

JORNADA DE FERTIRRIGACIÓN, AGUAS REGENERADAS

SISTEMAS DE FERTIRRIGACIÓN EN CULTIVOS INTENSIVOS

Juan Reca Cardeña

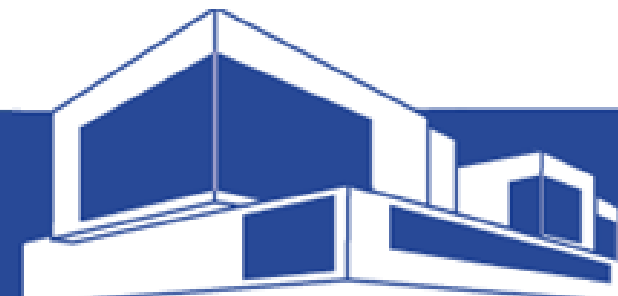
Dr. Ingeniero Agrónomo

Catedrático de Ingeniería Hidráulica

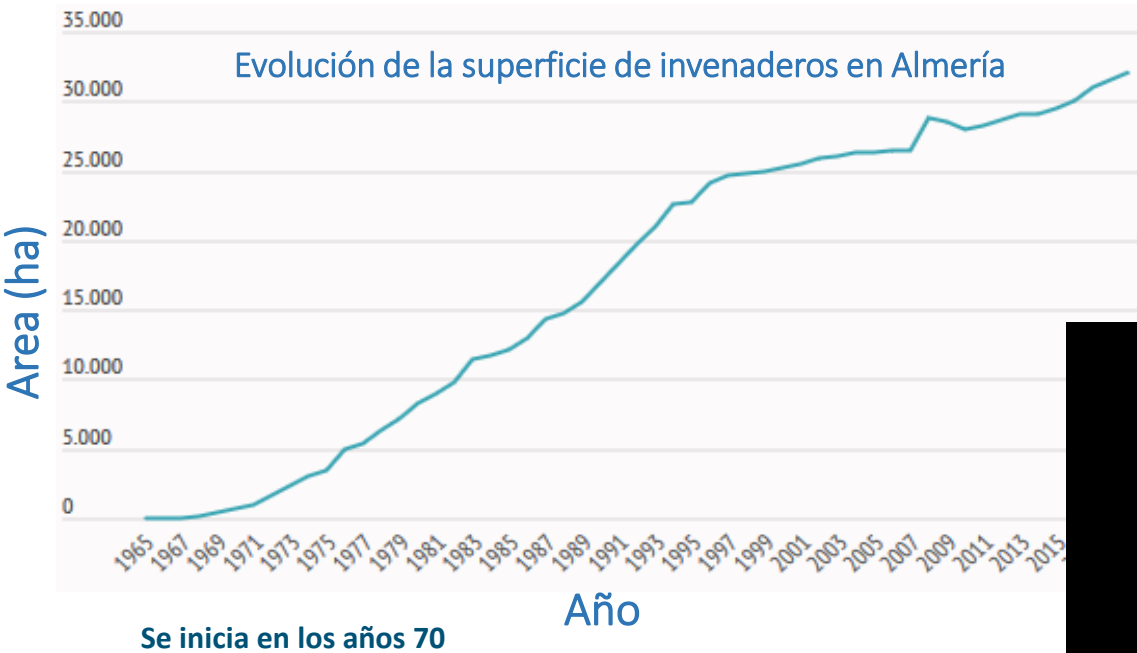
Director Centro de Investigación CIAIMBITAL

Departamento de Ingeniería. Universidad de Almería

jreca@ual.es



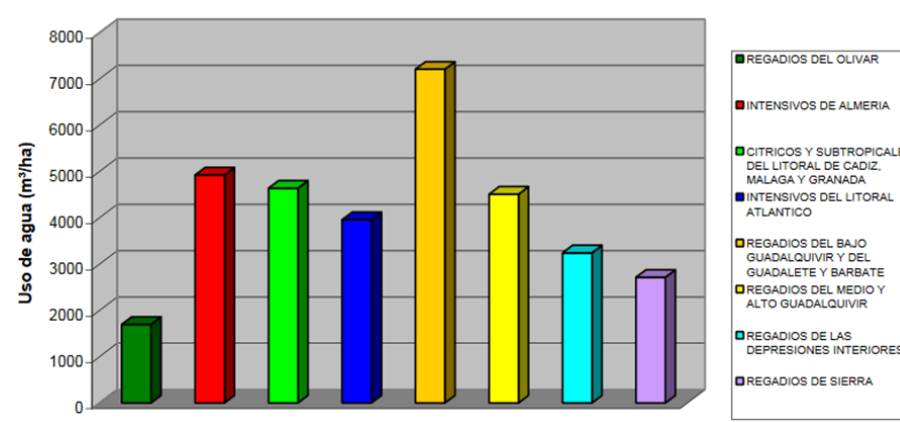
La horticultura de invernadero en Almería



- Importante expansión de los invernaderos en pocas décadas.
- + de 30.000 ha de invernadero
- Ha supuesto un cambio radical: sociedad y geografía y economía,

El agua en Almería: demandas

- **Demandas:** cultivos de invernadero requieren un suministro de agua **continuo** y de **calidad**. Consumo medio ($5000 \text{ m}^3/\text{ha} = 500 \text{ mm}$)



- Aumento de la presión sobre los recursos hídricos $\Rightarrow 5000 \text{ m}^3/\text{ha} \times 30000 \text{ ha} = 150 \text{ hm}^3/\text{año}$

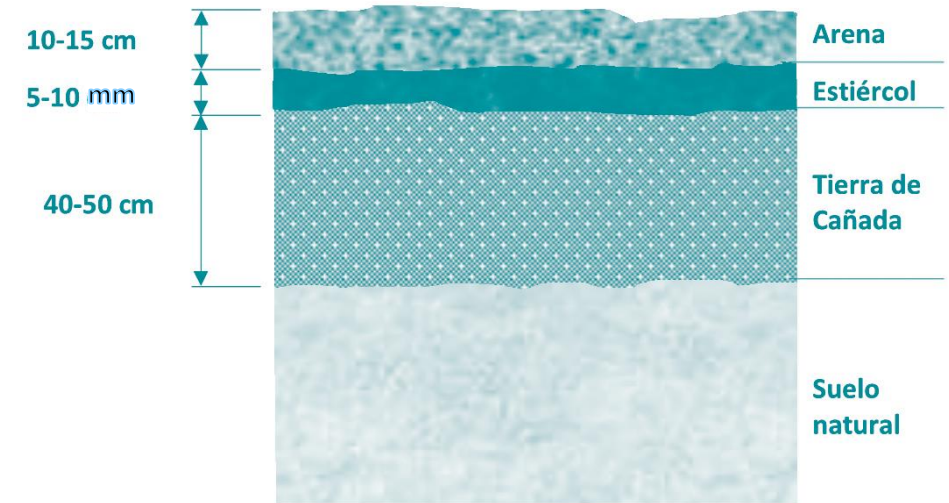


Paisaje del desierto de Tabernas
Provincia de Almería



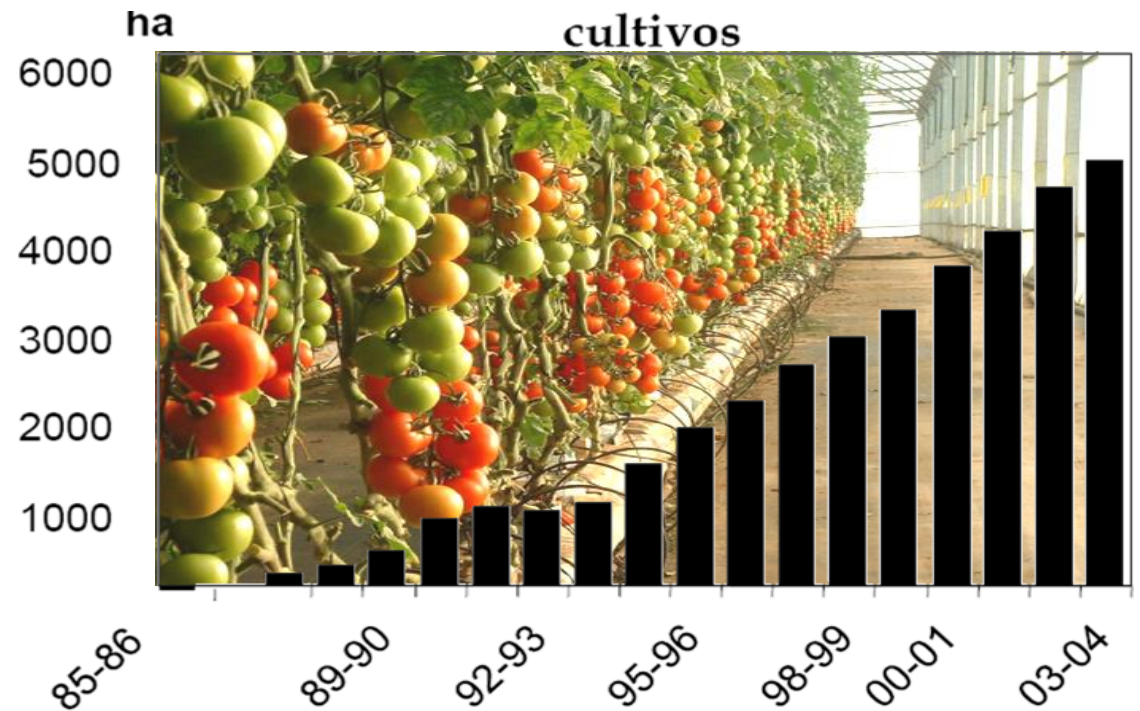
Sistemas de cultivo: el enarenado

- Cultivo en suelo arenado 85,8 % (Valera et al., 2016)
- Ventajas:
 - Precocidad a las cosechas
 - Protege los frutos de hongos desuelo
 - Disminuye evaporación
 - Evita la ascenso de sales
 - Disminuye la aparición de malas hierbas.
- Inconvenientes:
 - Mayor coste
 - Dificulta la mecanización
- Periódicamente hay que reponer el estiércol: retranqueo



Los cultivos sin suelo

- Producción de cultivos sin suelo en los que se incluye cualquier tipo de método o sistema en que se hace crecer las plantas fuera de su ambiente natural.
- Cultivos sin suelo:
 - En Agua
 - En Sustrato: (12%, Valera et al. 2016)
 - Inertes.
 - Orgánicos Naturales
- Razones del cambio:
 - Problemas con el suelo.
 - Salinización.
 - Suelos agotados.
 - Enfermedades
 - Económicas.
 - Mayor control de la calidad de la producción.
 - Mayor desarrollo tecnológico.



Fuente: Urrestarazu y Salas (2002)

Cultivos hidropónicos

- No se utiliza ningún sustrato sólido. El sistema radical se desarrolla en un medio acuoso en el que están disueltos los nutrientes. Existen varios métodos de cultivos hidropónicos de
 - Sistema NFT (Nutrient Film Technique)
 - Sistema NGS: canal formado por tiras de PE unidas entre sí que forman canalizaciones a diferentes niveles en su interior, las cuales se intercomunican entre sí, mediante unas perforaciones



Concepto de Fertirrigación

- La **fertirrigación** o **fertirriego** es una técnica que consiste en la aplicación simultánea de agua y fertilizantes a través del sistema de riego.
- **Tipos** de fertirriego:
 - Cuantitativa: Se aplican los fertilizantes en función de las necesidades nutritivas del cultivo (número de plantas, estado fenológico, superficie foliar, tipo de suelo, etc).
 - Proporcional. Es un modelo más utilizado en cultivos sin suelo e hidropónico. Se pretende conseguir una solución nutritiva equilibrada.
- **Objetivos** del fertirriego:
 - Aplicar los fertilizantes de forma **continua** según las necesidades nutritivas del cultivo
 - Preparar la solución nutritiva ajustando las concentraciones óptimas de cada uno de los iones de la solución
 - Programar el fertirriego para aplicar el volumen justo de solución nutritiva en el momento adecuado
 - Aplicar los fertilizantes de forma **localizada** en las proximidades de la planta
 - Aplicar los fertilizantes de forma **uniforme** a todas las plantas.
 - Sistema de inyección de fertilizantes: sistemas de inyección precisos
 - Sistema de riego uniforme
- Se utilizan sistemas **RLAF (Riegos Localizados de Alta Frecuencia)**

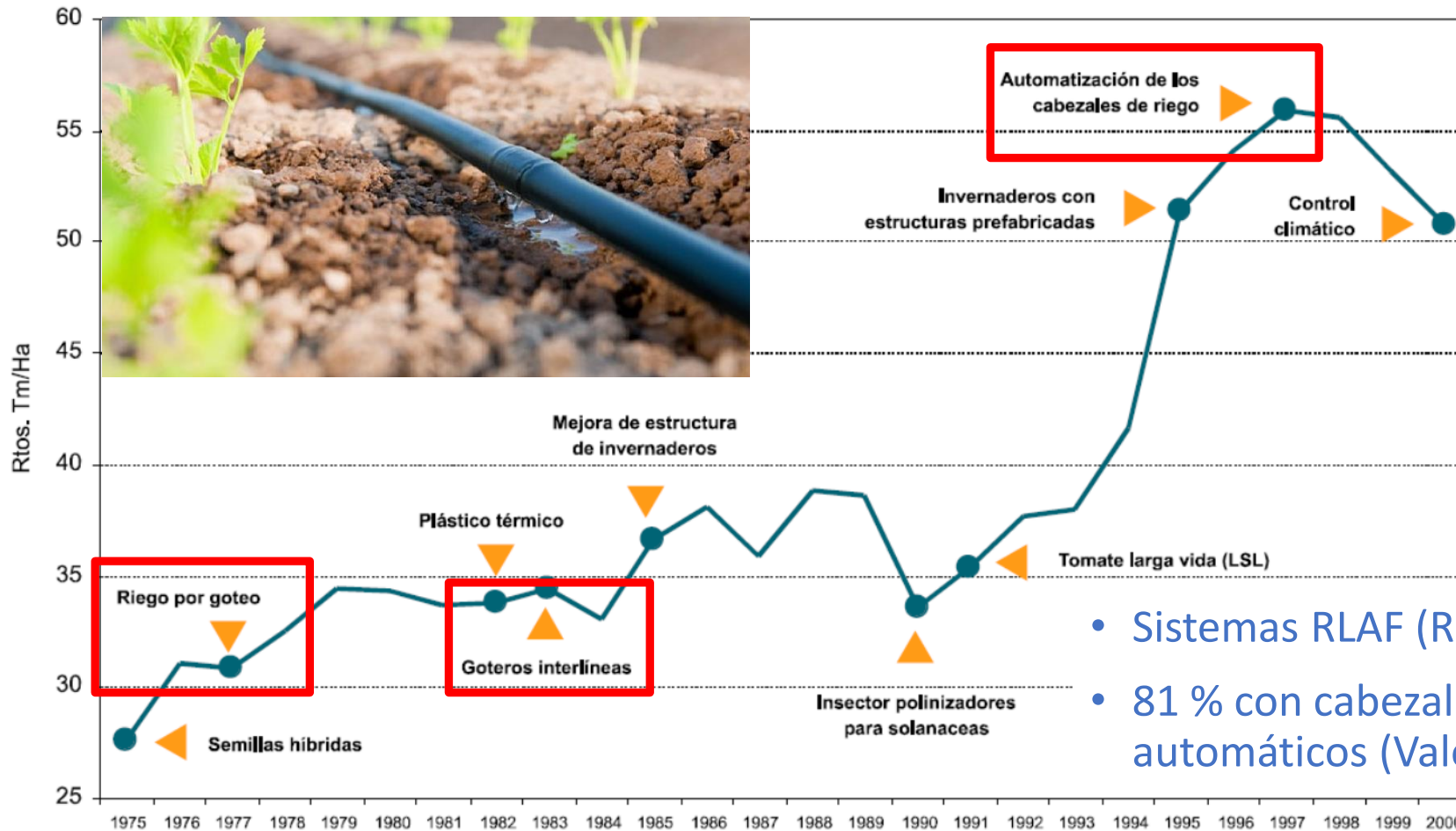


Características de los RLAF y Ventajas Fertirrigación

- Características y ventajas de los RLAF:
 - Aplicación de agua y nutrientes **localizada**
 - Se humedece sólo una fracción de suelo (bulbo húmedo). Menores pérdidas de agua por evaporación directa
 - El agua y los nutrientes se localizan en la zona de absorción de las raíces
 - Aplicación de agua y nutrientes de forma **lenta y frecuente**.
 - Adecuación del abonado a las necesidades de la planta. Se pueden ajustar la fertilización al estado fenológico del cultivo
 - Respuesta rápida: Posibilidad de corregir rápidamente cualquier deficiencia nutritiva del cultivo
 - Mantiene una humedad óptima en el suelo que facilita la absorción de los nutrientes y reduce la presión osmótica
 - Permite la utilización de aguas de baja calidad agronómica
 - **Control preciso en la aplicación del agua:** distribución de agua mediante red de tuberías a presión y aplicación a través de orificios de desagüe (goteros). Mejor distribución
 - Facilita la **uniformidad** en la aplicación de fertilizantes
 - Menores pérdidas de agua y ahorro de fertilizantes: menores pérdidas por lixiviación y volatilización.
 - Menor contaminación e impacto ambiental.
 - **Movimiento de agua en subsaturación.** Se evitan condiciones de asfixia radical y pérdidas de agua y nutrientes por lixiviación
 - **Automatización:** Menor necesidad de mano de obra. Mayor cualificación. Economía en mano de obra
- Inconvenientes
 - Mayor grado de tecnificación y **coste del sistema**
 - Diámetros de paso reducidos. **Obtención de emisores** por precipitados químicos
 - **Aumento de la salinidad del agua**
 - **Mayor coste de los abonos**



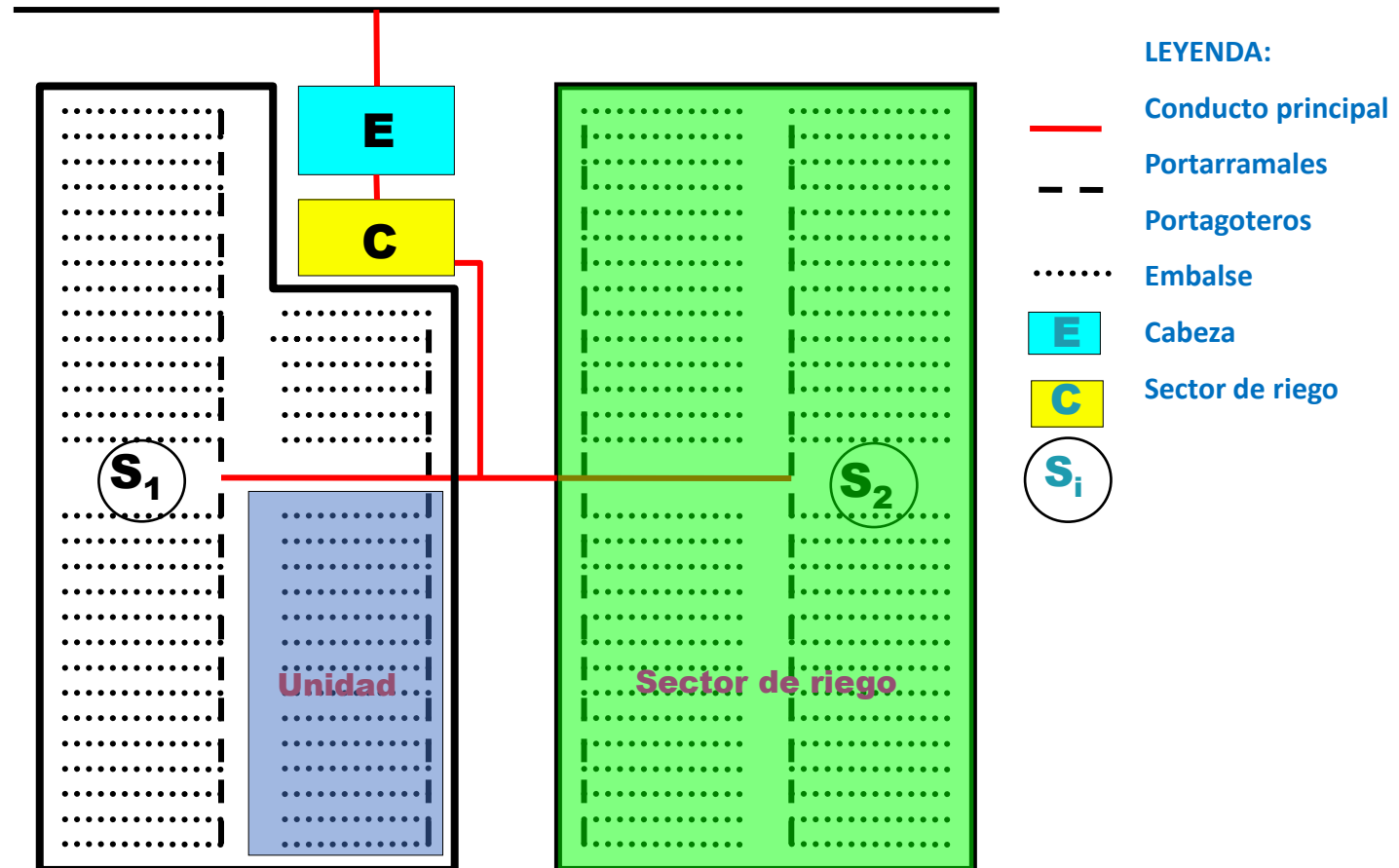
Los sistemas de riego en invernadero



- Sistemas RLAF (Riego Localizado de Alta Frecuencia)
- 81 % con cabezales con programadores de fertirriego automáticos (Valera et al. 2016)

Descripción general de un sistema de riego

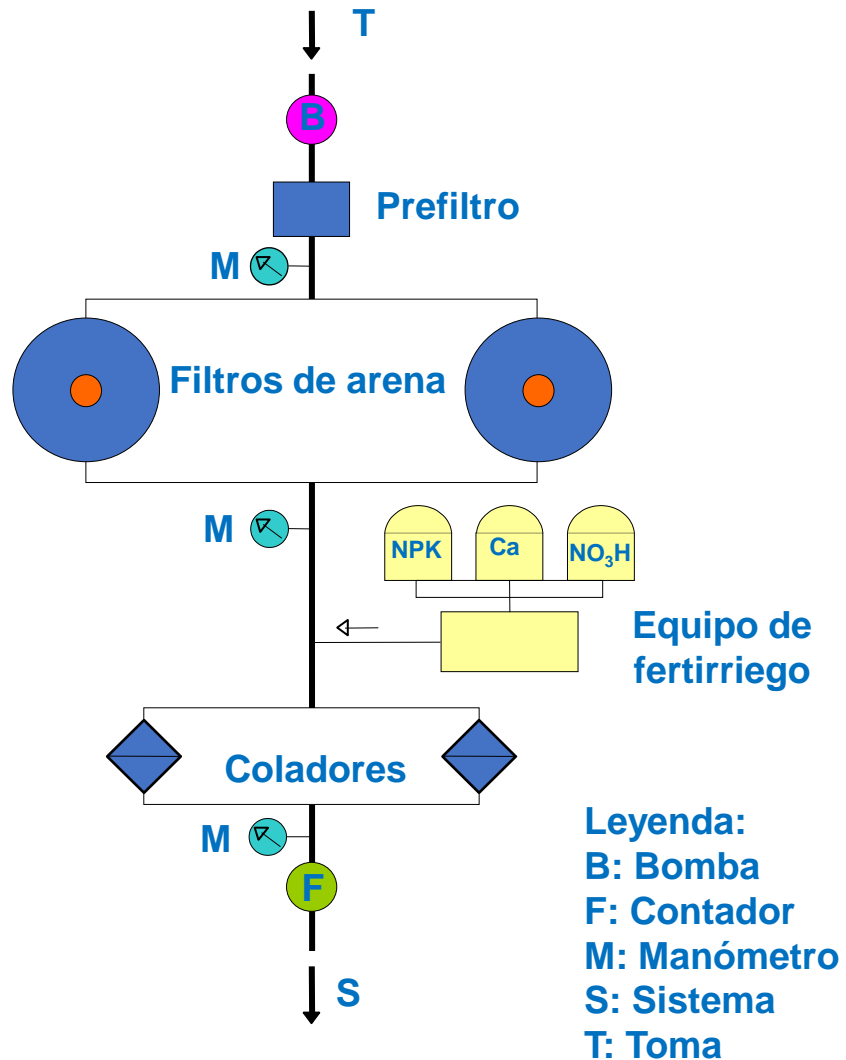
- Balsa se almacenamiento
- Cabeza del sistema
 - Equipo de impulsión
 - Equipo de filtración
 - Equipo de fertilización
 - Aparatos de control y medida
- Red de distribución de agua
 - Emisores
 - Tuberías



LEYENDA:

- Conducto principal
- - - Portarramales
- Portagoteros
- Embalse
- E Cabeza
- C Sector de riego
- S_i

Cabeza del sistema



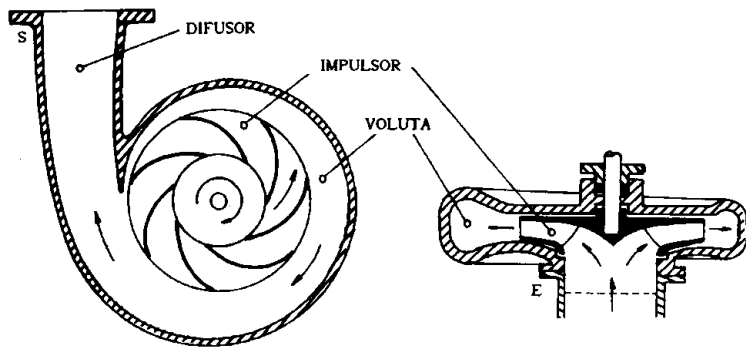
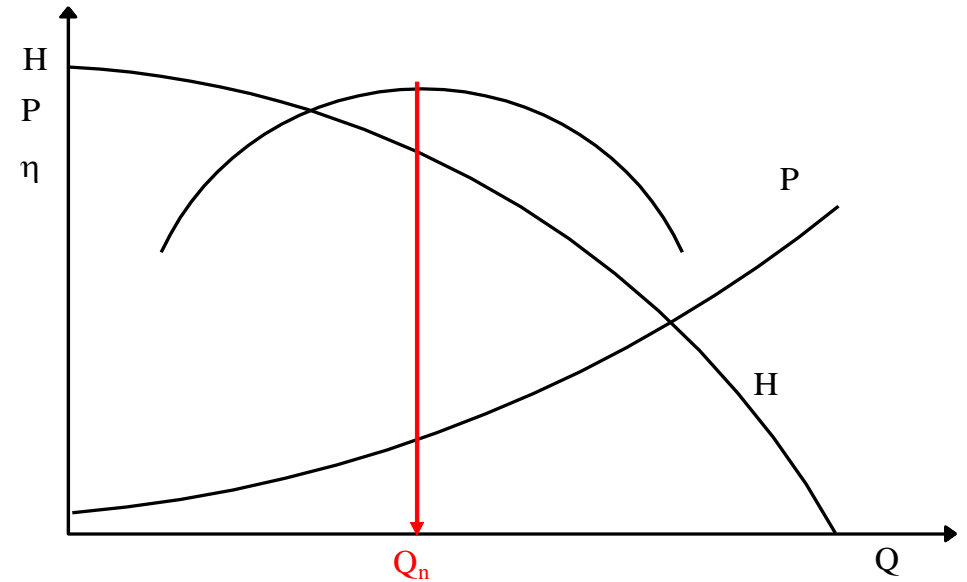
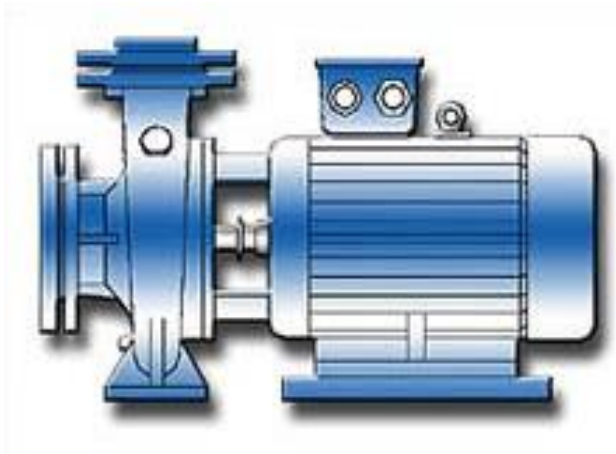
Elementos:

- Grupo de bombeo
- Sistema de filtración
- Equipo de fertirriego
- Elementos de medida y control



Sistema de bombeo

- Electrobomba de tipo centrífugo. Resistente a la corrosión



$$P = \frac{\gamma QH}{\eta}$$

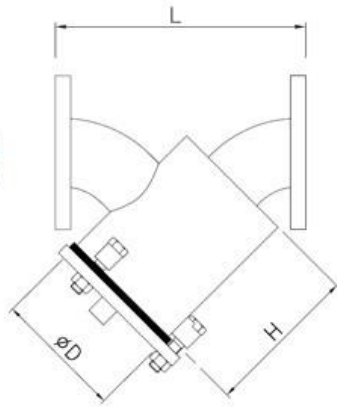
$$P = \frac{9810 \cdot 0.016 \cdot 20}{0.7} \approx 6CV$$

Equipos de filtración

- Objetivo: Evitar la obturación de los goteros
- Origen de las obturaciones:
 - Físico: Partículas minerales y restos insolubles
 - Químicos: Precipitados de sales
 - Biológico: Microorganismos (algas y bacterias)
- Equipos:
 - Prefiltros: Cazapiedras e Hidrociclón
 - Filtros de arena
 - Filtros de malla
 - Filtros de anillas



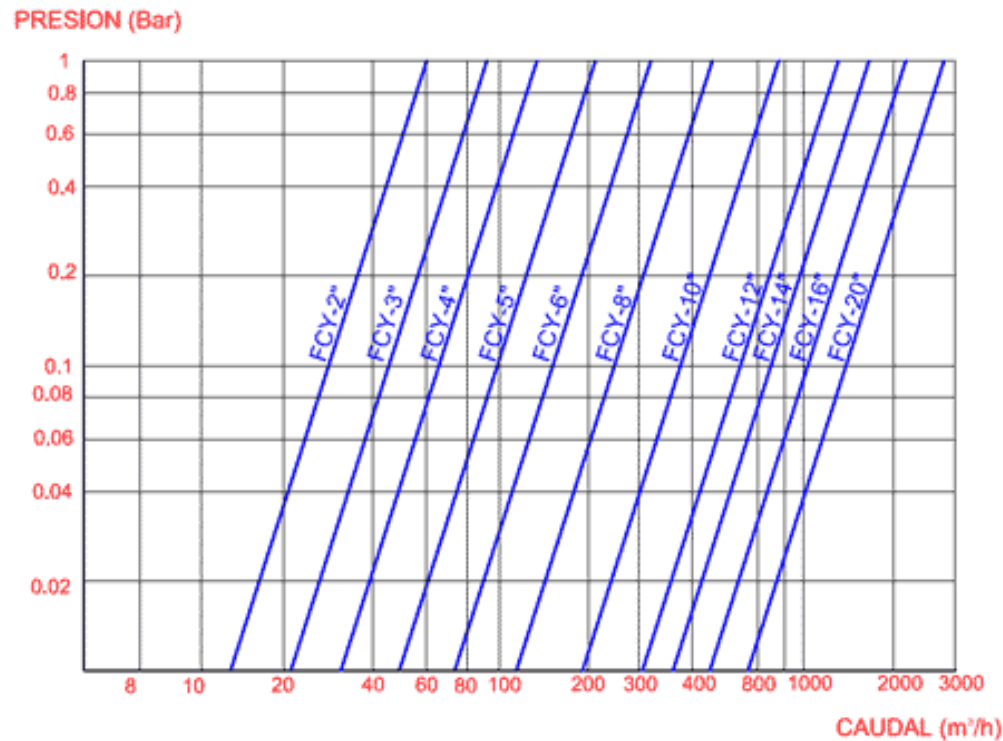
Prefiltros



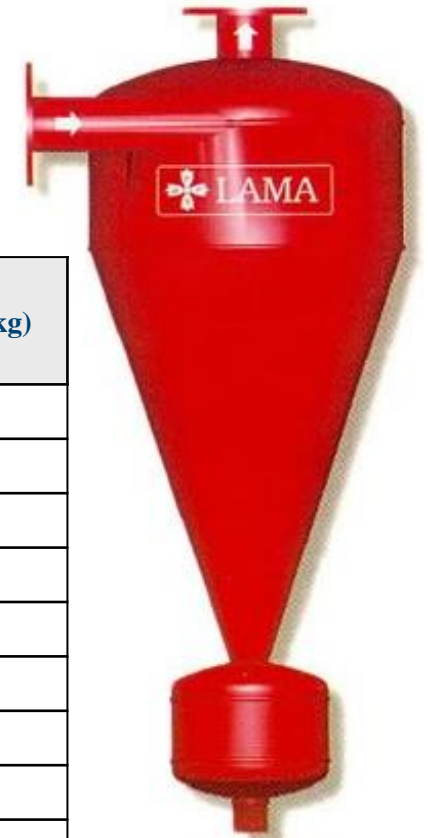
$$h_f = \frac{\Delta P}{\gamma} = K \cdot \frac{U^2}{2g} \quad \Delta P = K \cdot \gamma \cdot \frac{Q^2}{2g\omega^2}$$

$$\Delta P = K' Q^2$$

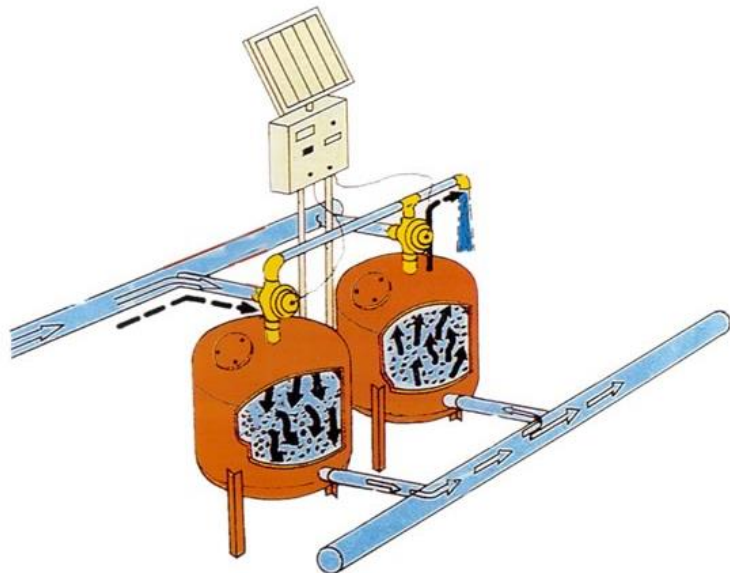
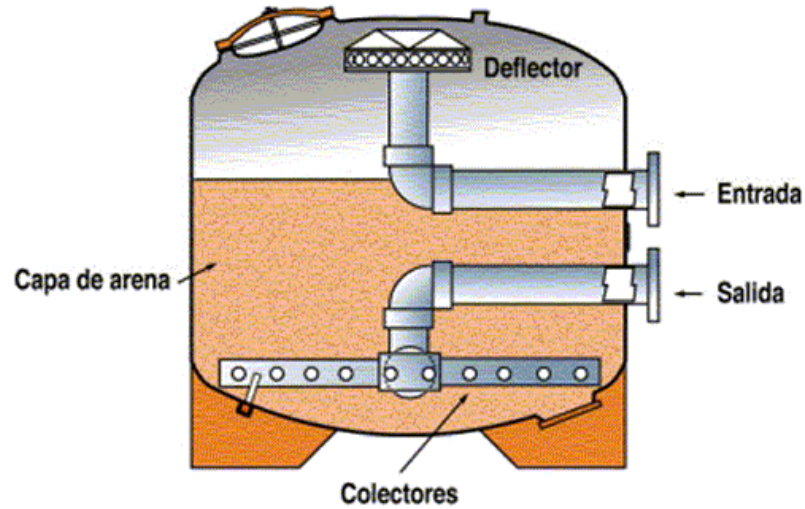
$$\log(\Delta P) = \log(K') + 2 \log(Q)$$



Modelo	Dimensiones (mm)			Peso (kg)
	L	D	H	
FCY-2	350	165	153	10
FCY-3	325	165	205	20
FCY-4	390	165	262	28
FCY-5	510	165	377	30
FCY-6	590	250	327	36
FCY-8	700	323	417	78
FCY-10	915	457	517	133
FCY-12	1025	457	617	150
FCY-14	1150	457	715	180
FCY-16	1500	608	825	219
FCY-20	1700	710	925	270



Filtro de arena



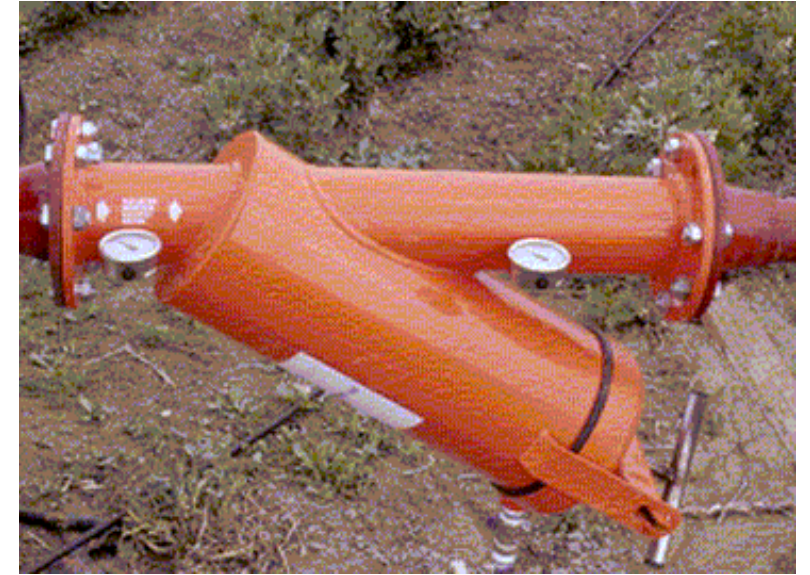
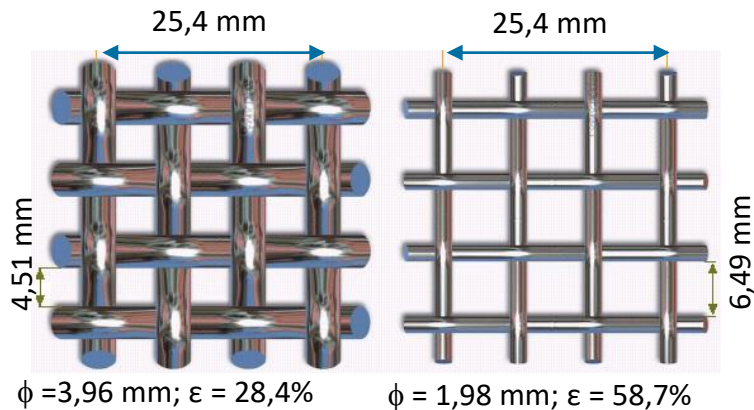
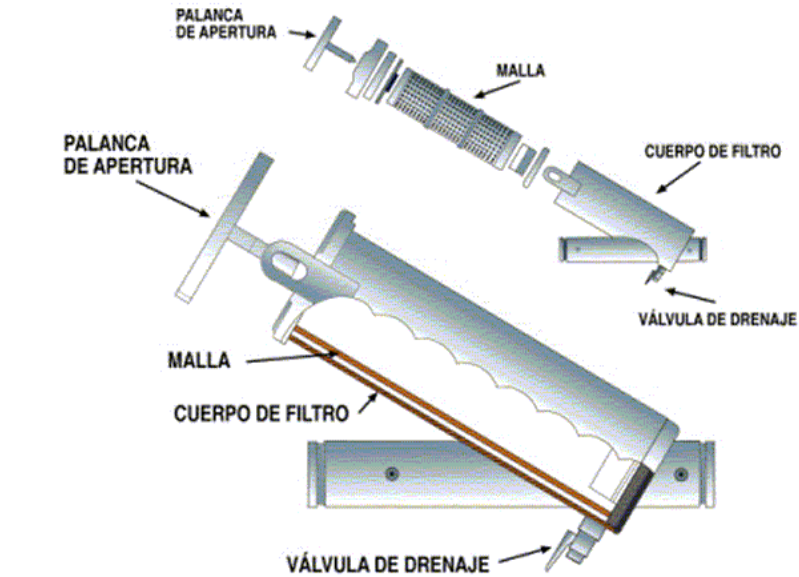
■ Filtración en profundidad:

- Tamizado
- Sedimentación
- Adhesión

■ Criterios de diseño:

- $D_e \text{ arena} = D_m \text{ gotero}$
- $E > 50 \text{ cm}$
- $U < 1 \text{ m/min}$ ($S_t = Q/U$)

Filtro de malla



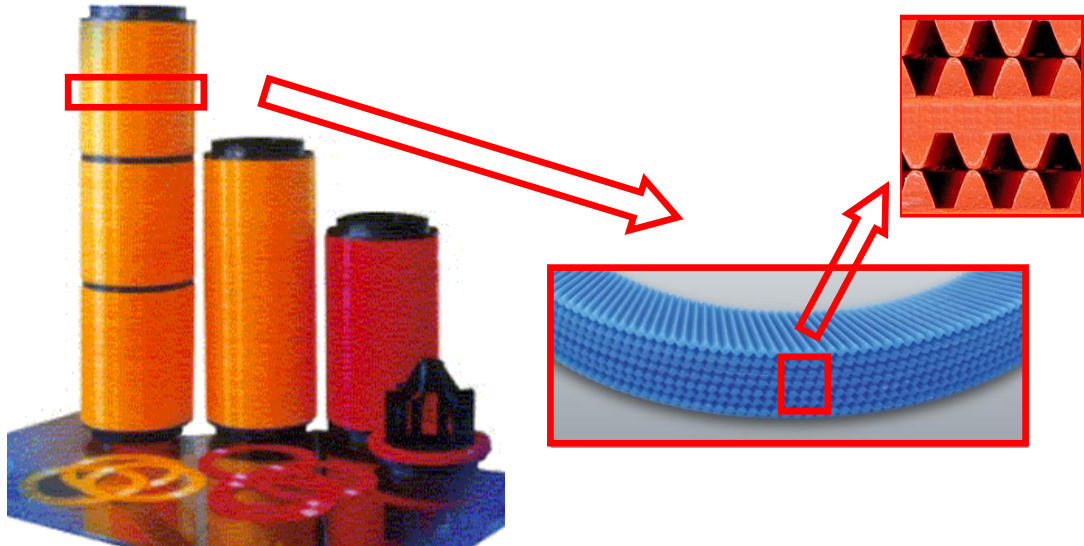
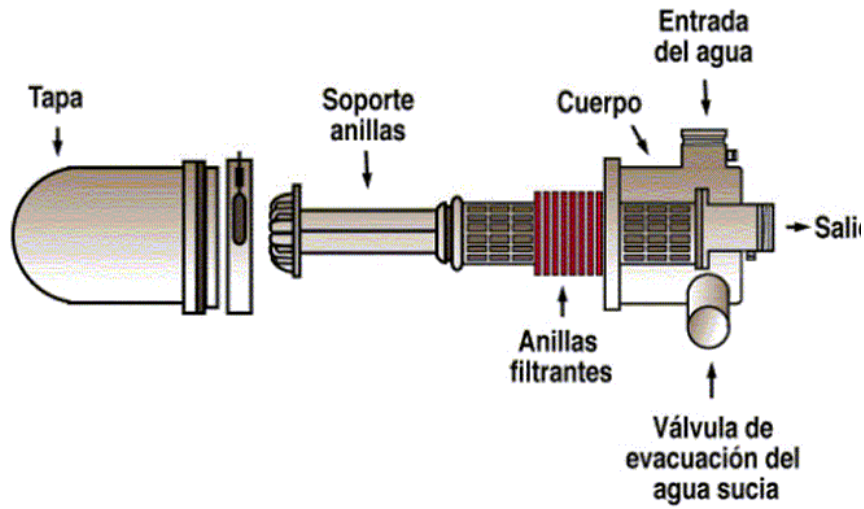
■ Filtración en superficie:

- Tamizado

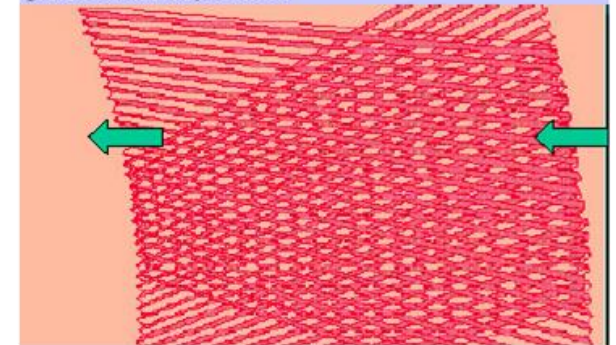
■ Criterios de diseño:

- Número de mesh y micras
- Mesh = n° de orificios/pulgada contados desde el centro del hilo (ASTM E 11-81)
- $S_e = \epsilon * S_t$
- $S_n = 0,9 * S_e \approx 0,3 * S_t$ (soporte malla)
- $D_{\text{orificio}} < D_m \text{ gotero} / 7$
- $U = 24-36 \text{ m/min}$ ($S_n = Q/U$)e

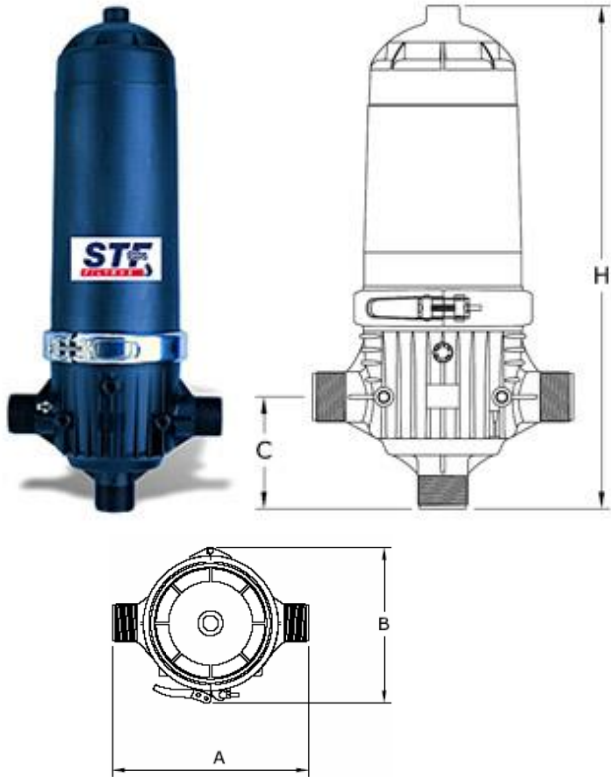
Filtro de anillas



Los sólidos retenidos en el filtro se acumulan en las intersecciones que se forman entre los canales de cada par de discos adyacentes.

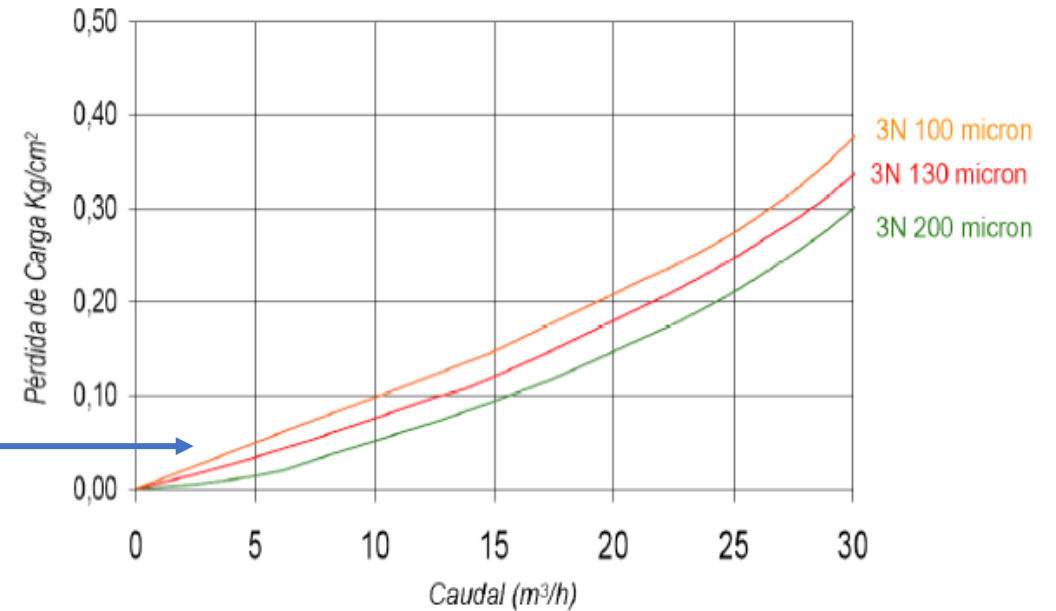


Filtros de anillas. Información comercial



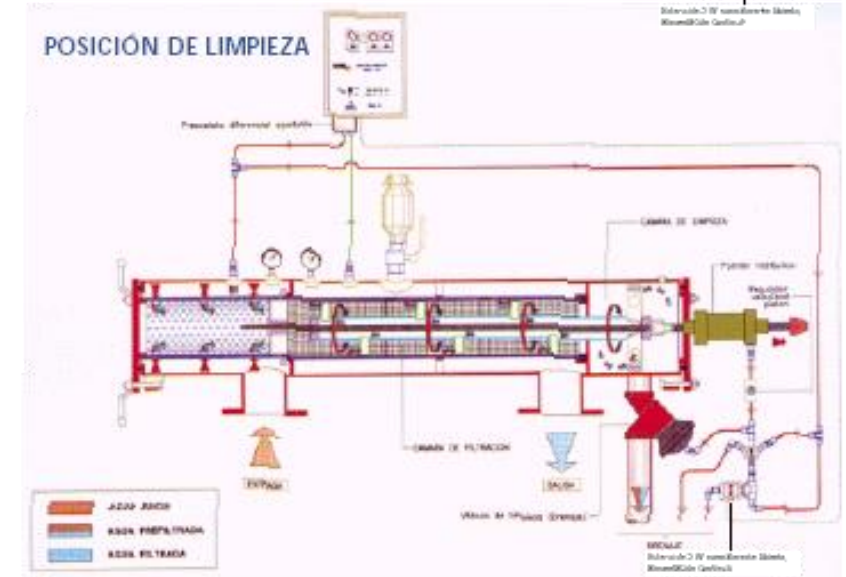
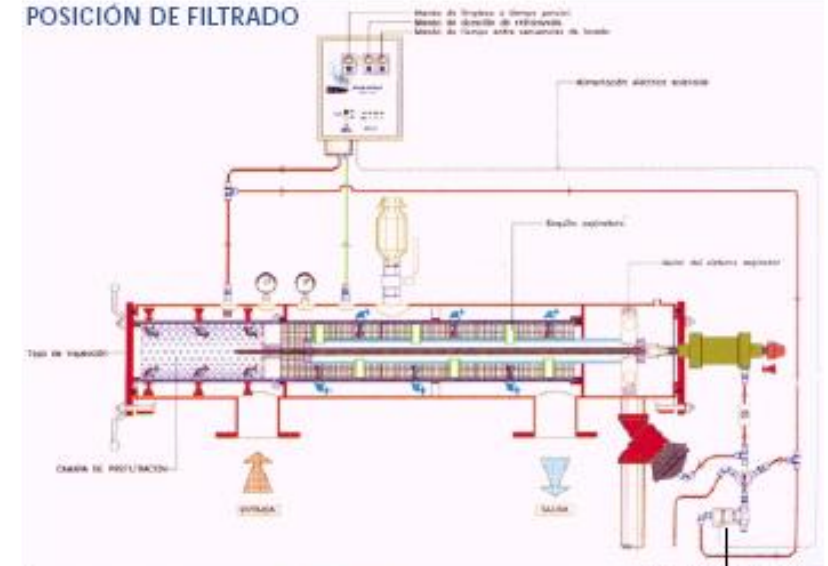
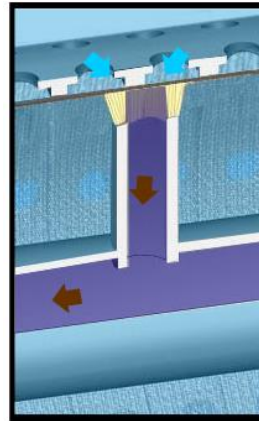
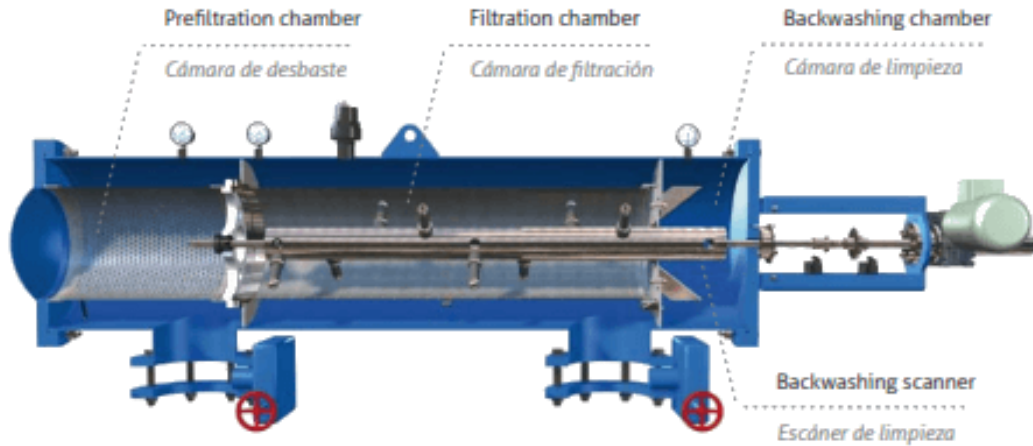
$$h_f = \frac{\Delta P}{\gamma} = K \cdot \frac{U^2}{2g}$$

Perdida de carga filtro de anillas automático 3"



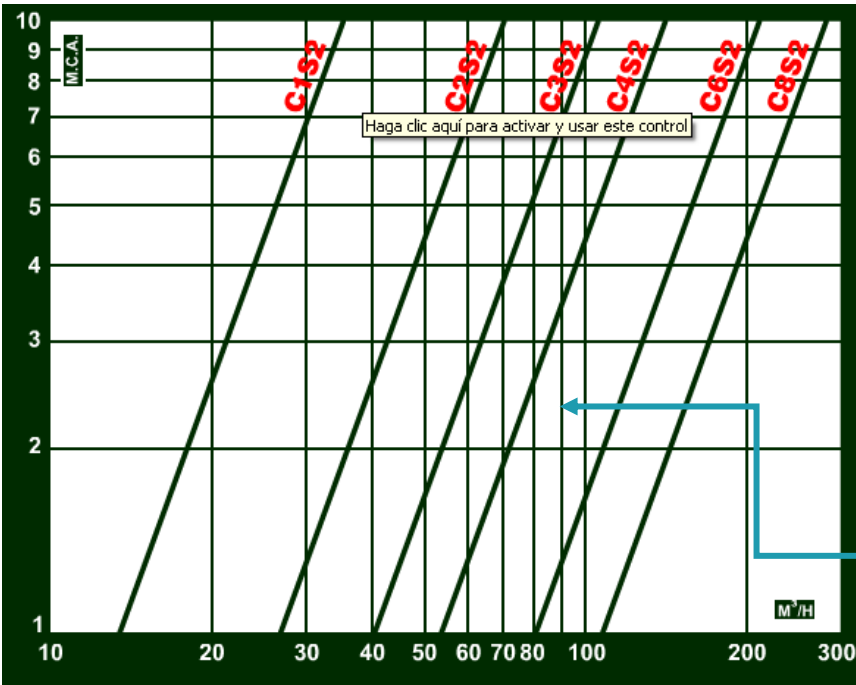
Modelo	Sistema	Superficie filtrante (cm ²)	Caudal máximo (m ³ /h)	Dimensiones (mm)				Peso (kg)
				A	B	C	H	
FAN-AUTO-2"	automático	1.492	20	309	245	133	721	10
FAN-AUTO-3"	automático	1.492	30	336	245	147	727	10

Filtros automáticos de malla



- **Cámara de desbaste.**
 - Cartucho perforado de acero inoxidable
 - El agua circula de fuera hacia dentro
 - Pasa a través de un separador a la siguiente cámara.
- **Cámara de filtrado.**
 - Dentro encontramos el cartucho filtrante
 - El agua circula de dentro hacia fuera.
 - En el interior se encuentra el escáner de succión de boquillas con cepillos.
- **Cámara de limpieza.**
 - Se recoge el agua sucia que proviene del escáner cuando es accionado durante el proceso de limpieza.
 - El agua sucia se evacua al exterior mediante la apertura de la válvula de limpieza.

Filtro de anillas automático rotativo



Pérdidas de carga (anillas 115 micras)

X (mm.)	780	780	1.003	1.253	1.440	1.900
Y (mm.)	889	889	924	924	1.047	1.047
Z (mm.)	1.146	1.146	1.146	1.146	1.146	1.146
Superficie total de filtración (cm²)	1.410	2.820	4.230	5.640	8.460	11.280
Peso del Cabezal (Kg)	51	153	247	273	456	554
Volumen mínimo de agua de drenaje (l)	39	53	79	105	158	210
Ø Conexión	2" Rosca	3" Brida	4" Brida	4" Brida	6" Brida	6" Brida

$$h_f = K \cdot \frac{U^2}{2g}$$

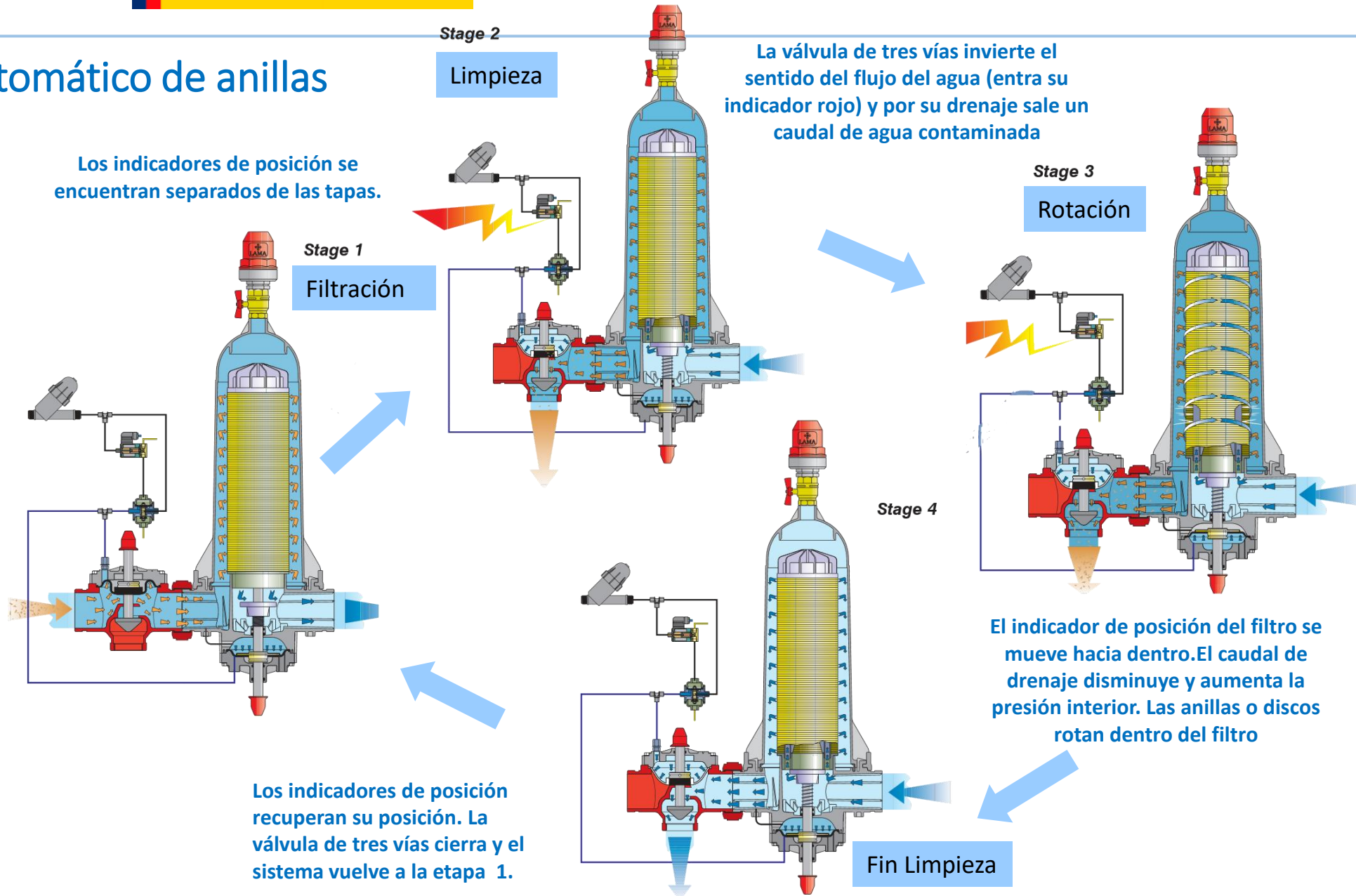
$$h_f = K \cdot \frac{Q^2}{2g\omega^2}$$

$$h_f = K' Q^2$$

$$\log(h_f) = \log(K') + 2\log(Q)$$



Filtro automático de anillas



Tratamientos químicos al agua

- Cloración
 - Combatir las bacterias
 - Dificultad de limpiar los goteros obturados con microorganismos
 - Hipoclorito sódico como preventivo (3-10 ppm)
- Acidificación
 - Contra precipitados químicos
 - El carbonato cálcico es una sal de muy baja solubilidad (0,0131 g/l)
 - A pH próximos a 6 la solubilidad se multiplica por 100
 - Tratamientos preventivos y curativos
 - Tipos de ácidos: clorhídrico, sulfúrico nítrico y fosfórico
 - Precauciones en el manejo de los ácidos:
 - No mezclar ácidos
 - Aportar siempre el ácido al agua y no al contrario
- Ozono
- Peróxido de Hidrógeno (agua oxigenada)

Inyección de peróxido de hidrógeno

- Sistemas autónomos de producción de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) partiendo de agua, aire y electricidad, con inyección continua en el cabezal:
 - H_2O_2 es un potente desinfectante
 - Ayuda a a la limpieza y a la destrucción de materia orgánicas que colapsa el sistema.
 - Tratamientos preventivos: mantiene la uniformidad del riego
 - Aporta mayor oxigenación a la raíz: mayor rendimiento.
 - ¿Compatible con la agricultura ecológica?



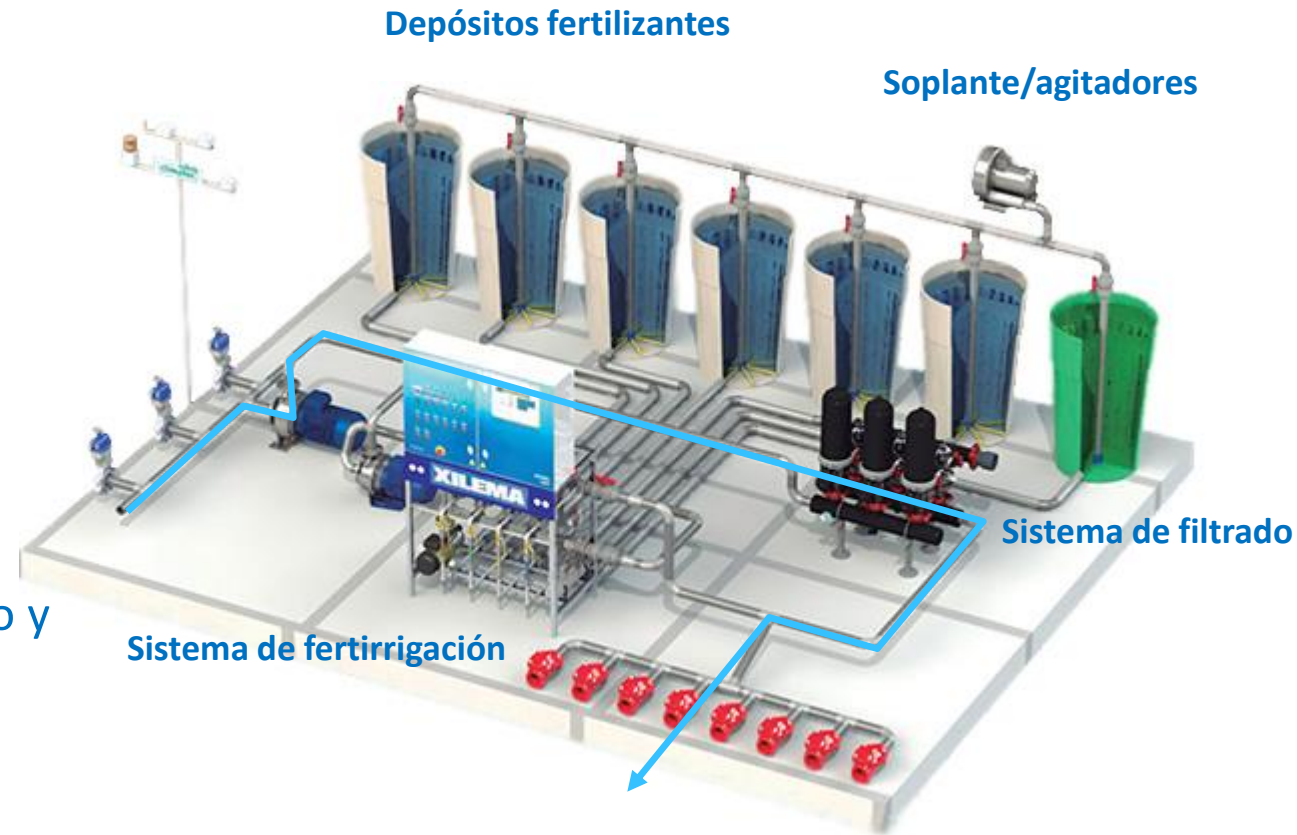
Tratamiento con ozono



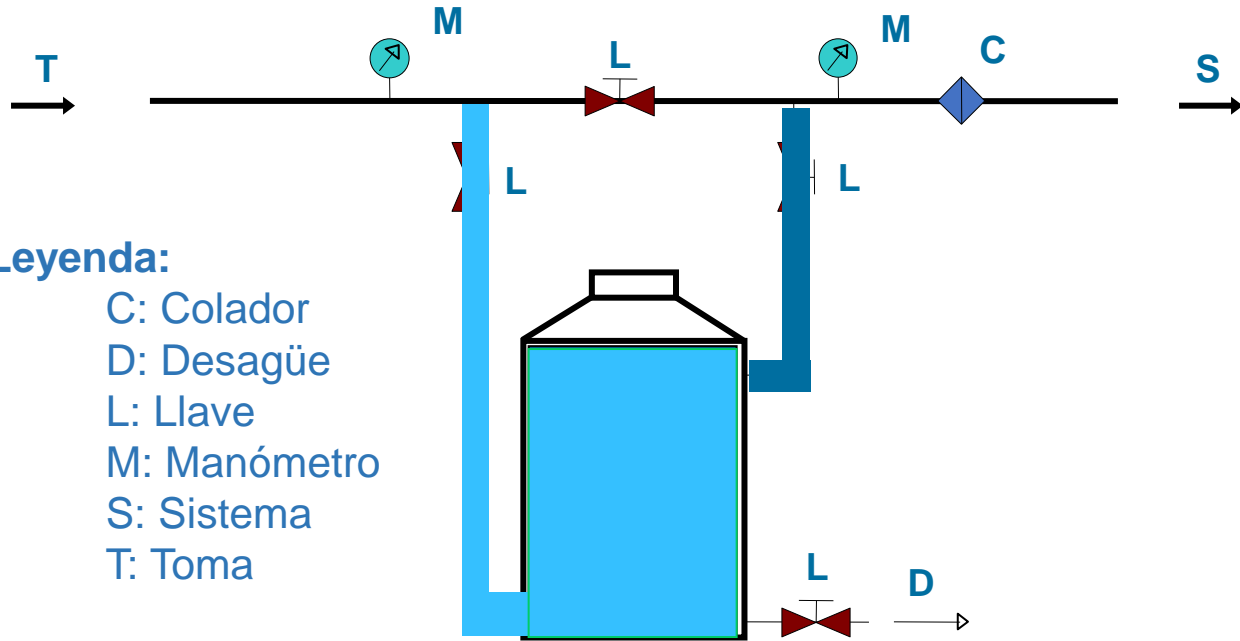
- Sistemas de producción de Ozono (O_3): variedad alotrópica del oxígeno.
- Ozono: se produce con la excitación de moléculas O_3 (se hace pasar aire entre electrodos de alta tensión).
- Se utiliza un reactor o cámara de mezcla durante el tiempo necesario para la acción oxidante (inestable).
- Desinfectante eficaz y potente. Gran poder bactericida.
- Hay que producirlo in situ. Actúa rápido y eficazmente.

Equipos de fertirriego

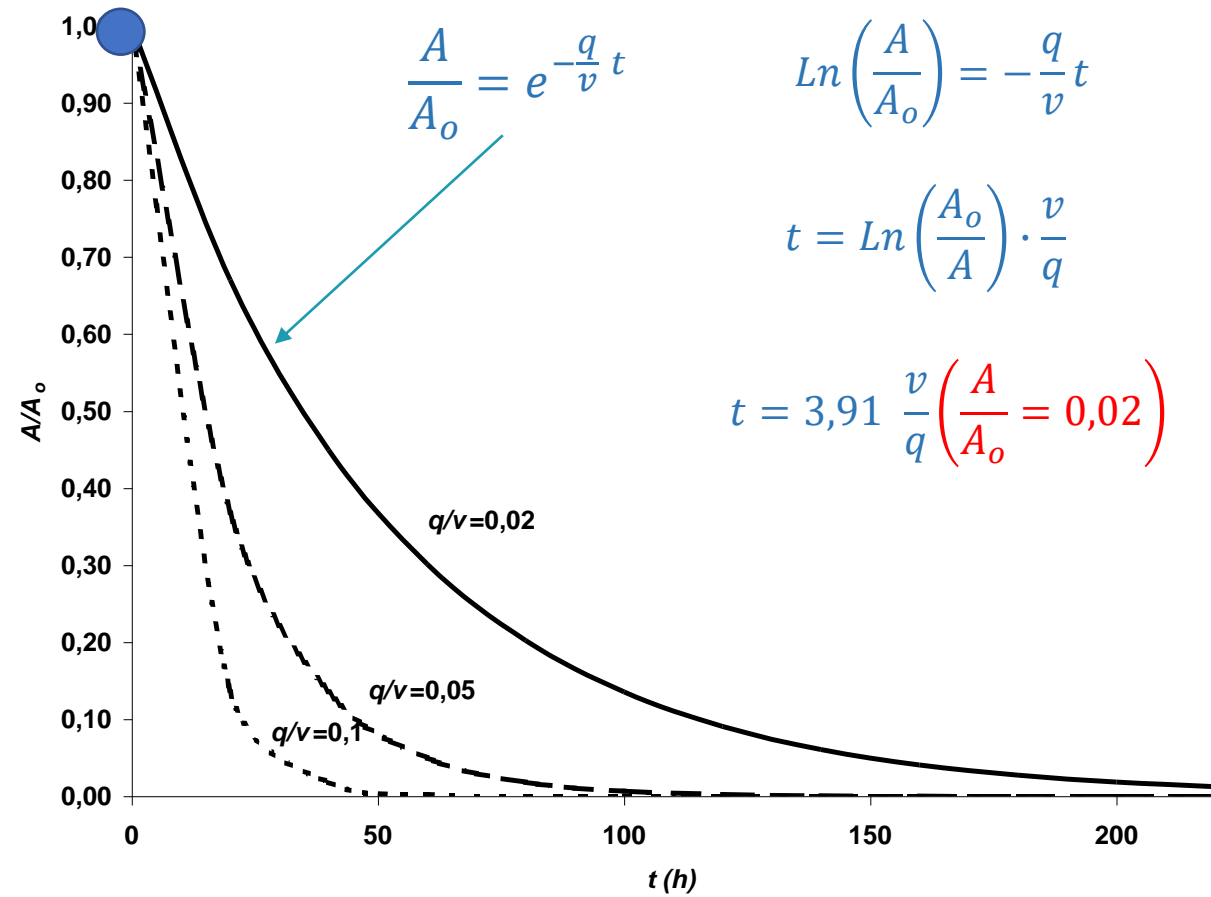
- El objetivo es que inyecten el fertilizante de forma **controlada y uniforme en el tiempo**
- Inyectores de abono:
 - Tanque de fertilización
 - Bombas dosificadoras
 - Inyector venturi
- Depósitos para fertilizantes:
 - Material resistente a la corrosión (PE)
 - Mínimo dos depósitos para separar el Ca de los sulfatos y fosfatos
 - Capacidad de depósitos: $f(q, \text{frecuencia de llenado y solubilidad})$
- Sistemas de agitación:
 - Hélice accionada por un motor eléctrico
 - Agitador neumático



Tanque de fertilización

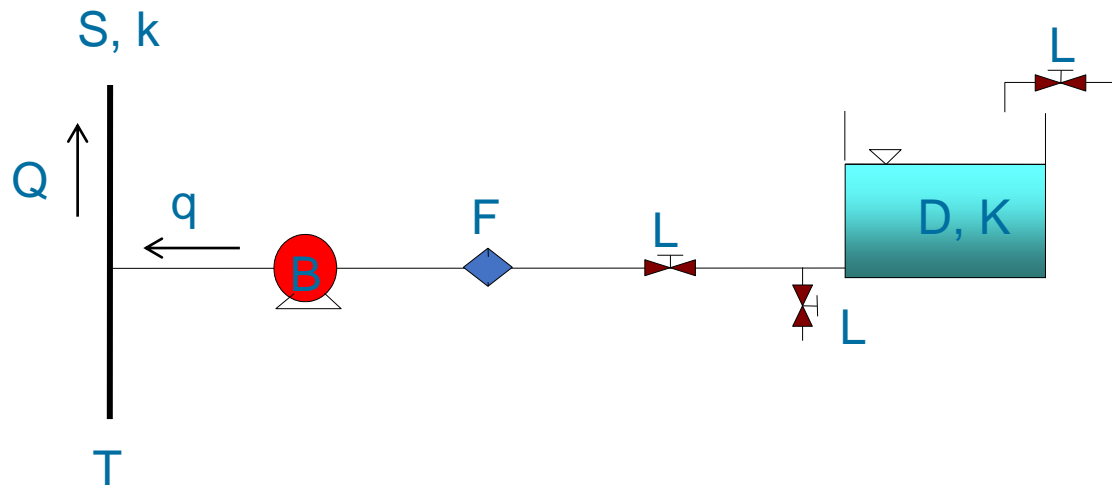


- Leyenda:**
 C: Colador
 D: Desagüe
 L: Llave
 M: Manómetro
 S: Sistema
 T: Toma



Bombas inyectoras

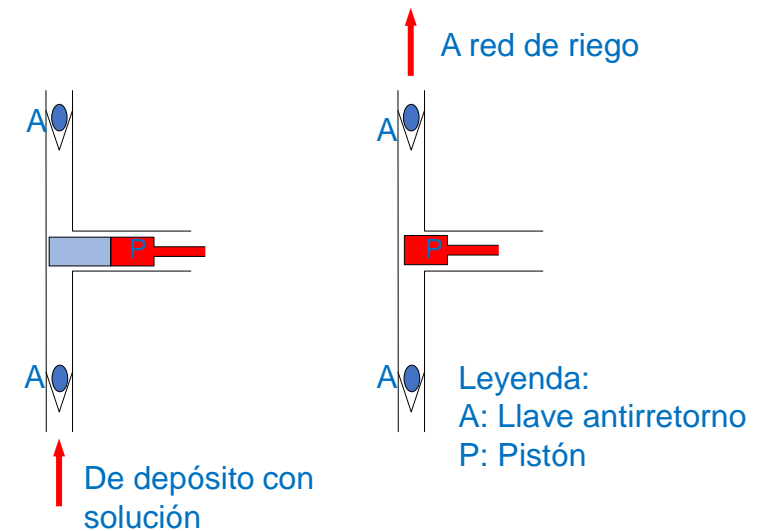
- Bombas de desplazamiento positivo que inyectan un caudal de forma intermitente.



$$Q * k = q * K$$

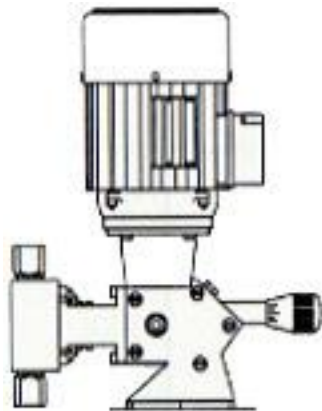
Legenda:
B: Bomba
D: Depósito fertilizantes
F: Filtro
K, k: Concentraciones
L: Llave
Q, q: Caudales
S: Sistema
T: Toma

FASE DE ASPIRACIÓN FASE DE IMPULSIÓN

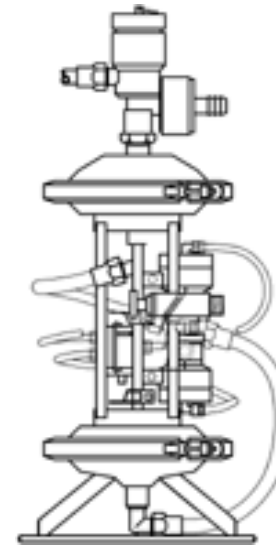


Tipos de bombas inyectoras

- Clasificación:
 - En función de la energía utilizada
 - Energía de presión del agua (Inyector hidráulico)
 - Motor eléctrico (Inyector eléctrico)
 - En función del mecanismo de inyección
 - Pistón
 - Membrana o diafragma



Inyector eléctrico

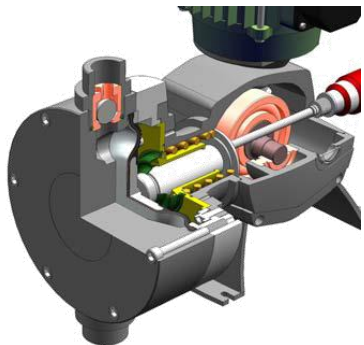
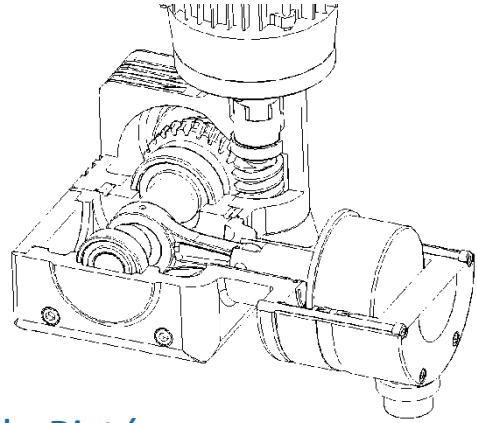


Inyector hidráulico

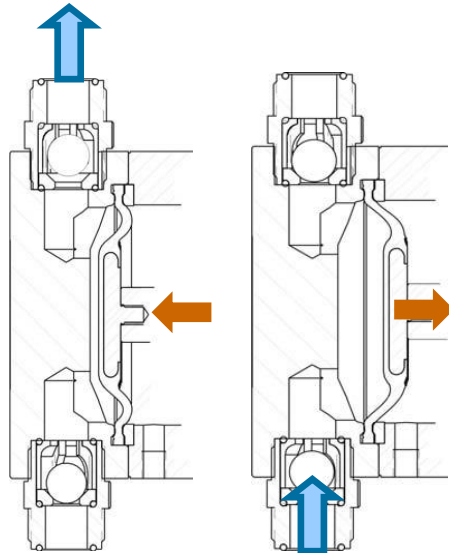
Bombas de pistón o membrana



Bomba de Pistón



Bomba de membrana



- El caudal no es continuo sino intermitente
- Son volumétricas (pistón) o cuasi-volumetricas (membrana). El caudal inyectado es (casi) constante e independiente de la presión aguas abajo
- **Pistón:**
 - Pistón (hecho de metal u otro material rígido).
 - No se deforma (Totalmente volumétrica)
 - Puede trabajar a altas presiones
 - No son completamente estancas. Puede haber fugas.
 - Pueden obturarse con aguas sucias o ser atacadas por productos químicos agresivos.
- **Membrana:**
 - Hechas de un diafragma de goma elástica, termoplástica o teflon
 - No pueden trabajar a altas presiones.
 - La membrana se deforma con la presión (no son totalmente volumétricas).
 - Son completamente estancas.
 - Pueden usarse con cualquier producto químico o aguas sucias.

Funcionamiento de una bomba inyectora eléctrica

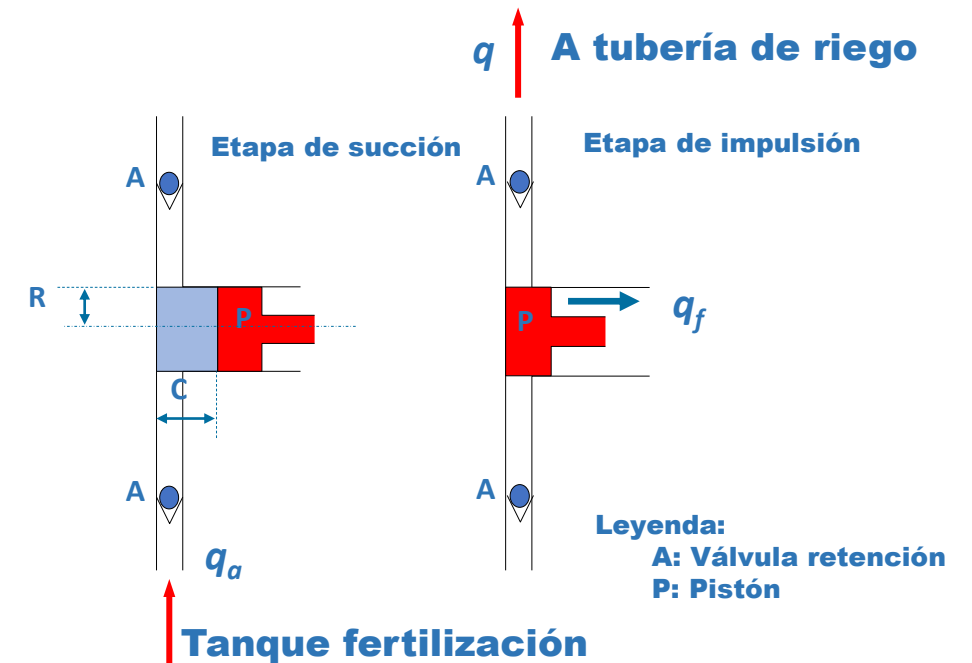
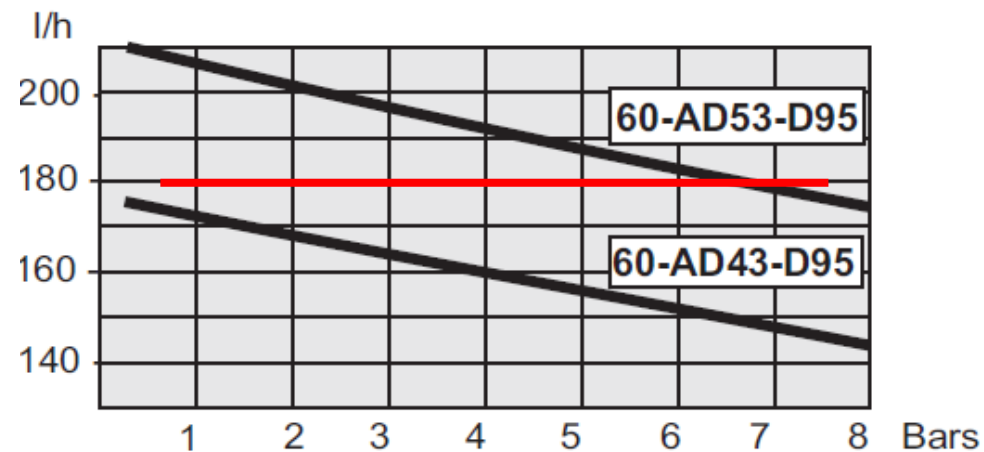
a) Bombas de pistón: caudal constante

$$q = \eta_v \cdot N \cdot \pi \cdot R^2 \cdot C$$

- q : caudal ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)
- R : Radio del pistón, (m)
- C : Carrera, (m)
- N : Velocidad de rotación, (Radians s^{-1})
- η_v : Rendimiento volumétrico

$$\eta_v = \frac{q}{q_a} = \frac{q}{q + q_f}$$

a) Bombas de membrana: caudal casi constante

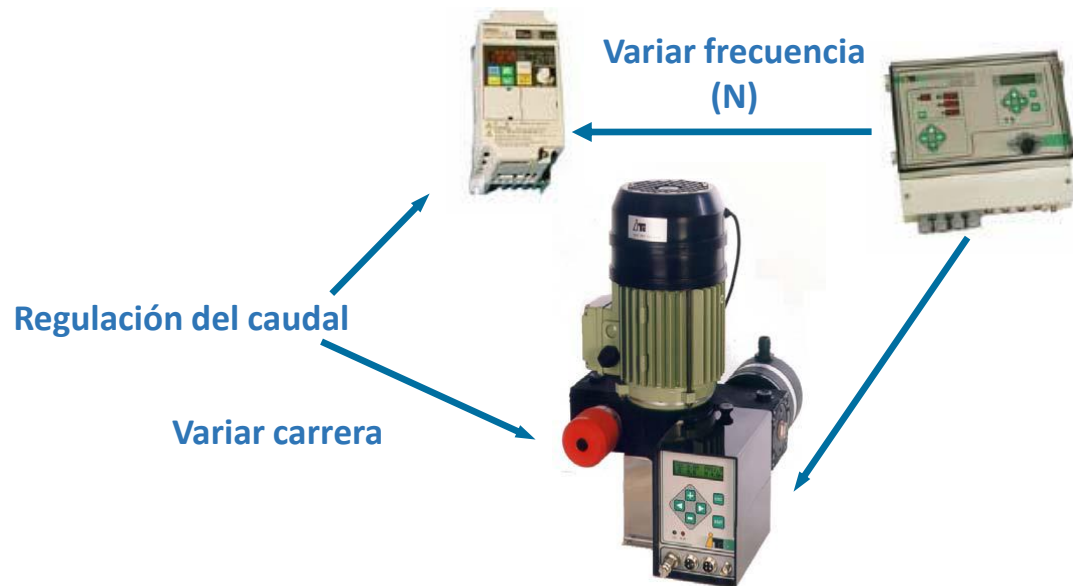


Regulación de una bomba inyectora eléctrica

- Regulación de una bomba de pistón:

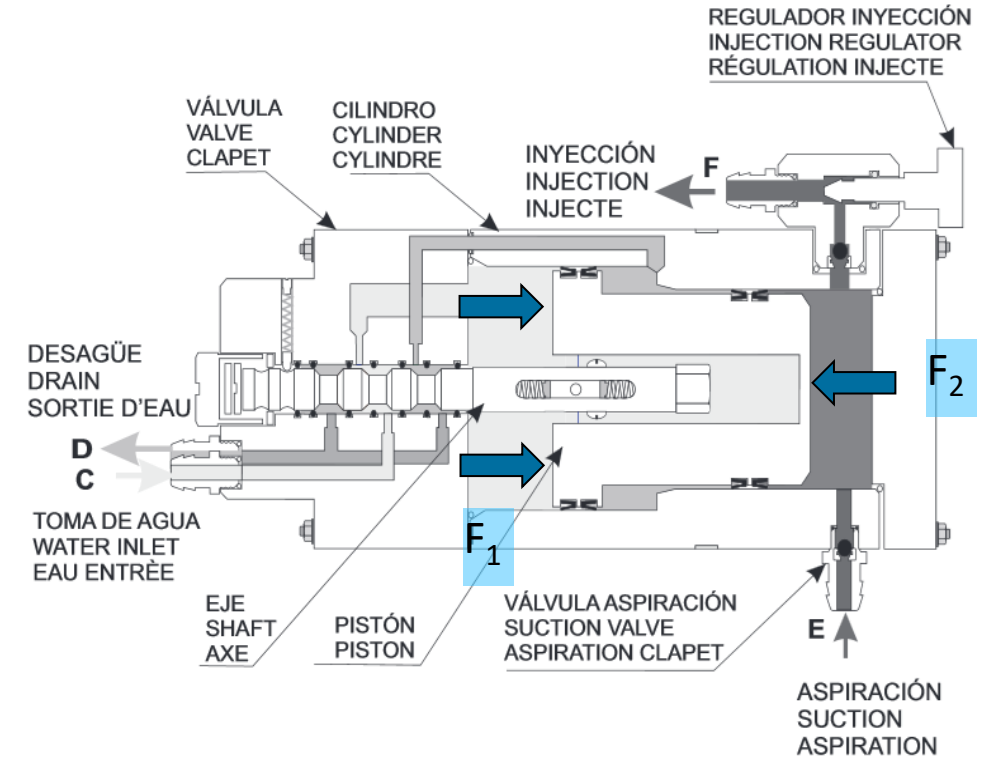
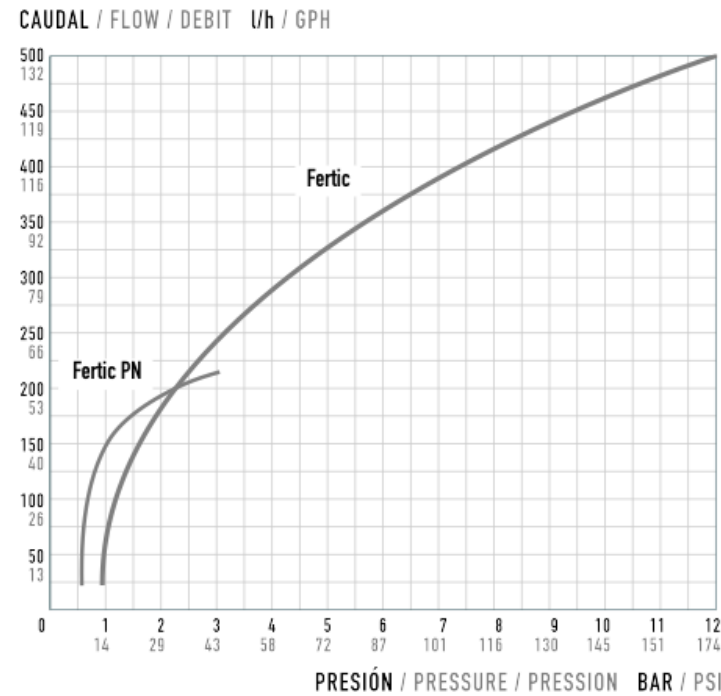
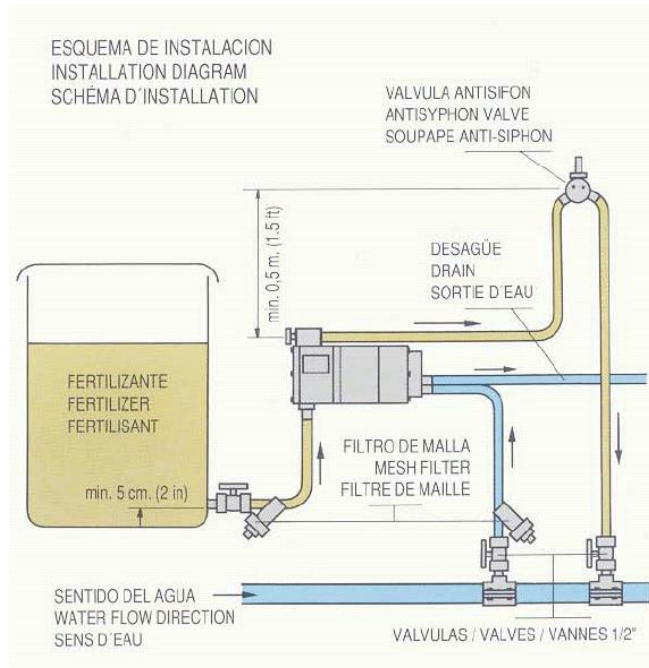
$$q = \eta_v \cdot N \cdot \pi \cdot R^2 \cdot C$$

- Variando carrera (C)
- Variando frecuencia (N)



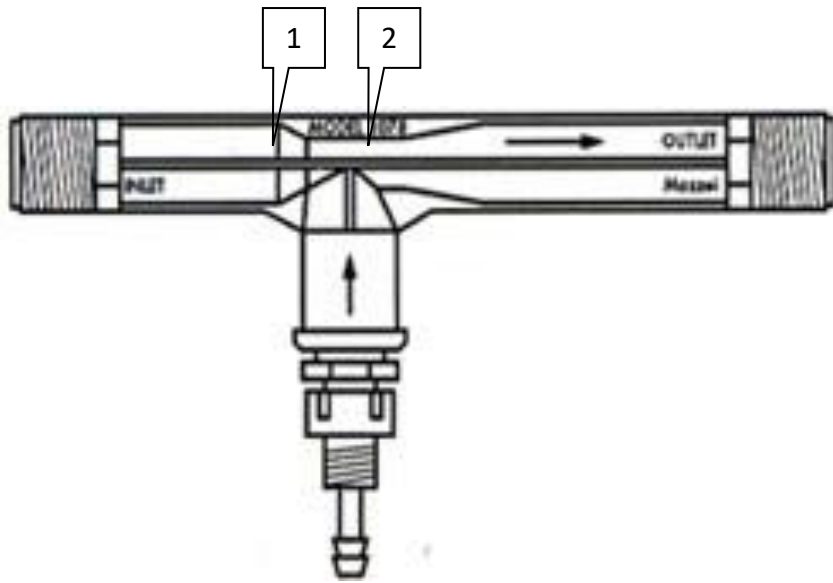
Inyector Hidráulico

- Funciona con la presión del agua.
- El caudal varía con la presión
- La presión de inyección es aprox. el doble de la presión aguas abajo.
- Ventajas:
 - No requieren energía adicional.
 - No producen pérdidas de carga
- Desventajas:
 - Caudal varía con la presión.
 - Hay un gasto de agua (3 veces el inyectado).



$$F_1 > F_2 \Rightarrow p_1 S_1 > p_2 S_2$$

$$p_2 \approx p_1$$



Inyector venturi

$$H_1 = H_2$$

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{u_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{u_2^2}{2g}$$

$$z_1 = z_2$$

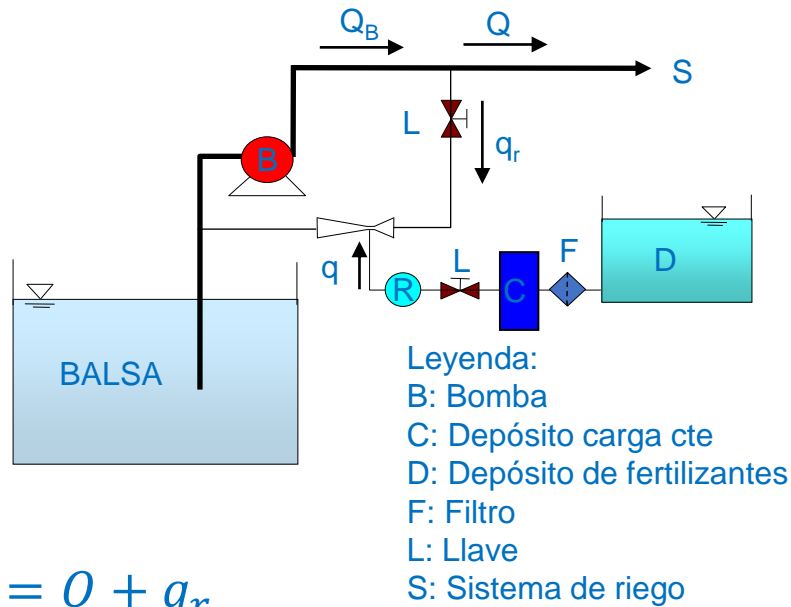
$$u_2 \gg u_1$$



$$p_2 \ll p_1$$



Disposición Inyector venturi



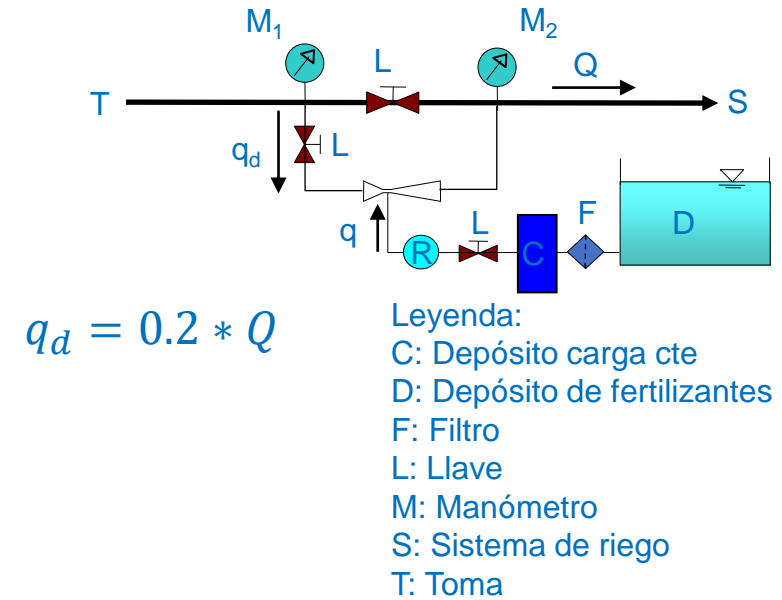
$$Q_B = Q + q_r$$

$$q_r = 0.2 * Q$$

$$Q_B = 1.2 * Q$$

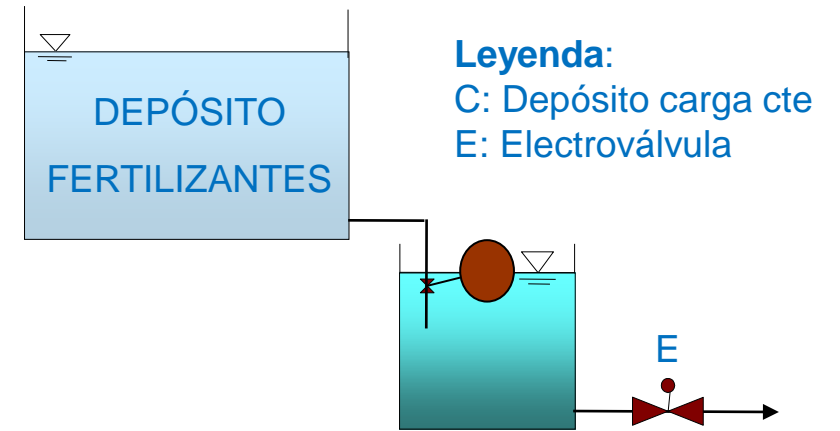
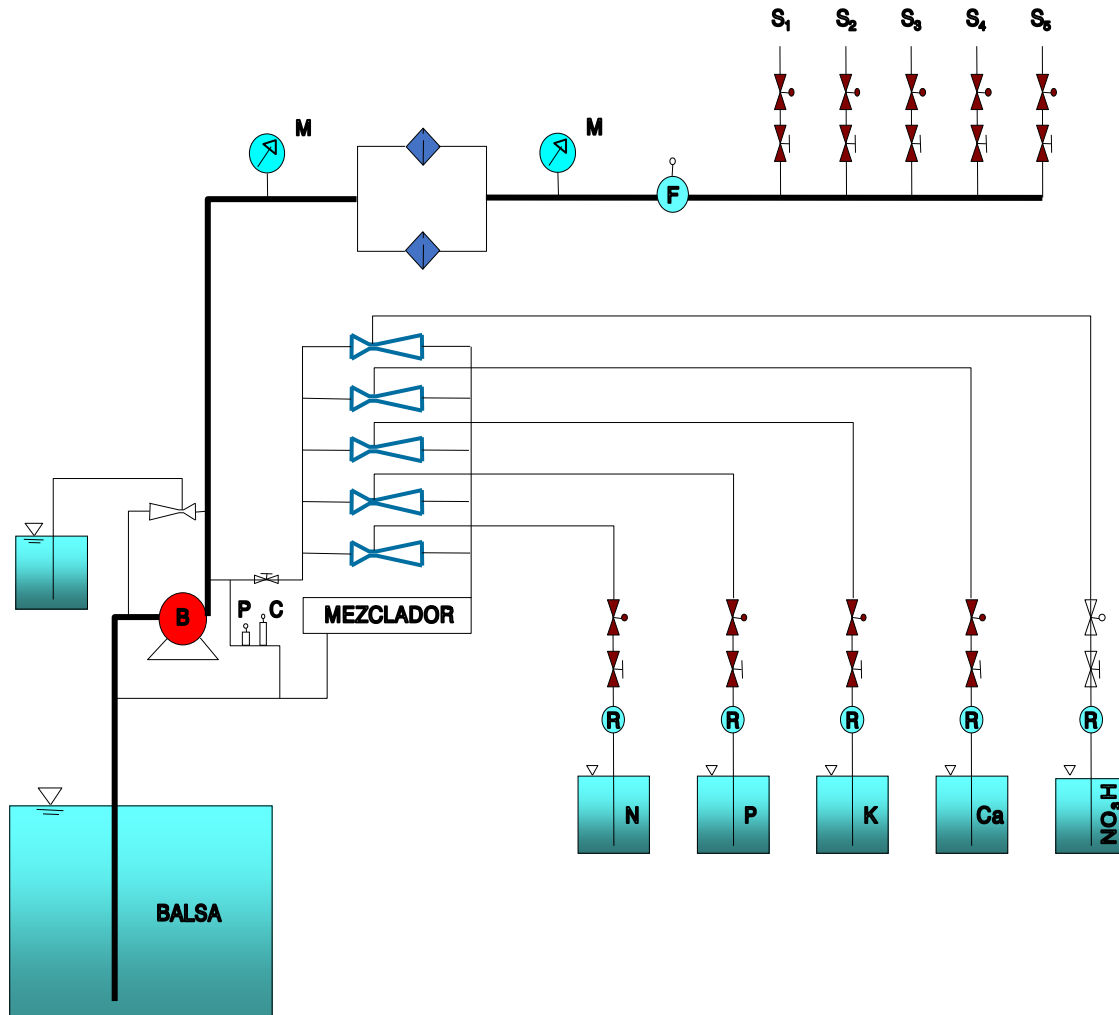
$$p_1 - p_2 = 100 \text{ kPa} \approx 10 \text{ mca}$$

$$q = Q \frac{k}{K} \approx Q \frac{1.5 \text{ kg/m}^3}{150 \text{ kg/m}^3} = \frac{Q}{100} \quad (300 - 600 \text{ L/h})$$



$$q_d = 0.2 * Q$$

Equipo fertirriego con inyectores venturi



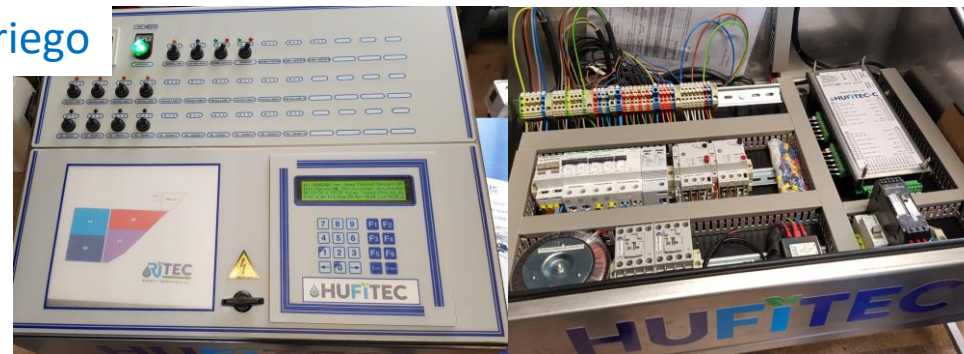
Leyenda:

- B: Bomba
- C: Sensor de CE
- F: Contador
- M: Manómetro
- P: Sensor de pH
- R: Rotámetro
- Si: Sector de riego
- ⌘: Llave
- ⌘: Electrollave
- ◇: Venturi
- ◇: Colador



Equipo fertirriego con inyectores venturi

Autómata o programador de fertirriego



Inyectores venturi
Electroválvulas

Llave manual

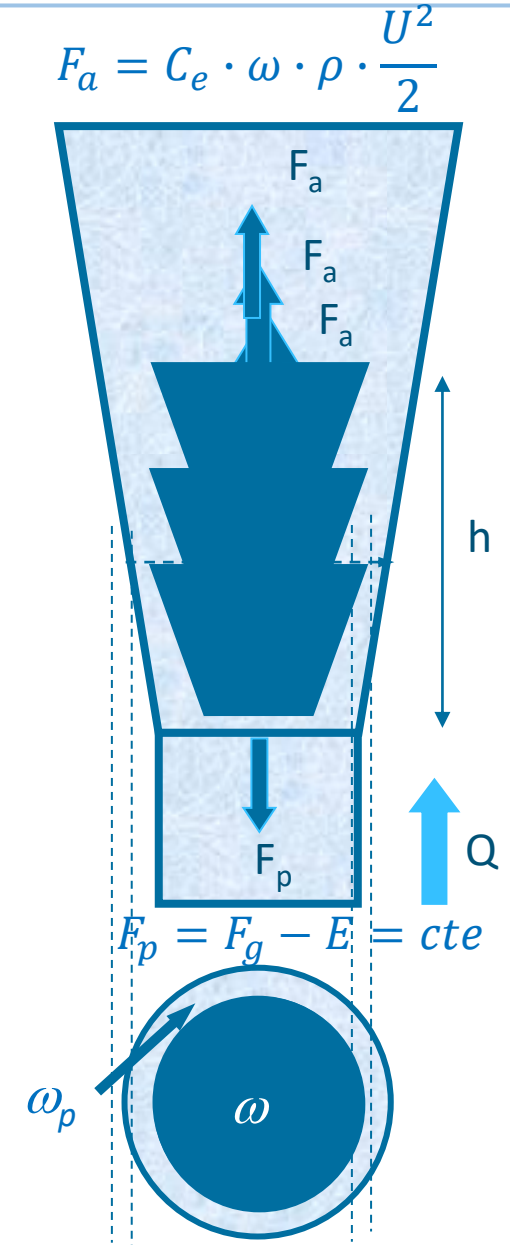
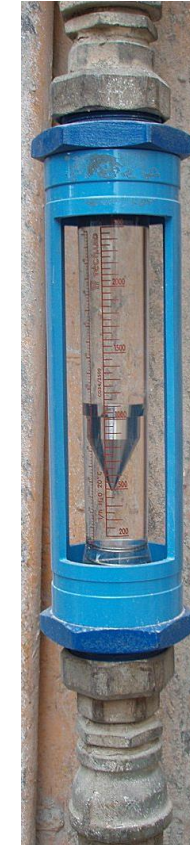
Rotámetros

Sensores de pH y CE

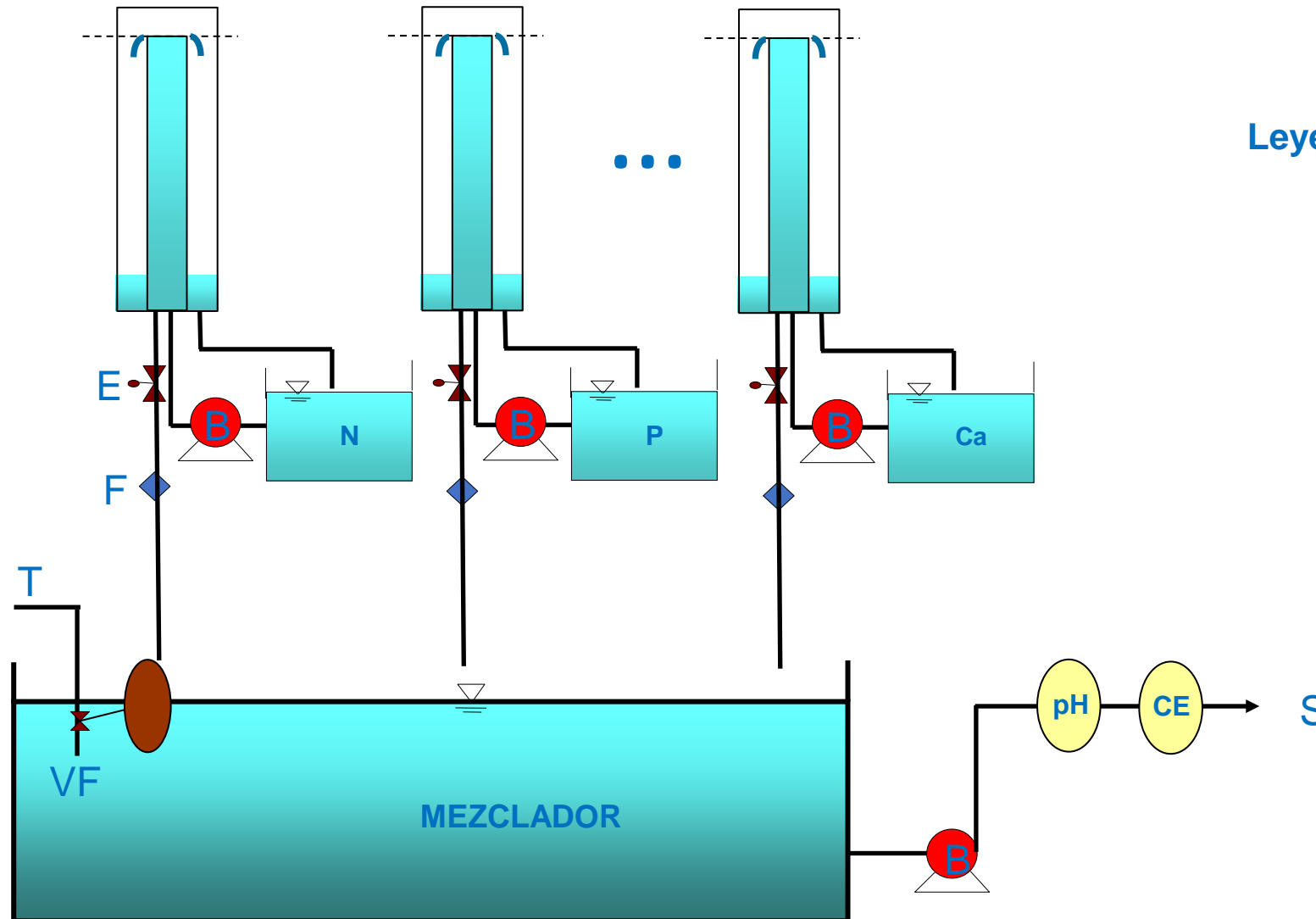


Rotámetro

- Rotámetro o aforador de sección variable: conducción troncocónica invertida colocada en posición vertical. En su interior hay un “flotador” más pesado que el agua. La fuerza de arrastre de la corriente ascendente levanta el flotador hasta una posición de equilibrio (h) en la que se cumple que $F_p = F_a$. Dicha h indica el caudal.



Equipo con tanque de mezclas “todo pasa”



Leyenda:

- B: Bomba
- CE: Sensor de CE
- E: Electroválvula
- F: Filtro
- pH: Sensor de pH
- S: Sistema
- T: Toma
- VF: Válvula de flotador

Depósito de fertilizantes

- Depósitos para fertilizantes:
 - Material resistente a la corrosión (PE, Poliester)
 - Mínimo dos depósitos para separar el Ca de los sulfatos y fosfatos
 - Capacidad de depósitos: f (q , frecuencia de llenado y solubilidad)

$$V = q * t_{ar} = 300 \text{ (L/h)} * 1,66 \text{ (h/día)} = 500 \text{ (L/día)}$$



Agitadores



Mecánicos



Neumáticos

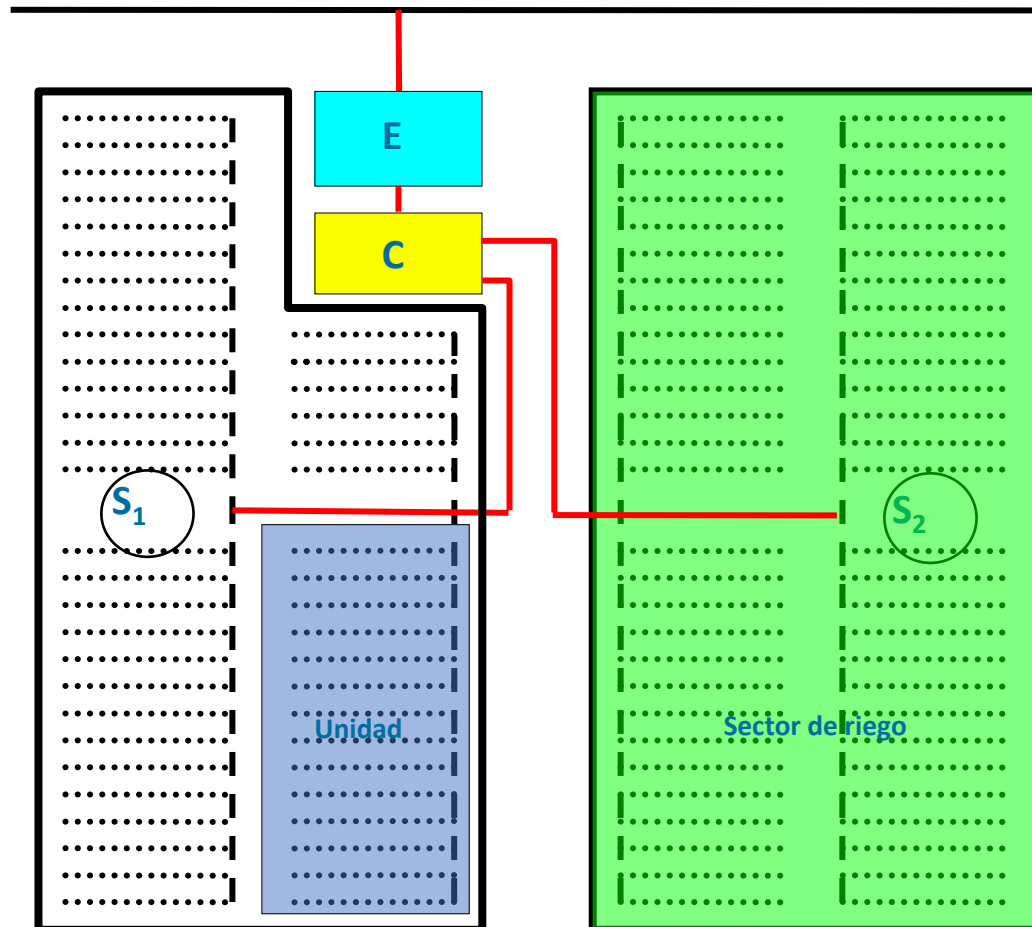


Red de distribución

- Emisores
- Tuberías: PE y PVC

LEYENDA:

- Conducto principal
- - - Portarramales
- Portagoteros
- E** Embalse
- C** Cabeza
- S_i Sector de riego



Emisores

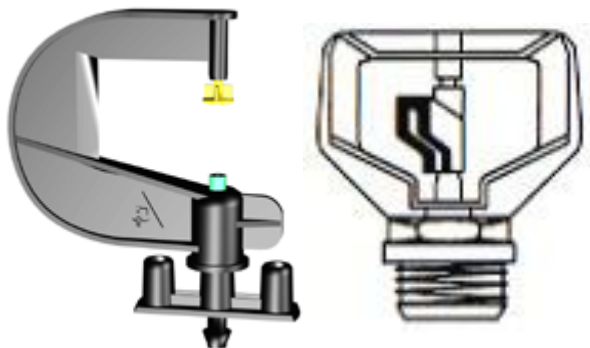
- Los emisores son los elementos más importantes de los SRL
- Orificios de desagüe que aportan caudales muy pequeños

- Tipos:

- Bajo caudal ($q < 16$ L/h)
 - **Goteros**
 - Cintas de goteo
 - Cintas de exudación
- Alto caudal (16-150 L/h)
 - Microaspersores
 - Difusores

- Clasificación goteros:

- Mecanismo de funcionamiento
 - Microtubo
 - **Laberinto**
 - Vortex
- Conexión con la tubería
 - Alineados
 - Derivados
 - Integrados
- Autocompensantes
- Autolimpiables
- Antidrenantes
- Desmontables



La elección de emisores

- Cultivo de invernadero en suelo arenado

Gotero integrado de laberinto

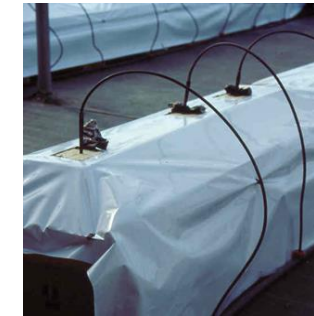
- Caudal bajo ($q_n = 2$ o 3 L/h)
- Presión nominal $h_n = 10$ mca (≈ 100 kPa)
- No autocompensantes: $x = 0.5$



- Cultivos en sustrato

Gotero botón autocompensante ($x = 0$) y antidrenante:

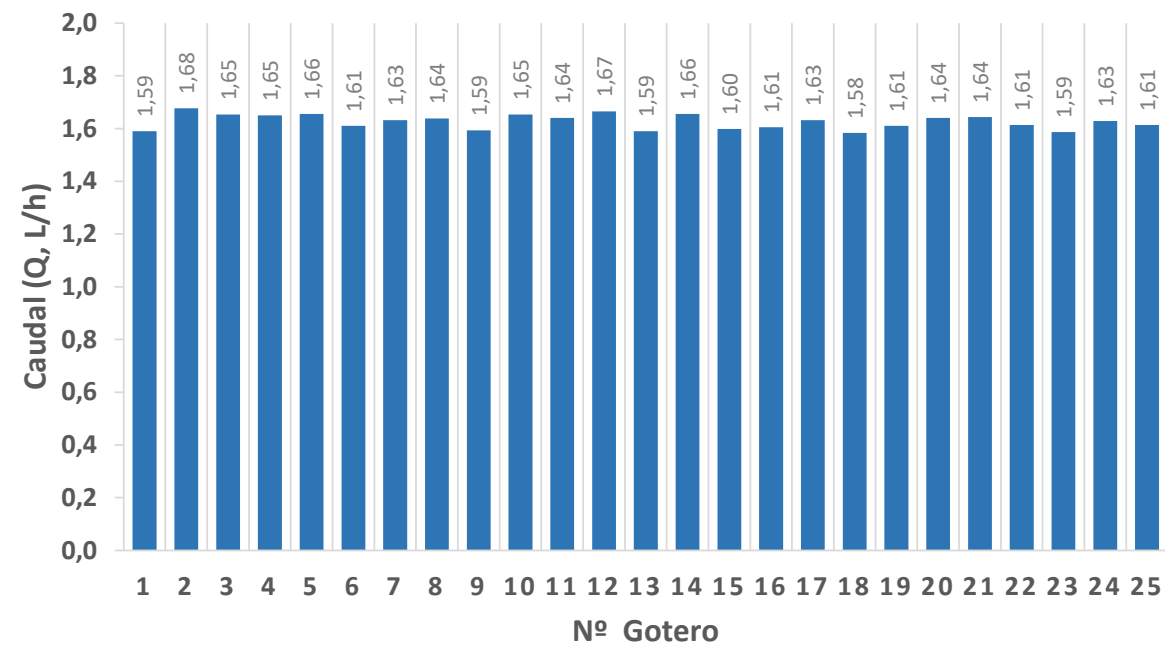
- Caudal bajo ($q_n = 2$ o 3 L/h)
- $I_T = [5-40]$ mca ($\approx 50-400$ kPa)



- Cultivos frutales

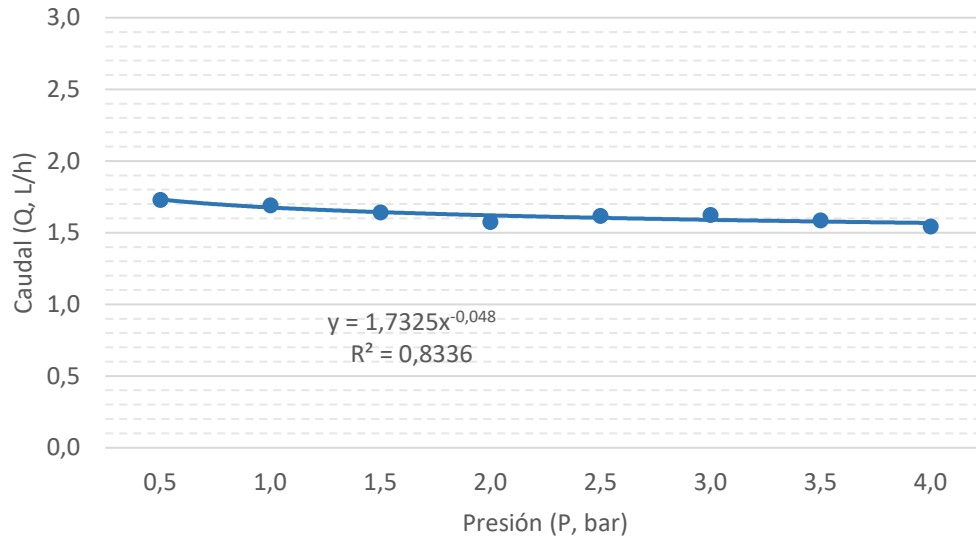
- Varios goteros derivados o microaspersores
- Autocompensantes si existe desnivel
- Mayor caudal ($q_n = 4 - 16$ L/h)

Ensayo de Emisores

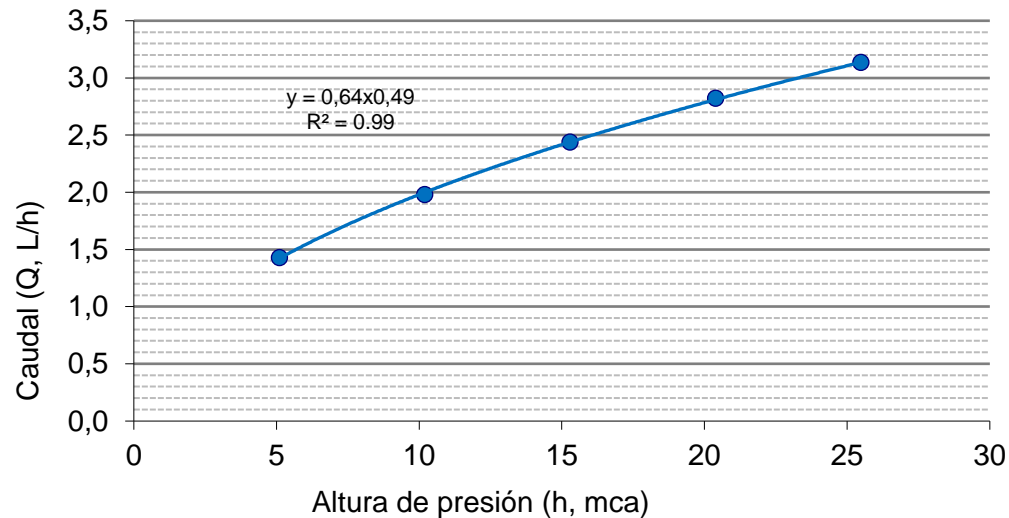


UNE-EN ISO 9261-2010

Gotero compensante



Gotero convencional



Calidad de emisores

- Ecuación de gasto:

$$Q = k p^x$$

- Coeficiente de variación:

$$CV_m = \frac{\sigma}{\bar{q}} 100$$

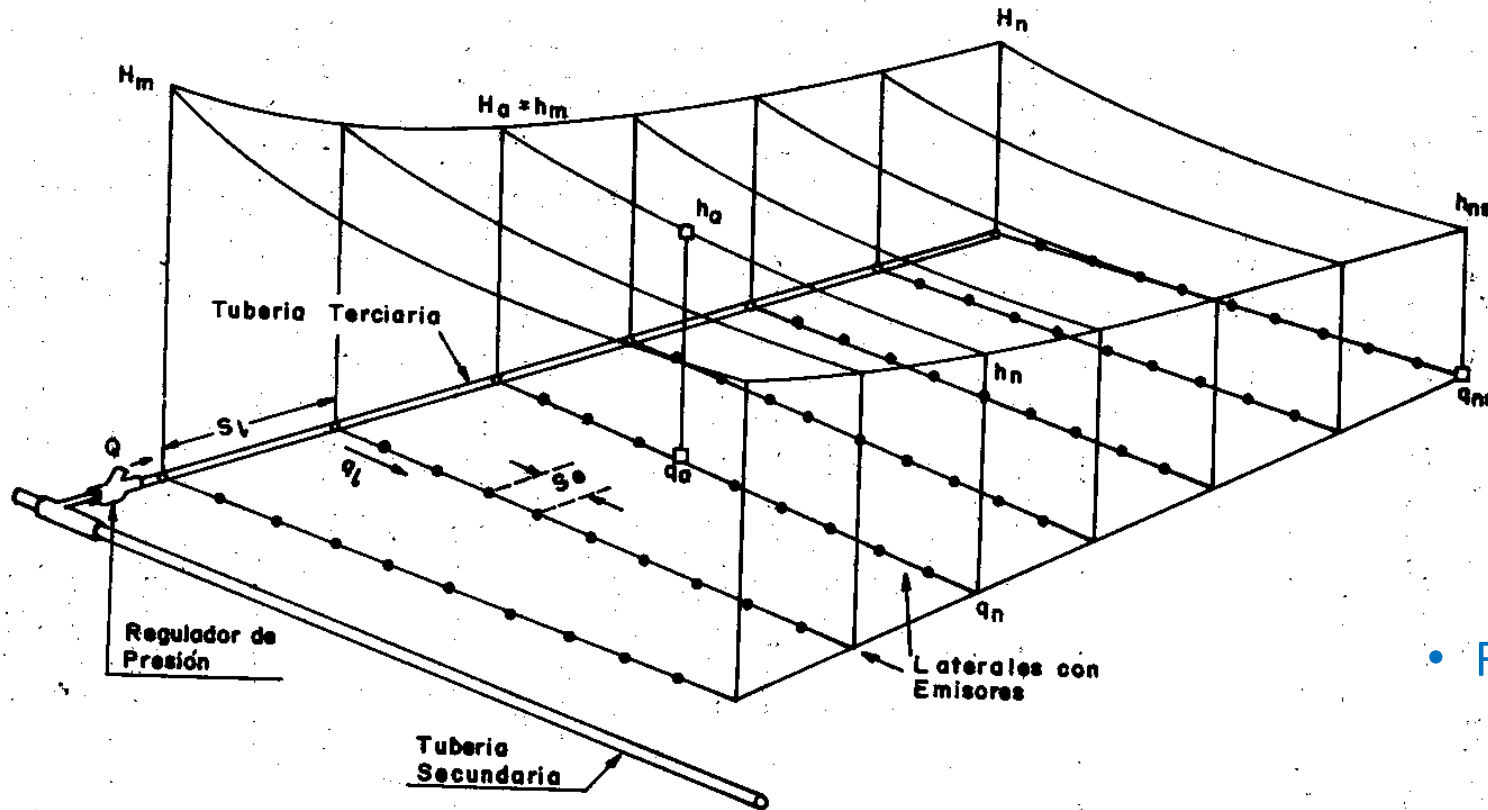
- Desviación respecto al caudal nominal

$$D = \frac{|\bar{q} - q_n|}{q_n} 100$$

- La norma UNE-EN ISO 9261:2010
 - CV < 7% (apartado 9.1)
 - D < 7% (apartado 9.2)
- Para emisores compensantes: x < 0.2 (apartado 9.3)

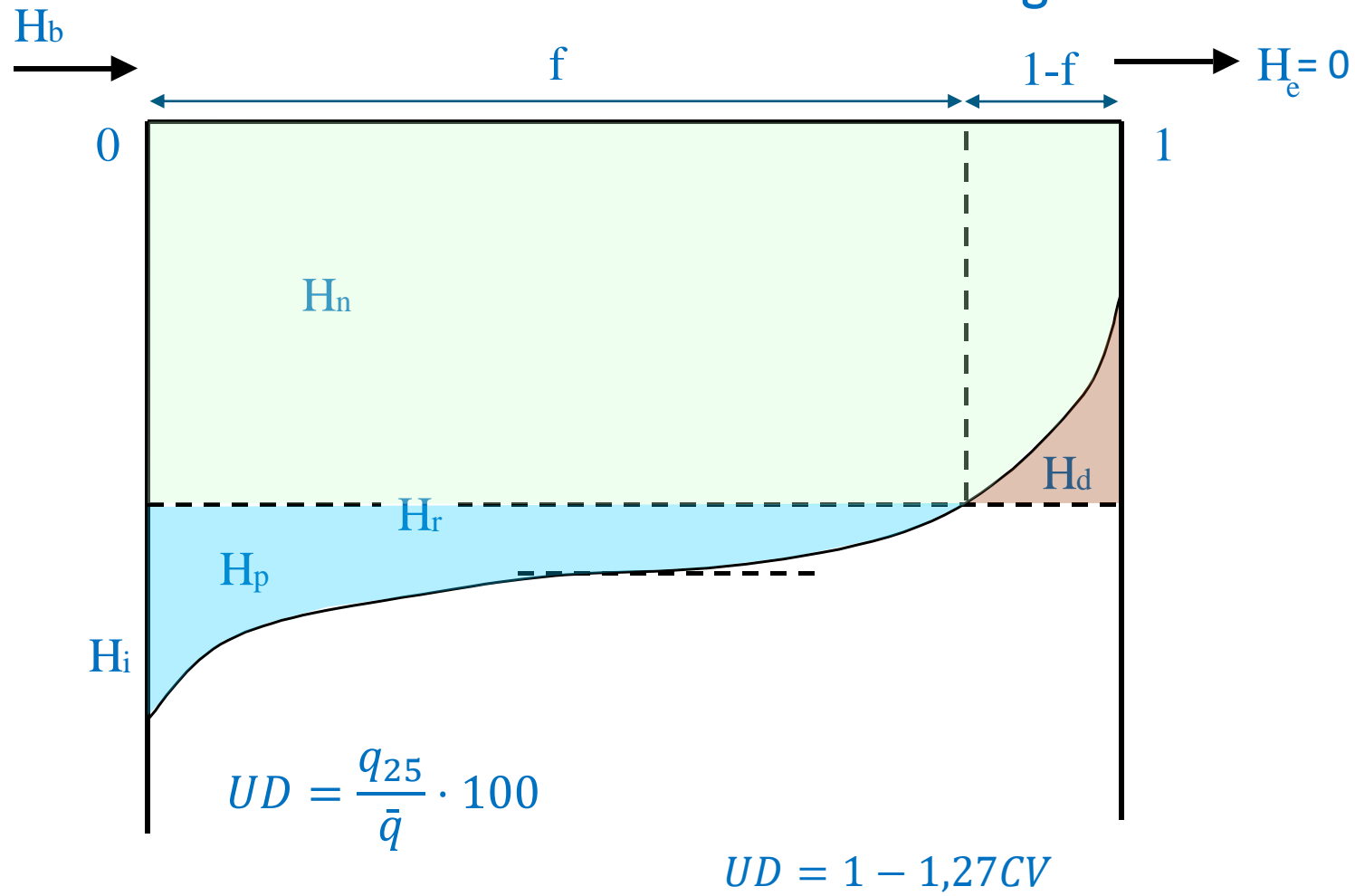
Diseño hidráulico de la unidad de riego

¿Cómo diseñar unidades de riego que cumplan los requisitos de uniformidad?



- Factores que condicionan la uniformidad:
 1. Variaciones espaciales de presión
 2. Variaciones de fabricación
 3. Obturación
 4. Nº de emisores por planta

Distribución del agua con un SRL



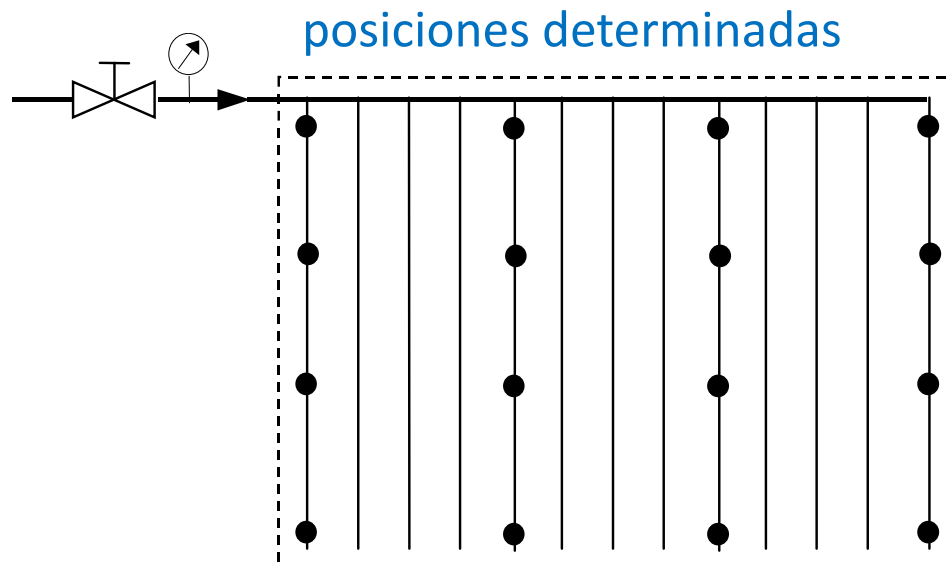
$$R_a = \frac{H_n}{H_b} \quad C_d = \frac{H_d}{H_r}$$

$$R_a = \frac{\frac{H_r - H_d}{H_r}}{\frac{H_b}{H_r}} = \frac{1 - C_d}{\frac{H_b}{H_r}}$$

$$R_a = (1 - C_d) \frac{H_r}{H_b}$$

Evaluación del riego

- Evaluación de riego: permite conocer la uniformidad de distribución de agua e investigar la causa de la falta de uniformidad.
- Se mide el caudal en una muestra representativa de goteros y la presión en una muestra de puntos de la unidad.
- Diferentes métodos Merriam y Keller (1978), Bralts y Kesner (1983).
 1. Distribución del caudal:



o

muestra aleatoria



Evaluación de riego



Tiempo ensayo (min):	15	
Nº Gotero	Volumen (mL)	Caudal (L/h)
1	740	2.96
2	740	2.96
3	640	2.56
4	640	2.56
5	720	2.88
6	730	2.92
7	730	2.92
8	720	2.88
9	710	2.84
10	740	2.96
11	740	2.96
12	750	3.00
13	770	3.08
14	750	3.00
15	770	3.08
16	740	2.96

Evaluación de riego



Presiones (bares)	RAMALES			
	Cabeza	L/3	2L/3	Cola
TOMAS				
Cabeza	1.70	1.33	1.71	1.51
L/3	1.45	1.68	1.73	1.10
2L/3	1.91	1.61	1.65	0.90
Cola	1.50	1.40	1.50	0.66

Evaluación del sistema

• Resultados e interpretación:

- Uniformidad global de la unidad:

$$CV_q = \frac{\sigma}{\bar{q}} = \frac{\sqrt{\sum_1^n (q_i^2 - \bar{q}^2) / n + 1}}{\bar{q}}$$



$$US = 1 - CV_q > 0.8$$

$$UD = \frac{q_{25}}{\bar{q}} > 0.9$$

- Causa del problema

$$CV_h = \frac{\sigma}{\bar{h}} = \frac{\sqrt{\sum_1^n (h_i^2 - \bar{h}^2) / n + 1}}{\bar{h}}$$

$$CV_k = \frac{CV_m}{\sqrt{N}}$$

$$CV_q = \sqrt{CV_o^2 + CV_k^2 + x^2 CV_h^2}$$



¡¡ MUCHAS GRACIAS !!

JUAN RECA CARDEÑA

jreca@ual.es