

MANUAL DE AYUDA PARA EL PORGRAMA **PRESUD** (PREssurized SUBunit Design) APLICADA A SUBUNIDADES DE REIGO POR ASPERSION

Para poder trabajar con PRESUD será necesario en primer lugar **descargar e instalar el compilador** de MATLAB de 32 o 64 bit según el tipo de ordenador disponible. La descarga puede hacerse en

<http://crea.uclm.es/crea/descargas/matlab.php?s=aspersionygoteo>

También se puede bajar e instalar el compilador para Windows MCR_R2016a(9.0.1) (no es la más reciente) en el link <https://es.mathworks.com/products/compiler/matlab-runtime.html>

El primer paso es activar el botón “**comenzar**” y después el botón “**valores por defecto**”, lo que cargará un conjunto de valores típicos para las variables.

Después de introducir todos los datos, activar el botón “**Calcular**”.

PRESUD calcula la solución que hace la pluviometría media de la subunidad de riego igual al valor deseado, que se introduce como dato

Para visualizar la representación gráfica de la distribución de caudales descargados por los aspersores y las presiones a la entrada de los mismos en la subunidad, activar el botón “**Figuras**”

Aclaraciones adicionales:

1. Es necesario seleccionar si la alimentación de los ramales y/o la terciaria se realiza por un punto intermedio (Fig. 1) o por un extremo

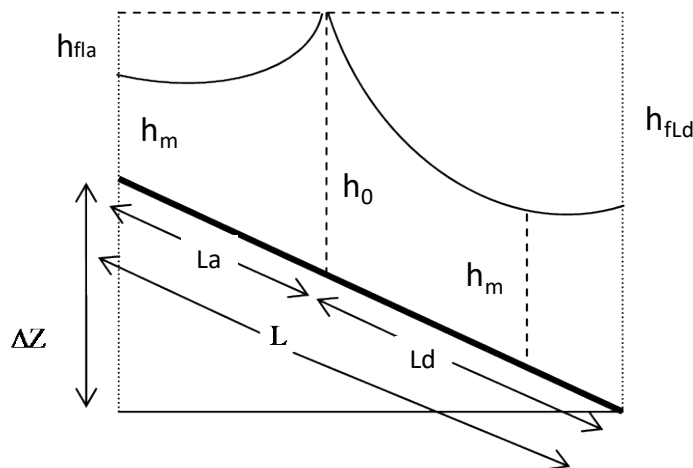


Fig. 1. Esquema de presiones en la alimentación de un ramal o terciaria por un punto intermedio.

Tanto la alimentación de un **ramal** como de la **tubería terciaria** por un punto intermedio podría hacerse: a) por un punto equidistante entre dos aspersores o dos ramales, b) junto a uno de los aspersores o ramales, c) por el punto exacto (“punto teórico”) que consigue que la diferencia de presiones ($h_0 - h_m$) sean iguales en el tramo ascendente y en el descendente; d) por otra distancia fijada por el usuario que no resulte equidistante entre dos aspersores o ramales.

2. La ecuación de descarga de un aspersor se expresa como

$$q = K H^x,$$

donde q = caudal del aspersor ($L h^{-1}$); K = coeficiente de descarga del aspersor; H = presión a la entrada del aspersor (m); x = exponente de descarga del aspersor (normalmente $x = 0.5$). Dando los valores de H , x , así como la separación entre aspersores dentro del rama (S_a), la separación entre ramales (S_r) y pluviometría media del sistema (P_{ms} , en mm/h), PRESUD calcula el valor de q y de K . Se recuerda que la $P_{ms} = q/(S_a S_r)$.

3. Las pérdidas de carga singulares (h_s) las estiman como un % de las pérdidas de carga continuas o de rozamiento (h_f) (normalmente 15%, aunque suelen variar entre 10 y 20%)
4. L_o y S_o son la distancia del origen del ramal o de la tubería terciaria hasta el primer aspersor o ramal (m) respectivamente, dato necesario solo cuando se alimenta desde un extremo
5. Las necesidades anuales brutas de riego del cultivo (N_b) se calculan como

$$N_b = N_n / E_a$$

Siendo N_n las necesidades anuales netas de riego (en m^3/ha año); E_a la eficiencia general de aplicación de la subunidad (E_a), calculada como:

$$E_a = E_{Da} * P_{ef}$$

$$E_{Da} = (100 + (606 - 24.9 * a + 0.349 * a^2 - 0.00186 * a^3) * (1 - CU_s / 100)) / 100$$

donde: E_{Da} = la eficiencia de distribución (Keller and Bliesner 1990); P_{ef} = proporción de agua que llega al suelo debido a las pérdidas por evaporación y arrastre para el conjunto de riegos; “ a ” = porcentaje de área adecuadamente regada, CU_s es el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen del agua en el suelo, que puede ser estimado como el Coeficiente de Uniformidad de aplicación del agua para el conjunto de riegos acumulados (CU_a) durante la campaña.

Para las condiciones de Castilla-La Mancha, utilizando fundamentalmente riegos nocturnos más los diurnos necesarios para poder aplicar las necesidades de riego, puede considerarse $P_{ef} = 0.92$, pero este valor debe ser adaptado por el usuario a las condiciones reales de ejecución de los riegos

Por lo general, los valores de CU_s , a , E_{Da} , P_{ef} y E_a de la Tabla 1 se pueden considerar para los diferentes marcos de riego, presiones de trabajo (h_a) y condiciones climáticas de Castilla-La Mancha. Los valores seleccionados de CU_s se han obtenido de diferentes referencias (Keller y Bliesner 1990, Tarjuelo et al. 1999b, Tarjuelo et al. 2000, Montero et al. 2001, Playán et al. 2005, Ortiz et al. 2010)

Table 1. Values of the different parameter related with the sprinkler that can be considered for Castilla-La Mancha (Spain) conditions.

Spacing of sprinklers (m x m)	h_a (kPa)	CU_s (%)	a (%)	E_{Da} (dimensionless)	P_{ef} (dimensionless)	E_a (dimensionless)	AR_a (mm h^{-1})	Diameter of Nozzles (mm)
18 x 18	300	85	80	0.84	0.92	0.77	5.90	4.8+2.4
	350	87	80	0.86	0.92	0.79	6.33	4.8+2.4
	350	87	80	0.86	0.92	0.79	7.30	5.2+2.4
15 x 15	300	86	80	0.85	0.92	0.78	6.33	4.0+2.4

	300	87	80	0.86	0.92	0.79	7.30	4,4+2.4
	350	90	80	0.89	0.92	0.82	8.00	4,4+2.4

h_a = media de las presiones de trabajo del conjunto de aspersores en la subunidad

Uniformidad de reparto de agua por el sistema de riego, definido como

$$CU_s = CU_a = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |v_i - v_a|}{v_a n} \right) 100$$

Siendo v_i los volúmenes de agua recogidos por los n pluviómetros en la prueba de evaluación del reparto de agua por el sistema de riego y v_a el valor medio de los anteriores volúmenes.

6. El rendimiento de la bomba es el rendimiento global de la bomba + motor + variador de velocidad. El valor real recomendado después de las auditorías energéticas realizadas a más de 30 estaciones de bombeo en Castilla-La Mancha es entre 65 y 70%
7. Es necesario hacer una selección previa de los diámetros de tubería para el ramal y terciaria. Los precios de ramal y terciaria aparecerán al seleccionar el diámetro de tubería. Estos datos (Tabla 1) pueden ser modificada por el usuario, en cuyo caso hay que activar el botón “Recalc”.

Tabla 1. Precios medios de las tuberías de fabricantes y distribuidores en España

Concepto	Diámetro externo (interno) (mm)	Precio (€m ⁻¹) ⁽¹⁾
Aspersor		10 €/unid
Tubo porta aspersor		0.30
Tubería para el ramal PVC 0.6 MPa	50 (46.4)	0.65
	63 (59.2)	0.97
	75 (70.6)	1.34
Tubería para la terciaria PVC 0.6 MPa	140 (131.8)	3.52
	160 (150.6)	4.45
	180 (168.4)	5.63
	200 (188.2)	6.78
Collarín de toma		0.6 €/unit

(1) El precio de la tubería incluye la apertura y cierre de zanjas y los costos de montaje.

8. En el bloque denominado “Regulación” cabe la opción de que el programa realice el cálculo de la presión necesaria en el origen (“**predimensionado o Predim.**”) o que el usuario le introduzca un dato concreto de presión en el origen (“**Si**”)

Una vez introducidos todos los datos se muestran **los resultados en una tabla de datos**

9. La **uniformidad de descarga** de la subunidad de riego puede estimarse también con el Coeficiente Uniformidad de Christiansen CUd (Christiansen 1942) definido como

$$CUd = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |q_i - q_a|}{q_a n} \right) 100$$

Siendo q_i el caudal de cada aspersor y n el número de aspersores de la subunidad de riego.

10. La **Uniformidad de Distribución de la descarga** de los aspersores de la subunidad se calcula como $UD = 100 q_{25}/q_a$

siendo: q_{25} = caudal medio de los aspersores que constituyen el 25% de más bajo caudal en la subunidad de riego; q_a = caudal medio descargado por todos los aspersores de la subunidad de riego

11. **Uniformidad de Emisión** en la subunidad de riego (EU), calculada por la ecuación

$$EU = \left(1 - \frac{1,27 CV_{qmf}}{\sqrt{e}} \right) \frac{q_m}{q_a} 100$$

Siendo: CV_{qmf} = el coeficiente de variación de fabricación de los aspersores considerados; q_m = el caudal mínimo en la subunidad debido a la presión; q_a = la media de todos los caudales de los aspersores de la subunidad; e = número de aspersores por planta, pudiendo considerarlo igual a 2 al ser normalmente un punto del terreno regado por dos aspersores

12. El **coeficiente de variación de caudal** de la subunidad (CV_q) se define como

$$CV_q \cong \sqrt{CV_{qmf}^2 + x^2 CV_h^2}$$

donde CV_{qmf} = coeficiente de variación de fabricación del aspersor; CV_h = coeficiente de variación de presiones ($CV_h = D_h ha^{-1}$), siendo D_h = desviación típica de las presiones en los aspersores de la subunidad y, h_a = media de las presiones en los aspersores de la subunidad; x el exponente de descarga del aspersor.

13. **Diferencia máxima de presiones** entre dos aspersores en la subunidad de riego (Δh , como % de la presión media)

14. **Diferencia máxima de caudales** descargados por dos aspersores en la subunidad de riego (Δq , como % del caudal medio)

15. **Gráfica** de distribución de presiones y de caudales en la subunidad

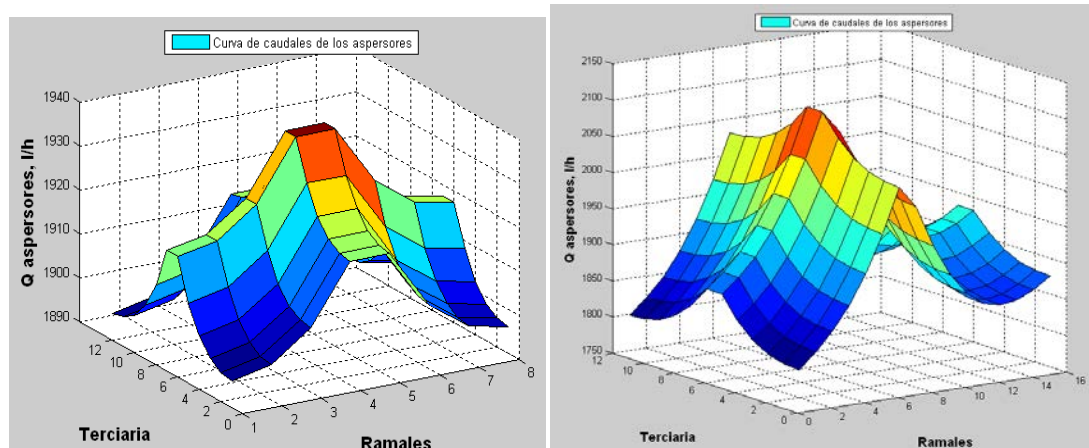


Fig. 2 Distribución de caudales en los aspersores para marco 18x18 m y presión en el origen de la subunidad $H_0 = 350$ kPa, con (a) un área de la subunidad de 3.1 ha (12 ramales con 8 aspersores cada uno), y (b) 6.2 ha (12 ramales con 16 aspersores cada uno)

Ejemplo de PRESUD para una subunidad de aspersión en cebolla

Ejemplo de 4,54 ha (252 m x 180 m) de cebolla con 10 laterales y 14 aspersores por lateral a marco 18 x 18 m, usando aspersores con boquillas 4,8+2,4 mm, trabajando a una presión de 35 m, con $P_{ms} = 6,5$ mm/h, pendiente del lateral de 3% y de la terciaria del 0%

DATOS usados

Pendiente en terciaria	0 %	Entrada terciaria	Entre dos ramales	Uniformidad de aplicación	87 %
Pendiente en lateral	3%	Entrada ramal	Entre dos emisores	Area adecuadamente regada	80%
Entrada en terciaria	Punto intermedio	Distancia entre ramales	18 m	Rendimiento del grupo de bombeo	65 %
Entrada en lateral	Punto intermedio	Distancia entre aspersores	18 m	Coste del agua	0.1 € m ⁻³
Exponente de emisión (x) y CVgmf	X= 0.5 CVgmf = 5%	Distancia desde la entrada al 1º ramal	0	Precio del ramal	0.65 € m ⁻¹
Presión de trabajo	35 m	Distancia desde la entrada al 1º emisor	0	Precio de la terciaria	2,74 € m ⁻¹
Pluviometría (Pms)	6,5 mm h ⁻¹	Altura del aspersor	2 m	Precio de la energía	0.1 € kWh ⁻¹
Perdidas de carga singulares	15% de las de rozamiento	Nº de aspersores por ranal	14 m	Precio del aspersor	10 € ud ⁻¹
		Necesidades netas de riego del cultivo	5500 m ³ ha ⁻¹ año ⁻¹	Precio del collarín	1,2 € ud ⁻¹

Ejemplo de PRESUD para una subunidad de aspersión en cebolla

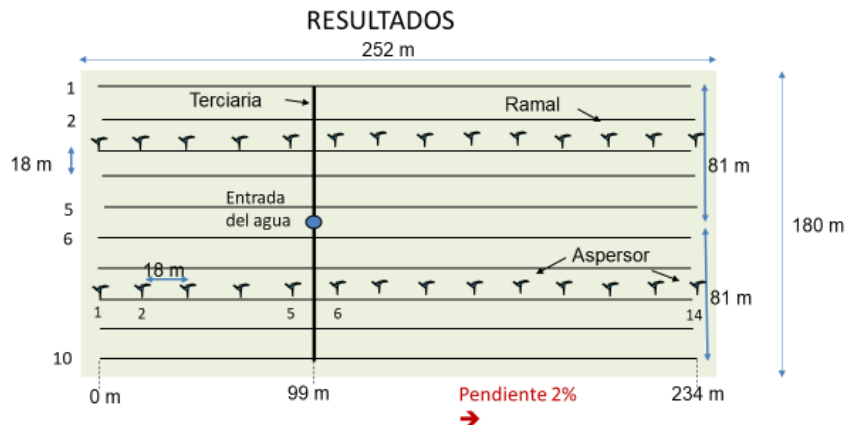
Ejemplo de 4,54 ha (252 m x 180 m) de cebolla con 10 laterales y 14 aspersores por lateral a marco 18 x 18 m, usando aspersores con boquillas 4,8+2,4 mm, trabajando a una presión de 35 m, con Pms= 6,5 mm/h, pendiente del lateral de 3% y de la terciaria del 0%

The screenshot shows the PRESUD software interface with the following sections:

- Datos de tuberías:**
 - Pendiente terciaria (%): 0
 - Pendiente ramal (%): 3
 - Alimentación terciaria: ☒ Puchado en ramal, ☐ Entre dos ramales, ☐ Punto técnico, ☐ Definir longitud
 - Alimentación ramal: ☐ Puchado en exterior, ☒ Entre dos emisores, ☐ Punto técnico, ☐ Punto extremo
 - Def. aspersor (x): 0.5
 - Presión de trabajo aspersor (m): 35
 - Pluviosidad (mm/h): 6.5
 - k: 355.979
 - Q aspersor (l/h): 2106
 - Pérd. de carga (m): 15
- Datos del cultivo:**
 - Necesidades netas (mm): 550
 - CUM (%): 87
 - Área bien regada (%): 85
 - Emisoras por parcela: 2
 - Rendimiento medio-buena (%): 65
 - Preco agua (€/m³): 0.1
 - Preco ramal (€/m): 0.05
 - Preco terciaria (€/m): 2.79
 - Preco energía (€/kWh): 0.1
 - Preco aspersor (€/ud): 10
 - Preco cable y collarín (€/m): 1.2
- Datos de costes:**
 - Diámetro terciaria: ☒ PVC40x37/PN6, ☐ PVC125x110.8/PN6, ☐ PVC50x46.8/PN6, ☐ PVC140x133/PN6, ☐ PVC80x59/PN6, ☐ PVC180x171.2/PN6, ☐ PVC75x70.4/PN6, ☐ PVC200x193.2/PN6, ☐ PVC300x304.4/PN6, ☐ PVC250x237.6/PN6, ☐ PVC110x104.6/PN6, ☐ PVC125x110.8/PN6
 - Diámetro ramal: ☐ PVC40x37/PN6, ☒ PVC50x46.8/PN6, ☐ PVC80x59/PN6, ☐ PVC100x77.4/PN6, ☐ PVC150x104.6/PN6, ☐ PVC200x193.2/PN6
- RESULTADOS:**
 - CUM (%): 97.83
 - UD (%): 87.15
 - UE (%): 32.76
 - CVq (%): 3.26
 - Long. ramal ascendente (m): 59
 - Long. ramal descendente (m): 135
 - Long. terciaria ascendente (m): 81
 - Long. terciaria descendente (m): 81
 - Vol. aplicado (m³/ha): 140
 - Costes (€/ha año): Inversión 84.2, Agua 692.04, Energía 126.12, Total 902.36
 - Ramal medio: Ascendente 35.19, Descendente 35.47
 - Pérdida (m): 32.84, 34.35

Ejemplo de PRESUD para una subunidad de aspersión en cebolla

Ejemplo de 4,54 ha (252 m x 180 m) de cebolla con 10 laterales y 14 aspersores por lateral a marco 18 x 18 m, usando aspersores con boquillas 4,8+2,4 mm, trabajando a una presión de 35 m, con Pms= 6,5 mm/h, pendiente del lateral de 3% y de la terciaria del 0%



Ejemplo de PRESUD para una subunidad de aspersión en cebolla

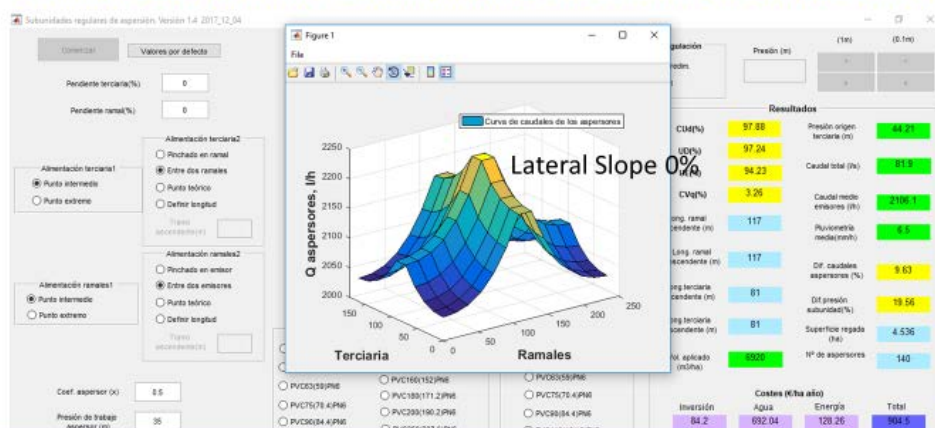
Ejemplo de 4,54 ha (252 m x 180 m) de cebolla con 10 laterales y 14 aspersores por lateral a marco 18 x 18 m, usando aspersores con boquillas 4,8+2,4 mm, trabajando a una presión de 35 m, con Pms= 6,5 mm/h, pendiente del lateral de 3% y de la terciaria del 0%

RESULTADOS

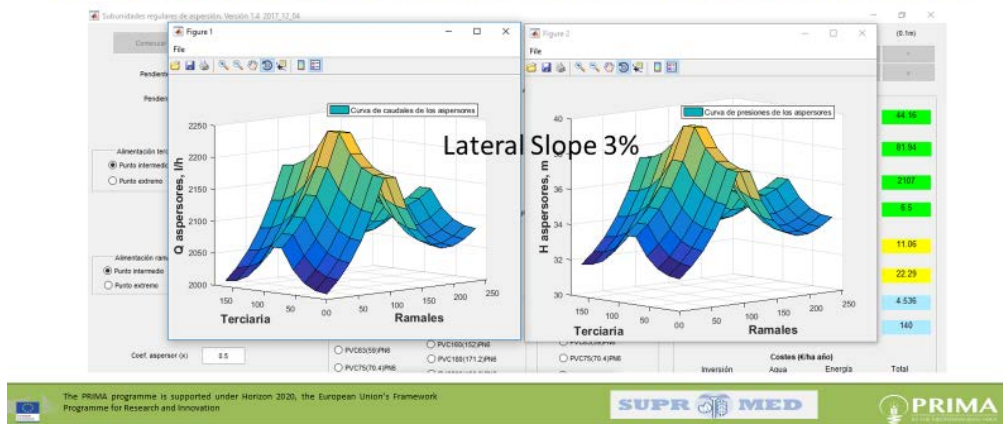
CUD	97.93 %	Presión entrada de la subunidad	44.16 m
UD	97.15%	Caudal entrada de la subunidad	81.94 L s ⁻¹
EU	92.76	Caudal medio descargado por aspersor	2107 L h ⁻¹
CV _q	3.26 %	Pluviometría media del sistema	6.6 mm h ⁻¹
Longitud sel tramo ascendente del ramal	99 m	Maxima diferecni de caudal descargado por los aspersores en la subunidad	11.06 %
Longitud sel tramo descendente del ramal	135 m	Maxima diferencia de presión en los aspersores de la subunidad	22.29 %
Tramo ascendente terciaria	81 m	Área regada	4.54 ha
Tramo descendente terciaria	81 m	Nº de aspersores en la subunidad	140
Volumen de riego aplicado	6900	Coste total (CT)	904.36 € ha ⁻¹

Example of PRESUD tool for subunit sprinkler irrigation design

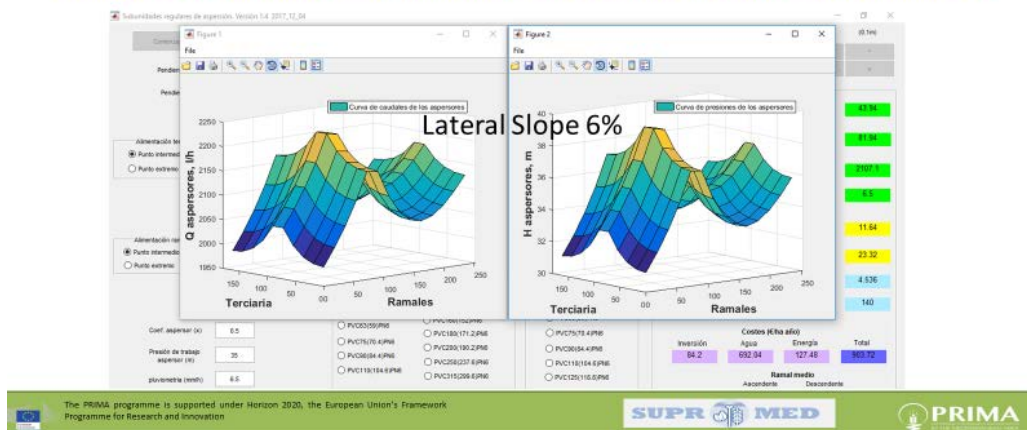
Ejemplo de 4,54 ha (252 m x 180 m) de cebolla con 10 laterales y 14 aspersores por lateral a marco 18 x 18 m, usando aspersores con boquillas 4,8+2,4 mm, trabajando a una presión de 35 m, con Pms= 6,5 mm/h, pendiente del lateral de 3% y de la terciaria del 0%



Example of PRESUD tool for subunit sprinkler irrigation design
 Ejemplo de 4,54 ha (252 m x 180 m) de cebolla con 10 laterales y 14 aspersores por lateral a marco 18 x 18 m, usando aspersores con boquillas 4,8+2,4 mm, trabajando a una presión de 35 m, con Pms= 6,5 mm/h, pendiente del lateral de 3% y de la terciaria del 0%



Example of PRESUD tool for subunit sprinkler irrigation design
 Ejemplo de 4,54 ha (252 m x 180 m) de cebolla con 10 laterales y 14 aspersores por lateral a marco 18 x 18 m, usando aspersores con boquillas 4,8+2,4 mm, trabajando a una presión de 35 m, con Pms= 6,5 mm/h, pendiente del lateral de 6% y de la terciaria del 0%



Ejemplo de 4,54 ha (252 m x 180 m) de cebolla con 10 laterales y 14 aspersores por lateral, a marco 18 x 18 m, usando aspersores con boquillas 4,8+2,4 mm, trabajando a una presión de 35 m, con Pms= 6,5 mm/h, pendiente de la terciaria del 0% y diferentes pendientes en el ramal

