .
- Indicador: Ferroina.

a) Procedimiento de trabajo.

- Colocar 2,5 mL de muestra en el tubo para la digestión con 1,5 mL de la solución de digestión y 3,5 mL de solución catalizadora.
- Utilizar otro tubo igual que el anterior pero con 2,5 ml de agua destilada, en vez de muestra, que nos servirá de blanco.
- Utilizar otro tubo igual que el anterior pero con 2,5 ml de patrón (FHP), por triplicado.
- Agitar para homogenizar y colocar en el digestor a 150°C durante 2h.
- Pasado el tiempo sacar los tubos y dejarlos enfriar hasta temperatura ambiente.
- Vaciar el contenido del tubo en un erlenmeyer de 50-100mL junto con las aguas de lavado del tubo para asegurarnos que no hay perdidas por trasvase.
- Añadir dos gotas de indicador (ferroina) y proceder con la valoración con el SAF, sulfato de amonio y hierro.
- Repetir la operación para todos los tubos

NOTA 1: El viraje del indicador se produce al primer cambio nítido de azul-verdoso a café-rojizo.

NOTA 2: El SAF se habrá estandarizado previamente.

- RESULTADOS.

- Determinar la DQO de las muestras problema suministradas.

$$D.Q.O = (8000 (V_o - V_m) \times M) / V$$

$V_o$  = Volumen de SAF gastado para el blanco.

$V_m$  = volumen de SAF gastado para la muestra.

$N$  = molaridad de SAF.

$V$  = volumen de la muestra.