



7. EJERCICIOS

EJERCICIO 7.1. El análisis granulométrico de una arena destinada a ser material filtrante en un filtro abierto ha resultado ser:

<i>Nº Tamiz / abertura (mm)</i>	<i>Retenido (gramos)</i>
4.76	0
2.50	0.03
2.00	4.48
1.50	40.40
1.00	61.95
0.63	8.85
0.32	0.51
	0.22

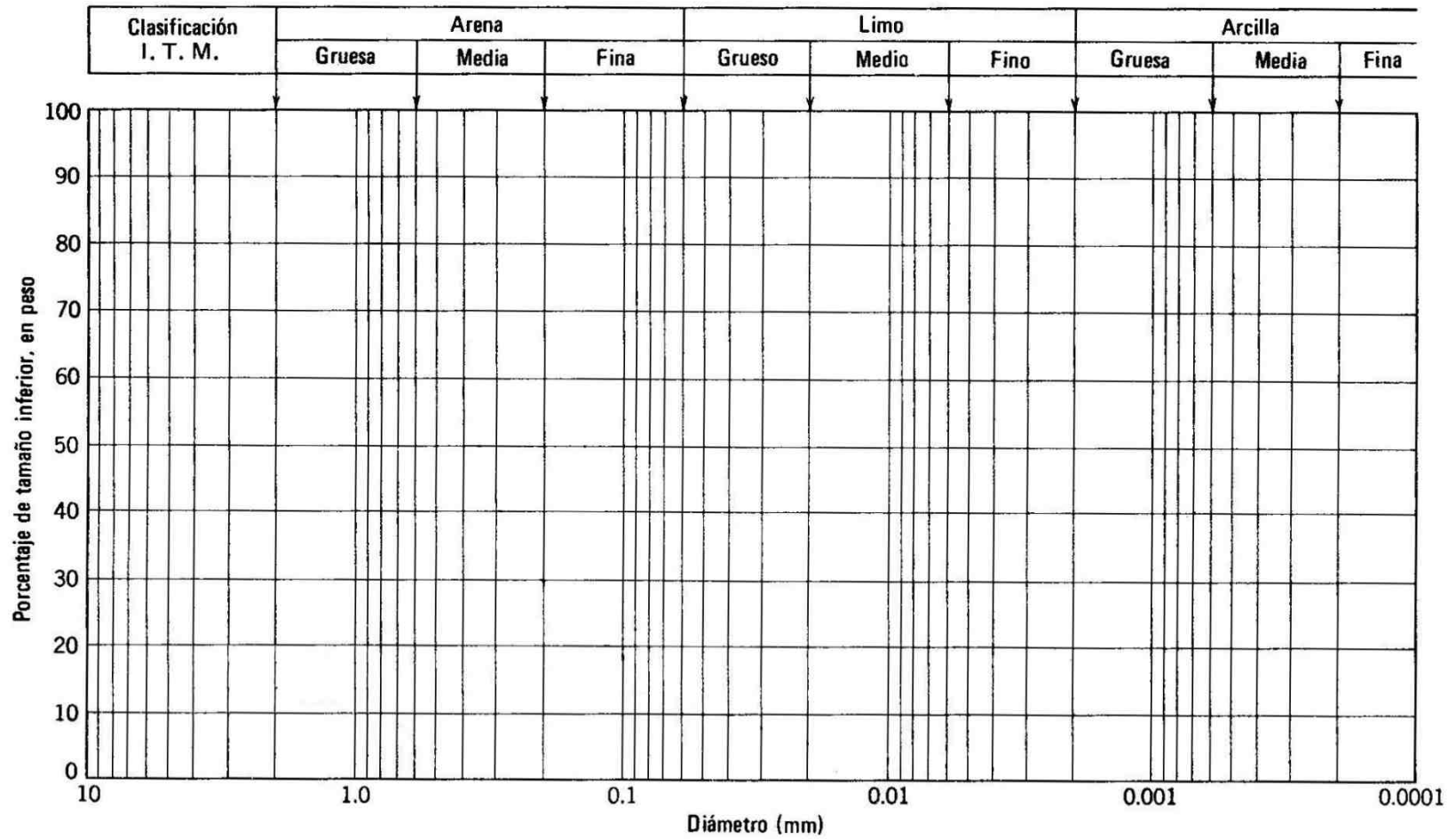
Determinar, con ayuda de la gráfica adjunta:

- Talla efectiva
- Coefficiente de uniformidad



ABASTECIMIENTO DE AGUAS

Tema 6. Filtración





En el enunciado nos dan los tamices y los gramos de muestra retenidos en cada uno de ellos. Para poder utilizar la gráfica adjunta y elaborar la curva granulométrica debemos expresar el resultado en porcentaje de muestra que pasa por cada tamiz:

<i>Nº Tamiz / abertura (mm)</i>	<i>Retenido (gramos)</i>	<i>Pasa (gramos)</i>	<i>Pasa (%)</i>
4.76	0	116.44	100
2.50	0.03	116.41	99.97
2.00	4.48	111.93	96.13
1.50	40.40	71.53	61.43
1.00	61.95	9.58	8.22
0.63	8.85	0.73	0.63
0.32	0.51	0.22	0.19
	0.22		



- a) Calcular la talla efectiva de la muestra

La talla efectiva de la muestra es aquella abertura de tamiz que deja pasar el 10% de la muestra.

Buscando en la curva granulométrica obtenemos que la talla efectiva es 1,02 mm

- b) Obtener el coeficiente de uniformidad

El coeficiente de uniformidad, definido originalmente por Terzaghi y Peck se utiliza para evaluar la uniformidad del tamaño de las partículas de una muestra.

Una muestra será uniforme siempre que $C_u < 2$

Se expresa como la relación entre D_{60} y D_{10} siendo:

D_{60} → Diámetro por debajo del cual queda el 60% de la muestra en peso

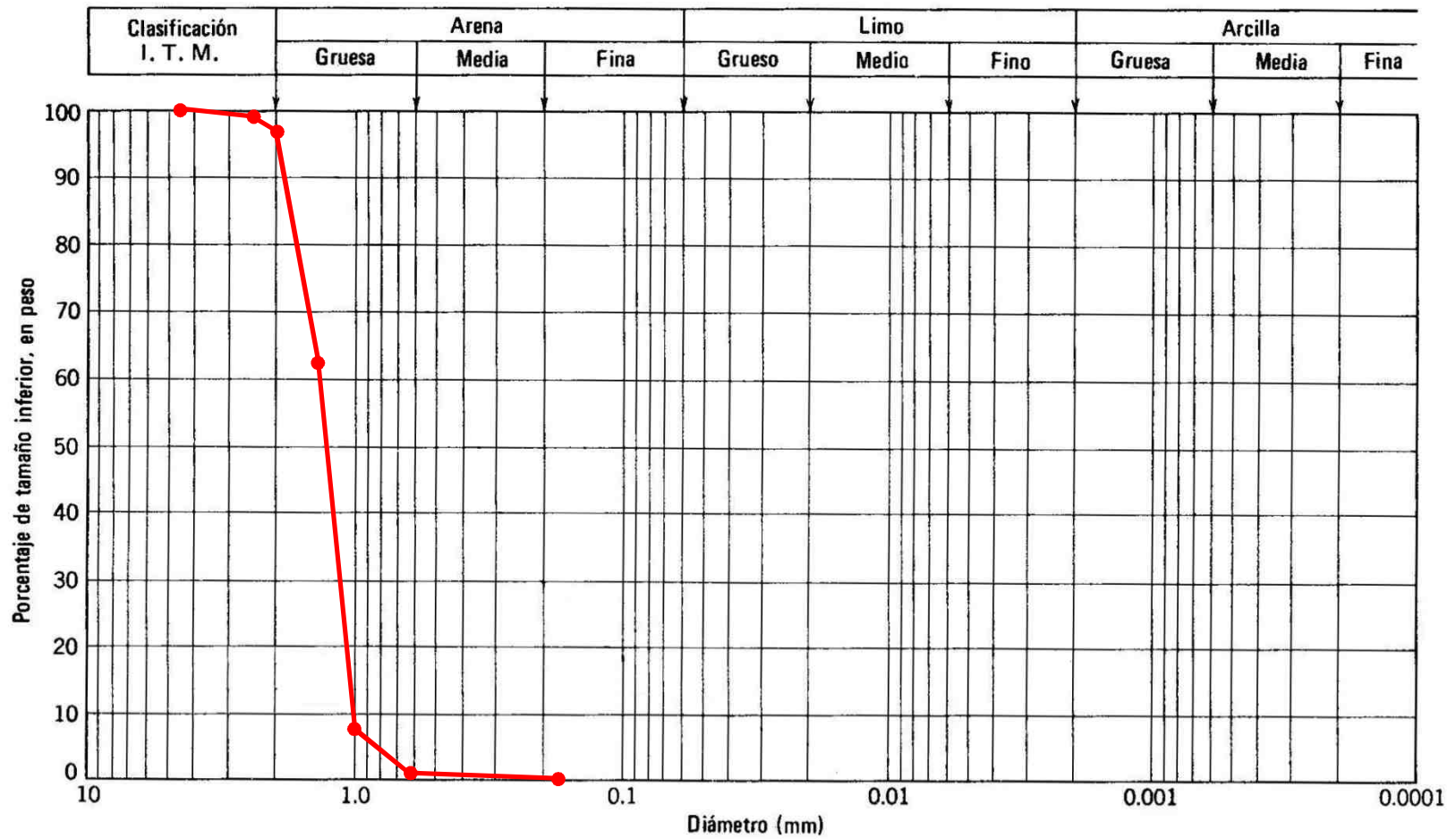
D_{10} → Diámetro por debajo del cual queda el 10% de la muestra en peso

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{1,4}{1,02} = 1,37$$



ABASTECIMIENTO DE AGUAS

Tema 6. Filtración





EJERCICIO 7.2. Se desea diseñar un filtro de dos capas con la capa superior (más gruesa) de carbón activo en grano y la capa inferior (más fina) de arena silícea. Para ello se dispone de una arena de las siguientes características:

- Densidad: $2,3 \text{ g/cm}^3$
- Diámetro efectivo (D_{10}) = 0,6 mm
- Coeficiente de uniformidad (C_u): 1,5

Si el carbón activo tiene una densidad de $1,3 \text{ g/cm}^3$ se pide resolver las siguientes cuestiones:

- a) Hallar el tamaño máximo del grano (suponiéndolo esférico) de carbón activo con la condición de que su velocidad de sedimentación sea menor que la del 90% de los granos de arena
- b) ¿Cuál es el motivo de la condición anterior?
- c) Asimilando el 0,75 del tamaño obtenido en el primer apartado con el D_{60} , ¿Cuál debe ser el diámetro efectivo del carbón activo para obtener un coeficiente de uniformidad de 1,5?



- a) Partimos de la expresión de la velocidad de sedimentación que viene dada por la ley de Stokes (válida para movimiento laminar y números de Reynolds bajos):

$$v_s = \frac{g}{18 \nu} \frac{\rho_s - \rho}{\rho} D_s^2$$

Siendo ν la viscosidad cinemática del líquido, ρ la densidad del líquido y ρ_s la densidad del sedimento.

El tamaño efectivo D_{10} corresponde al que tiene el 90% de los granos de un material. Por tanto, en la expresión de la velocidad de sedimentación de la arena, el diámetro D_s será igual al D_{10}

Para estimar el tamaño máximo del carbón activo se plantea la siguiente desigualdad:

$$v_{s,\text{carbón}} \leq v_{s,\text{arena}}$$

$$\frac{g}{18 \nu} \frac{\rho_c - \rho}{\rho} D_c^2 \leq \frac{g}{18 \nu} \frac{\rho_a - \rho}{\rho} D_a^2$$



Despejando el valor del diámetro del carbón activo obtenemos:

$$D_c \leq \sqrt{\frac{\rho_a - \rho}{\rho_c - \rho}} D_a \qquad D_c \leq 1,25 \text{ mm}$$

- b) La condición de un tamaño máximo para el carbón activo pretende que tras el lavado del filtro, el lecho multicapa se ordene de forma adecuada, es decir, la capa superior corresponda al carbón activo y la inferior a la arena silícea.
- c) Obtenemos el diámetro eficaz (D_{10}) del carbón activo.

La condición que se impone es que $D_{60} = 0,75$ del tamaño máximo

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \qquad D_{10} = \frac{D_{60}}{C_u} = \frac{0,75 \cdot 1,25}{1,5} = 0,624 \text{ mm}$$

$$D_{10} = 0,624 \text{ mm}$$



ABASTECIMIENTO DE AGUAS

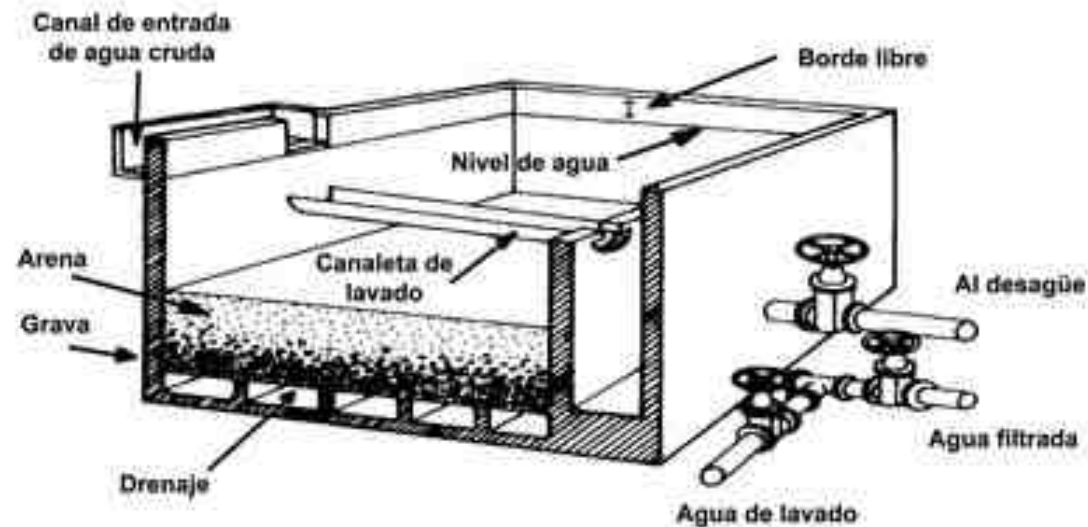
Tema 6. Filtración



EJERCICIO 7.3. Una ETAP equipada con filtros rápidos ha de tratar 23.000 m³/d a una velocidad de filtración de 5 m/h.

Determinar el tamaño y número de unidades necesarias si la velocidad no debe exceder de 7,5 m/h cuando se esté lavando un filtro, ni de 10 m/h cuando haya un filtro fuera de servicio y otro lavándose.

Calcular las condiciones óptimas de lavado si la carrera de filtración es de 24 horas y el tratamiento previo consiste en una coagulación – floculación + decantación.





- a) Comenzamos estimando el número de filtros necesarios

$$N = a\sqrt{Q}$$

el valor de a está comprendido entre 0,044 – 0,051 por lo tanto obtendremos:

$$N = a\sqrt{23.000} = 6,67 \text{ a } 7,73 \text{ filtros} \quad N = 7 \text{ filtros}$$

- b) Calculamos el área de filtración, teniendo en cuenta que se indica que la velocidad de filtración es de 5 m/h (120 m/d)

$$A_f = \frac{Q}{V_f} = \frac{23.000}{120} = 191,67 \text{ m}^2$$



- c) Verificamos las condiciones impuestas, es decir, que cuando se lava un filtro $v_f < 7,5 \text{ m/h}$ (180 m/d) y cuando haya un filtro lavándose y otro fuera de servicio $v_f < 10 \text{ m/h}$ (240 m/d).

En primer lugar definimos las dimensiones del filtro:

$$A_f = \frac{197,67}{7} = 27,4 \text{ m}^2 \approx 28 \text{ m}^2 (7\text{m} \cdot 4\text{m})$$

Realizamos las verificaciones:

$$V_{f1\text{lavando}} = \frac{23.000}{6 \cdot 28} = 136,9 \text{ m/d} < 180 \text{ m/d}$$

$$V_{f1\text{lavando}+1\text{mantenimiento}} = \frac{23.000}{5 \cdot 28} = 164,3 \text{ m/d} < 240 \text{ m/d}$$

Ambas son correctas y cumplen



d) Por último, establecemos las condiciones óptimas de lavado

MÉTODO	VELOCIDAD DE LAVADO (m/h)	TIEMPO DE LAVADO (minutos)
SÓLO AGUA	60 (50 - 70)	15 - 20
AGUA + AIRE	AGUA > 20 (12 - 30)	10 - 12
	AIRE 50 (40 - 80)	1 - 5

- Si sólo realizamos el lavado con agua, suponemos un tiempo de lavado de 15 minutos y una velocidad de lavado de 60 m/h

$$Q_{lavado} = v \cdot A = 60 \cdot 28 = 1.680 \text{ m}^3 / h$$

$$V_{agua lavado} = 1.680 \cdot 15 \cdot (1/60) = 420 \text{ m}^3$$

- Si se realiza el lavado con agua + aire, supondremos un tiempo de lavado con agua de 10 min con una velocidad de lavado de 20 m/h y un tiempo de lavado con aire de 3 min con una velocidad de lavado de 50 m/h

$$Q_{lavado} = v \cdot A = 20 \cdot 28 = 560 \text{ m}^3 / h$$

$$Q_{aire} = 50 \cdot 28 = 1.400 \text{ m}^3 / h$$

$$V_{agua lavado} = 560 \cdot 10 \cdot (1/60) = 93 \text{ m}^3$$