

**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL**  
**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMATICAS**  
**EXAMEN FINAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS**

Nombre y apellido: RÚBRICA Fecha: **FEBRERO 1 de 2016**

**Sobre 70 puntos.**

1. (10 puntos) Una agua natural tiene una dureza de 580 mg/l. cuál es la dureza del agua en grados alemanes de dureza (d°)? Qué tipo de agua es ésta según el nivel de dureza? Identifique si esta agua es de río, mar o pozo profundo.

$$1^\circ d = 17,86 \text{ mg de CaCO}_3$$

5 puntos

Determinación de la dureza total

$$\text{Dureza total} = 580/17.86 = 32.47^\circ d$$

Tipo de agua

Luego el agua es muy dura, probablemente de río o de pozo profundo.

5 puntos

2. (10 puntos) Cite al menos 5 beneficios que se obtiene con el ablandamiento de las aguas duras.
- Eliminación de incrustaciones que pueden afectar a la conservación de calderas, tuberías y bombas.
  - Mejora la transferencia de calor.
  - Permite el ahorro de combustible.
  - Elimina bacterias y hongos.
  - Favorece el uso de detergentes para lavado.
3. (20 puntos) Defina los siguientes términos y explique qué significado tiene su determinación o uso según el caso.

5 puntos c/u

- a) Desbaste.

4 puntos

Consiste en la retención de los sólidos gruesos del agua natural o residual mediante una reja, manual o autolimpiable, o un tamiz. Esta es una operación física que contribuye a reducir la carga contaminante del agua a la entrada a un sistema de tratamiento, lo que permite preservar los equipos de bombeo, tuberías de conducción y válvulas, frente a los depósitos y obstrucciones provocados por los sólidos de gran tamaño presentes en el agua.

b) Floculación-coagulación.

4 puntos

Proceso de tratamiento físico-químico del agua que se realiza con el fin de clarificarla utilizando especies químicas llamadas floculantes, como el sulfato de aluminio, cloruro férrico y otros como sulfato ferrosos, y otros.

c) Recarbonatación.

4 puntos

Proceso por el cual se adiciona gas carbónico al agua ya tratada por ablandamiento fin de restituir el equilibrio de especies como carbonatos y bicarbonatos.

d) Polielectrolito.

4 puntos

Substanci<sup>o</sup> polimérica natural o sintética cuya función es coadyuvar al proceso de coagulación-floculación facilitando la formación de flóculos más fuertes, estables y de mayor peso durante el tratamiento químico del agua.

e) Resinas de Intercambio iónico

4 puntos

Materiales sintéticos de estado sólidos formados por reacciones de polimerización del etileno y vinilbenceno, cuya función es intercambiar iones positivos y negativos con el agua que contiene altos niveles de sólidos disueltos.

4. (20 puntos) Un agua tiene las siguientes características:

$\text{Ca}^{++} = 40 \text{ mg/l}$        $\text{Alc} (\text{HCO}_3^-) = 135 \text{ mg/l CaCO}_3$

$\text{Mg}^{++} = 14,7 \text{ mg/l}$        $\text{SO}_4^{+2} = 29 \text{ mg/l}$

$\text{Na}^+ = 13,7 \text{ mg/l}$        $\text{Cl}^- = 17,8 \text{ mg/l}$

a) Realice el gráfico de barras y liste las hipotéticas combinaciones para esta agua.

b) Cuáles son las dosis de cal y carbonato de sodio requeridas para ablandar al mínimo técnicamente posible esta agua?.

c) Realice el gráfico de barras para el agua tratada luego del ablandamiento.

d) Si se trata de utilizar esta agua para producción de vapor, cuánto de resinas de intercambio iónico sería necesario si la capacidad de a resina es de 4 mEq/Kg de resina?

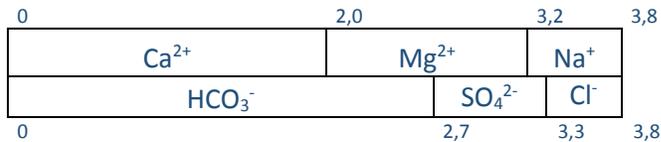
a) Balance de masa

5 puntos

Componente	mg/l	mg/mEq	mEq/l
$\text{Ca}^{2+}$	40	20	2,00
$\text{Mg}^{2+}$	14,7	12,2	1,20

Na <sup>+</sup>	13,7	23	0,60
<b>TOTAL CATIONES</b>			<b>3,8</b>
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	135	50	2,70
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	29	48	0,60
Cl <sup>-</sup>	17,8	35,45	0,50
<b>TOTAL ANIONES</b>			<b>3,8</b>

Gráfico inicial de barras:



Hipotéticas 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

b) Dosificación del Carbonato de Sodio y Cal

6 puntos

Especie Química	mEq/l	Cal (mEq/l)	Carbonato de Sodio (mEq/l)
Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	2,0	2,0	0
Mg(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0,7	0,7	0
MgSO <sub>4</sub>	0,5	0,5	0,5
<b>TOTAL</b>		<b>3,2</b>	<b>0,5</b>

$$\text{Dosis de cal} \left( \frac{g}{m^3} \right) = \left( 3,2 \frac{mEq}{L} \times 28 \frac{mg}{mEq} \right) + 35 \frac{mg}{l}$$

$$\text{Dosis de cal} \left( \frac{g}{m^3} \right) = 124,6 \frac{mg}{l} \times \frac{1000 l}{1 m^3} \times \frac{1 g}{1000 mg}$$

$$\text{Dosis de cal} \left( \frac{g}{m^3} \right) = 124,6 \frac{g}{m^3}$$

$$\text{Dosis de carbonato de sodio} \left( \frac{g}{m^3} \right) = 0,5 \frac{mEq}{L} \times 53 \frac{mg}{mEq}$$

$$\text{Dosis de carbonato de sodio} \left( \frac{g}{m^3} \right) = 26,5 \frac{g}{m^3}$$

c) Gráfico del agua tratada:

5 puntos

Diagrama de barras de la calidad del agua luego del ablandamiento

**Exceso de cal: 1,25 mEq/l**

$$Ca^{2+} residual = \frac{30 \frac{mg CaCO_3}{l}}{50 mEq/mg}$$

$$Ca^{2+} residual = 0,6 mEq/l$$

$$Mg^{2+} residual: \frac{10 \frac{mg CaCO_3}{l}}{50 mEq/mg}$$

$$Mg^{2+} residual = 0,2 mEq/l$$

$$Na^+ agregado = \frac{26,5 \frac{mg Na_2CO_3}{l}}{53 \frac{mg Na_2CO_3}{mEq}}$$

$$Na^+ agregado = 0,5 mEq/l$$

$$Na^+ residual = Na^+ agregado + Na^+ original$$

$$Na^+ residual = 0,5 \frac{mEq}{l} + 0,6 \frac{mEq}{l}$$

$$Na^+ residual = 1,1 \frac{mEq}{l}$$

Por otro lado:

$$HCO_3^- residual \text{ (asociado al } Mg^{2+} \text{ como } Mg(OH_2)) = 0,2 mEq/l$$

$$CO_3^{2-} residual \text{ (asociado al } Ca^{2+} residual) = 0,6 mEq/l$$

$$SO_4^{2-} residual = SO_4^{2-} original = 0,6 mEq/l$$

$$Cl^- residual = Cl^- original = 0,5 mEq/l$$

2 puntos

Entonces:

1,25	0	0,6	0,8	1,9
Ca <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	
OH <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>
1,25	0	0,2	0,8	1,4
				1,9

Cationes = Aniones = 1,9 mEq/l

4 puntos

d) Cantidad de resina:

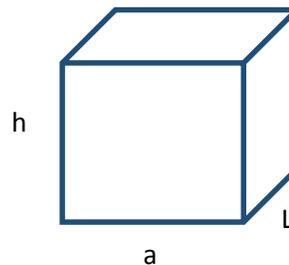
$$\text{Masa resina cationica/anionica} = (1,9 + 1,25) \frac{\text{mEq}}{\text{L}} \times \frac{1 \text{ kg resina}}{4 \text{ mEq}}$$

$$\text{Masa resina cationica/anionica} = 0,79 \frac{\text{kg resina}}{\text{L agua}}$$

5. (10 puntos) Cuáles son las dimensiones de un equipo de sedimentación vertical que recibe un efluente con una concentración de sólidos suspendidos de 380 mg/l y debe generar un efluente con 60 mg/l de estos sólidos? Asuma que la temperatura del agua es de 20°C y caudal es de 20 m<sup>3</sup>/hora. Se ha proyectado un tiempo de retención de 6 horas. construya el gráfico del sedimentador a escala e indique en él las medidas proyectadas. cuál es la cantidad de lodos en toneladas por mes de trabajo continuo?

Considerar que:

1 punto



CALCULO DEL VOLUMEN DEL SEDIMENTADOR

$$V = Q \times tr$$

$$V = 20 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times 6 \text{ h}$$

$$V = 120 \text{ m}^3$$

#### CÁLCULO DEL ÁREA DEL SEDIMENTADOR

Se dejará una altura estimada de  $h = 2 \text{ m}$  que luego se comprobará.

3 puntos

$$A = \frac{\text{Volumen}}{\text{Altura}}$$

$$A = \frac{120 \text{ m}^3}{2 \text{ m}}$$

$$A = 60 \text{ m}^2$$

#### CÁLCULO DE LA CARGA SUPERFICIAL (1ER ITERACION)

$$C.S. = \frac{Q}{A}$$

$$C.S. = \frac{20 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times \left(\frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}}\right)}{60 \text{ m}^2}$$

$$C.S. = 8 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \text{ día}}$$

La W.E.F recomienda una CS entre 12 y 64  $\text{m}^3/\text{m}^2\text{-día}$ , entonces **CS NO ES ACEPTADA.**

La altura  $h$  elegida **NO CUMPLE ESTE CRITERIO.** Se selecciona otra altura estimada,  $h = 3 \text{ m}$

$$A = \frac{\text{Volumen}}{\text{Altura}}$$

$$A = \frac{120 \text{ m}^3}{3 \text{ m}}$$

$$A = 40 \text{ m}^2$$

Considerando una relación  $L/a = 2$

$$A = L \times a = 40 \text{ m}^2$$

$$2a \times a = 40$$

**$a \cong 4,5 \text{ m}$  , entonces  $L = 8,9 \text{ m}$**

#### CÁLCULO DE LA CARGA SUPERFICIAL (2DA ITERACION)

$$C.S. = \frac{Q}{A}$$

$$C.S. = \frac{20 \frac{m^3}{h} \times \left(\frac{24 h}{1 \text{ día}}\right)}{40 m^2}$$

$$C.S. = 12 \frac{m^3}{m^2 \text{ día}}$$

La W.E.F recomienda una CS entre 12 y 64 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>-día, entonces **CS QUEDA ACEPTADA.**

#### CÁLCULO DE LA CARGA LINEAL

1 punto

Lv depende de las caras por donde escurrirá el agua clarificada.

Se asume el número de caras deseado, en este caso solo escurrirá por el lado a.

$$C.L. = \frac{Q}{Lv}$$

$$C.L. = \frac{Q}{a}$$

$$C.L. = \frac{20 \frac{m^3}{h} \times \frac{24 h}{1 \text{ día}}}{4,5 m}$$

$$C.L. = 107 \frac{m^3}{m - \text{ día}}$$

WEF recomienda una CL < 250 m<sup>3</sup>/m\*día, entonces **CL QUEDA ACEPTADA.**

#### CÁLCULO DE LA CARGA DE SÓLIDOS

1 punto

$$C.Sol. = \frac{Q \times SST}{A}$$

$$C.Sol. = \frac{20 \frac{m^3}{\text{ día}} \times \left(380 \frac{mg}{l} \times \frac{1000 l}{1 m^3} \times \frac{1 kg}{10^6 mg}\right)}{40 m^2}$$

$$C.Sol. = 0,19 \frac{kg}{m^2 - \text{ día}}$$

WEF recomienda una C. Sol < 150 kg/m<sup>2</sup>\*día, entonces **C. Sol. QUEDA ACEPTADA.**

## Dimensiones reales

2 puntos

Finalmente, las dimensiones reales del sedimentador son:

$V_{\text{prisma}}$  = volumen prisma rectangular

$V_{\text{tolva}}$  = volumen pirámide truncada de base rectangular

$$V_{\text{tolva}} = \frac{1}{3} h_{\text{tolva}} (\beta + B + \sqrt{\beta \cdot B})$$

$h_{\text{tolva}}$  = altura de la tolva, se tomará una relación de pendiente 1:8 = h / L, entonces:

$$h_{\text{tolva}} = 8,9/8 = 1,11 \text{ m}$$

B Y  $\beta$  SON LAS ÁREAS DE LAS BASES DE LA PIRAMIDE TRUNCADA

$$B = 8,9 \times 4,5 = 40 \text{ m}^2$$

$$b = 0,40 \times 0,40 = 0,16 \text{ m}^2$$

$$V_{\text{tolva}} = \frac{1}{3} \times 1,11 \times (40 + 0,16 + \sqrt{40 \cdot 0,16})$$

$$V_{\text{tolva}} = 16 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{prisma}} = V_{\text{total}} - V_{\text{tolva}}$$

$$V_{\text{prisma}} = 120 - 16$$

$$V_{\text{prisma}} = 104 \text{ m}^3$$

Entonces:

$$h_{\text{prisma}} = V_{\text{prisma}} / A_{\text{prisma}} = 104 \text{ m}^3 / 40 \text{ m}^2$$

$$h_{\text{prisma}} = 2,6 \text{ m}$$

Gráfico

1 punto

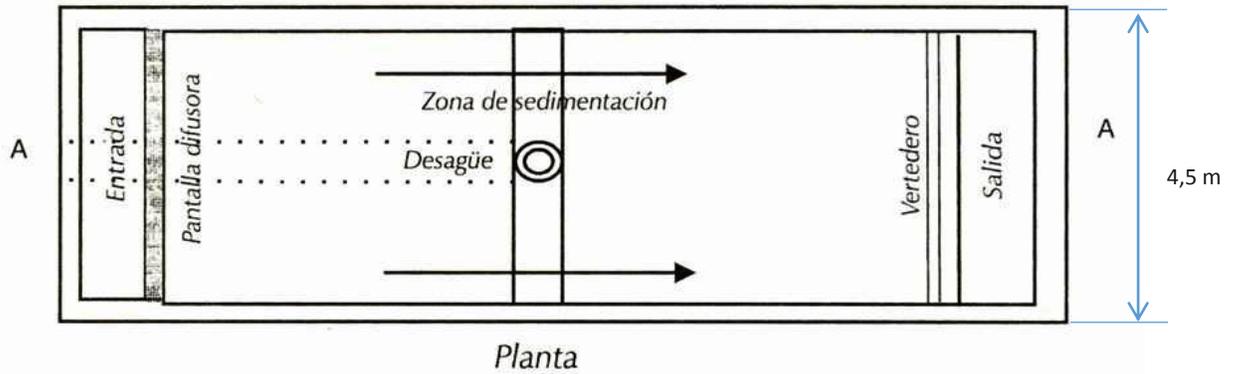
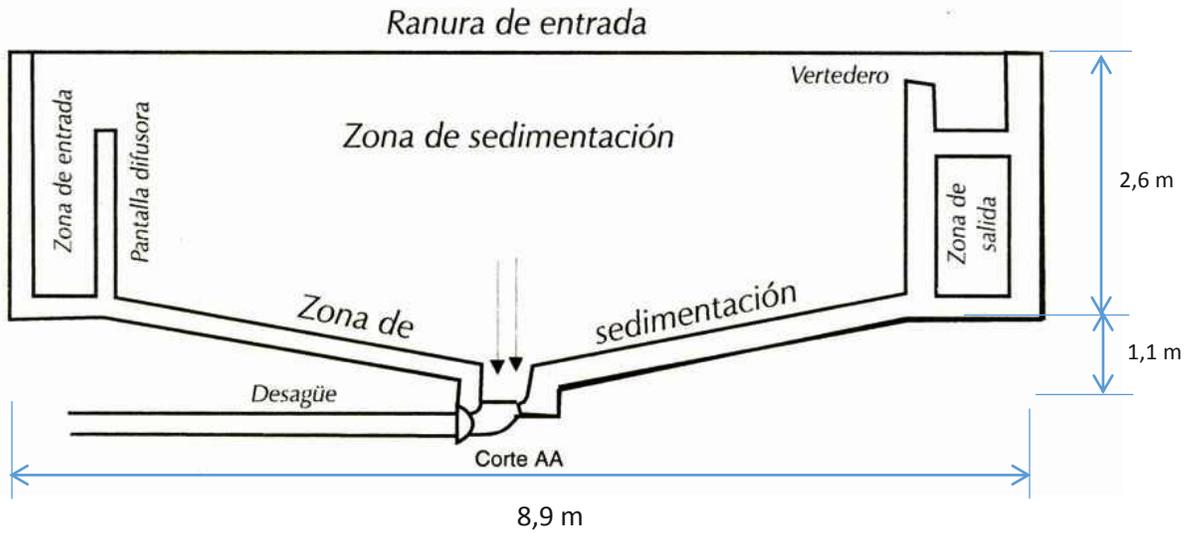


Fig. 25. Planta de un sedimentador



Cantidad de lodos generada

1 punto

$$\text{Lodos} = (380 - 60) \frac{\text{mg}}{\text{l muestra}} \times 20 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times \frac{1000 \text{ l}}{1 \text{ m}^3} \times \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}} \times \frac{30 \text{ día}}{1 \text{ mes}} \times \frac{1 \text{ kg}}{10^6 \text{ mg}} \times \frac{1 \text{ ton}}{1000 \text{ kg}}$$

$$\text{Lodos} = 4,6 \frac{\text{ton}}{\text{mes}}$$