

EXAMEN de DISEÑO HIDROLÓGICO

16 de julio 2022

1. (12 puntos)

- Describa brevemente el método que usaría para medir caudal en un cauce natural a partir de un correntómetro de hélice.
- Comente las ventajas y desventajas de utilizar un correntómetro de hélice frente a un correntómetro acústico ADV.

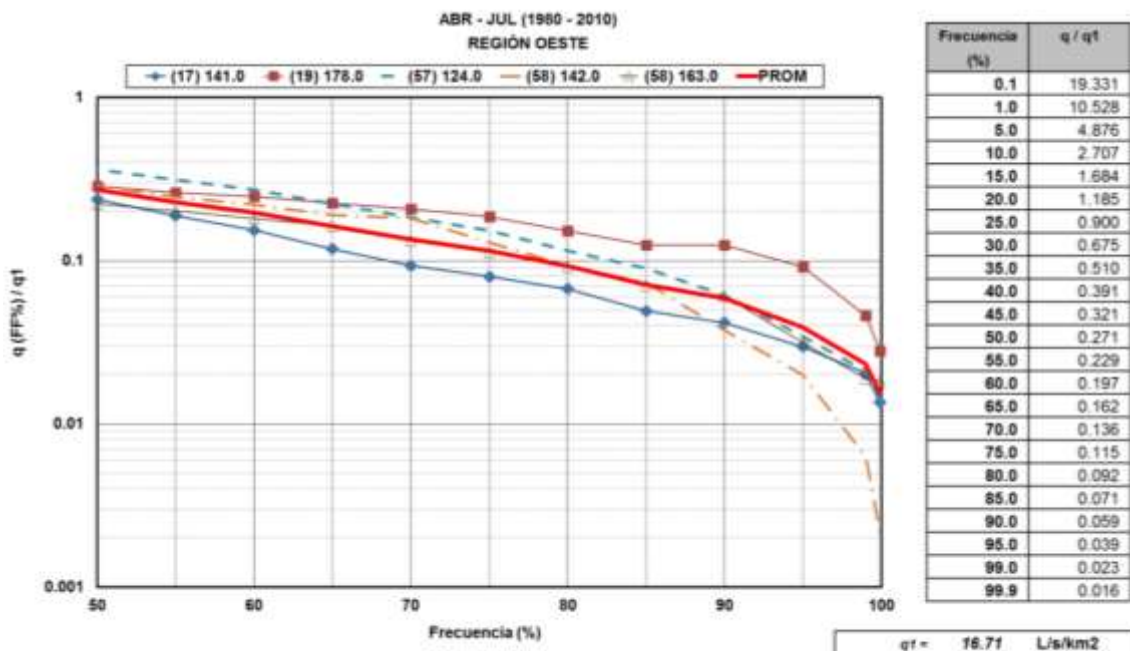
2. (12 puntos)

- Nombrar y definir las tipologías de fuentes de contaminación en una cuenca hidrográfica. Dar por lo menos un ejemplo de cada tipología
- Describir posibles estrategias de gestión que se pueden adoptar en cuencas prevalentemente agropecuarias para prevenir y/o mitigar el aporte de nutrientes a los cuerpos de aguas receptores.

3. (13 puntos)

a) Defina el concepto de caudal ambiental y describa su determinación provisoria en Uruguay según el Decreto 368/018.

b) En base a dicha determinación, estime el caudal ambiental (L/s) para el cuatrimestre Abril-Julio a partir de la curva de frecuencia de caudales específicos diarios estacionales normalizados publicada por la DINAGUA (2019). Para el cálculo considere la curva promedio para la región Oeste y que la cuenca de estudio tiene un área de 28 km².



A III.1 – Frecuencias de caudales específicos diarios estacionales normalizados (ABR-JUL)

4. (13 puntos)

Se tiene un embalse para riego que, durante un mes dado, se mantiene a cota de vertido ($h_v = 7$ m) y se conoce que para dicho mes:

- La cuenca de aporte al embalse tiene un área de 1.700 ha.
 - El escurrimiento proveniente de la cuenca son 610.000 m³.
 - La curva cota-superficie inundada responde a la expresión $A(h) = a \cdot h^b$ donde $a = 98.600$, $b = 1,2$, $A(h)$ está expresada en m² y h en m.
 - La precipitación sobre el embalse es 146 mm.
 - La evaporación de Tanque A es 210 mm.
 - El volumen vertido es 55.000 m³.
 - El volumen reservado para satisfacer el caudal ambiental es de 42.100 m³.
 - El grado de cumplimiento de la demanda de riego es del 80%.
- a) A partir de estos datos, resolver el balance hídrico al embalse y determinar el valor de la demanda de riego para dicho mes.
- b) Si se sabe además que el área de riego es de 900 ha y la eficiencia global del sistema de riego es 0,85, calcular la lámina neta de riego para dicho mes.

R:

- a) Partimos de la expresión para el balance al embalse de paso mensual, despreciando la infiltración al terreno:

$$V_t = V_{t-1} + V_{esc_t} + A_t \cdot (P_t - E_{v_t}) - V_{d_t} - V_{v_t}$$

Conocemos todos los términos de la ecuación, salvo V_{d_t} :

$$(V_t - V_{t-1}) = 0$$

$$V_{esc_t} = 610.000 \text{ m}^3$$

$$E_{v_t} = 0,70 \cdot E_{tanque} = 0.147 \text{ m}$$

$$A_t = A(h_v); A_t \cdot (P_t - E_{v_t}) = 1.018.579 \text{ m}^2 (0.146 - 0.147) \text{ m} = -1.018,6 \text{ m}^3$$

$$V_{v_t} = 55.000 \text{ m}^3$$

$$\text{Sabemos que } V_{d_t} = V_{amb_t} + 0.80 \cdot V_{riego_t} = 553.981,4 \text{ m}^3$$

$$\Rightarrow *V_{riego_t} = 639.852 \text{ m}^3$$

- b) $0,85 \cdot 639.853 \text{ m}^3 / 9.000.000 \text{ m}^2 = 0.604 \text{ m} = 60,4 \text{ mm}$

5. (10 puntos)

Con el objetivo de estimar el intervalo de confianza de la precipitación diaria de 50 años de período de retorno se utiliza la técnica de Bootstrapping no paramétrico. Se realiza un total de 30 remuestreos con repetición a partir de la serie observada y calcula en cada caso la precipitación diaria con 50 años de período de retorno, las cuales si incluyen en la siguiente tabla en orden creciente.

Indique el intercalo de confianza del 90% para el monto de precipitación con 50 años de período de retorno, justificando.

Precipitación [mm]	Precipitación [mm]	Precipitación [mm]
133.4	160.5	169.3
136.0	160.9	170.7
138.2	161.1	173.9
141.1	161.9	174.4
151.1	162.0	175.0
151.8	162.7	175.4
154.4	162.8	176.2
156.5	165.6	178.9
157.7	166.3	179.5
159.3	168.3	181.6

R:

Con $n=30$, percentil $1.5/n$ (5,0%) -> 136,0 mm

Com $n=30$, percentil $28.5/n$ (95,0%) -> 179,5 mm

Intervalo centrado de 90% (5-95%) = [136,0 179,5] mm

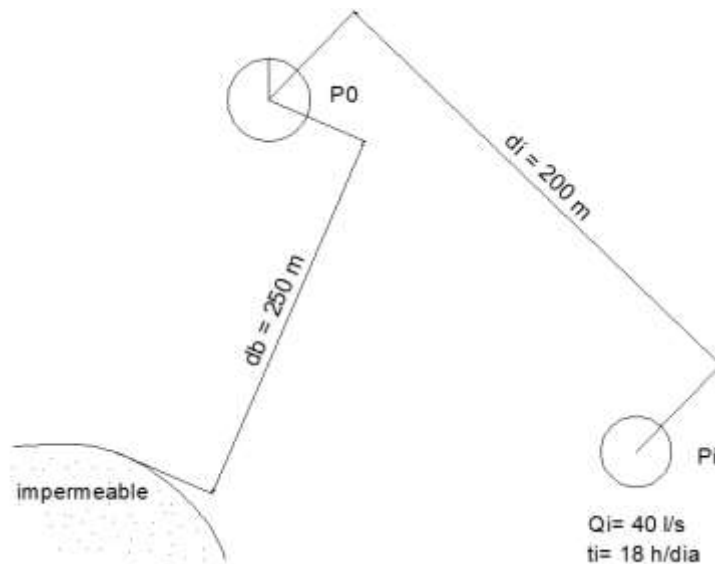
6. (8 puntos)

- ¿Qué es un acuífero? Defínalo claramente en no más de cincuenta palabras.
- ¿En qué consistió el experimento de Darcy? ¿Qué variables relaciona? Explíquelo brevemente.

7. (16 puntos) – Versión sin PC

Desde un pozo (Po) de 14" de diámetro, perforado en un acuífero confinado, con penetración total, se extrae un caudal de 50 l/s. durante 20 horas/día. Si el medio poroso es isotrópico homogéneo con transmisividad 5×10^{-3} m²/s y el coeficiente de almacenamiento 1×10^{-3} .

- Determinar el descenso total en el pozo considerando que existe un borde impermeable que dista 250 m desde el pozo.
- Con las condiciones anteriores comienza a bombear otro pozo distante 200 m, entre ejes, del que se explota un caudal de 40 l/s. durante 18 horas/día. Calcular el nuevo descenso total sobre el pozo de bombeo original. Suponer que el nuevo pozo (Pi) está lo suficientemente lejos de la barrera como para que este no se vea influenciado por la misma.



R:

a) Datos del pozo en estudio

$$r_0 = 14'' = 0.1778 \text{ m}$$

$$Q = 50 \text{ l/s.}$$

$$t = 20 \text{ horas/día} = 72\,000 \text{ s}$$

$$\text{distancia a la barrera } d = 250 \text{ m}$$

Se utiliza la ley de superposición de efectos a partir de la ecuación de Jacob para calcular el descenso total en el pozo de bombeo interferido por el borde impermeable.

$$s_P = s_{(\text{pozo-pozo})} + s_{(\text{pozo-imagen})}$$

$$s_P = \frac{Q}{4\pi T} \ln\left(\frac{2,25Tt}{r_0 r_0 S}\right) + \frac{Q}{4\pi T} \ln\left(\frac{2,25Tt}{2d^2 S}\right) = 13.58 + 0.94 = 14.51 \text{ m}$$

b) Datos del pozo interferente

$$Q' = 40 \text{ l/s}$$

$$t' = 18 \text{ horas/día} = 64\,800 \text{ s}$$

$$d_i = 200 \text{ m.}$$

$$T = 5 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{día}$$

$$S = 10^{-3}$$

Para agregarle el efecto de un pozo de bombeo adicional, se utiliza la ley de superposición adicionando el efecto del nuevo pozo de bombeo (último término de la siguiente ecuación):

$$s_P = \frac{Q}{4\pi T} \ln\left(\frac{2,25Tt}{r_0 r_0 S}\right) + \frac{Q}{4\pi T} \ln\left(\frac{2,25Tt}{2d^2 S}\right) + \frac{Q'}{4\pi T} \ln\left(\frac{2,25Tt'}{d_i d_i S}\right)$$

$$s_P = 13.58 + 0.94 + 1.85 = 16.36$$

7. (16 puntos) – Versión con PC

Se realiza un ensayo de bombeo en un acuífero cautivo a caudal constante de 30 l/s. Los descensos obtenidos durante el bombeo se han medido en un piezómetro situado a 100 m de distancia, obteniéndose los valores presentados en la tabla de tiempo vs descensos.

- Calcular los valores de transmisividad ($m^2/día$), y el coeficiente de almacenamiento por el método de Theis y Jacob.
- Estimar el descenso teórico en el pozo, si su diámetro es de 0.3 m, en un tiempo de 3 días.
- ¿A qué distancia del pozo se producirá un descenso menor de 0.01 m después de 2 días de bombeo?

Tiempo de bombeo (minutos)	Descensos (m)
1	0
2	0,02
4	0,08
7	0,15
10	0,29
15	0,6
25	1,2
40	2
60	2,68
120	4
240	5,73
420	7,01
900	8,65
1800	10,2
3000	11,3
4000	12
5000	12,85

R:

- a) Datos del problema

$$r_0 = 0.15 \text{ m}$$

$$r_1 = 100 \text{ m}$$

$$Q = 30 \text{ l/s.}$$

Se pueden utilizar métodos gráficos con ábacos, superposición utilizando hojas de cálculo de Excel o el software visto en clase AQTESOLV.

Theis:

$$s = \frac{Q}{4\pi \cdot T} [w(\mu)] \quad \mu = \frac{r^2 \cdot S}{4 \cdot T \cdot t}$$

Aproximación de Jacob:

$$s_1 = \frac{Q}{4\pi T} \ln \left(\frac{2,25Tt}{r_1^2 S} \right)$$

Se evaluarán los procedimientos de cálculo en función del método de resolución que se seleccione. En todo caso los estudiantes deben presentar los gráficos obtenidos del procedimiento seleccionado.

Los valores de T y S resultantes aproximados son los siguientes:

$$T = 176.78 \text{ m}^2 / \text{día} \quad S = 0.00024$$

- b) Comprobamos que podemos utilizar la Aproximación de Jacob para este cálculo utilizando la hipótesis vista en el curso que: $\mu \leq 0.03$.

$$\mu = \frac{r^2 \cdot S}{4 \cdot T \cdot t}$$

Sustituyendo los valores de T, S, t= 3 días y r=0.15 m en la fórmula, obtenemos que $\mu = 2.55 \times 10^{-9}$. Por tanto, se puede utilizar la Aproximación de Jacob para estimar el descenso producido.

Se sustituyen los valores de T, S, t= 3 días y r=0.15 m en la fórmula de Aproximación de Jacob, obteniéndose el descenso estimado para un tiempo de 3 días de bombeo continuo.

$$s_p = 22.4 \text{ m}$$

- c) Como $s = 0.01$ es un valor muy pequeño, teóricamente no podría utilizarse la Aproximación de Jacob para despejar la variable r. Esto porque es esperable que no se cumpla la hipótesis $\mu \leq 0.03$. En este caso no podemos calcular μ , dado que nos falta el valor r. Por esto, es correcto asumir lo expuesto anteriormente.

Para calcular r debe utilizarse el procedimiento de Theis, utilizando la tabla de valores de $W(\mu)$.

$$s = 0.01 = \frac{Q}{4\pi \cdot T} \cdot w(\mu) = \frac{2592}{4\pi \cdot 176.78} \cdot w(\mu) \Rightarrow w(\mu) = 0.008571 \rightarrow \text{tablas} \rightarrow \mu = 1.7$$

$$\mu = \frac{r^2 \cdot S}{4 \cdot T \cdot t} = 1.7 = \frac{r^2 \cdot 0.00024}{4 \cdot 176.78 \cdot 2} \Rightarrow r = \sqrt{\frac{1.7}{0.0000001697}} = 3165.05 \text{ m}$$

8. (16 puntos)

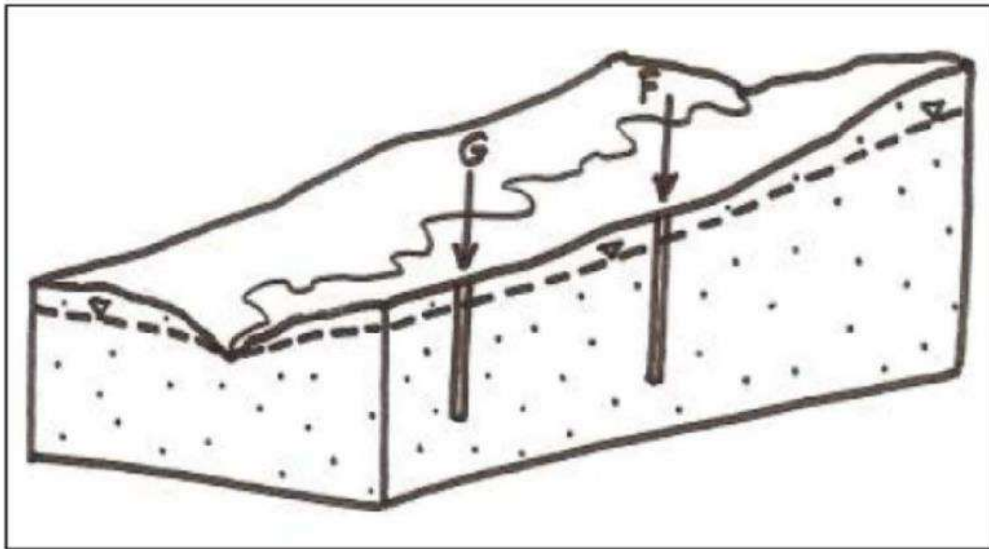
Se sabe que el caudal de agua que pasa diariamente por la sección transversal de un acuífero libre formado por arenas y gravas fluviales, entre los puntos F y G, distantes 5 km a lo largo del valle, es de 24.000 m^3 . A partir de las características del acuífero, que se enumeran más abajo, calcule:

- El volumen de agua almacenada en la zona saturada del acuífero
- El volumen de agua almacenada en el acuífero que puede ser explotada mediante pozos.
- El volumen de agua que puede ser explotada sin afectar las reservas
- El valor medio de la transmisividad del acuífero
- El gradiente hidráulico entre F y G.

Longitud del acuífero: 30 km

Ancho del acuífero: 2 km

Espesor total medio: 12 m
 Espesor saturado medio: 8 m
 Porosidad efectiva: 15%
 Porosidad total: 25%
 Conductividad hidráulica media: 250 m/día
 Infiltración total: 40 mm/año



R:

Parte a), Volumen Almacenado (Hm³) = 120

$$\text{Volumen Almacenado} = \text{Porosidad total} \times \text{Longitud} \times \text{Anchura} \times \text{Espesor saturado medio}$$

Parte b), Volumen Almacenado explotable (Hm³) = 72

$$\text{Volumen Explotable Almacenado} = \text{Porosidad efectiva} \times \text{Longitud} \times \text{Anchura} \times \text{Espesor saturado medio}$$

Parte c), Volumen explotable sin afectar reservas (Hm³) = 2.4

$$\text{Volumen Explotable (sin afectar reservas)} = \text{Infiltración Eficaz} \times \text{Área superficial}$$

Parte d), Transmisividad (m²/día) = 2000

$$\text{Transmisividad} = \text{Conductividad hidráulica} \times \text{Espesor saturado medio}$$

Parte e), Gradiente Hidráulico entre F y G (m/m) = 0.006

$$i \text{ (m/m)} = \frac{\text{Q diario por sección transversal}}{\text{conductividad media} \times \text{Área sección transversal}}$$