

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS QUIMICAS Y AMBIENTALES**  
**EXAMEN DE SEGUNDA EVALUACION DE TRATAMIENTO DE AGUAS**

**RÚBRICA DEL EXAMEN**

**Fecha: febrero 13, 2017**

**TOTAL: 70 PUNTOS**

1. (15 puntos) Con los datos expuestos a continuación, obtenidos para un agua residual industrial, determine las concentraciones de: sólidos totales volátiles (STV), sólidos suspendidos fijos (SSF), y sólidos disueltos totales (SDT).

Sólidos totales

Peso de cápsula vacía= 50,326 g

Peso de cápsula más muestra: 118,400 g

Peso de cápsula más sólidos secos= 50,437 g

Peso de cápsula más sólidos secos después de la ignición a 550°C = 50,383 g

Considerar la densidad del agua problema como 1 g/ml.

Sólidos suspendidos:

Peso de papel filtro = 0,1170 g

Peso de papel filtro más sólidos secos= 0,1278 g

Peso de papel filtro más sólidos secos después de la ignición a 550°C = 0,1248 g

Volumen de muestra= 30 ml

$$ST = \frac{(50.437 - 50.326) \text{ g} \times \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}}}{(118.400 - 50.326) \text{ g} \times \frac{1 \text{ ml}}{1 \text{ g}} \times \frac{1 \text{ L}}{10^3 \text{ ml}}} = 1630,5 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

$$SST = \frac{(0.1278 - 0.1170) \text{ g} \times \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}}}{0,030 \text{ L}} = 360 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

$$SDT = 1630,5 - 360 = 1270,5 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

$$STV = \frac{(50.383 - 50.326) \text{ g} \times \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}}}{(118.400 - 50.326) \text{ g} \times \frac{1 \text{ ml}}{1 \text{ g}} \times \frac{1 \text{ L}}{10^3 \text{ ml}}} = 837,3 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

$$SSV = \frac{(0.1248 - 0.1170) \text{ g} \times \frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}}}{0,030 \text{ L}} = 260 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

$$SSP = 360 - 260 = 100 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

- 2 puntos
  
  
  
- 2 puntos
  
  
- 3 puntos
  
  
- 3 puntos
  
  
- 2 puntos
  
  
- 3 puntos

2. (10 puntos) Un agua contiene 74 mg/l de ion calcio y 18,3 mg/l de ion magnesio. Expresa la dureza del agua en mg/l como CaCO<sub>3</sub>. La alcalinidad del agua consiste de 150 mg/l de ion bicarbonato y 15 mg/l de ion carbonato. Expresa la alcalinidad en mg/l de CaCO<sub>3</sub>.

$$D_T = 74 \times \frac{50}{20} + 18,3 \times \frac{50}{12,12} = 260,5 \text{ mg/l CaCO}_3$$

$$Ale. = 150 \times \frac{50}{61} + 15 \times \frac{50}{60} = 135,45 \text{ mg/l CaCO}_3$$

3. (10 puntos) Un análisis de laboratorio hecho a una muestra de agua establece lo siguiente. Todas las concentraciones están dadas como sustancias.

$\text{Ca}^{2+} = 74 \text{ mg/l}$

$\text{HCO}_3^- = 274,5 \text{ mg/l}$

$\text{Mg}^{2+} = 18,3 \text{ mg/l}$

$\text{SO}_4^{2-} = 72,0 \text{ mg/l}$

$\text{Na}^+ = 27,6 \text{ mg/l}$

$\text{Cl}^- = 49,7 \text{ mg/l}$

$\text{K}^+ = 39,1 \text{ mg/l}$

- Realice el gráfico de barras del agua cruda y liste las hipotéticas combinaciones para esta agua.
- ¿Cuáles son las dosis de cal y carbonato de sodio requeridos para ablandar esta agua al mínimo posible técnicamente?
- Realice el grafico de barras después del ablandamiento SIN recarbonatación.

Observación: Los gráficos deberán ser ubicados en la hoja de papel milimetrado adjunta. Deberá especificarse a escala utilizada.

a)

Componente	mg/l	mg/mEq	mEq/l
$\text{Ca}^{2+}$	74	20	3.7
$\text{Mg}^{2+}$	18.3	12,2	1,5
$\text{Na}^+$	27.6	23	1.2
$\text{K}^+$	39.1	39.1	1
$\text{HCO}_3^-$	274.5	61	4.5
$\text{SO}_4^{2-}$	72	48	1.5
$\text{Cl}^-$	49.7	35,45	1.40

2,5 puntos

La suma de cationes y aniones es de 14.8.

Diagrama de barras del agua cruda

1 punto

$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$
$\text{HCO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Cl}^-$	

**Combinaciones**

Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, Mg(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> MgSO<sub>4</sub>, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> NaCl, KCl

1 punto

b)

**Dosis de cal Ca(OH)<sub>2</sub>**

Dureza Carbonácea = 4.50 mE/L

Dureza Mg = 1.5 mE/L

Exceso de Cal =  $50 \frac{mg}{l} = 1,35 mE/L$

Total de Ca(OH)<sub>2</sub> =  $7.35 \frac{mE}{L} = 278 mg/L$

Total de CaO =  $\frac{278 \times 56}{74} = 210.4 mg CaO/l$

1,5 punto

**Dosis de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>**

Dureza No Carbonácea =  $0,7 \frac{mE}{L} = 35 \frac{mg}{l}$

Dosis de cal Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> =  $35 \frac{mg}{L} \times 1,06 = 37.1 mg/l$

1,5 puntos

c)

Exceso de Cal= 1,35 mE/L

Ca<sup>2+</sup> residual = 30 mg/ CaCO<sub>3</sub>/l = 0.6 mE/L

Mg<sup>2+</sup> residual = 10 mg CaCO<sub>3</sub>/l = 0.2 mE/L

Na<sup>+</sup> agregado =  $37.1 \times 46 / 106 = 16.1 mg/l = 0.7 mE/L$

Na<sup>+</sup> residual = 0,6 + 0,7 = 1,3 mE/L

K<sup>+</sup> residual = 1 mE/L

OH<sup>-</sup> residual = 0.2 + 1.35 = 1,55

CO<sub>3</sub><sup>-2</sup> = 0.6 mE/L

SO<sub>4</sub> = 0.9 mE/L

Cl<sup>-</sup> = 1.4 mE/L

2 puntos

Exceso de Cal	0	0,6	0,8	2.1	3.1
Ca <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	
OH <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	OH <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	
1,35	0	0,6	0,8	1.7	3.1

0.5 puntos

1. (10 puntos) Defina los siguientes términos y explique qué significado tiene su determinación o uso según el caso.

a) Cribación.

es un proceso mecánico que separa los materiales de acuerdo a su tamaño de partícula individual. Esto se cumple proporcionando un movimiento en particular al medio de cribado, el cual es generalmente una malla o una placa perforada, esto provoca que las partículas más pequeñas y que el tamaño de las aberturas (del medio de cribado) pasen a través de ellas como finos y que las partículas más grandes sean acarreadas como residuos.

b) Floculación-coagulación.

es un proceso químico mediante el cual, con la adición de sustancias denominadas floculantes, se aglutinan las sustancias coloidales presentes en el agua, facilitando de esta forma su decantación y posterior filtrado. Coagulación consiste en desestabilizar los coloides por neutralización de sus cargas, dando lugar a la formación de un floculo. La coagulación de las partículas coloidales se consigue añadiéndole al agua un producto químico (electrolito) llamado coagulante. Normalmente se utilizan las sales de hierro (cloruro férrico) y aluminio.

c) Recarbonatación.

Se inyecta CO<sub>2</sub> con el fin de convertir el exceso de cal agregado al agua en carbonato de calcio para permitir su precipitación y remoción. Por otro lado la segunda etapa tiene como fin eliminar la tendencia del agua ablandada con cal y soda as, a depositar carbonato de calcio sobre la arena de los filtros. La adición de CO<sub>2</sub> pretende convertir el carbonato de calcio en bicarbonato de calcio llevando el agua a un pH cercano a 8.6.

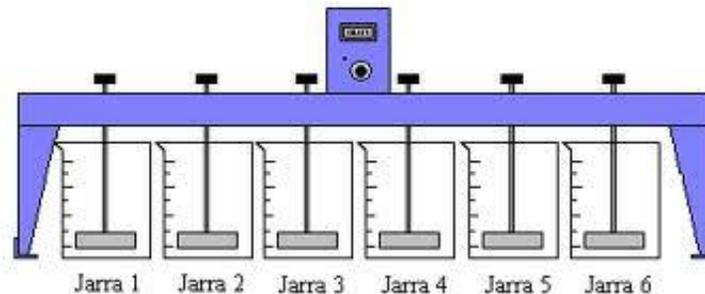
d) Sedimentación.

es el proceso por el que los materiales procedentes de la erosión de las rocas y transportados por distintos agentes (escorrentía, glaciares, viento) se depositan, pasando a ser sedimentos.

e) Demanda bioquímica de oxígeno

es un parámetro que mide la cantidad de oxígeno consumido al degradar la materia orgánica de una muestra líquida.

2. (10 puntos) En la siguiente figura se observa una prueba de tratamiento de agua previo al diseño de un sistema. Mencione como se denomina esta prueba, explique cómo se realiza, mencione tres objetivos fundamentales de esta prueba.



La prueba de jarra es un procedimiento común de laboratorio para determinar las condiciones óptimas de funcionamiento para el agua o el tratamiento de aguas residuales. Este método permite realizar ajustes en el pH, las variaciones en la dosis de coagulante o polímero, alternando velocidades de mezclado, o la prueba de coagulante o diferentes tipos de polímeros, a pequeña escala con el fin de predecir el funcionamiento de una operación a gran escala de tratamiento. Una prueba de jarra simula los procesos de coagulación y floculación que fomentan la eliminación de los coloides en suspensión y materia orgánica que puede conducir a problemas de turbidez, olor y sabor.

El aparato de prueba de jarra contiene seis remos que remover el contenido de seis envases de 1 litro. Un envase actúa como un control, mientras que las condiciones de funcionamiento puede variar entre los restantes cinco contenedores. Un medidor de RPM en la parte superior central del dispositivo permite el control uniforme de la velocidad de mezclado en todos los contenedores

Los procedimientos de prueba de jarra incluye los siguientes pasos:

1. Llene los recipientes de prueba frasco aparato con la muestra de agua. Un contenedor se utilizará como control mientras que los otros cinco contenedores se puede ajustar dependiendo de qué condiciones se encuentran en evaluación. Por ejemplo, el pH de los frascos se puede ajustar o variaciones de las dosis de coagulante se puede agregar a determinar las condiciones óptimas de funcionamiento.
2. Añadir el coagulante a cada contenedor y agitar a aproximadamente 100 rpm por 1 minuto. La etapa de mezcla rápida ayuda a dispersar el coagulante a través de cada contenedor. Coagulantes son aditivos químicos, tales como sales metálicas, que ayudan a producir más pequeños agregados para formar partículas más grandes.
3. Reducir la velocidad de agitación de 25 a 35 rpm y continúe batiendo por 15 a 20 minutos. Esta velocidad más lenta de mezcla ayuda a promover la formación de flóculos mediante la mejora de las colisiones de partículas que dan lugar a grandes flóculos. Estas velocidades son lo suficientemente lento como para evitar Sheering del flóculo debido a la turbulencia causada por la agitación de ayunar.

4. Apague los mezcladores y permitir que los contenedores que conformarse con 30 a 45 minutos. A continuación, medir la turbidez final en cada contenedor. La turbidez final se puede evaluar más o menos a simple vista o con más precisión usando un nefelómetro.
3. (15 puntos) Diseñar un sedimentador de sección rectangular, proveniente de un proceso físico – químico a base de precipitación en donde los SST tienen una concentración de 3000 mg/l y el caudal de entrada es generado a una tasa de 51875 l/día. Del laboratorio se informa que es necesario dejar un tiempo de retención de 3,5 h.  
 Densidad de sólidos: 1.8 mg/l  
 % de remoción: 70%

Caudal de agua promedio = 51875 l/día = 51,875 m<sup>3</sup>/día = 2,16 m<sup>3</sup>/h **2 PUNTOS**

Para un tiempo de retención de 3,5 horas y para una relación largo/ancho de 3:

$$V = t_r * Q$$

$$V = 3,5 \text{ h} * 2,16 \text{ m}^3/\text{h} = 7,56 \text{ m}^3 \quad \mathbf{2 \text{ PUNTOS}}$$

$$\text{Si } V = 3A * A * H \text{ entonces: } A = (V/3H)^{1/2}$$

adoptamos H= 3 m

$$\text{entonces } A = (7,56/(3*3))^{1/2} = 0,92 \text{ m}$$

$$\text{Luego } L = 3A = 3*0,92 = 2,74 \text{ m} \quad \mathbf{2 \text{ PUNTOS}}$$

$$\text{Volumen de la zona de lodos} = 2,74 * 0,92 * 1 = 2,52 \text{ m}^3 \quad \mathbf{2 \text{ PUNTOS}}$$

$$\begin{aligned} \text{Generación diaria de lodos} &= 3000 \text{ mg/l} * (1 \text{ kg}/1000000 \text{ mg}) * 51875 \text{ l} \\ &= 155,6 \text{ kg} \end{aligned} \quad \mathbf{2 \text{ PUNTOS}}$$

Si Densidad de lodos: 1,8 Kg/l entonces:

$$155,6 \text{ kg}/1,8 = 86 \text{ l/día o } 0,086 \text{ m}^3/\text{día} \quad \mathbf{3 \text{ PUNTOS}}$$

$$\text{Tiempo para mantenimiento: } 2,52/0,086 = 29 \text{ días} = 1 \text{ mes} \quad \mathbf{2 \text{ PUNTOS}}$$