

Dada la parcela de la figura, se pide el diseño agronómico e hidráulico para un sistema de riego en cobertura total con PVC.

Datos:

Suelo franco arenoso

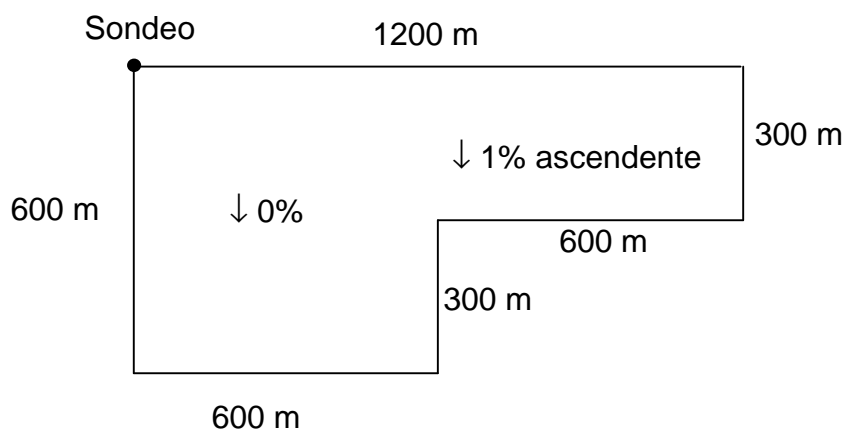
$CE=1.1$ mmho/cm

Cultivo más exigente de la rotación: maíz

Máximo consumo en agosto, con $ET_o=184$ mm/mes

Profundidad de raíces en ese mes: 60 cm

Nivel estático del sondeo: 75 m



Diseño Agronómico

✓ Necesidades de agua

Necesidades netas:

$$ET_c = ET_o \cdot K_c$$

$$ET_c = 184 \cdot 1.15 = 211.6 \text{ mm/mes}$$

$$\frac{211.6}{31} = 6.83 \text{ mm/día}$$

$$N_n = ET_c = 6.83 \text{ mm/día}$$

Dosis neta:

$$D_n = (C_c - P_m) \cdot d_a \cdot NAP \cdot z$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Suelo franco arenoso} \\ \text{Maíz; grupo 4, } K_c = 1.15 \\ ET_c = 6.83 \text{ mm/día} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} CC = 14\% \\ PM = 6\% \\ d_a = 1.5 \text{ t/m}^3 \\ NAP = 0.51 \end{array} \right.$$

$$D_n = \left(\frac{14 - 6}{100} \right) \cdot 1.5 \cdot 0.51 \cdot 600 = 36.72 \text{ mm}$$

Fracción de lavado:

$$LR = \frac{CE_i}{(5 \cdot CE_e - CE_i) \cdot f}$$

$$LR = \frac{1.1}{(5 \cdot 1.7 - 1.1) \cdot 0.85} = 0.175 \rightarrow (17.5\%)$$

Necesidades brutas:

$$N_b = \frac{N_n}{E_a \cdot (1 - LR)}$$

$$N_b = \frac{6.83}{0.75 \cdot (1 - 0.175)} = 11.04 \text{ mm/día}$$

Dosis bruta:

$$D_b = \frac{D_n}{E_a \cdot (1 - LR)}$$

$$D_b = \frac{36.72}{0.75 \cdot (1 - 0.175)} = 59.35 \text{ mm}$$

✓ Parámetros de riego

Intervalo de riego (IR)

$$IR = \frac{D_b}{N_{b \text{ diarias}}}$$

$$IR = \frac{59.35}{11.04} = 5.38 \text{ días} \rightarrow IR = 5 - 6 \text{ días}$$

Dosis bruta ajustada

$$D_b = N_{b \text{ diarias}} \cdot IR$$

$$D_b = 11.04 \cdot 5 = 55.2 \text{ mm}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Horas de riego al día} = 18 \\ \text{Posturas al día} = 2 \end{array} \right\} 9 \text{ horas /postura}$$

Intensidad de lluvia

$$\text{Intensidad de lluvia} = \frac{D_{b \text{ ajustada}}}{\text{horas/postura}} = \frac{55.2}{9} = 6.13 \text{ mm/h}$$

✓ Elección de aspersores

14 TNT, (2 boquillas)
marco 18×18 m
Pluviometría (Pms) = 6.63 mm /h
 $q_i = 2.15 \text{ m}^3/\text{h}$
 $R = 15.9$ m
Presión = $2.8 \text{ kg}/\text{cm}^2$

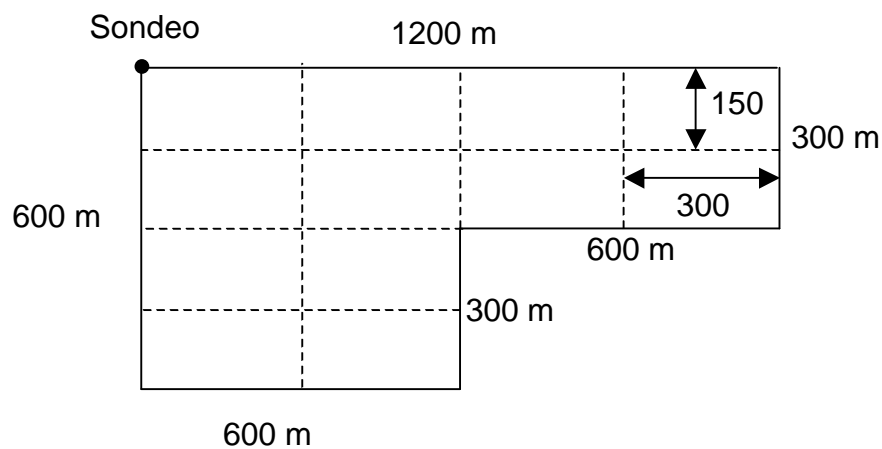
Tiempo de riego:

$$TR = \frac{D_{b \text{ ajustada}}}{Pms} = \frac{55.2}{6.63} = 8.33$$

TR = 8.5 horas

Al ser cobertura total, si está automatizada, no hay problema con tomar tiempos de riego que no sean números enteros. 8.33 horas son 8 horas y 20 minutos, y en caso de contar con programador de riegos podría ajustarse el tiempo perfectamente.

Diseño Hidráulico



$$\text{Superficie total} = 600 \cdot 600 + 600 \cdot 300 = 540000 \text{ m}^2 = 54 \text{ ha}$$

Tanteo:

$$N^{\circ} \text{ de bloques de riego} = IR \cdot n^{\circ} \text{ posturas/día} = 5 \cdot 2 = 10$$

Observando la parcela se ve que, por su forma, el número más adecuado de bloques no es 10, sino 12 (los bloques de riego deben ser siempre lo más semejante posible). Para facilitar el manejo y los cálculos, podríamos hacer $IR = 6$ días, de manera que se regarían dos bloques al día, uno por la mañana y otro por la tarde.

Esta es la mejor solución de diseño, pero nos obliga a recalcular la D_{bruta} para el nuevo intervalo de riego y elegir otro aspersor.

Dosis bruta ajustada

$$D_b = N_{b \text{ diarias}} \cdot IR = 11.04 \cdot 6 = 66.24 \text{ mm}$$

$$\text{Intensidad de lluvia} = \frac{66.24}{9} = 7.36 \text{ mm/h}$$

Aspersor:

2 TNT, 4.4×2.4 (2 boquillas)
marco 12×18 m
Pluviometría (Pms) = 7.82 mm /h
 $q_i = 1.69 \text{ m}^3/\text{h}$
 $R = 14.2$ m
Presión = 3.2 kg/cm^2

Tiempo de riego

$$TR = \frac{D_{b \text{ ajustada}}}{Pms} = \frac{66.24}{7.82} = 8.47$$

TR = 8.5 horas

$$\text{N}^\circ \text{ de bloques de riego} = 6 \cdot 2 = 12$$

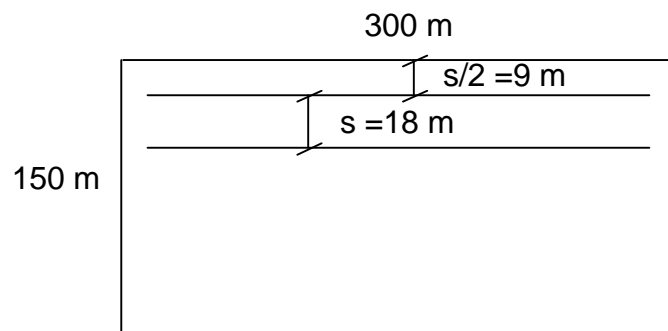
$$\text{Superficie/bloque} = \frac{54}{12} = 4.5 \text{ ha/bloque}$$

$$\text{N}^\circ \text{ teórico aspersores} = \frac{\text{superficie parcela}}{\text{marco}} = \frac{540000}{12 \cdot 18} = 2500 \text{ aspersores}$$

Van a regar a la vez, en teoría:

$$\frac{2500 \text{ aspersores}}{12 \text{ bloques}} = 208.3 \rightarrow 209 \text{ aspersores en un bloque}$$

✓ Ramales de riego y aspersores en cada bloque de riego



Tanteo:

El primer ramal lo colocamos a $\frac{s}{2}$ para uniformar el riego de la parcela lo más posible ($\frac{s}{2}$ de cada bloque contiguo $\rightarrow s = 18 \text{ m}$), y dejamos en un extremo toda la irregularidad.

$$\text{Para } l_0 = \frac{s}{2} \rightarrow L = \frac{s}{2} + s \cdot (n - 1)$$

$$150 = 9 + 18 \cdot (n - 1) \rightarrow n = 8.8 \text{ ramales}$$

X Con 9 ramales:

$$L = 9 + 18 \cdot (9 - 1) = 153 \text{ m, nos salimos de la parcela}$$

X Con 8 ramales:

$$L = 9 + 18 \cdot (8 - 1) = 135 \text{ m,}$$

$150 - 135 = 15 \text{ m}$ desde el último ramal hasta el extremo de la parcela

$R_{\text{aspersor}} = 14.2 \text{ m} \rightarrow R_{\text{efectivo}} = 95\% \cdot 14.2 = 13.49 \text{ m} \rightarrow$ No se va a regar bien todo el borde. Tendremos 1.5 m peor regados que el resto.

Soluciones:

1. Aceptar este hecho
2. Poner justo en el límite de la parcela un ramal (separado 15 m del anterior) con aspersores sectoriales junto a las lindes y normales en bloques alternos, con lo que se pierde la uniformidad del diseño.

La solución elegida dependerá de la rentabilidad de la explotación

Ponemos 8 ramales, $L = 135 \text{ m}$

Número de aspersores /ramal

longitud = 300 m

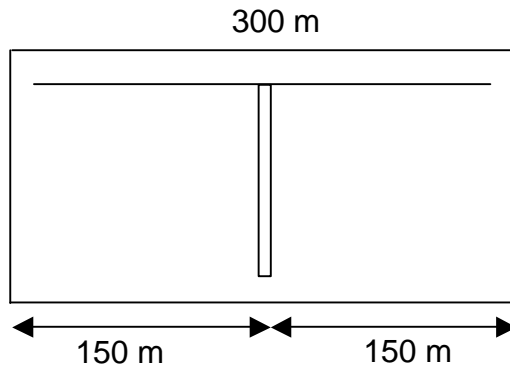
$S_e = 12 \text{ m}$

Tanteo:

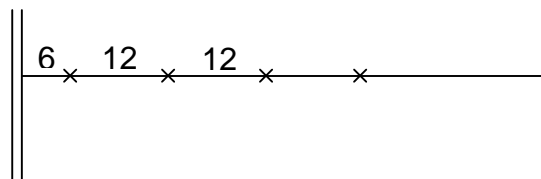
$$\text{Para } l_0 = \frac{S}{2} \rightarrow L = \frac{S}{2} + s \cdot (n - 1)$$

$$300 = 6 + 12 \cdot (n - 1) \rightarrow n = 25.5 \text{ aspersores}$$

Abastecemos el ramal por su punto medio para reducir diámetros y mejorar la aplicación del riego al existir menos diferencias de presión entre los aspersores primero y último.



✓ Si son 26 aspersores, serán 13 en cada ramal. El primero deberá estar situado a $\frac{S}{2}$ para que la separación con el primero del otro ramal (al otro lado de la secundaria) quede a 12 m, respetando el marco entre aspersores.

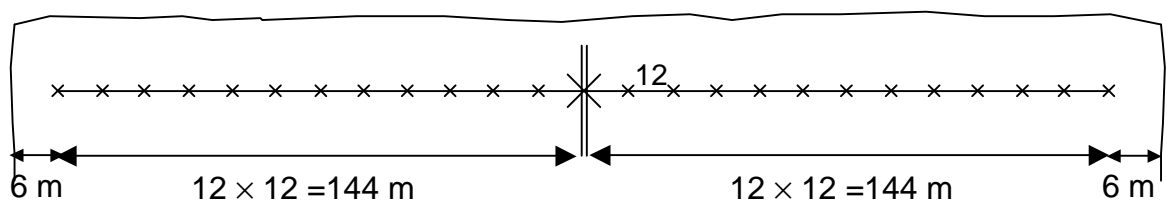


$$L = 6 + 12 \cdot (n - 1)$$

$$L = 6 + 12 \cdot (13 - 1) = 150 \text{ m}$$

El último aspersor estaría en el borde y deberá ser sectorial. Esto quedaría junto a las lindes, pero entre bloques sobraría el último aspersor de uno de ellos (coincidirían en el mismo punto).

✓ Si ponemos 25 aspersores, pinchamos un aspersor directamente en la secundaria:



$$150 - 144 = 6 \text{ m a cada lado}$$

Entre bloques, la separación entre los dos aspersores más próximos (los últimos de cada bloque) será $6 + 6 = 12$ m, con lo que la separación entre aspersores es uniforme tanto dentro del bloque como al pasar de un bloque a otro.

En el lado que linde con el contorno de la parcela puede que sea preciso colocar el último aspersor sectorial (si hay un camino, carretera, etc), puesto que el alcance del aspersor es de 14.2 m.

$$N^{\circ} \text{ aspersores/bloque reales} = 25 \text{ aspersores/ramal} \cdot 8 \text{ ramales}$$

$$N^{\circ} \text{ aspersores/bloque} = 200$$

$$q_i = 1.69 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$q_{\text{lateral}} = 12 \cdot q_i = 12 \cdot 1.69 = 20.28 \text{ m}^3/\text{h}$$

No se considera para el caudal del lateral el aspersor pinchado en la secundaria, puesto que no está en el lateral.

✓ Cálculo de los ramales

$$q_{\text{lateral}} = 20.28 \text{ m}^3 / \text{h}$$

$$\text{Longitud} = 144 \text{ m}$$

$$a = 1.20$$

$$J(\%) = \frac{0.092}{D^{4.8}} \cdot Q^{1.8}$$

$$\text{Referencia: Apurar la condición de diseño } \frac{P_0}{\gamma} - \frac{P_n}{\gamma} \leq 20\% \cdot \frac{P_a}{\gamma}$$

✗ Primer tanteo: $\phi 75 \text{ mm} \rightarrow \phi_{\text{int}} = 66.2 \text{ mm}$

$$J(\%) = \frac{0.092}{(0.0662)^{4.8}} \cdot \left(\frac{20.28}{3600} \right)^{1.8} = 3.76\%$$

$$h = a \cdot F \cdot J \cdot L$$

$$F \left\{ \begin{array}{l} l_0 = s \\ \beta = 1.80 \\ n = 12 \end{array} \right\} F = 0.400$$

$$h = 1.20 \cdot 0.400 \cdot \frac{3.76}{100} \cdot 144 = 2.60 \text{ mca}$$

$$\text{Condición de diseño: } \frac{P_0}{\gamma} - \frac{P_n}{\gamma} \leq 20\% \cdot \frac{P_a}{\gamma}$$

$$\frac{P_0}{\gamma} = H_a + \frac{P_a}{\gamma} + \frac{3}{4} \cdot h = 2 + 32 + \frac{3}{4} \cdot 2.60 = 35.95 \text{ mca}$$

$$\frac{P_n}{\gamma} = \frac{P_a}{\gamma} - \frac{1}{4} \cdot h = 32 - \frac{1}{4} \cdot 2.60 = 31.35 \text{ mca}$$

$$\frac{P_0}{\gamma} - \frac{P_n}{\gamma} = 4.60 \text{ mca} < 20\% \cdot \frac{P_a}{\gamma} = 6.40 \text{ mca}$$

X Segundo tanteo: $\phi 63 \text{ mm} \rightarrow \phi_{\text{int}} = 59.2 \text{ mm}$

$$J(\%) = \frac{0.092}{(0.0592)^{4.8}} \cdot \left(\frac{20.28}{3600} \right)^{1.8} = 6.43\%$$

$$h = a \cdot F \cdot J \cdot L$$

$$h = 1.20 \cdot 0.400 \cdot \frac{6.43}{100} \cdot 144 = 4.44 \text{ mca}$$

$$\frac{P_0}{\gamma} = 2 + 32 + \frac{3}{4} \cdot 4.44 = 37.33 \text{ mca}$$

$$\frac{P_n}{\gamma} = 32 - \frac{1}{4} \cdot 4.44 = 30.89 \text{ mca}$$

$$\frac{P_0}{\gamma} - \frac{P_n}{\gamma} = 6.44 \text{ mca} \cong 20\% \cdot \frac{P_a}{\gamma} = 6.40 \text{ mca}$$

Perdemos la máxima altura permitida.

Ramales:

$$\phi 63 \text{ mm}$$

$$h = 4.44 \text{ mca}$$

$$L = 144 \text{ m}$$

$$\frac{P_0}{\gamma} = 37.33 \text{ mca}$$

✓ Tubería Secundaria

Como referencia:

ϕ : 110 – 140 mm (no superar 140mm)

No perder más del 10% en carga

$a = 1.2$

Caudal de la secundaria

$$q_{\text{secundaria}} = 8 \cdot 2 \cdot q_{\text{lateral}} + 8 \cdot q_i$$

$$q_{\text{secundaria}} = 8 \cdot 2 \cdot 20.28 + 8 \cdot 1.69 = 338 \text{ m}^3 / \text{h}$$

$$F \left\{ \begin{array}{l} l_o = s \\ \beta = 1.80 \\ n = 24 \end{array} \right\} F = 0.389$$

✗ Primer tanteo: ϕ 125 mm $\rightarrow \phi_{\text{int}} = 117.6$ mm

$$J(\%) = \frac{0.092}{(0.1176)^{4.8}} \cdot \left(\frac{338}{3600} \right)^{1.8} = 37.72\% \text{ (muy alta)}$$

✗ Segundo tanteo: ϕ 140 mm $\rightarrow \phi_{\text{int}} = 131.8$ mm

$$J(\%) = \frac{0.092}{(0.1318)^{4.8}} \cdot \left(\frac{338}{3600} \right)^{1.8} = 21.82\% \text{ (muy alta)}$$

No se aconseja un ϕ mayor y hay demasiada pérdida de carga, por lo que cambiamos el diseño y en lugar de alimentar la secundaria por un extremo se hará por su punto medio. De esta forma, el caudal circulante por la secundaria será la mitad, así como el número de salidas y la longitud para el cálculo de pérdidas de carga.

$$q = \frac{338}{2} = 169 \text{ m}^3 / \text{h}$$

$$\text{longitud} = 18 \cdot 3 + 9 = 63 \text{ m}$$

$$F_{12 \text{ salidas}} = 0.400$$

✘ Tercer tanteo: $\phi 125 \text{ mm} \rightarrow \phi_{\text{int}} = 117.6 \text{ mm}$

$$J(\%) = \frac{0.092}{(0.1176)^{4.8}} \cdot \left(\frac{169}{3600} \right)^{1.8} = 10.83\% \text{ (alta)}$$

✘ Cuarto tanteo: $\phi 140 \text{ mm} \rightarrow \phi_{\text{int}} = 131.8 \text{ mm}$

$$J(\%) = \frac{0.092}{(0.1318)^{4.8}} \cdot \left(\frac{169}{3600} \right)^{1.8} = 6.27\%$$

$$h = a \cdot F \cdot J \cdot L$$

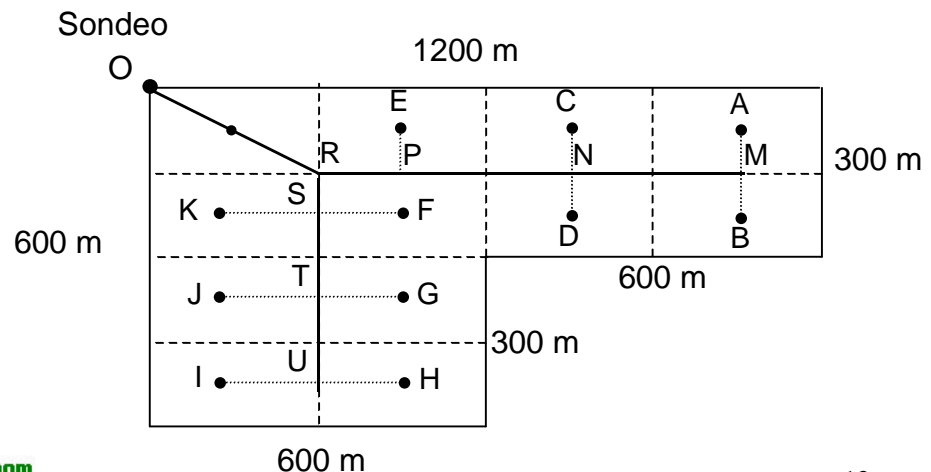
$$h = 1.20 \cdot 0.400 \cdot \frac{6.27}{100} \cdot 63 = 1.90 \text{ mca}$$

Secundaria:

$\phi 140 \text{ mm}$

$h = 1.90 \text{ mca}$ (desde la toma)

✓ Terciarias



PVC 6 atm (en principio)

Tramo BM:

$$q = 8 \cdot 2 \cdot q_{\text{lateral}} + 8 \cdot q_i = 338 \text{ m}^3 / \text{h}$$

X Primer tanteo: ϕ 200 mm $\rightarrow \phi_{\text{int}} = 188.2$ mm

$$J(\%) = \frac{0.092}{(0.1882)^{4.8}} \cdot \left(\frac{338}{3600} \right)^{1.8} = 3.95\%$$

$$h = a \cdot F \cdot J \cdot L = 1.1 \cdot 1 \cdot \frac{3.95}{100} \cdot 72 = 3.13 \text{ mca}$$

X Segundo tanteo: ϕ 180 mm $\rightarrow \phi_{\text{int}} = 169.4$ mm

$$J(\%) = \frac{0.092}{(0.1694)^{4.8}} \cdot \left(\frac{338}{3600} \right)^{1.8} = 6.54\%$$

$$h = a \cdot F \cdot J \cdot L = 1.1 \cdot 1 \cdot \frac{6.54}{100} \cdot 72 = 5.18 \text{ mca}$$

Se adopta un ϕ 200 mm para tener menos pérdida de carga.

Tramo MR:

q es el caudal de un bloque, puesto que solo riega uno de cada vez

$$q = 338 \text{ m}^3 / \text{h}$$

$$\text{longitud} = 750 \text{ m}$$

X Primer tanteo: ϕ 180 mm $\rightarrow \phi_{\text{int}} = 169.4$ mm

$$J(\%) = \frac{0.092}{(0.1694)^{4.8}} \cdot \left(\frac{338}{3600} \right)^{1.8} = 6.54\%$$

$$h = a \cdot F \cdot J \cdot L = 1.1 \cdot 1 \cdot \frac{6.54}{100} \cdot 750 = 53.96 \text{ mca}$$

X Segundo tanteo: ϕ 200 mm $\rightarrow \phi_{\text{int}} = 188.2$ mm

$$J(\%) = \frac{0.092}{(0.1882)^{4.8}} \cdot \left(\frac{338}{3600} \right)^{1.8} = 3.95\%$$

$$h = a \cdot F \cdot J \cdot L = 1.1 \cdot 1 \cdot \frac{3.95}{100} \cdot 750 = 32.59 \text{ mca}$$

Se adopta ϕ 200 mm

Tramo OR:

longitud = 335.4 m

q = 338 m³/h

X Primer tanteo: ϕ 200 mm $\rightarrow \phi_{\text{int}} = 188.2$ mm

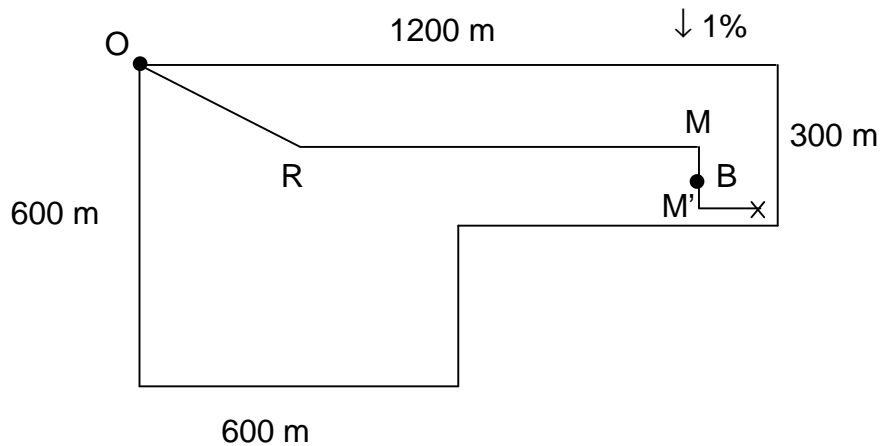
$$J(\%) = \frac{0.092}{(0.1882)^{4.8}} \cdot \left(\frac{338}{3600} \right)^{1.8} = 3.95\%$$

$$h = a \cdot F \cdot J \cdot L = 1.1 \cdot 1 \cdot \frac{3.95}{100} \cdot 335.4 = 14.57 \text{ mca}$$

✓ Presión a la salida del bombeo

$$P_{\text{salida GB}} = \frac{P_0}{\gamma} + \underbrace{h_{\text{BM}'} + z_{\text{BM}'}}_{\text{Secundaria}} + \underbrace{h_{\text{BM}} + z_{\text{BM}} + h_{\text{MR}} + h_{\text{RO}}}_{\text{Terciarias}}$$

$$P_{\text{salida GB}} = 37.33 + 1.90 + 1\% \cdot 63 + 3.13 + 1\% \cdot 72 + 32.59 + 14.57 = 90.87 \text{ mca}$$



90.87 mca necesitaría timbraje de 10 atm y recalculer las pérdidas de carga (varía el espesor \rightarrow varía el ϕ_{interior}).

Para optimizar la instalación vamos a ver que tramo debe ir en 10 atm y que tramo puede seguir en 6 atm.

$$\underbrace{37.33 + 1.90 + 0 \cdot 63 + 3.13 + 0 \cdot 72}_{\text{Hasta M: } \Sigma = 43.71 \text{ mca}} + \underbrace{32.59}_{\text{Tramo MR}} + 14.57 = 90.87 \text{ mca}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Tramo MN} = 13.04 \text{ mca} \\ \text{Altura hasta N} = 56.75 \text{ mca} \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{MN} = \text{NP} = \frac{2}{5} \cdot 32.59 = 13.04 \text{ m} \\ \text{PR} = \frac{1}{5} \cdot 32.59 = 6.52 \text{ m} \end{array} \right.$$

Tramo PVC 10 atm: =O-R-P-N y R-S-T

El resto PVC 6 atm

Hay que recalculer los tramos de 10 atm

Tramo ON:

$$\text{longitud} = 335.4 + 300 + 150 = 785.4 \text{ m}$$

$$\text{Con PVC 10 atm: } \phi 200 \text{ mm} \rightarrow \phi_{\text{int}} = 180.8 \text{ mm}$$

$$J(\%) = \frac{0.092}{(0.1808)^{4.8}} \cdot \left(\frac{338}{3600} \right)^{1.8} = 4.79 \%$$

$$h = a \cdot F \cdot J \cdot L = 1.1 \cdot 1 \cdot \frac{4.79}{100} \cdot 785.4 = 41.38 \text{ m}$$

$$P_{\text{salida GB}} = 56.75 + 41.38 = 98.13 \text{ mca}$$

✓ Tubería de impulsión

Profundidad pozo = 75 m

Longitud tubería = 75 m

$$\left. \begin{array}{l} q = 338 \text{ m}^3/\text{h} \\ \phi 250 \text{ mm} \end{array} \right\} \begin{array}{l} J = 1.6 \% \rightarrow h = a \cdot J \cdot L = 1.15 \cdot 1.6\% \cdot 75 = 1.38 \text{ mca} \\ \text{(Prontuario)} \end{array}$$

✓ Grupo de bombeo

$$H_m = 98.13 + 1.38 + 75 = 174.51 \text{ mca}$$

$$N = \frac{Q \cdot H_m}{270 \cdot \eta}$$

$$N = \frac{338 \cdot 174.51}{270 \cdot 0.70} = 312.1 \text{ c.v.} \rightarrow 5.8 \text{ c.v./ha}$$

Para no tener un grupo de bombeo tan grande por los 75 m de profundidad del pozo, se podrían poner dos grupos de bombeo más pequeños, uno que impulsará el agua a los 75 m y otro en la superficie para abastecer el riego.

$$N_1 = \frac{338 \cdot (75 + 1.38)}{270 \cdot 0.70} = 136.59 \text{ c.v.}$$

$$N_2 = \frac{338 \cdot 98.13}{270 \cdot 0.70} = 175.49 \text{ c.v.} \rightarrow 3.2 \text{ c.v./ha}$$