

ANEXOS

ANEXOS.

ANEXO A: Memoria de Cálculo de Parámetros Hidráulicos de Operación.

Caudal de diseño = 160 L/s

Nº de unidades = 4

Caudal de cada unidad = 40 L/s

Carga superficial

Donde:

Q = Caudal de diseño, en m³/d

A = Área superficial, en m²

$$CS = V_o = \frac{Q}{A}$$

$$A = \frac{Q}{CS}$$

Q = Caudal de diseño, en m³/d

$$Q = 40 \frac{L}{s} \times \frac{1 m^3}{1.000 L} \times \frac{86.400 s}{1 d} = 3456 m^3/d$$

A = Área superficial, en m²

$$A = L \times B = 8,69 m \times 5,51 m = 47,85 m^2$$

CS = Carga superficial de sedimentación, en m³/m²/d

$$CS = \frac{3456 m^3/d}{47,85 m^2} = 72,22 m^3/m^2/d$$

El valor de la carga superficial CS debe obtenerse en laboratorio o pruebas de campo y cuyo valor tendrá relación con un valor de eficiencia remocional deseable o la máxima turbiedad admisible por las unidades de filtración (razonable hasta 10 UNT).

Velocidad promedio de flujo entre placas

$$V_o = \frac{Q}{A \times \text{Sen}\theta}$$

Donde:

Q = Caudal de diseño, en $\text{m}^3/\text{s} = 0,040 \text{ m}^3/\text{s}$

α = Ángulo de inclinación del elemento de sedimentación de alta tasa = 60°

A = Área superficial, en $\text{m}^2 = 47,85 \text{ m}^2$

V_o = Velocidad promedio de flujo entre placas, en m/s

$$V_o = \frac{0,040 \text{ m}^3/\text{s}}{47,85 \text{ m}^2 \times \text{Sen}(60^\circ)} = 0,010 \text{ m/s}$$

$$V_o = 0,0965 \text{ cm/s} < 1 \text{ cm/s}$$

$$V_o = 83,39 \text{ m/d}$$

Número de Reynolds: El número de Reynolds debe ser menor a 500 para garantizar el flujo en transición.

$$Re = \frac{V_o \times d}{\nu}$$

$$\nu = \frac{497 \times 10^{-6}}{(T + 42,5)^{1,5}}$$

Dónde:

V_o = Velocidad promedio de flujo entre placas, en $\text{m/s} = 0,0010 \text{ m/s}$

d = Ancho del conducto o espaciamiento entre placas, en $\text{m} = 0,07 \text{ m}$

T = Temperatura del agua, en $^\circ\text{C} = 15^\circ\text{C}$

ν = Viscosidad cinemática, en m^2/s

$$\nu = \frac{497 \times 10^{-6}}{(15^\circ\text{C} + 42,5)^{1,5}} = 0,00000170 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Re = \frac{0,0010 \text{ m/s} \times 0,07 \text{ m}}{0,00000170 \text{ m}^2/\text{s}} = 39,70$$

Flujo laminar

Tiempo de retención: El tiempo de retención es de 15 a 25 minutos en sedimentadores de placas.

$$t = \frac{l}{V_o}$$

Dónde:

l = longitud recorrida a través del elemento (tubo, placa), en m = 1,23 m

V_o = Velocidad promedio del fluido en el sedimentador, en m/min = 0,0579 m/min

t = tiempo de retención, en min

$$t = \frac{1,23 \text{ m}}{0,0579 \text{ m/min}} = 21,24 \text{ min}$$

Velocidad crítica de sedimentación:

$$V_{sc} = \frac{S_c \times V_o}{\text{Sen}\theta + L_c \times \text{Cos}\theta}$$

$$L_c = L - L'$$

$$L = \frac{l}{d}$$

$$L' = 0,013 \times Re$$

Dónde:

d = Ancho del conducto o espaciamiento entre placas, en m = 0,07 m

Re = Número de Reynolds (adimensional) = 39,70

L = Longitud relativa del sedimentador (adimensional)

$$L = \frac{1,23 \text{ m}}{0,07 \text{ m}} = 17,6$$

$$L' = 0,013 \times 39,70 = 0,52$$

L_c = Longitud relativa del sedimentador de alta tasa en flujo laminar, corregida en la longitud de transición L' (adimensional)

$$L_c = 17,6 - 0,52 = 17,1$$

V_o = Velocidad promedio del fluido en el elemento de sedimentación de alta tasa o carga superficial en el área de sedimentación de alta tasa = 0,0010 m/s

α = Ángulo de inclinación del elemento de sedimentación de alta tasa = 60°

Sc = Parámetro característico; para sedimentadores de placas paralelas = 1

L_c = Longitud relativa del sedimentador de alta tasa en flujo laminar, corregida en la longitud de transición L' (adimensional) = 17,1

L = Longitud relativa del sedimentador (adimensional) = 17,6

l = longitud recorrida a través del elemento (tubo, placa), en m = 1,23 m

V_{sc} = velocidad crítica de asentamiento o carga superficial de sedimentación de alta tasa

$$V_{sc} = \frac{1 \times 0,0010 \text{ m/s}}{\text{Sen}60^\circ + 17,1 \times \text{Cos}60^\circ} = 0,00010 \text{ m/s} = 8,88 \text{ m/d}$$

El valor V_{sc} es comparable con la carga convencional superficial de diseño que para flóculos de sulfato de aluminio que es de 14 – 22 m/d

Longitud de sedimentación

$$L_s = \frac{A}{b}$$

Dónde:

A = Área superficial, en m^2 = 47,85 m^2

b = Ancho del sedimentador en función al ancho de placas, en m = 5,51 m

L_s = Longitud de sedimentación, en m

$$L_s = \frac{47,85 \text{ m}^2}{5,51 \text{ m}} = 8,69 \text{ m}$$

Número de placas por módulo

$$N = \frac{L_c \times \text{Sen}\theta + d}{d + e}$$

Dónde:

L_s = Longitud de sedimentación, en m = 8,69 m

α = Ángulo de inclinación de las placas, en ($^\circ$) = 60 $^\circ$

d = Separación entre placas en (de eje a eje), en m = 0,07 m

e = Espesor de las placas, en m = 0,005 m

$$N = \frac{8,69 \text{ m} \times \text{Sen}60^\circ + 0,07 \text{ m}}{0,07 \text{ m} + 0,005 \text{ m}} = 101 \text{ pzas}$$

Tiempo de retención hidráulica total

$$t = \frac{A \times H}{Q} = \frac{V}{Q}$$

Dónde:

Q = Caudal de diseño, en m^3/s = 0,040 m^3/s

A = Área superficial, en m^2 = 47,85 m^2

H = Altura del sedimentador, en m = 4,55 m

V = Volumen total del Sedimentador, en m^3

$$t = \frac{47,85 \text{ m}^2 \times 4,55 \text{ m}}{0,04 \text{ m}^3/\text{s}} = 5443 \text{ s} = 1,51 \text{ h}$$

Entre 2 – 4 h

Caudal mínimo operativo = 215,03 L/s

Nº de unidades = 4

Caudal de cada unidad = 53,76 L/s

Carga superficial

Donde:

Q = Caudal mínimo operativo, en m³/d

A = Área superficial, en m²

$$CS = V_o = \frac{Q}{A}$$

$$A = \frac{Q}{CS}$$

Q = Caudal mínimo operativo, en m³/d

$$Q = 53,76 \frac{L}{s} \times \frac{1 m^3}{1.000 L} \times \frac{86.400 s}{1 d} = 4644,65 m^3/d$$

A = Área superficial, en m²

$$A = L \times B = 8,69 m \times 5,51 m = 47,85 m^2$$

CS = Carga superficial de sedimentación, en m³/m²/d

$$CS = \frac{4644,65 m^3/d}{47,85 m^2} = 97,06 m^3/m^2/d$$

El valor de la carga superficial CS debe obtenerse en laboratorio o pruebas de campo y cuyo valor tendrá relación con un valor de eficiencia remocional deseable o la máxima turbiedad admisible por las unidades de filtración (razonable hasta 10 UNT).

Velocidad promedio de flujo entre placas

$$V_o = \frac{Q}{A \times \text{Sen}\theta}$$

Donde:

Q = Caudal mínimo operativo, en $m^3/s = 0,054 m^3/s$

α = Ángulo de inclinación del elemento de sedimentación de alta tasa = 60°

A = Área superficial, en $m^2 = 47,85 m^2$

V_o = Velocidad promedio de flujo entre placas, en m/s

$$V_o = \frac{0,054 m^3/s}{47,85 m^2 \times \text{Sen}(60^\circ)} = 0,0013 m/s$$

$$V_o = 0,1297 cm/s < 1 cm/s$$

$$V_o = 112,07 m/d$$

Número de Reynolds: El número de Reynolds debe ser menor a 500 para garantizar el flujo en transición.

$$Re = \frac{V_o \times d}{\nu}$$

$$\nu = \frac{497 \times 10^{-6}}{(T + 42,5)^{1,5}}$$

Dónde:

V_o = Velocidad promedio de flujo entre placas, en $m/s = 0,0013 m/s$

d = Ancho del conducto o espaciamiento entre placas, en $m = 0,07 m$

T = Temperatura del agua, en $^\circ C = 15 ^\circ C$

ν = Viscosidad cinemática, en m^2/s

$$\nu = \frac{497 \times 10^{-6}}{(15 ^\circ C + 42,5)^{1,5}} = 0,00000170 m^2/s$$

$$Re = \frac{0,0013 m/s \times 0,07 m}{0,00000170 m^2/s} = 53,36$$

Flujo laminar

Tiempo de retención: El tiempo de retención es de 15 a 25 minutos en sedimentadores de placas.

$$t = \frac{I}{V_o}$$

Dónde:

I = longitud recorrida a través del elemento (tubo, placa), en m = 1,23 m

V_o = Velocidad promedio del fluido en el sedimentador, en m/min = 0,0778 m/min

t = tiempo de retención, en min

$$t = \frac{1,23 \text{ m}}{0,0778 \text{ m/min}} = 15,80 \text{ min}$$

Velocidad crítica de sedimentación:

$$V_{sc} = \frac{S_c \times V_o}{\text{Sen}\theta + L_c \times \text{Cos}\theta}$$

$$L_c = L - L'$$

$$L = \frac{l}{d}$$

$$L' = 0,013 \times Re$$

Dónde:

d = Ancho del conducto o espaciamiento entre placas, en m = 0,07 m

Re = Número de Reynolds (adimensional) = 53,36

L = Longitud relativa del sedimentador (adimensional)

$$L = \frac{1,23 \text{ m}}{0,07 \text{ m}} = 17,6$$

$$L' = 0,013 \times 53,36 = 0,69$$

L_c = Longitud relativa del sedimentador de alta tasa en flujo laminar, corregida en la longitud de transición L' (adimensional)

$$L_c = 17,6 - 0,69 = 16,9$$

V_o = Velocidad promedio del fluido en el elemento de sedimentación de alta tasa o carga superficial en el área de sedimentación de alta tasa = 0,0013 m/s

α = Ángulo de inclinación del elemento de sedimentación de alta tasa = 60°

Sc = Parámetro característico; para sedimentadores de placas paralelas = 1

L_c = Longitud relativa del sedimentador de alta tasa en flujo laminar, corregida en la longitud de transición L' (adimensional) = 16,9

L = Longitud relativa del sedimentador (adimensional) = 17,6

l = longitud recorrida a través del elemento (tubo, placa), en m = 1,23 m

V_{sc} = velocidad crítica de asentamiento o carga superficial de sedimentación de alta tasa

$$V_{sc} = \frac{1 \times 0,0013 \text{ m/s}}{\text{Sen}60^\circ + 16,9 \times \text{Cos}60^\circ} = 0,00014 \text{ m/s} = 12,04 \text{ m/d}$$

El valor V_{sc} es comparable con la carga convencional superficial de diseño que para flóculos de sulfato de aluminio que es de 14 – 22 m/d

Longitud de sedimentación

$$L_s = \frac{A}{b}$$

Dónde:

A = Área superficial, en m^2 = 47,85 m^2

b = Ancho del sedimentador en función al ancho de placas, en m = 5,51 m

L_s = Longitud de sedimentación, en m

$$L_s = \frac{47,85 \text{ m}^2}{5,51 \text{ m}} = 8,69 \text{ m}$$

Número de placas por módulo

$$N = \frac{L_c \times \text{Sen}\theta + d}{d + e}$$

Dónde:

L_s = Longitud de sedimentación, en m = 8,69 m

α = Ángulo de inclinación de las placas, en ($^\circ$) = 60 $^\circ$

d = Separación entre placas en (de eje a eje), en m = 0,07 m

e = Espesor de las placas, en m = 0,005 m

$$N = \frac{8,69 \text{ m} \times \text{Sen}60^\circ + 0,07 \text{ m}}{0,07 \text{ m} + 0,005 \text{ m}} = 101 \text{ pzas}$$

Tiempo de retención hidráulica total

$$t = \frac{A \times H}{Q} = \frac{V}{Q}$$

Dónde:

Q = Caudal mínimo operativo, en m^3/s = 0,054 m^3/s

A = Área superficial, en m^2 = 47,85 m^2

H = Altura del sedimentador, en m = 4,55 m

V = Volumen total del Sedimentador, en m^3

$$t = \frac{47,85 \text{ m}^2 \times 4,55 \text{ m}}{0,054 \text{ m}^3/\text{s}} = 4050 \text{ s} = 1,13 \text{ h}$$

Entre 2 – 4 h

Caudal máximo operativo = 342,25 L/s

Nº de unidades = 4

Caudal de cada unidad = 85,56 L/s

Carga superficial

Donde:

Q = Caudal máximo operativo, en m³/d

A = Área superficial, en m²

$$CS = V_o = \frac{Q}{A}$$

$$A = \frac{Q}{CS}$$

Q = Caudal máximo operativo, en m³/d

$$Q = 85,56 \frac{L}{s} \times \frac{1 m^3}{1.000 L} \times \frac{86.400 s}{1 d} = 7392,60 m^3/d$$

A = Área superficial, en m²

$$A = L \times B = 8,69 m \times 5,51 m = 47,85 m^2$$

CS = Carga superficial de sedimentación, en m³/m²/d

$$CS = \frac{7392,60 m^3/d}{47,85 m^2} = 154,48 m^3/m^2/d$$

El valor de la carga superficial CS debe obtenerse en laboratorio o pruebas de campo y cuyo valor tendrá relación con un valor de eficiencia remocional deseable o la máxima turbiedad admisible por las unidades de filtración (razonable hasta 10 UNT).

Velocidad promedio de flujo entre placas

$$V_o = \frac{Q}{A \times \text{Sen}\theta}$$

Donde:

Q = Caudal máximo operativo, en $m^3/s = 0,086 m^3/s$

α = Ángulo de inclinación del elemento de sedimentación de alta tasa = 60°

A = Área superficial, en $m^2 = 47,85 m^2$

V_o = Velocidad promedio de flujo entre placas, en m/s

$$V_o = \frac{0,086 m^3/s}{47,85 m^2 \times \text{Sen}(60^\circ)} = 0,0021 m/s$$

$$V_o = 0,2065 cm/s < 1 cm/s$$

$$V_o = 178,38 m/d$$

Número de Reynolds: El número de Reynolds debe ser menor a 500 para garantizar el flujo en transición.

$$Re = \frac{V_o \times d}{\nu}$$

$$\nu = \frac{497 \times 10^{-6}}{(T + 42,5)^{1,5}}$$

Dónde:

V_o = Velocidad promedio de flujo entre placas, en $m/s = 0,0021 m/s$

d = Ancho del conducto o espaciamiento entre placas, en $m = 0,07 m$

T = Temperatura del agua, en $^\circ C = 15 ^\circ C$

ν = Viscosidad cinemática, en m^2/s

$$\nu = \frac{497 \times 10^{-6}}{(15 ^\circ C + 42,5)^{1,5}} = 0,00000170 m^2/s$$

$$Re = \frac{0,0021 m/s \times 0,07 m}{0,00000170 m^2/s} = 84,93$$

Flujo laminar

Tiempo de retención: El tiempo de retención es de 15 a 25 minutos en sedimentadores de placas.

$$t = \frac{I}{V_o}$$

Dónde:

I = longitud recorrida a través del elemento (tubo, placa), en m = 1,23 m

V_o = Velocidad promedio del fluido en el sedimentador, en m/min = 0,1239 m/min

t = tiempo de retención, en min

$$t = \frac{1,23 \text{ m}}{0,1239 \text{ m/min}} = 9,93 \text{ min}$$

Velocidad crítica de sedimentación:

$$V_{sc} = \frac{S_c \times V_o}{\text{Sen}\theta + L_c \times \text{Cos}\theta}$$

$$L_c = L - L'$$

$$L = \frac{l}{d}$$

$$L' = 0,013 \times Re$$

Dónde:

d = Ancho del conducto o espaciamiento entre placas, en m = 0,07 m

Re = Número de Reynolds (adimensional) = 84,93

L = Longitud relativa del sedimentador (adimensional)

$$L = \frac{1,23 \text{ m}}{0,07 \text{ m}} = 17,6$$

$$L' = 0,013 \times 84,93 = 1,10$$

L_c = Longitud relativa del sedimentador de alta tasa en flujo laminar, corregida en la longitud de transición L' (adimensional)

$$L_c = 17,6 - 1,10 = 16,5$$

V_o = Velocidad promedio del fluido en el elemento de sedimentación de alta tasa o carga superficial en el área de sedimentación de alta tasa = 0,0021 m/s

α = Ángulo de inclinación del elemento de sedimentación de alta tasa = 60°

Sc = Parámetro característico; para sedimentadores de placas paralelas = 1

L_c = Longitud relativa del sedimentador de alta tasa en flujo laminar, corregida en la longitud de transición L' (adimensional) = 16,5

L = Longitud relativa del sedimentador (adimensional) = 17,6

l = longitud recorrida a través del elemento (tubo, placa), en m = 1,23 m

V_{sc} = velocidad crítica de asentamiento o carga superficial de sedimentación de alta tasa

$$V_{sc} = \frac{1 \times 0,0021 \text{ m/s}}{\text{Sen}60^\circ + 16,5 \times \text{Cos}60^\circ} = 0,00023 \text{ m/s} = 19,60 \text{ m/d}$$

El valor V_{sc} es comparable con la carga convencional superficial de diseño que para flóculos de sulfato de aluminio que es de 14 – 22 m/d

Longitud de sedimentación

$$L_s = \frac{A}{b}$$

Dónde:

A = Área superficial, en m^2 = 47,85 m^2

b = Ancho del sedimentador en función al ancho de placas, en m = 5,51 m

L_s = Longitud de sedimentación, en m

$$L_s = \frac{47,85 \text{ m}^2}{5,51 \text{ m}} = 8,69 \text{ m}$$

Número de placas por módulo

$$N = \frac{L_c \times \text{Sen}\theta + d}{d + e}$$

Dónde:

L_s = Longitud de sedimentación, en m = 8,69 m

α = Ángulo de inclinación de las placas, en ($^\circ$) = 60 $^\circ$

d = Separación entre placas en (de eje a eje), en m = 0,07 m

e = Espesor de las placas, en m = 0,005 m

$$N = \frac{8,69 \text{ m} \times \text{Sen}60^\circ + 0,07 \text{ m}}{0,07 \text{ m} + 0,005 \text{ m}} = 101 \text{ pzas}$$

Tiempo de retención hidráulica total

$$t = \frac{A \times H}{Q} = \frac{V}{Q}$$

Dónde:

Q = Caudal máximo operativo, en m^3/s = 0,086 m^3/s

A = Área superficial, en m^2 = 47,85 m^2

H = Altura del sedimentador, en m = 4,55 m

V = Volumen total del Sedimentador, en m^3

$$t = \frac{47,85 \text{ m}^2 \times 4,55 \text{ m}}{0,086 \text{ m}^3/\text{s}} = 2545 \text{ s} = 0,71 \text{ h}$$

Entre 2 – 4 h

ANEXO B: Registro Fotográfico de la Planta Potabilizadora de Tabladita.

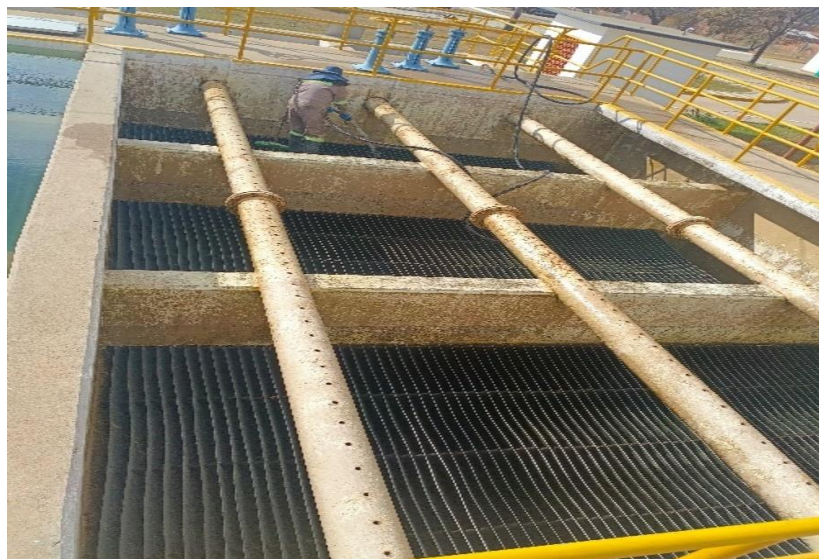


Figura B.1 Unidad de sedimentación puesta fuera de servicio y vacía por completo para labores de mantenimiento.

Fuente: Elaboración propia



Figura B.2 Vista general de las cuatro (4) unidades de sedimentación de la Planta Potabilizadora de Tabladita.

Fuente: Elaboración propia



Figura B.3 Vista interna de la zona de entrada del sedimentador durante el proceso de limpieza y mantenimiento

Fuente: Elaboración propia



Figura B.4 Vista interna de la zona de salida del sedimentador durante la inspección interna.

Fuente: Elaboración propia



Figura B.5 Conversación con el Operador Naval Sánchez sobre el funcionamiento actual del sedimentador y las propuestas de mejora de la Planta.

Fuente: Elaboración propia



Figura B.6 Explicación del Operador sobre los rangos de dosificación de coagulante y los niveles de turbiedad de trabajo.

Fuente: Elaboración propia



Figura B.7 Detalle del proceso de preparación y dosificación de productos químicos en la Planta de Tabladita.

Fuente: Elaboración propia



Figura B.8 Realización de la prueba de Jarras en el laboratorio de la planta para la selección de la dosis óptima de coagulante.

Fuente: Elaboración propia



Figura B.9 Exposición de los equipos portátiles utilizados en el laboratorio de la planta para la medición de parámetros (Turbiedad y pH).

Fuente: Elaboración propia



Figura B.10 Registro y toma de notas sobre el proceso de control de calidad y seguimiento de parámetros de agua en las operaciones de la planta.

Fuente: Elaboración propia