4. EJERCICIOS

EJERCICIO 4.1. En una ETAP dimensionada para una población futura de 75.000 habitantes y una dotación de 250 lts/hab·día y que se diseña para un factor de puntas de 2, se pretende diseñar el pretratamiento (rejas y areneros) con los siguientes valores:

- Número de líneas: 2
- Barrotes rectangulares
- Separación de las barras en la reja: 2 cm
- Espesor barras en la reja: 5 cm
- Máximo atascamiento permitido: 30%
- Diámetro medio de las arenas a eliminar: 0,3 mm (con un peso específico de 2,65 gr/cm^3)

Se pide:

a) Dimensionar los canales de entrada en cada línea en que se instalaran rejillas y la pérdida de carga en dicha rejilla si se coloca con una inclinación de 70º con la horizontal

b) Dimensionamiento del arenero

En primer lugar obtenemos el caudal de diseño por línea:

$$Q_{diseño} = 75.000\ \ hab \cdot 250\ \ l/hab \cdot día = 18.750.000\ \ l/día$$

$$Q_{diseño} = \frac{18.750.000 \cdot 10^{-3}}{24 \cdot 3.600}\ \ m^3/s$$

$$Q_{diseño} = 0{,}217\ \ m^3/s$$

Dado que tenemos un factor de puntas de 2 debemos multiplicar el caudal de diseño por dicho factor:

$$Q_{diseño} = 2 \cdot 0{,}217 = 0{,}434\ \ m^3/s$$

Como tenemos dos líneas de tratamiento, el caudal de diseño para cada una de ellas será:

$$Q_{línea} = \frac{0{,}434}{2} = 0{,}217\ \ m^3/s$$

a) *DIMENSIONAMIENTO DE LOS CANALES DE ENTRADA EN CADA LÍNEA*

Tenemos los siguientes datos:

Barrote rectangular

Separación entre barras = 0,02 m (rejilla tipo medio)

Espesor de barras = 0,05 m

Adoptamos un valor para la velocidad de aproximación a la reja (v_c) = 0,6 m/s (debe estar entre 0,3 y 0,6 m/s)

En función del caudal de diseño podemos dimensionar el canal de entrada a la planta

$$S_{entrada} = \frac{Q}{V} = \frac{0{,}217}{0{,}6} = 0{,}36 \ m^2$$

Con este valor podemos suponer un canal de entrada de ancho 0,6 m, con un calado de 0,6 m.

Una vez obtenido el ancho del canal de entrada, vamos a calcular la anchura del canal en el punto de colocación de las rejillas.

Podemos calcular el ancho del canal en la zona de rejillas con la fórmula siguiente:

$$W = \frac{Q_{\max}}{v_r \cdot D}\left(\frac{b+s}{s}\right) + C$$

siendo:

$W \rightarrow$ Ancho del canal en la zona de rejillas (m)

$Q_{máx} \rightarrow$ Caudal máximo circulante (m^3/s)

$v_r \rightarrow$ Velocidad máxima en rejillas (m/s)

$D \rightarrow$ Nivel aguas arriba de la rejilla a caudal máximo (m)

$b \rightarrow$ Ancho de barrotes (m)

$s \rightarrow$ Separación libre entre barrotes (m)

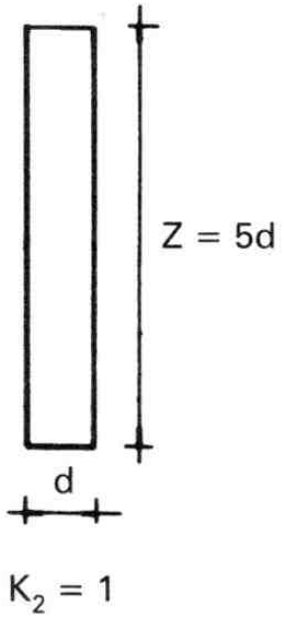
$C \rightarrow$ Coeficiente de seguridad (0,1 rejilla fina; 0,3 rejilla gruesa)

Para poder calcular el nivel aguas arriba de la rejilla a caudal máximo es necesario calcular previamente la pérdida de carga en la rejilla:

$$\Delta h = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \frac{v_c^{\,2}}{2g}$$

Obtenemos el valor de las diferentes constantes:

$$k_1 = \left(\frac{100}{70}\right)^2 = 2{,}04$$



Como vemos en la figura adjunta, el valor de $K_2 = 1$ (sección rectangular)

Además, con los datos de la figura podemos obtener el ancho (d) del barrote = 0,01 m.

El valor de K_3 (coeficiente de la sección de paso entre barrotes) vendrá dado por la siguiente tabla en función de

$e \rightarrow$ Espacio entre barrotes (s) = 0,02 m

$d \rightarrow$ Anchura de los barrotes = 0,01 m

$z \rightarrow$ Espesor de los barrotes = 0,05 m

$h \rightarrow$ Altura sumergida de los barrotes, vertical y oblicua = 0,60 m

	$\frac{e}{e+d}$									
$\frac{z}{4}\left(\frac{2}{e}+\frac{1}{h}\right)$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
0	245	51,5	18,2	8,25	4,0	2,0	0,97	0,42	0,13	0
0,2	230	48	17,4	7,70	3,75	1,87	0,91	0,40	0,13	0,01
0,4	221	46	16,6	7,40	3,60	1,80	0,88	0,39	0,13	0,01
0,6	199	42	15	6,60	3,20	1,60	0,80	0,36	0,13	0,01
0,8	164	34	12,2	5,50	2,70	1,34	0,66	0,31	0,12	0,02
1	149	31	11,1	5,00	2,40	1,20	0,91	0,29	0,11	0,02
1,4	137	28,4	10,3	4,60	2,25	1,15	0,58	0,28	0,11	0,03
2	134	27,4	9,90	4,40	2,20	1,13	0,58	0,28	0,12	0,04
3	132	27,5	10,0	4,50	2,24	1,17	0,61	0,31	0,15	0,05

$$\left.\begin{array}{l} e/(e+d) = 2/(2+1) = 0{,}66 \sim 0{,}7 \\ z/4 \cdot (2/e + 1/h) = 5/4 \cdot (2/2 + 1/60) = 1{,}271 \end{array}\right\} \quad k_3 = 0{,}686$$

Por tanto, la pérdida de carga obtenida será de:

$$\Delta h = 2{,}041 \cdot 1 \cdot 0{,}686 \cdot \left(\frac{0{,}6^2}{2g} \right) = 0{,}025 \ m$$

Esta pérdida de carga se ha obtenido imponiendo una velocidad de aproximación a la reja de 0,60 m/s.

Por tanto, la sección mojada real tendrá una anchura de 0,6 m y un calado de 0,625 m (0,6 + 0,025 m) .

Verificamos la velocidad de aproximación:

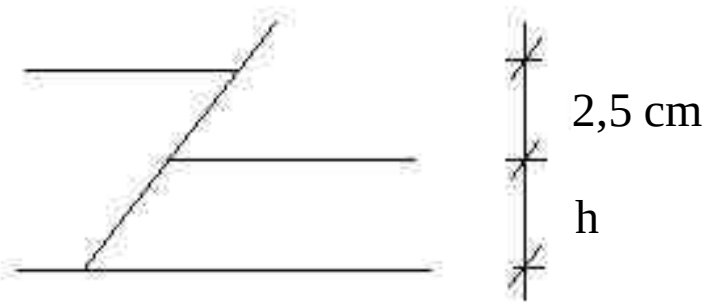
$$v_c = \frac{Q}{S} = \frac{0{,}217}{0{,}6 \cdot 0{,}625} = 0{,}578 \ m/s$$

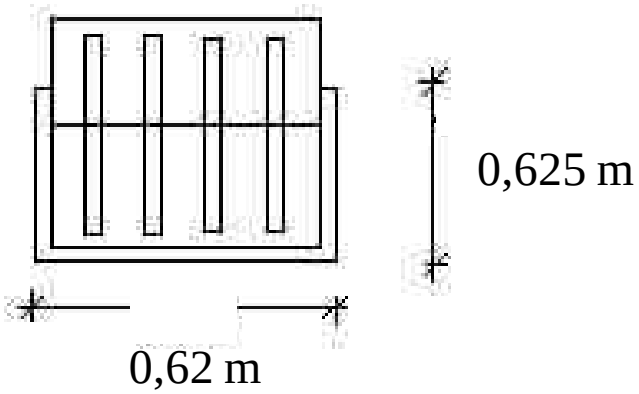
valor que resulta válido por pertenecer al intervalo 0,30 - 0,60 m/sg.

Finalmente, calculamos la anchura del canal en la sección donde se encuentran dispuestas las rejillas:

$$W = \frac{0{,}217}{1 \cdot 0{,}625}\left(\frac{1+2}{2}\right) + 0{,}1 = 0{,}62 \ \ m$$

Se ha adoptado un valor de C = 0,10 ya que, aunque la rejilla es propiamente de tipo medio (1,5 – 5 cm) se encuentra más cerca de la tipología fina, a la hora de asignar un valor al coeficiente de seguridad C.





b) *DIMENSIONAMIENTO DEL ARENERO*

Partimos de los siguientes datos:

$Q_{línea}$ = 0,217 m^3/s

Diámetro partícula = 0,3 mm = 0,03 cm

Con el diámetro de la partícula entramos en la siguiente tabla (Manual de depuración URALITA) para obtener las diferentes velocidades de sedimentación y de arrastre:

DATOS DE SEDIMENTACIÓN DE PARTÍCULAS

d	cm	0,005	0,010	0,020	0,030	0,040	0,050	0,10	0,20	0,30	0,50	1,00
Vc	cm/s	0,2	0,7	2,3	4,0	5,6	7,2	15	27	35	47	74
Vc'	cm/s	0	0,5	1,7	3,0	4,0	5,0	11	21	26	33	
VH	cm/s	15	20	27	32	38	42	60	83	100	130	190

d = diámetro partícula de arena

V_c = velocidad de sedimentación para un fluido con velocidad horizontal nula

$V_{c'}$ = velocidad de sedimentación para un fluido con velocidad horizontal V_H

V_H = velocidad horizontal crítica de arrastre de la partícula depositada

En este caso tendremos:

d = 0,03 cm → V_c = 4 cm/s = 0,04 m/s

$V_{c'}$ = 3 cm/s = 0,03 m/s

V_h = 32 cm/s = 0,32 m/s

A partir de estos datos podemos calcular la sección horizontal y transversal:

$$S_{horizontal} = \frac{Q}{V_c}$$

$$S_{vertical} = \frac{Q}{V_h}$$

$$S_{horizontal} = \frac{0{,}217}{0{,}04} = 5{,}425\ m^2$$

$$S_{vertical} = \frac{0{,}217}{0{,}32} = 0{,}678\ m^2$$

Calculamos las dimensiones de la SECCIÓN TRANSVERSAL (o vertical) considerando que los desarenadores normalmente son rectangulares (a = base, h = altura):

$$S_{trans} = a \cdot h$$

Las dimensiones de la sección transversal deben guardar una relación con el fin de que se puedan formar líneas de corriente:

$$\boxed{1 < a/h < 5}$$

Si adoptamos un valor intermedio de 3 podemos expresar ***a*** en función de ***h*** $\rightarrow$ a = 3h

De esta forma, como conocemos el valor de la sección transversal, podemos hallar el valor de las dimensiones:

$$0{,}678 = a \cdot h = 3h \cdot h = 3h^2 \qquad \begin{cases} h = 0{,}475 \ m \\ a = 1{,}426 \ m \end{cases}$$

Calculamos las dimensiones de la SECCIÓN LONGITUDINAL u horizontal (a = dimensión menor, L = dimensión mayor):

$$\boxed{S_{long} = a \cdot L}$$

$$5{,}425 = 1{,}426 \cdot L \qquad \rightarrow \qquad L = 3{,}8 \ m$$

Por tanto, el volumen total del desarenador vendrá dado por:

$$V = a \cdot L \cdot h \qquad V = 1{,}426 \cdot 3{,}8 \cdot 0{,}475 = 2{,}57 \ m^3$$

Finalmente, calculamos el TIEMPO DE RETENCIÓN que debe estar comprendido entre 2 y 5 minutos (desarenadores simples):

$$T_{retención} = \frac{V}{Q} \qquad T_{retención} = \frac{2{,}57}{0{,}217} = 11{,}87 \ s$$

Este tiempo de retención es muy escaso, por lo que vamos a imponer en nuestro diseño un tiempo de retención mínimo de 2 minutos:

$$V = Q \cdot T_{retención} = 0{,}217 \cdot 120 = 26{,}04 \ m^3$$

Modificamos las dimensiones de la sección transversal con el fin de no tener un desarenador excesivamente largo:

Multiplicando las dimensiones transversales por dos (a = 2,85, h = 0,95), obtenemos:

$$L = \frac{26{,}04}{2{,}85 \cdot 0{,}95} = 9{,}61 \ m$$

Como la longitud todavía resulta excesiva, multiplicamos las dimensiones transversales por tres (a = 4,27, h = 1,42):

$$L = \frac{26{,}04}{4{,}27 \cdot 1{,}42} = 4{,}29 \ m$$

Este valor ya es aceptable, por lo que las dimensiones del desarenador serían las siguientes:

Longitud (L) = 4,29 m
Anchura (a) = 4,27 m
Altura (h) = 1,42 m

Para obtener el caudal de aire a inyectar en el desarenador con el fin de realizar el desengrasado, utilizamos la siguiente tabla (manual de depuración de URALITA):

S(m2)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
C(a)	4-10,5	6-11,5	7,5-13	9-14	10-15	12-17	13-18	15-19	16-20	18-21	19-22	21-23	22-25

siendo *C*(*a*) los m^3 por hora de aire, por metro de longitud de desarenador.

En te caso, la sección obtenida es de ≈ 6 m^2 por lo que el caudal de aire es de 9 – 14 $m^3/h/m$.

La longitud del desarenador es de 4,29 m por lo que el caudal de aire a introducir será de:

$$Q_a = (9-14)\cdot 4{,}29 = 38{,}6-60 \;\; m^3/h$$