
APÉNDICES

APÉNDICE A- Técnicas Analíticas para la Determinación de Fósforo y Cloruros en los Efluentes Residuales Líquidos:

- ⊕ Método colorimétrico para determinar la concentración de fósforo: consiste básicamente en combinar el ión fosfato con molibdato de amonio, bajo condiciones ácidas y formar un complejo conocido como fosfatomolibdato de amonio. Luego se le agrega vanadio para desarrollar color, formándose un complejo ácido fosfatomolibdato de vanadio de un color amarillo más intenso. El molibdeno contenido en la molécula de fosfatomolibdeno de amonio se reduce fácilmente, produciendo un sólido azul en una cantidad que es proporcional a la cantidad de fósforo presente.
- ⊕ Método de Morh para determinar cloruros: consiste en utilizar una solución de nitrato de plata, como agente titulante y una solución de cromato de potasio como indicador. Estas técnicas analíticas están aprobadas por la USEPA (United States Environmental Protection Agency).

A continuación se indican las instrucciones detalladas que deben seguirse en cada caso:

✓ ***Determinación de fósforo:***

1. Coloque el adaptador para colorimetría de larga trayectoria en el comparador.
2. Llene un tubo de ensayo para colorimetría hasta la primera marca 5 ml, con la muestra de agua desionizada. Esto constituye el blanco.
3. Coloque este tubo en la abertura superior izquierda del comparador.
4. Llene otro tubo de ensayo para colorimetría hasta la primera marca de 5 ml con la muestra de agua a ser analizada.

5. Vierta el contenido de una cápsula de reactivo PhosVer 3 al segundo tubo.
6. Agite hasta asegurar un buen mezclado. Espere como mínimo un minuto. Si hay fosfato en la muestra de agua, aparecerá un color azul-violáceo. No deje transcurrir más de 5 minutos entre la adición del polvo del reactivo y la lectura del resultado.
7. Coloque el segundo tubo en la abertura superior derecha del comparador.
8. Lleve el comparador hasta una fuente de luz, mire a través de las aberturas frontales del comparador.
9. Haga girar el disco de color hasta que el color coincida en ambas aberturas.
10. Divida entre 10 el resultado leído en la ventana de la escala para obtener la concentración de fosfatos en mg/l. Si desea conocer el valor de fósforo, en mg/l, divida la concentración de fosfato entre 3.

✓ ***Determinación de cloruros:***

1. Llene un cilindro graduado de 25 ml hasta el máximo nivel.
2. Viértalo en una fiola de 250 ml
3. Adicione el contenido de un sobre de Chloride 2 indicador, luego agite para mezclar.
4. Adicione gota a gota el titulante nitrato de plata en la muestra y agite el contenido de la fiola después que cada gota ha sido añadida. Cuente cada gota y adicione hasta que se visualice un cambio de color amarillo a anaranjado.
5. Determine el contenido de cloruro en el agua en mg/l como Cl^- , multiplicando la cantidad de gotas añadidas por 40.

APENDICE B- Cálculos tipos para la Curva de Elución de Salmuera

Determinación del caudal total:

$$Q = \frac{V_{ocupado}}{t} \quad (7)$$

Donde:

Q : Caudal (l/min.)

$V_{ocupado}$: Volumen llenado en envase de recolección (l)

t : Tiempo en ocupar el volumen llenado (s)

$$Q = \frac{20 \text{ l}}{3,39 \text{ s}} * 60 \frac{\text{s}}{\text{min}} = 354 \frac{\text{l}}{\text{min}} \quad (8)$$

Determinación de la cantidad de cloruros generados:

Para conocer la cantidad total de cloruros generados, se determina el área total bajo la curva de elución (Ver Figura 21), la cual fue construida con los valores que se presentan en la tabla 22.

Como toda la zona bajo la curva esta en intervalos de tiempo equiespaciados, se aplica el Método de Simpson:

$$A = \frac{\Delta t}{3} * \left(ppm_0 + ppm_n + 4 * \sum_{\text{par}} ppm + 2 * \sum_{\text{impar}} ppm \right) \quad (9)$$

Donde:

A : Área del segmento (mg*min. /l)

Δt : Intervalo de tiempo (min.)

ppm_i : Concentración de cloruros para un instante de tiempo en particular (mg/l)

Tabla 22. Valores obtenidos en el proceso de regeneración

Tiempo (min)	Grados Salinometricos	% másico de NaCl	Concentración de NaCl (mg/l)
0	20	5,27	55.141,73
2	30	7,91	82.712,59
4	46	12,12	126.825,97
6	50	13,18	137.854,32
8	53	13,97	146.125,57
10	56	14,756	154.396,83
12	62	16,34	170.939,35
14	62	16,34	170.939,35
16	62	16,34	170.939,35
18	59	15,55	162.668,09
20	47	12,39	129.583,06
22	38	10,01	104.769,28
24	20	5,27	55.141,73
26	10	2,64	27.570,86
28	6	1,58	16.542,52
30	2	0,53	5.514,17
32	0	0,00	0,00
34	0	0,00	0,00

Sustituyendo los valores correspondientes en la ecuación (9):

$$A = \frac{2 \text{ min}}{3} * (55.141,73 + 0 + 4 * (126.825,97 + \dots) + 2 * (82.712,59 + \dots))$$

$$A = 3.382.025,88 \frac{\text{mg} * \text{min}}{\text{l}}$$

Para conocer la masa total de cloruros generada en todo el proceso, se multiplica el área por el caudal de operación.

$$M_{\text{TotalCl}} = Q * A = 354 \frac{\text{l}}{\text{min}} * 3.382.025,88 \frac{\text{mg} * \text{min}}{\text{l}} * \frac{1\text{Kg}}{1.000.000\text{mg}} = 1.197,24\text{Kg}$$

Esta masa corresponde a la emisión total de cloruros, incluyendo la que trae el agua alimentada, aunque esta es prácticamente despreciable en comparación a la observada durante el proceso de regeneración.

APÉNDICE C- Cálculos Pertinentes a las Placas de Orificio.

A continuación se presenta la Figura 35, en la cual se muestra esquemáticamente uno de los suavizadores de Planta de Agua:

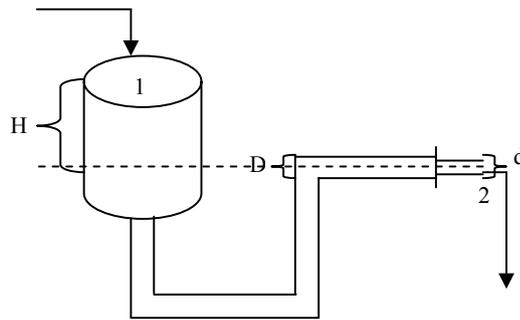


Figura 35. Esquema del Suavizador N° 3 de Planta de Agua.

Inicialmente, se realiza un Balance de Bernoulli entre los puntos 1 y 2, mostrados en la figura anterior:

$$\frac{P_1}{\rho * g} + H_1 + \frac{U_1^2}{2 * g} = \frac{P_2}{\rho * g} + H_2 + \frac{U_2^2}{2 * g} + H_f \quad (10)$$

Donde:

P_1 : Presión el punto 1

ρ : Densidad del agua (1.000 Kg/m³)

g : Aceleración de la gravedad (9,8 m/s²)

H_1 : Altura desde la referencia hasta el punto 1

U_1 : Velocidad en el punto 1

P_2 : Presión en el punto 2

H_2 : Altura desde la referencia hasta el punto 2

H_f : Pérdidas por fricción en las tuberías.

Considerando que:

Si $H_1=H$ y $H_2=0$ (referencia)

$U_1 \approx 0$ ya que $U = \frac{Q}{A}$; $A \rightarrow \infty \Rightarrow U \approx 0$

Las pérdidas en las tuberías y boquillas se puede expresar como:

$$\frac{K * U_t^2}{2 * g} + \frac{K_b * U_2^2}{2 * g}$$

También se puede decir que $\frac{P_2}{\rho * g}$ es despreciable con respecto a

$$\frac{P_1}{\rho * g}$$

Aplicando la ecuación de continuidad, la cual es:

$$U_t * D^2 = U_2 * d^2 \Rightarrow U_t = \frac{U_2 * d^2}{D^2} \quad (11)$$

Y suponiendo que K y K_b son aproximadamente 1.

Haciendo las simplificaciones anteriores, se tiene que la ecuación (10) se transforma en:

$$\frac{P_1 * \pi^2}{8 * \rho * Q^2} + \frac{H * \pi^2 * g}{8 * Q^2} - \frac{1}{D^4} = \frac{2 * d^4}{d^8} \quad (12)$$

Simplificando:

$$\frac{P_1 * \pi^2}{8 * \rho * Q^2} + \frac{H * \pi^2 * g}{8 * Q^2} - \frac{1}{D^4} = \frac{2}{d^4} \quad (13)$$

Para el ingreso y desplazamiento de la salmuera se requiere una presión de 21 psi (144.714,28 Pa) y un caudal de 1 l/s ($1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$). Sustituyendo estos valores en la ecuación (13) se obtiene:

$$\frac{144.714,28 \text{ Pa} \cdot \Pi^2}{8 \cdot 1.000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \cdot \left(1 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)^2} + \frac{9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \Pi^2 \cdot 1,27 \text{ m}}{8 \cdot \left(1 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)^2} - \frac{1}{(0,064 \text{ m})^4} = \frac{2}{d^4}$$

$$\Rightarrow d = 10 \text{ mm}$$

Para la etapa de retrolavado y lavado rápido, se requiere otra placa orificio con los siguientes valores: presión 30 psi (206.734,69 Pa) y caudal 3,3 l/s ($3,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$), sustituyendo estos valores en la ecuación (13), se obtiene:

$$\frac{206.734 \text{ Pa} \cdot \Pi^2}{8 \cdot 1.000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \cdot \left(3,3 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)^2} + \frac{9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \Pi^2 \cdot 1,27 \text{ m}}{8 \cdot \left(3,3 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)^2} - \frac{1}{(0,064 \text{ m})^4} = \frac{2}{d^4}$$

$$\Rightarrow d = 17 \text{ mm}$$

En definitiva, se requieren dos placas orificios con los siguientes diámetros:

Placa 1: $d = 10 \text{ mm}$.

Placa 2: $d = 17 \text{ mm}$.