



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE AGRICULTURA Y PESCA,
ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

Jornada Técnica
Madrid, 23 abril 2019

Gestión Automatizada de Canales en las Comunidades de Regantes



Gilles Belaud

Supagro, Montpellier, Francia

José Luis Murcia,

C.R. Margen Derecha de Bembézar, Córdoba

Luciano Mateos

Instituto de Agricultura Sostenible, CSIC, Córdoba



Comunidad de Regantes de la Margen Derecha del Bembézar



Jornada Técnica sobre la Gestión Automatizada de Canales en las Comunidades de Regantes

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación

Control automático de canales en el contexto de la modernización del regadío

Luciano Mateos

Instituto de Agricultura Sostenible, CSIC, Córdoba

Control de canales y modernización del regadío

- “introducción de nuevos equipos e infraestructuras”
- “transformación fundamental de la gestión de los recursos hídricos del regadío con el objetivo de mejorar
 - ✓ la utilización de los recursos y
 - ✓ el servicio provisto a los agricultores”.
 - *eficiencia*
 - *fiabilidad*
 - *adecuación*
 - *flexibilidad*

Control de canales y modernización del regadío

Modalidades de distribución del agua

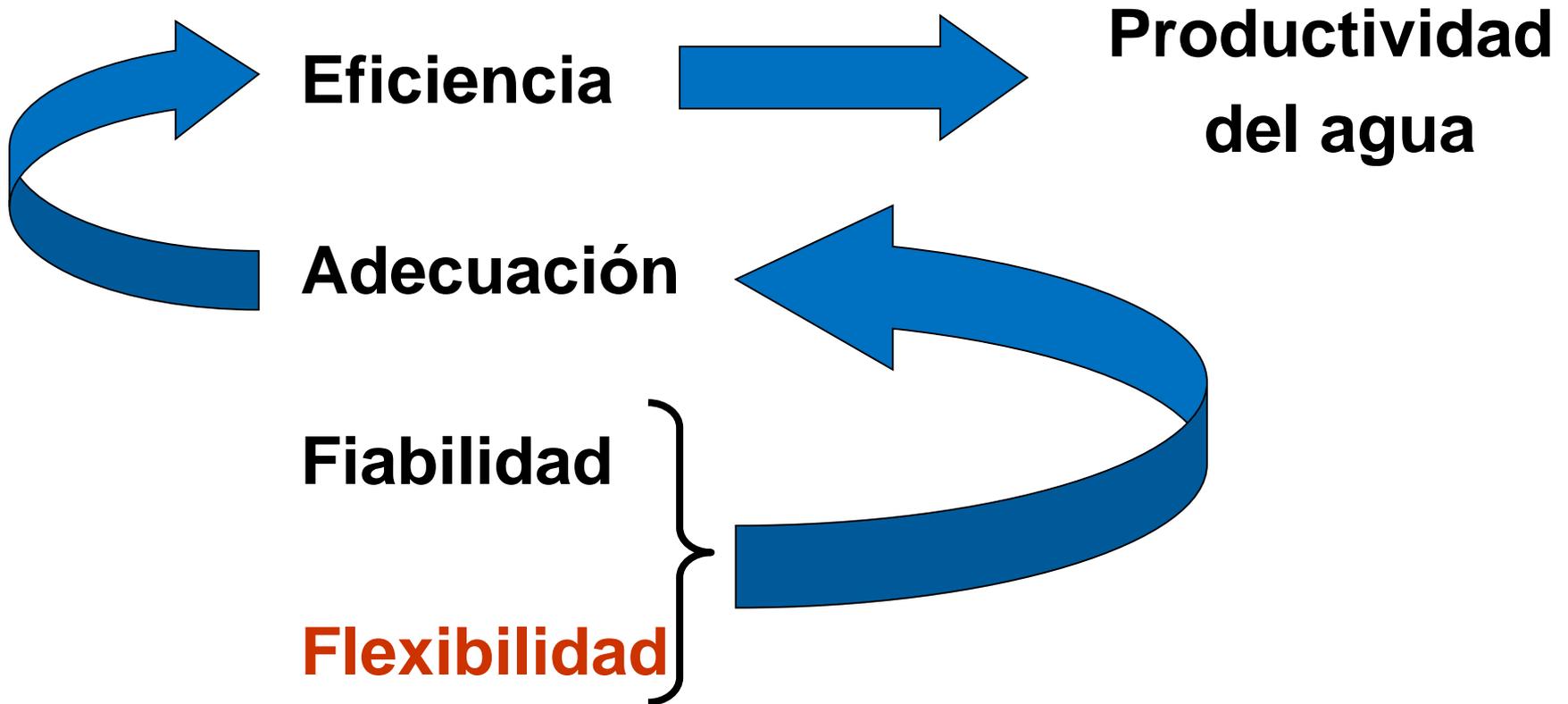
- Caudal
- Frecuencia
- Duración

- A la demanda
- Concertado
- Rotación fija
- Suministro continuo
- Suministro proporcional

} Regido por la demanda

} Regido por el suministro

Control de canales y modernización del regadío



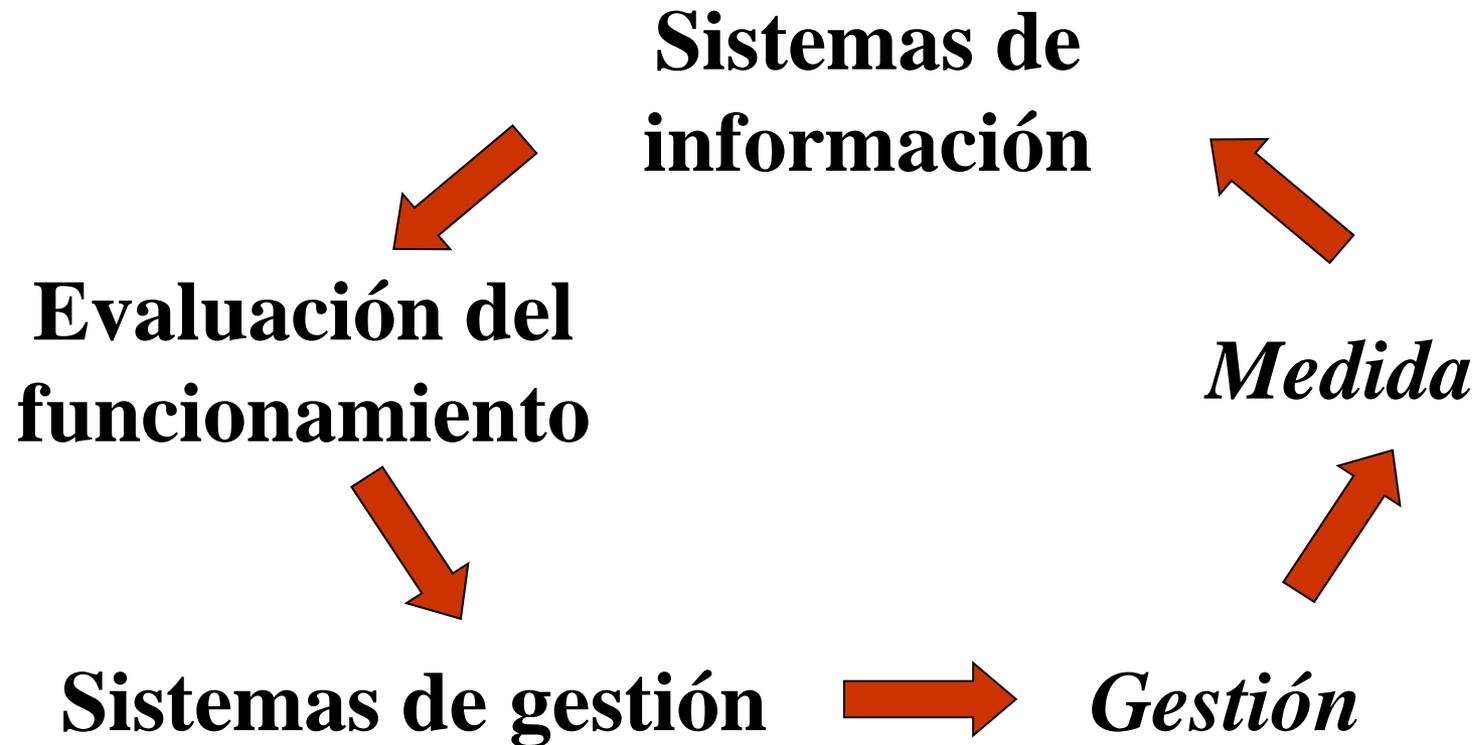
C. R. SECTOR B-XII B. G.

INTERCOLES 11.50

F1	F5	1	2	3
F2	F6	4	5	6
F3	F7	7	8	9
F4	F8	CLR	0 ^{+/-}	↶



Control de canales y modernización del regadío



Proceso continuo de aprendizaje de gestión y mantenimiento

Control de canales y modernización del regadío

REGADÍOS

GESTAGUA-CAP
Versión 2.4.1
Gestión de Comunidades de Regantes




JUNTA DE ANDALUCÍA

Consejería de Agricultura y Pesca

Control de canales y modernización del regadío

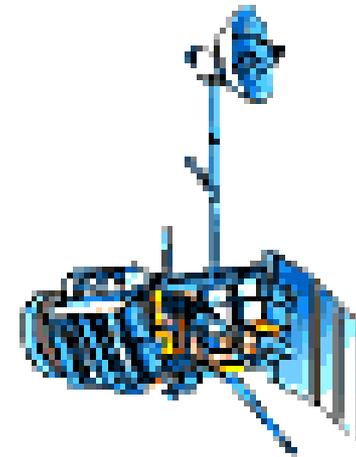
2008



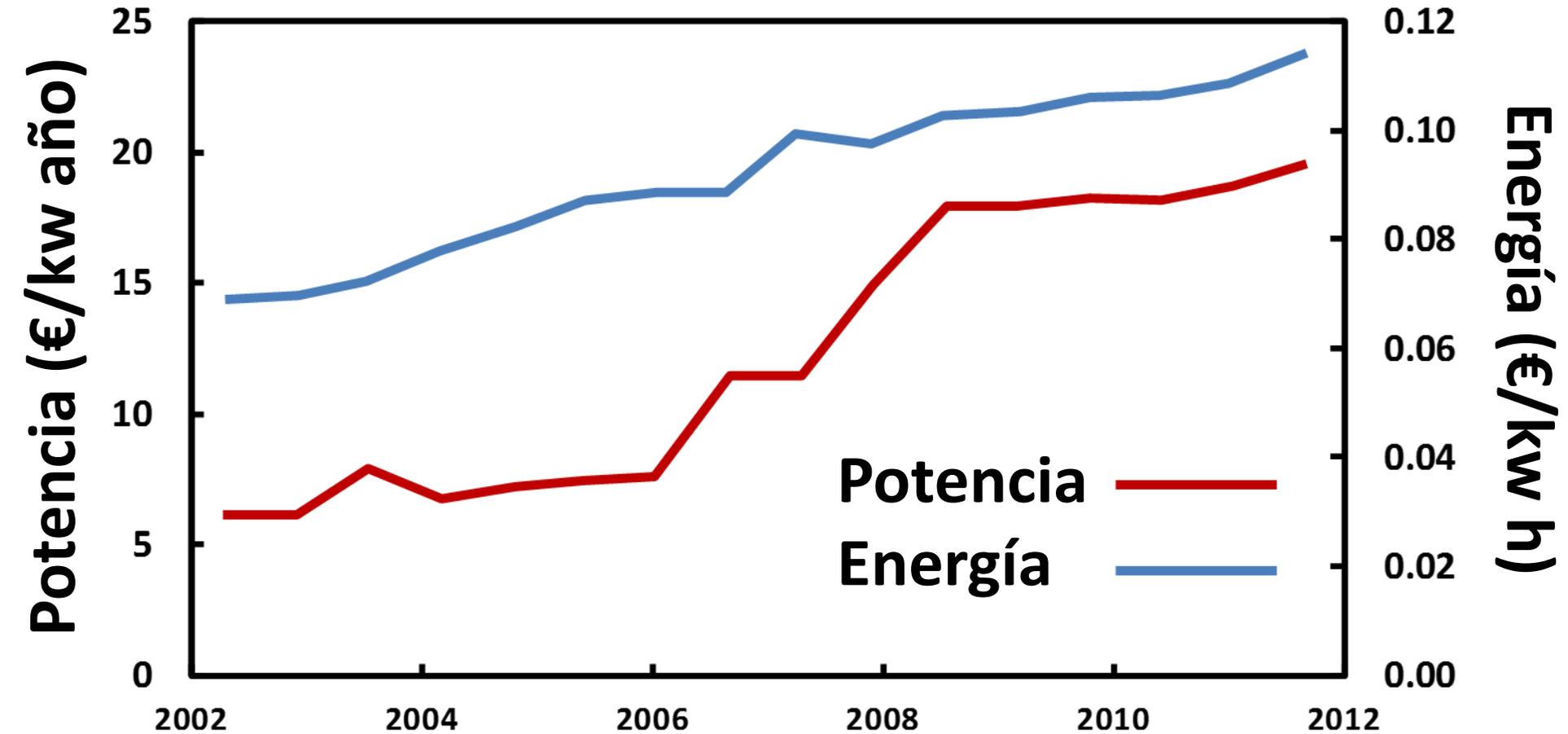
2009



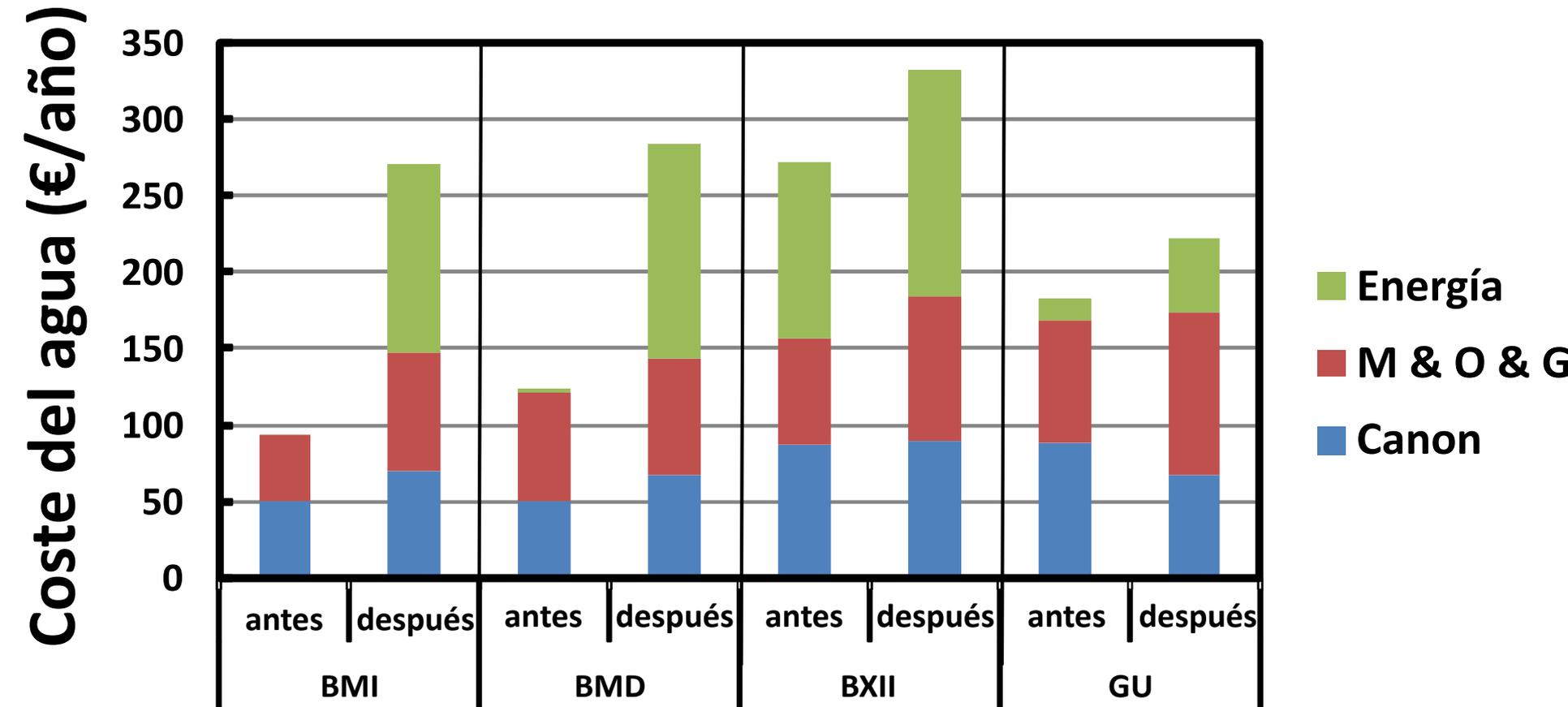
ET (mm)



Control de canales y modernización del regadío



Control de canales y modernización del regadío



Control de canales y modernización del regadío



La mayor planta solar para autoconsumo del regadío español

► La Comunidad del Valle Inferior invertirá más de seis millones de euros en este proyecto

INMA LÓPERA
SEVILLA

La Comunidad de Regantes del Valle Inferior del Guadalquivir contará con la mayor planta solar de todo el regadío español, que ocupará hasta 15 hectáreas de terreno, y con la que alcanzará prácticamente el autoabastecimiento energético total.

Durante este mes de octubre la Comunidad resolverá la adjudicación del contrato de obras, con idea de que el proyecto comience a ejecutarse en el mes de noviembre y que la planta esté en pleno funcionamiento «para la próxima campaña de riego, ya que el plazo estimado de duración de las obras es de seis meses», declara el director de la Comunidad de Regantes, Antonio Morales.

El gran objetivo del proyecto es el de «producir energía para el autoconsumo de las estaciones de bombeo de la Comunidad de Regantes», señalan desde la entidad, con el consiguiente impacto positivo ambiental y económico. Será una planta conectada a la Red y permitirá a la Comunidad «dar la misma presión para el riego durante el día y la noche, las veinticuatro horas del día, sin incrementar los costes eléctri-

cos del actual servicio». Se espera que su capacidad de producción alcance los 12.711 Mw/h anuales, equivalente al consumo total de la Comunidad.

Algo más de la mitad de la energía que se produzca se utilizará directamente para autoconsumo, lógicamente en verano, y el resto, durante el invierno, se verterá a la red.

De momento, al no ser posible aún en España el balance neto de energía, la Comunidad de Regantes se verá obligada a vender esa energía excedentaria y, consecuentemente, a seguir comprando la necesaria para las noches; pero con la ejecución de esta planta, «nos encontraremos en una situación inmejorable para acceder a ese balance neto de manera completa cuando, en algún momento, el tan anunciado cambio regulatorio sea por fin una realidad», sentencia Antonio Morales.

En cualquier caso, a largo plazo y una vez superado el período de amortización, la capacidad de producción de la planta supondrá energía «gratis» para toda la zona regable.

Junto a la mejora del servicio y la contención de los costes eléctricos, la instalación de esta planta significará «evidentes beneficios ambientales para la

zona regable y su entorno». De hecho, su capacidad de producción de energías limpias será el equivalente al consumo de más de 5.687 hogares españoles y evitará la emisión a la atmósfera de 4,7 millones de kilos de CO₂ anuales. Esta reducción de la huella de carbono de los cultivos de la zona «debe traducirse a su vez en una distinción de sostenibilidad para los agricultores de la Comunidad, y puede favorecer su competitividad en el mercado», subraya Morales.

Otro gran proyecto

Se trata del segundo proyecto emblemático que la Comunidad del Valle In-

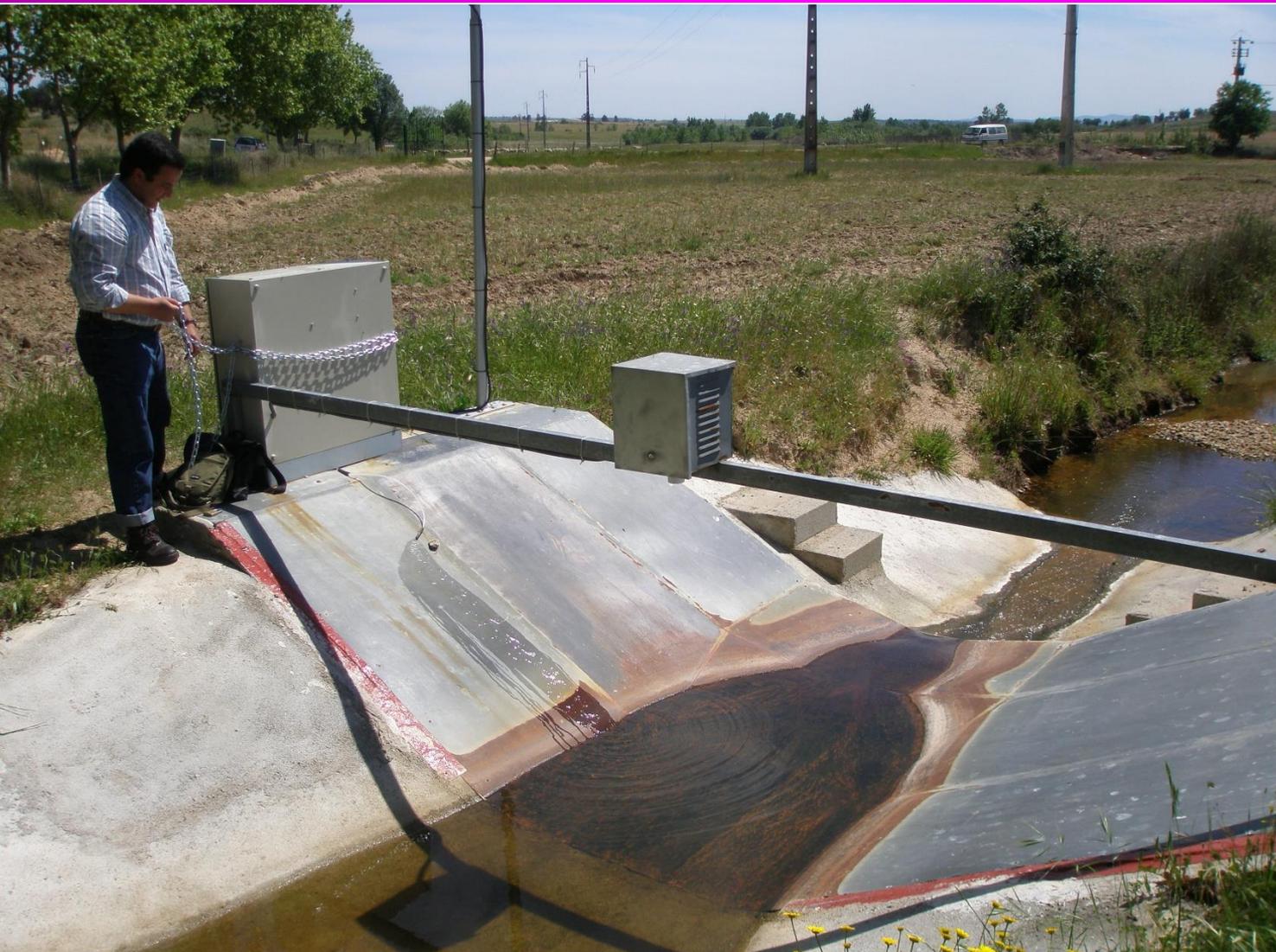
ferior acomete en este siglo tras el gran proyecto de modernización de su zona regable culminado en 2010, y en cierta forma se trata de su «corolario y continuación lógica», explica el presidente de la Comunidad, Borja Roca de Tógors. «La modernización de la zona regable ha permitido un ahorro real medio en el consumo de agua de entre el 25-30%, pero se ha traducido también, lógicamente, en un incremento de la dependencia energética en un contexto de fuerte subida de las tarifas eléctricas. La planta responde precisamente a la necesidad de aliviar esa dependencia energética y reducir los costes eléctricos, o en nuestro caso, mantenerlos pero con una mejora significativa del servicio», asevera el presidente de los regantes.

La Comunidad del Valle Inferior del Guadalquivir contará con la financiación de Caja Rural del Sur para la realización de este proyecto.

La Comunidad del Valle Inferior agrupa a unos 2.000 regantes en una superficie de 18.945 hectáreas en 11 municipios

Planta fotovoltaica para el riego

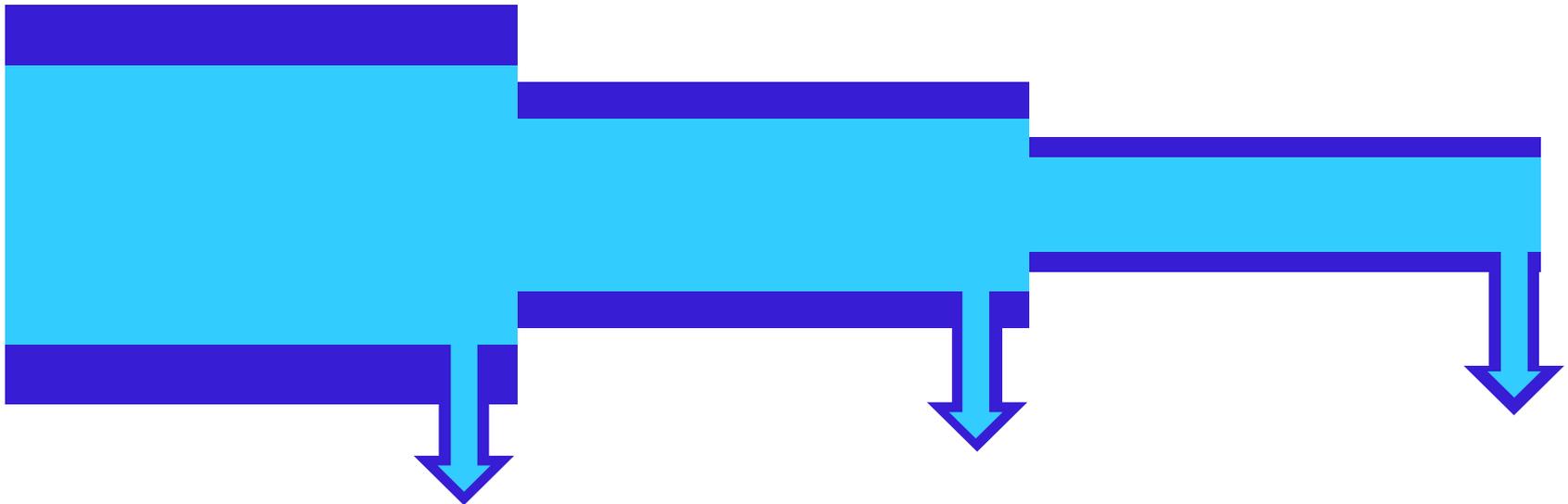
Control de canales y modernización del regadío



Control de canales y modernización del regadío

Cálculo de la capacidad según el tipo de distribución

- **Flujo continuo o rotación:** necesidades de agua de los cultivos en el período de máxima demanda
- **Demanda, concertado:** la probabilidad de peticiones o demandas de agua simultánea aumenta, luego la capacidad debe incrementarse



Control de canales y modernización del regadío

Capacidad relativa del canal: $Q_n = \frac{Q}{Q_t}$

Caudal ficticio continuo de una toma: Q_t

Caudal en el canal: Q

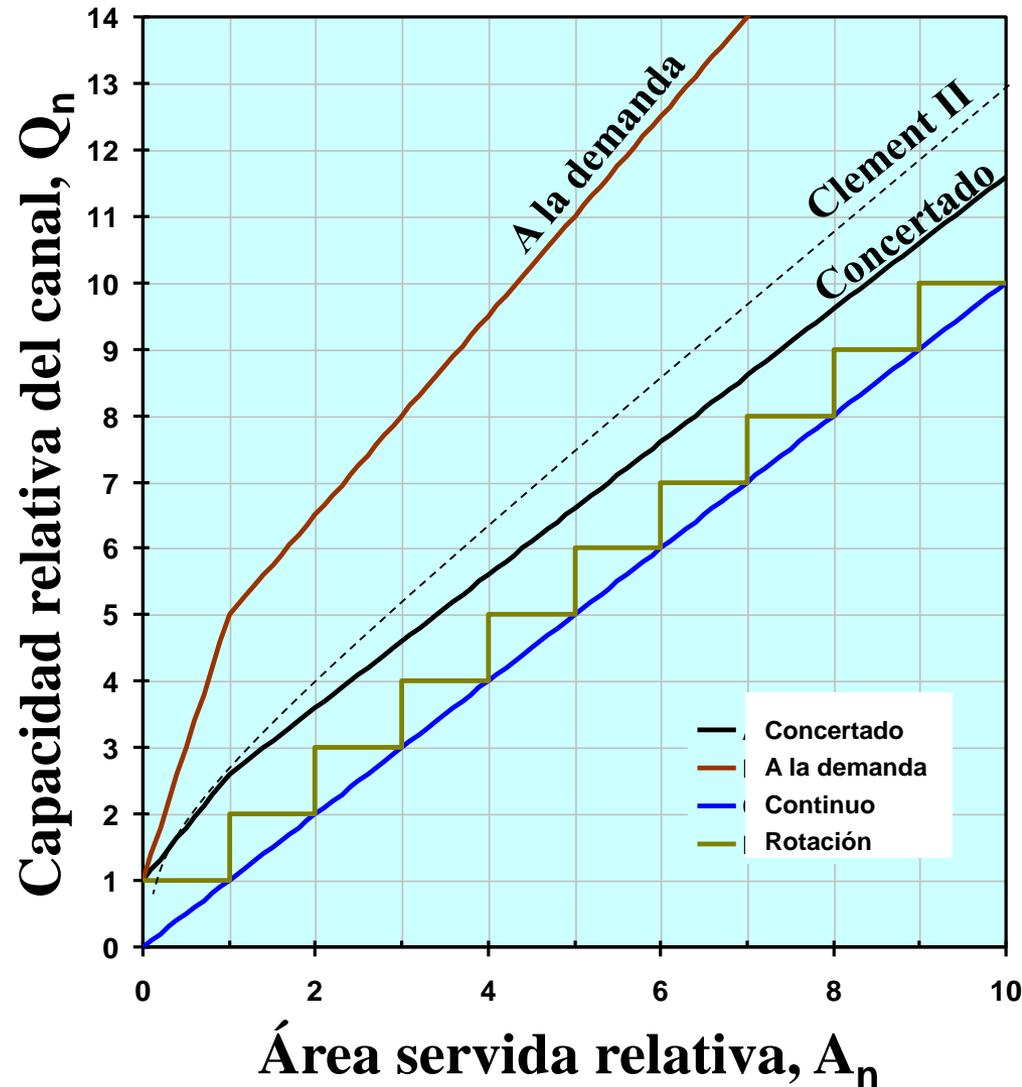
Área servida relativa: $A_n = \frac{A}{A_t}$

Área que puede regarse con Q_t : A_t

Área que puede regarse con Q : A

Calidad de la operación: 90%

From Clemmens (1986). JIDE, ASCE



¡Gracias!



Jornada Técnica sobre la Gestión Automatizada de Canales en las Comunidades de Regantes

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación

**Hidráulica de los canales y de sus estructuras de control.
Conceptos de operación y control de canales**

Gilles Belaud

Supagro, Montpellier, Francia

Luciano Mateos

Instituto de Agricultura Sostenible, CSIC, Córdoba

Infraestructuras

Sistemas tradicionales



Poco almacenamiento
Pocas estructuras
Eficiencia de distribución baja



Sistemas modernizados



Poco almacenamiento
Estructuras y medidas
Eficiencia de distribución media



Sistemas reciente « a la demanda »

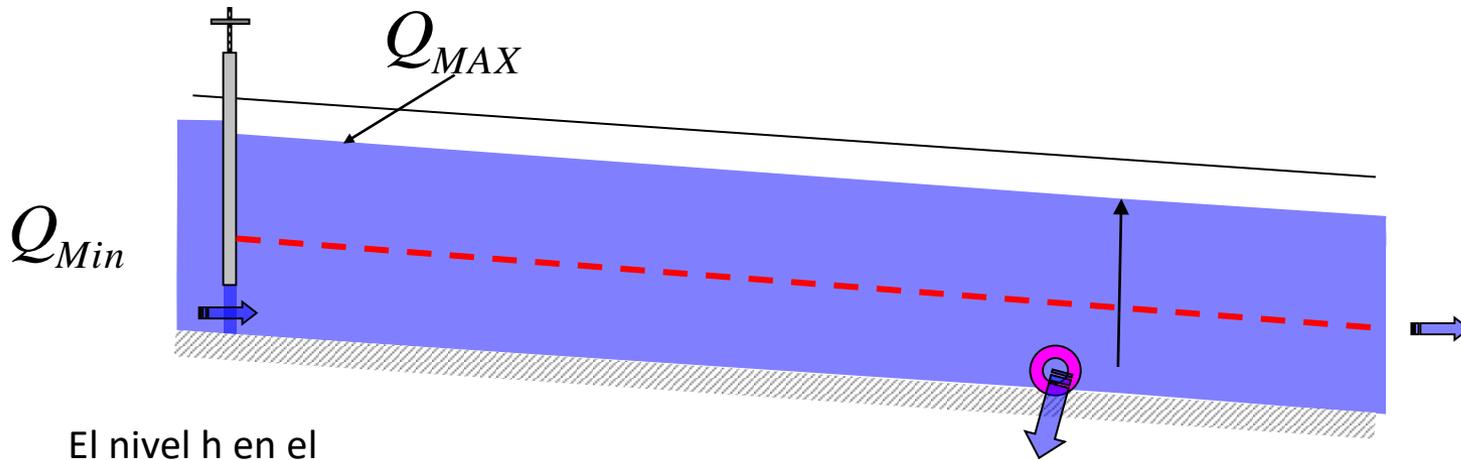


Almacenamiento suficiente
Estructuras y medidas
Eficiencia alta (→ 95%)



Hidraulica de los canales

Relaciones entre caudal y nivel



El nivel h en el canal depende del caudal en el canal Q y de la rugosidad

El caudal de la toma depende de
- el nivel en el canal
- la sección de apertura de la toma

$$Q_{canal} = K S(h) R(h)^{2/3} \sqrt{I}$$

$$q_{toma} = a S_{toma} \sqrt{h - h_{toma}}$$

$$\rightarrow h = f(Q)$$

Estructuras de control

Compuertas



$$Q = C_c L_c W \sqrt{2g(h_1 - h_2)}$$

Vertederos



$$Q = C_v L_v \sqrt{2g(h_1 - h_v)^{1.5}}$$



asociación de los 2

Estructuras de control

Estructura fija de control de nivel: el vertedero largo (« pico de pato »)



L_v longitud $\rightarrow h_1 - h_v$ bajo
 h_1 cambia poco cuando Q varia

$$Q = C_v L_v \sqrt{2g} (h_1 - h_v)^{1.5}$$

Estructuras de control

**Vertedero con posición regulable.
Movimiento motorizado.**



Vertedero Rubicon©

Estructuras de control



Compuertas (1)

- Compuertas verticales:
Estructura más común en el mundo
- Compuertas radiales
Fabricación más compleja,
necesitan menos energía para su movimiento

Estructuras de control



Compuertas (2) Movimiento manual

- El tipo lo más común en el mundo
- Módulo de máscara : estructura calibrada para distribuir un caudal modulable con el número de placas levantadas (poco sensible con el nivel)



Estructuras de control

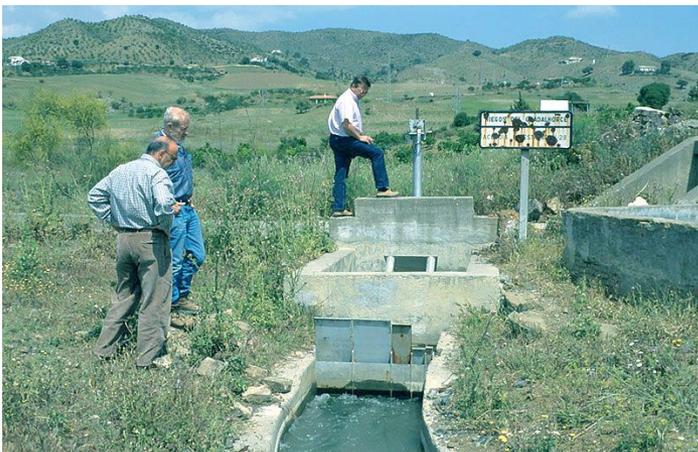
Compuertas (3) Movimiento hidrodinámico, control aguas abajo



- Compuerta AMIL: mantiene un nivel constante aguas arriba

Estructuras de control

Compuertas (4) Movimiento hidrodinámico, control aguas arriba



- Compuerta AVIS: mantiene un nivel constante
- Módulos de máscara: caudal garantizado a $\pm 5\%$

Estructuras de control

Compuertas (5) Movimiento motorizado



Motor electrico (a partir de la red o paneles solares)

Motores instalados en compuertas antiguas



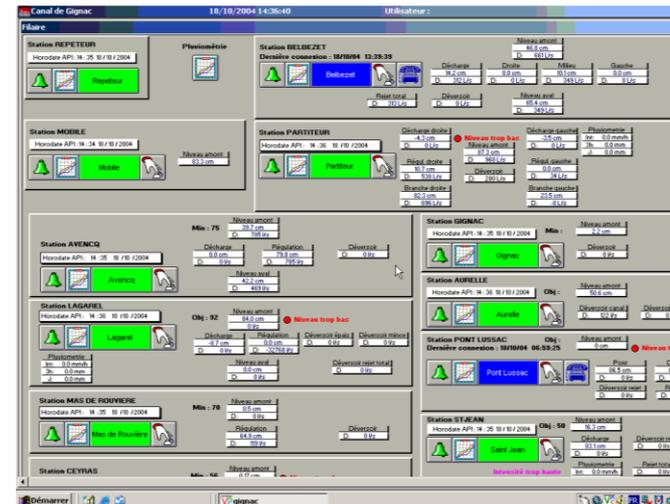
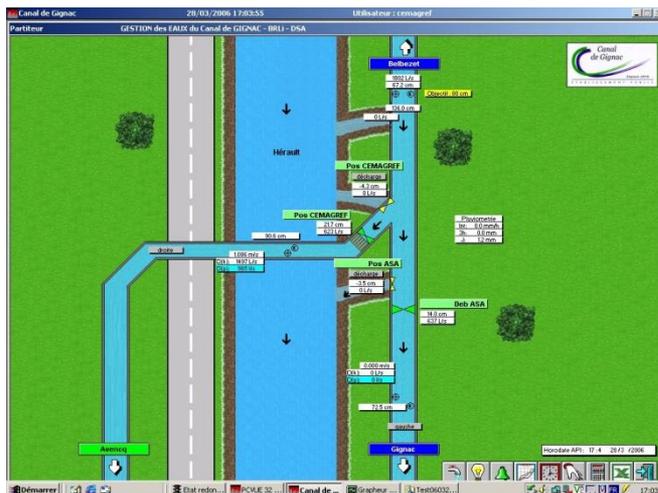
Supervision, control y adquisición de datos

- Sensores de nivel
- Medidas de caudal
 - » Velocidad superficie
 - » Curvas de ajuste Q (calado)
 - » Estructuras calibradas



Comunicacion (GSM, LoRa...)

SCADA



Supervision, control y adquisición de datos

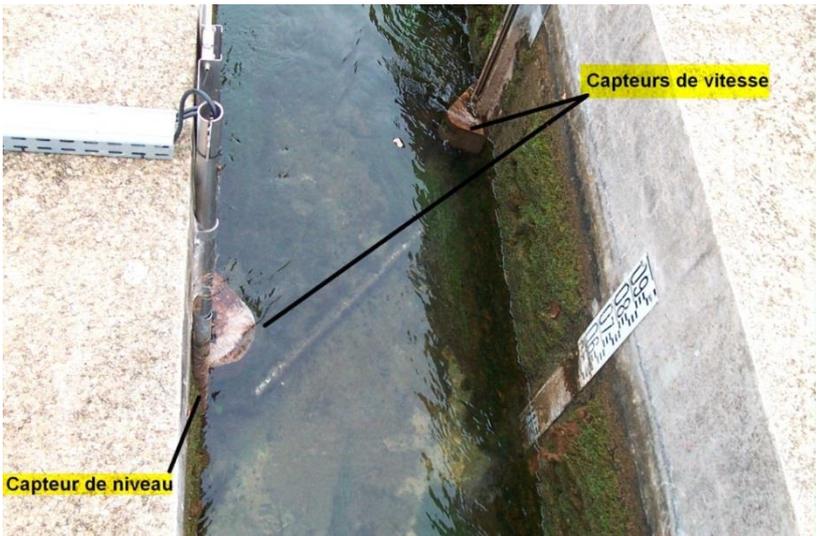
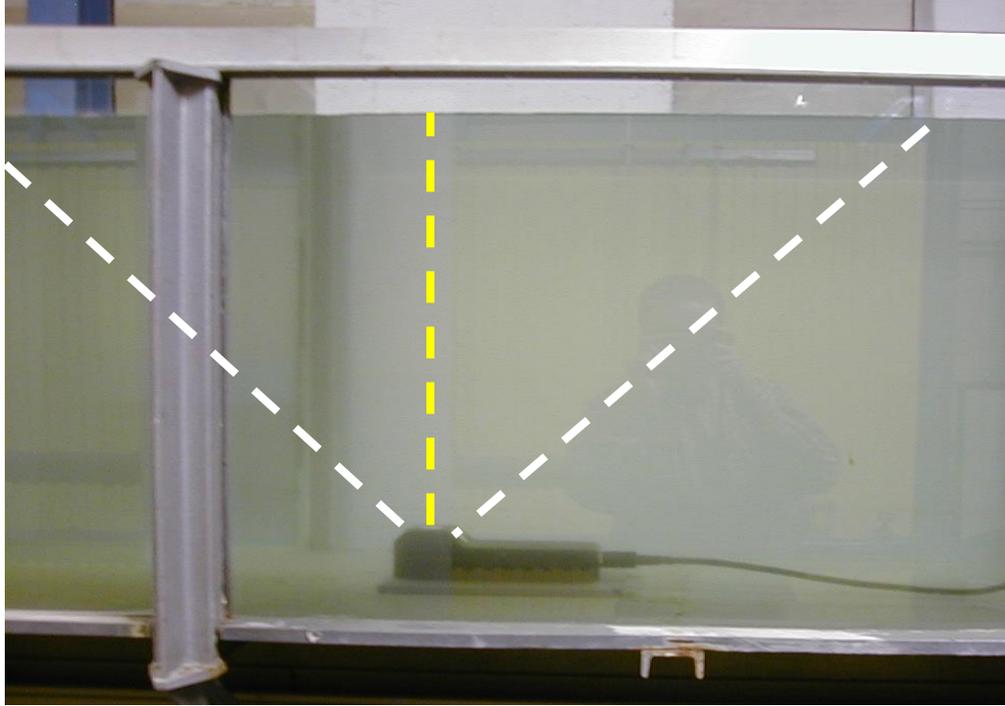


Sensores de nivel



- Sensor « radar »
- Sensor ultrasonido
- Sensor de presión

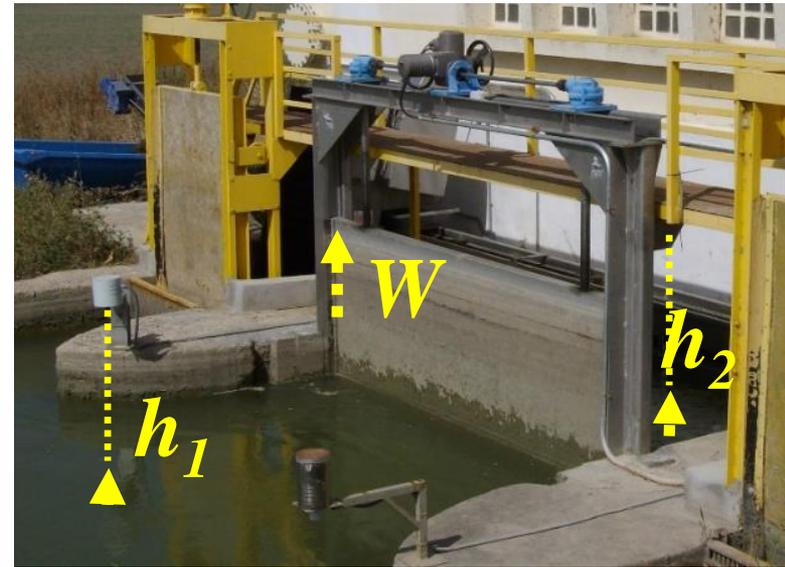
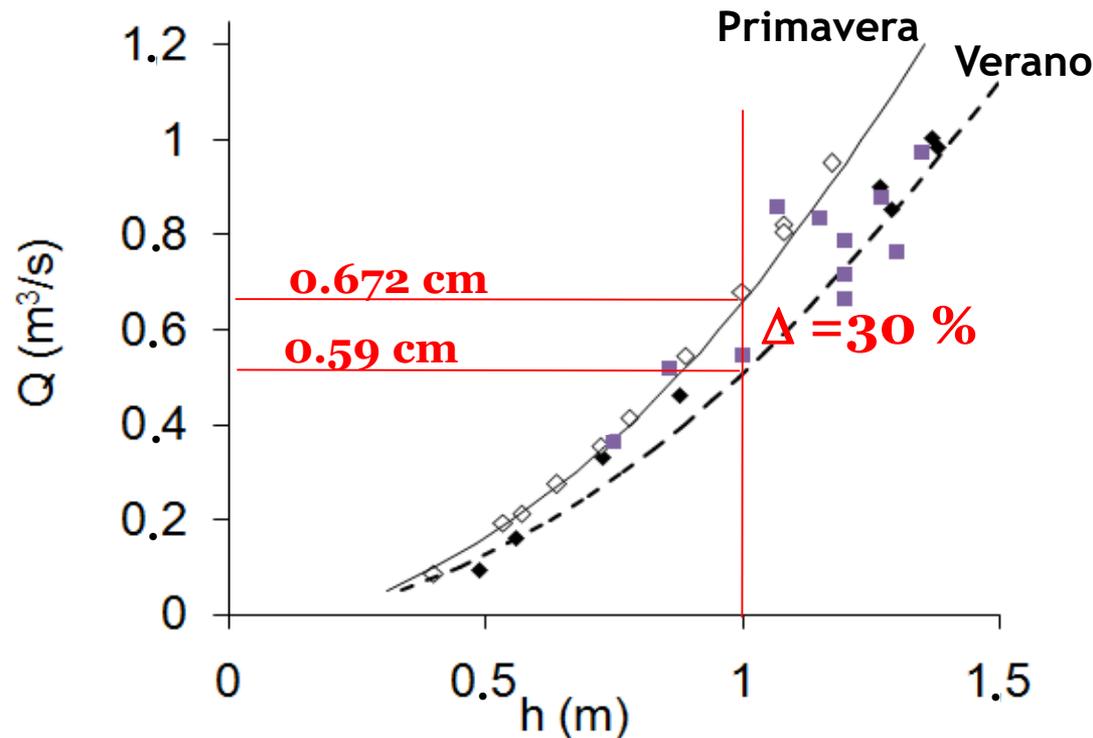
Tecnología acústica para la medida de la velocidad/caudal



Medida a partir del tiempo de propagación del sonido

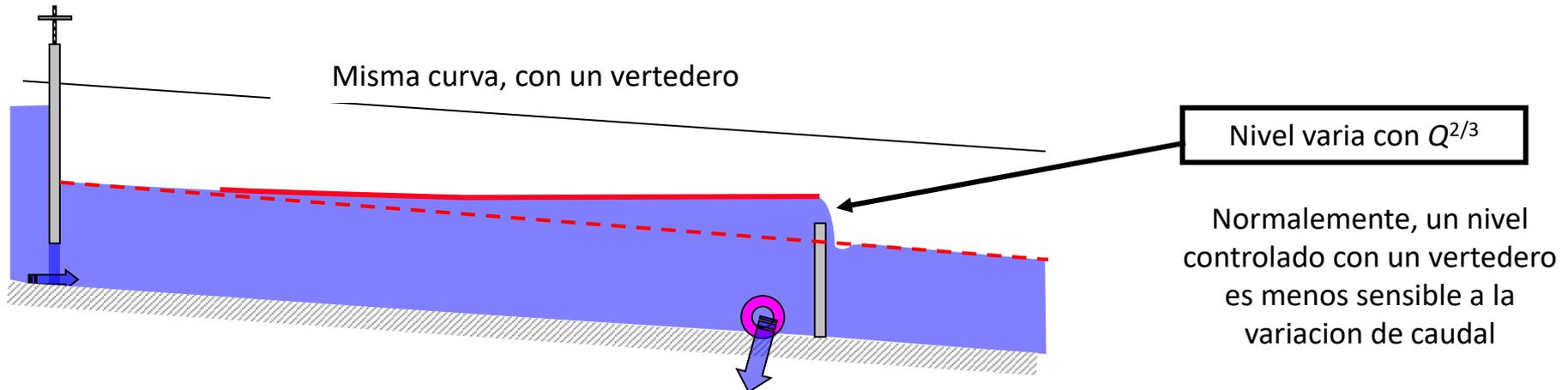
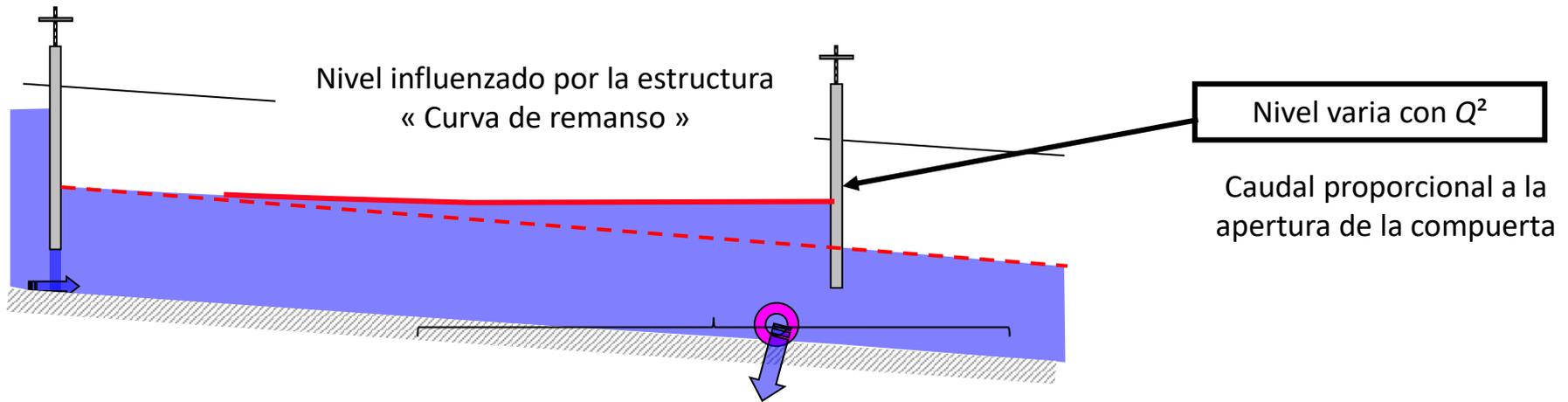
Supervision, control y adquisición de datos

Medida del caudal a partir de calados.
curva de ajuste, formulas de las estructuras



Hidraulica de los canales

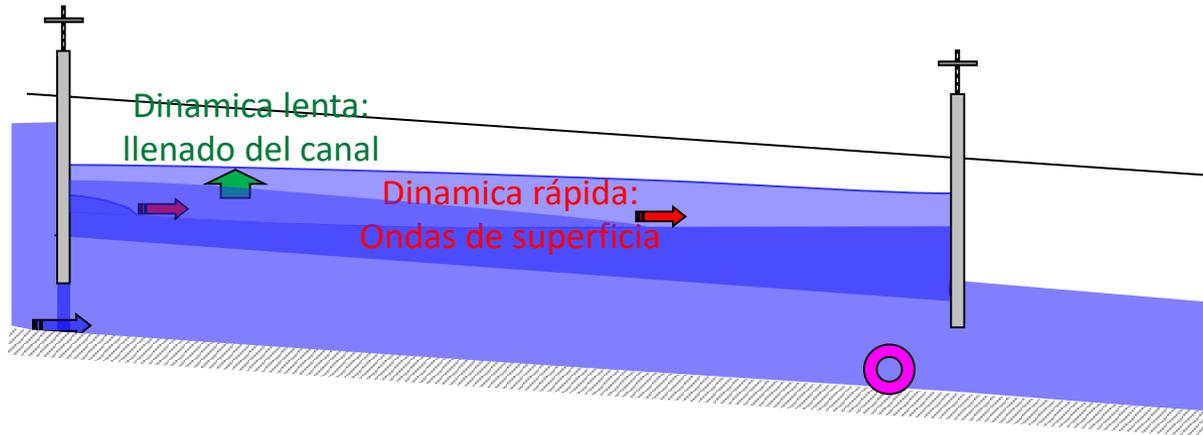
- Relaciones entre caudal y nivel: estructuras



Hidraulica de los canales

- Propagacion de las ondas

cambio de caudal

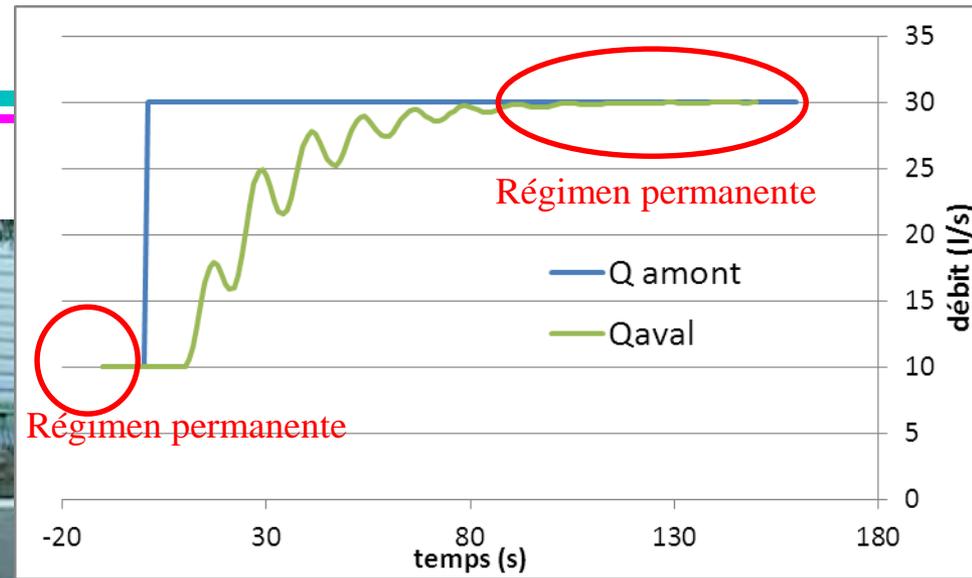


Dinamica rapida $T_r = \frac{L}{V + c}$ $c = \sqrt{g h}$

Dinamica lenta $T_l \approx \frac{\Delta \text{Volumen}}{\Delta Q}$

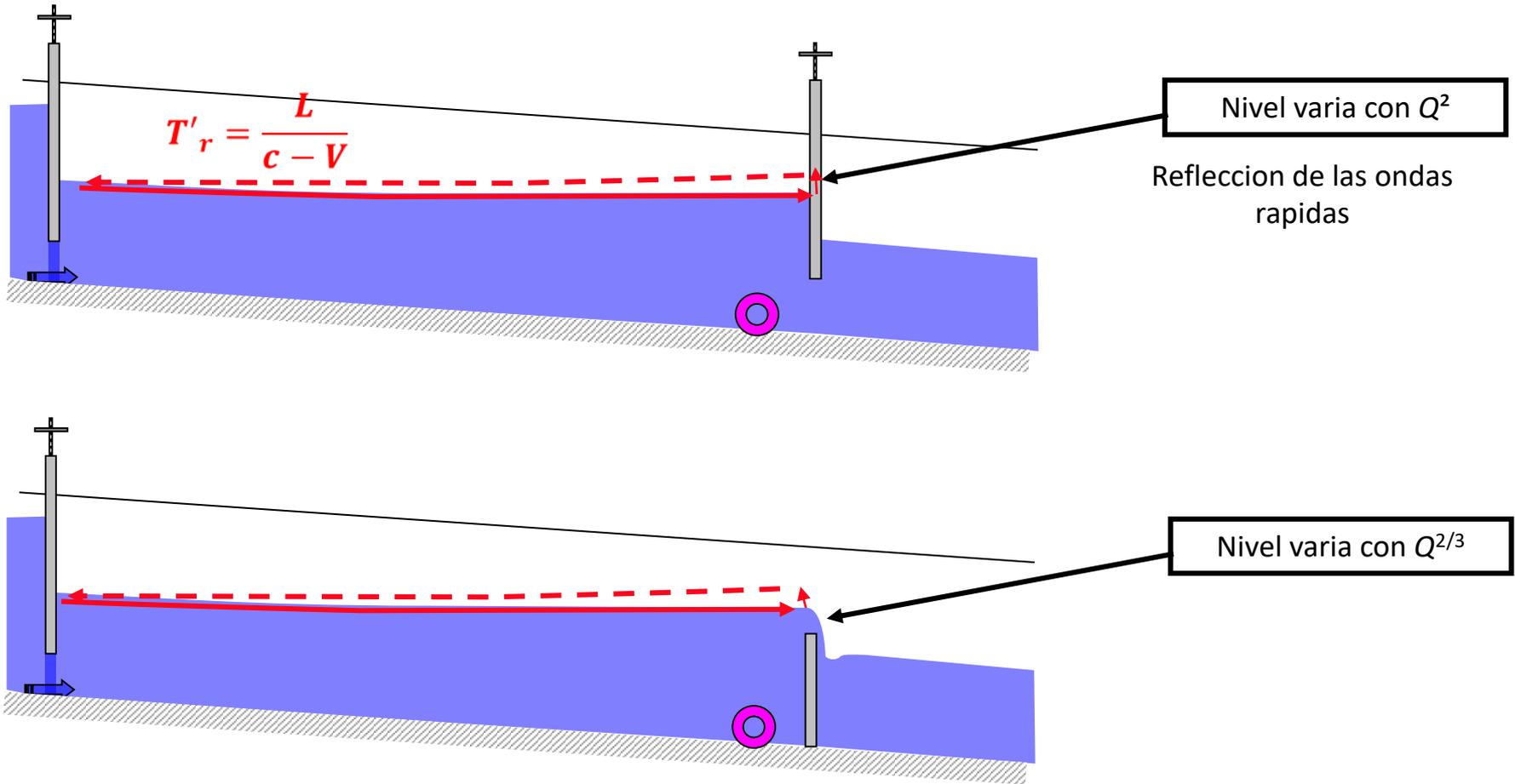
Hidraulica de los canales





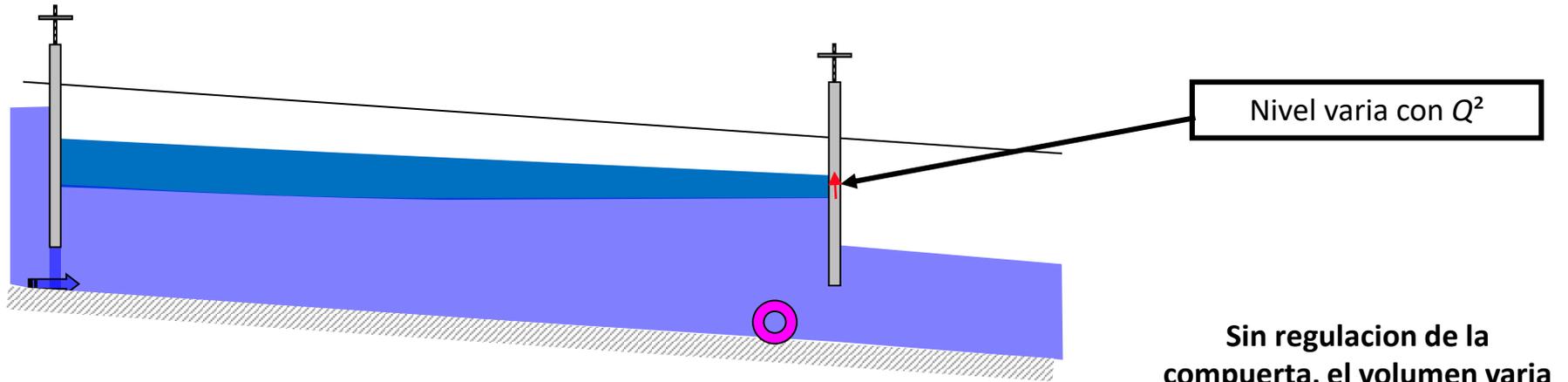
Hidraulica de los canales

- Influencia de la estructura sobre la propagacion

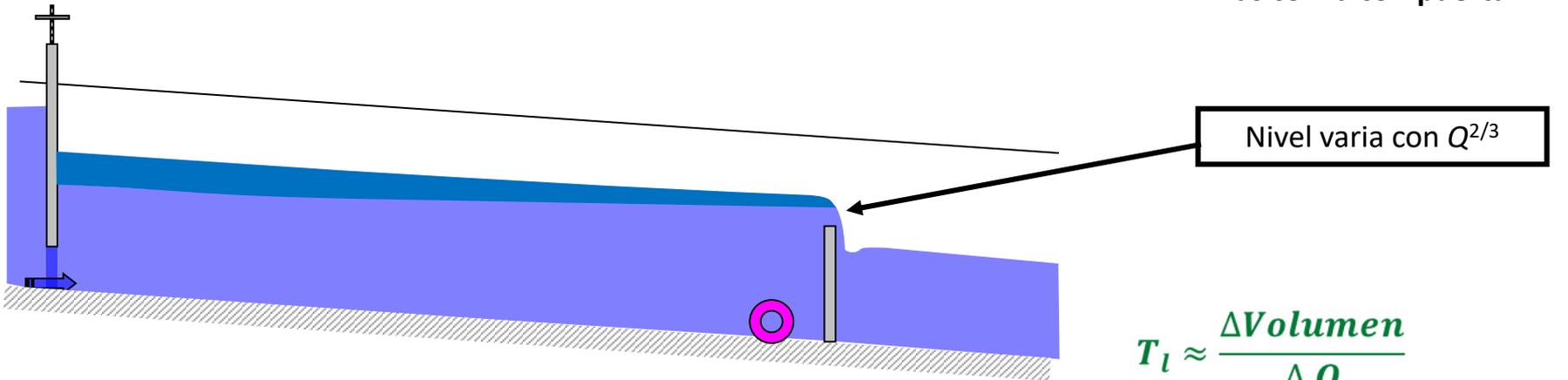


Hidraulica de los canales

- Influencia de la estructura sobre la propagacion



Sin regulacion de la compuerta, el volumen varia mas con la compuerta

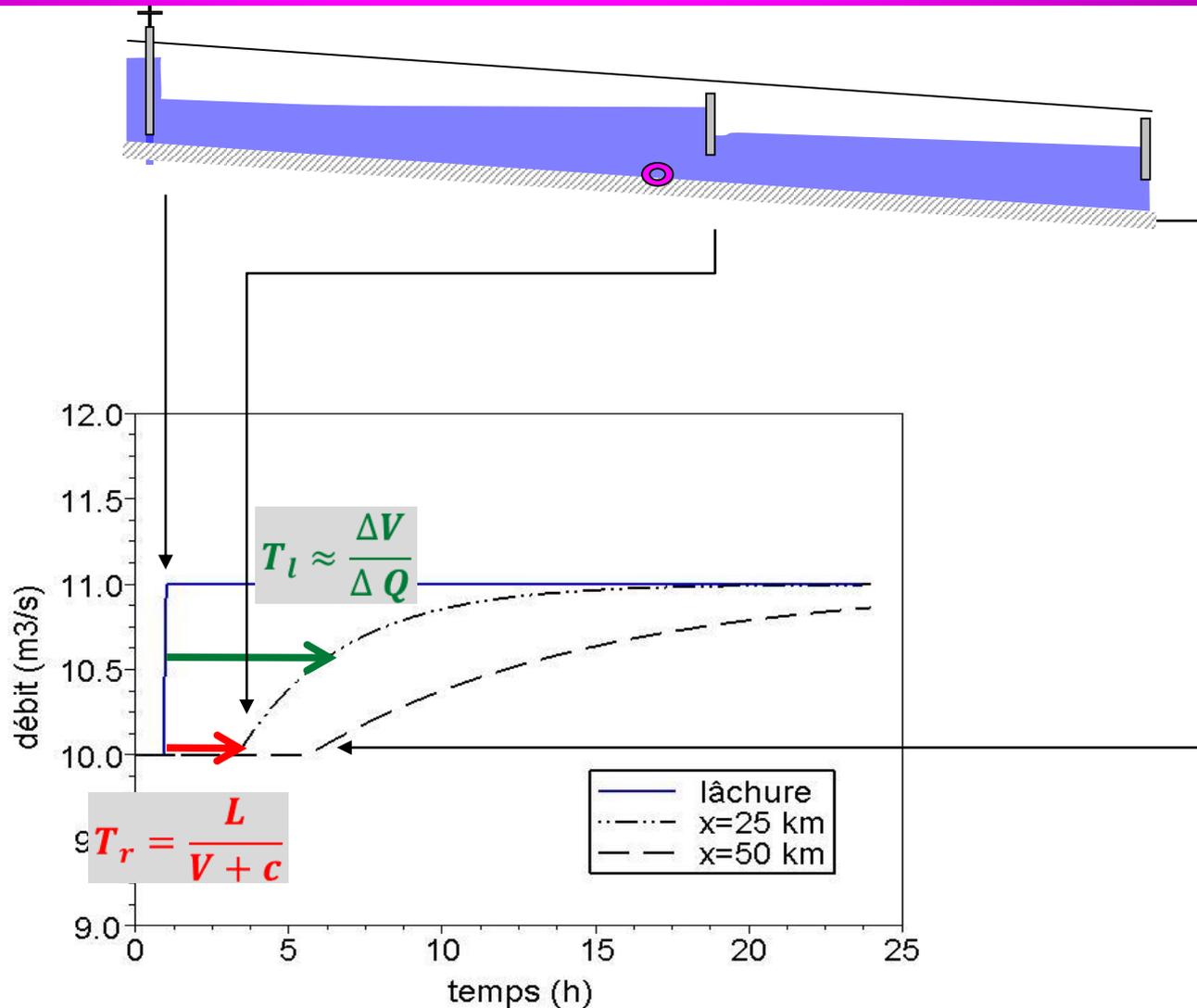


$$T_l \approx \frac{\Delta \text{Volumen}}{\Delta Q}$$

Mas corto

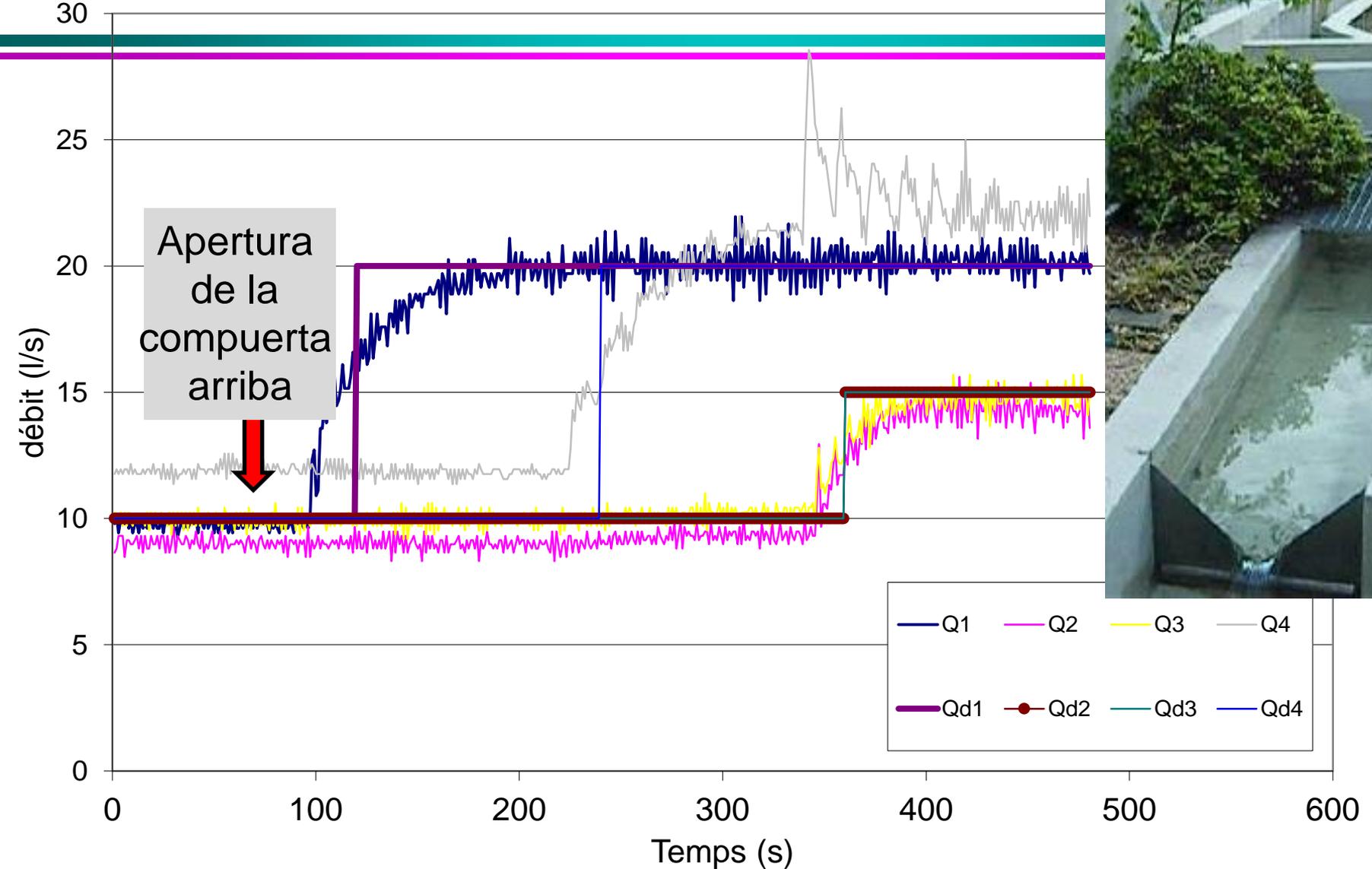
Hidraulica de los canales

- Respuesta del canal a un cambio de caudal



Ejemplo de una gestion « óptima »

- Canal experimental de Montpellier SupAgro



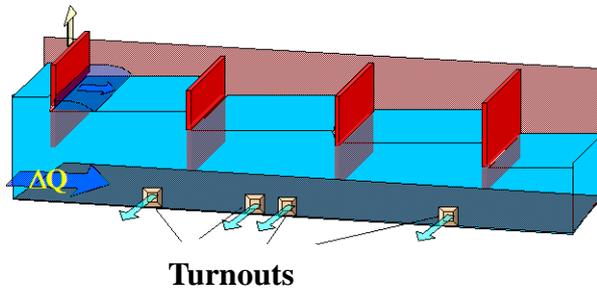
Conceptos de operación y control de canales

- El control depende de varios criterios:
 - » Control manual/automático
 - » Control local/control a distancia
 - » Control aguas arriba/control aguas abajo
 - » Control con anticipación/con medidas en tiempo real
 - » Variables controladas (caudal, nivel/volumen, calidad de agua)
 - » Limitaciones de infraestructura

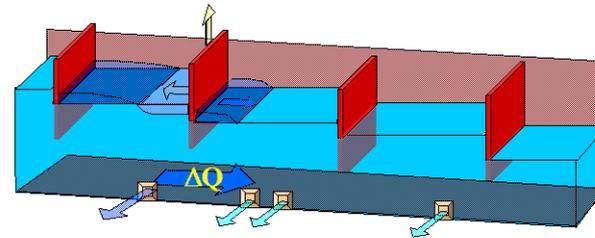
Conceptos de operación y control de canales

● Operación convencional de canales

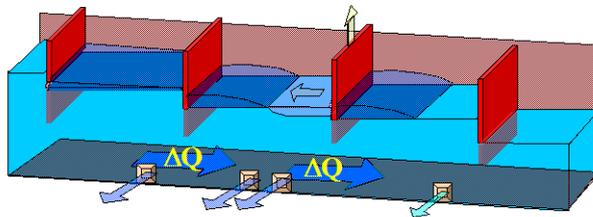
1. El caudal aumenta en cabecera



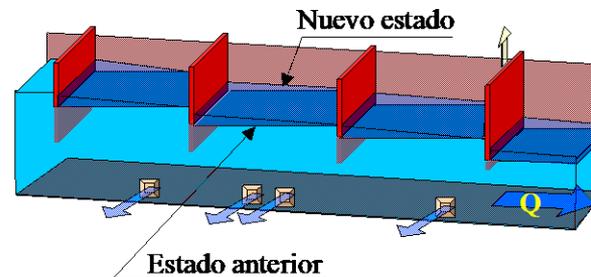
2. Se abre la compuerta junto a la 1ª toma



3. El caudal aumenta en las compuertas y tomas sucesivas



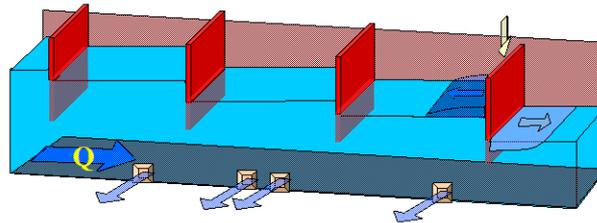
4. Nuevo régimen permanente



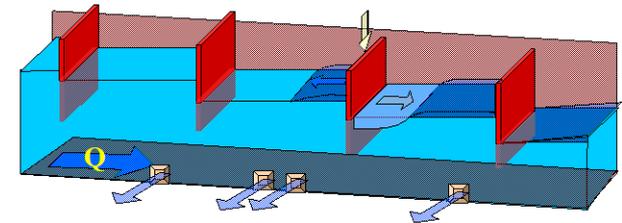
Conceptos de operación y control de canales

- **Operación convencional de canales: reajustes de cola a cabeza**

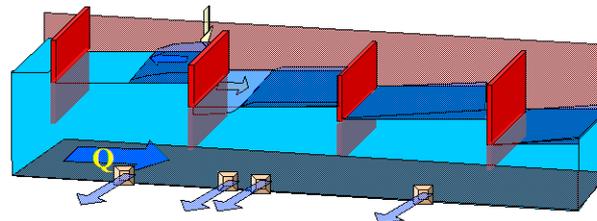
1. El flujo decrece aguas abajo



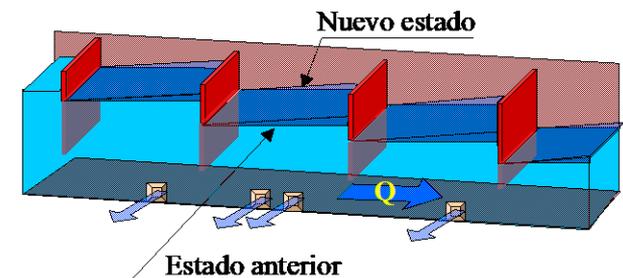
2. Reajuste de compuertas



3. Reajuste de compuertas y tomas sucesivas



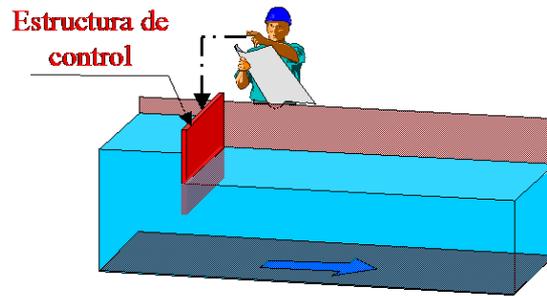
4. Nuevo régimen permanente



Conceptos de operación y control de canales

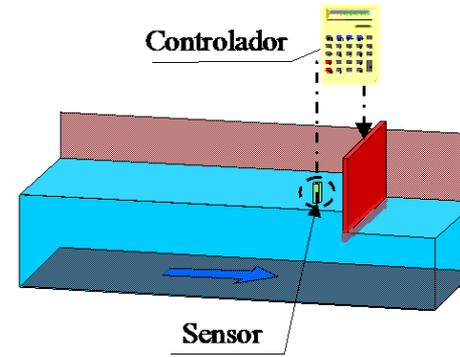
- **Clasificación de los métodos de control de canales**

Control manual local



Poca tecnología
Frecuencia de cambios
limitada

Control automático local

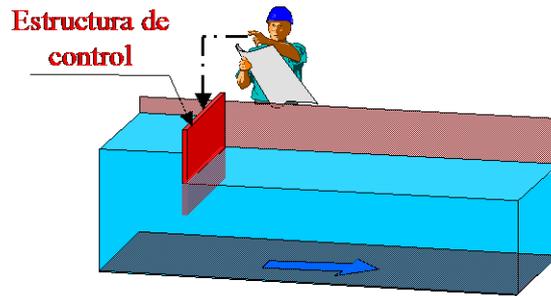


Frecuencia de cambios puede
ser alta

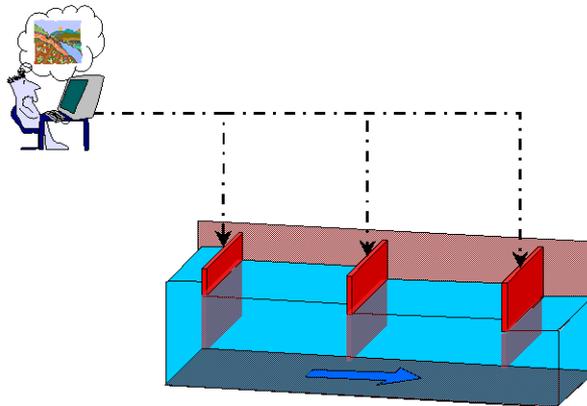
Conceptos de operación y control de canales

- **Clasificación de los métodos de control de canales**

Control manual local



Control centralizado

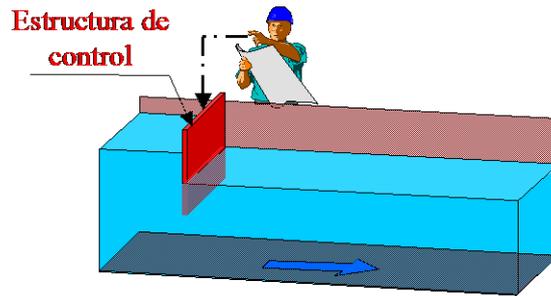


Mejor para considerar la
dinamica del canal y anticipar
los cambios

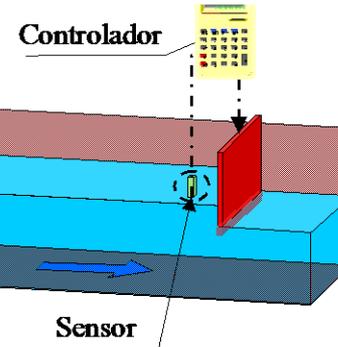
Conceptos de operación y control de canales

- **Clasificación de los métodos de control de canales**

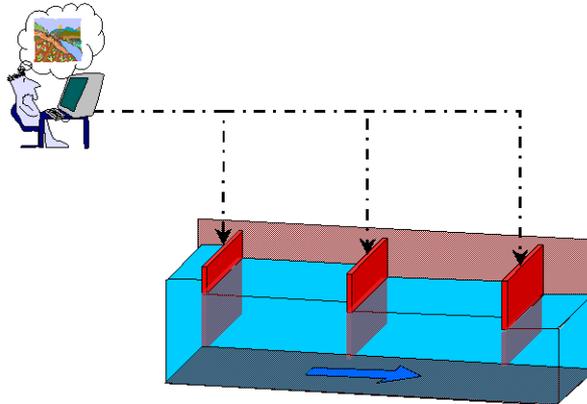
Control manual local



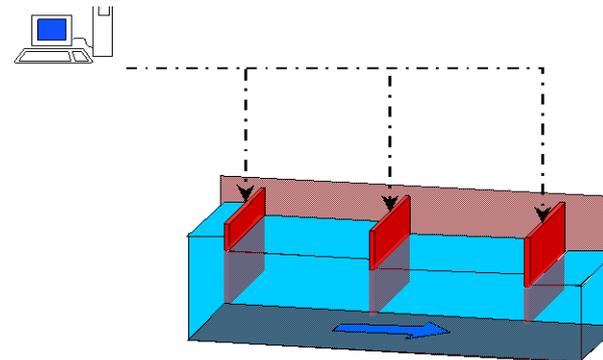
Control automático local



Control centralizado

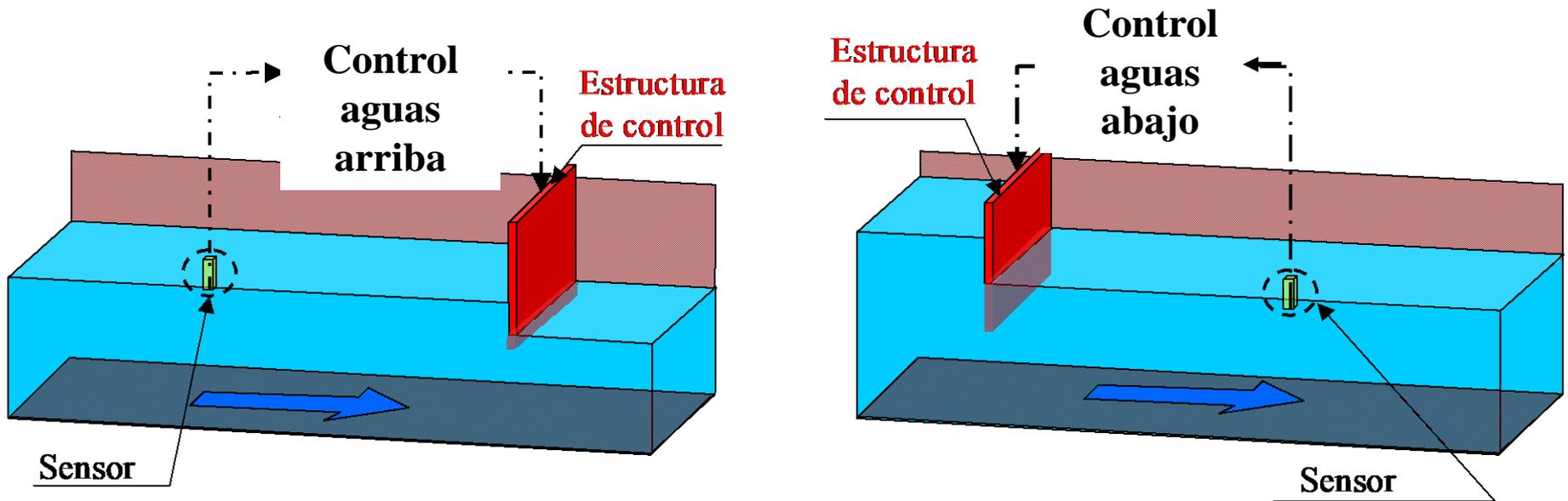


Control centralizado automatico



Conceptos de operación y control de canales

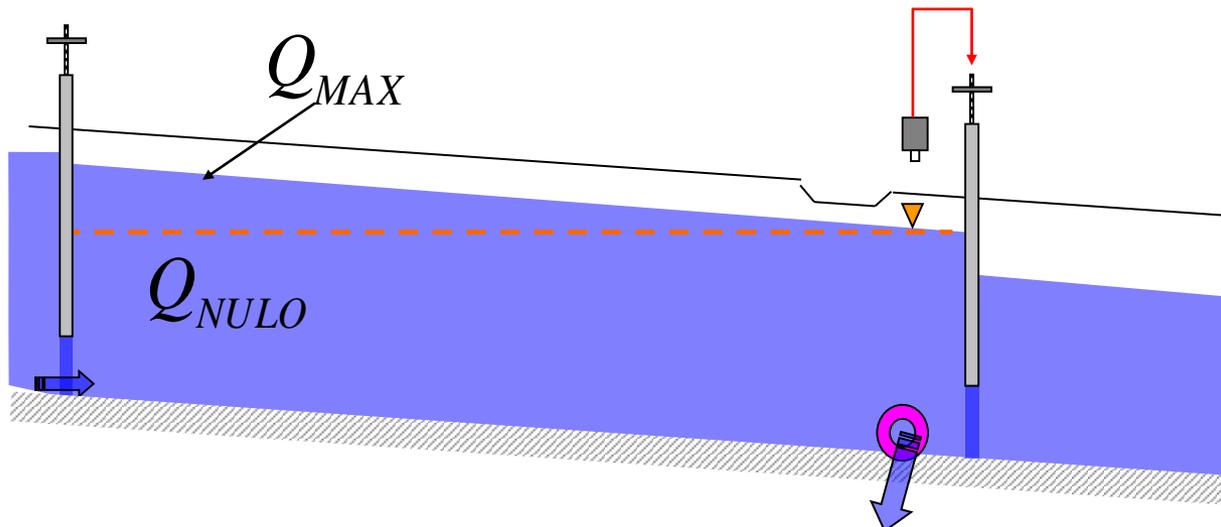
- **Conceptos de control**



Conceptos de operación y control de canales

Control local aguas arriba

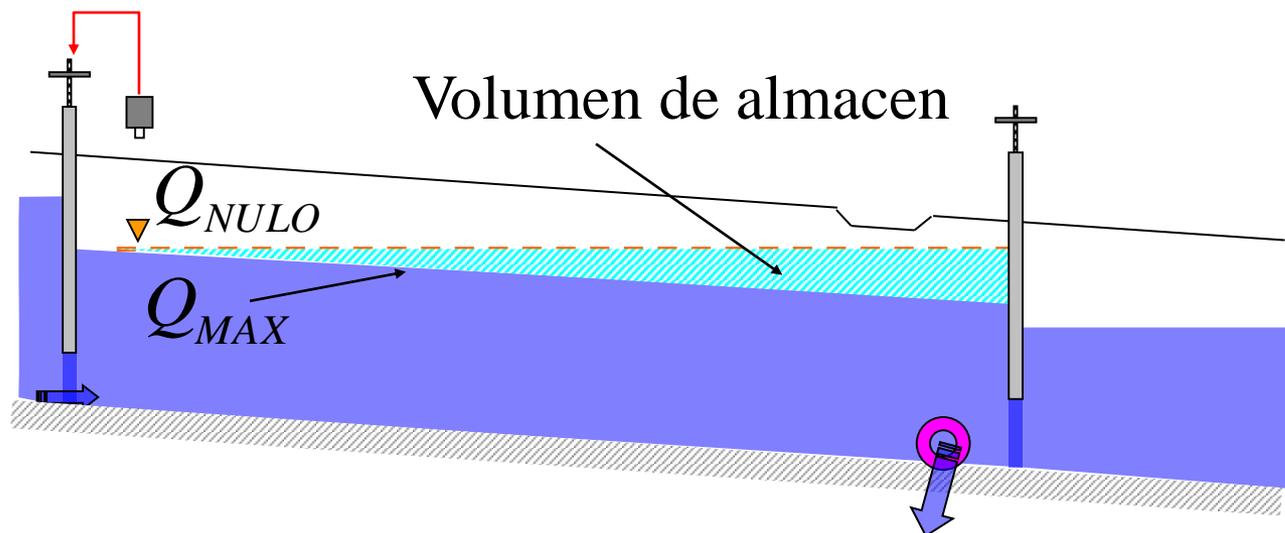
- Regido por el suministro
- Las pérdidas operacionales son inevitables
- Capacidad de transporte máxima



Conceptos de operación y control de canales

Control local aguas abajo

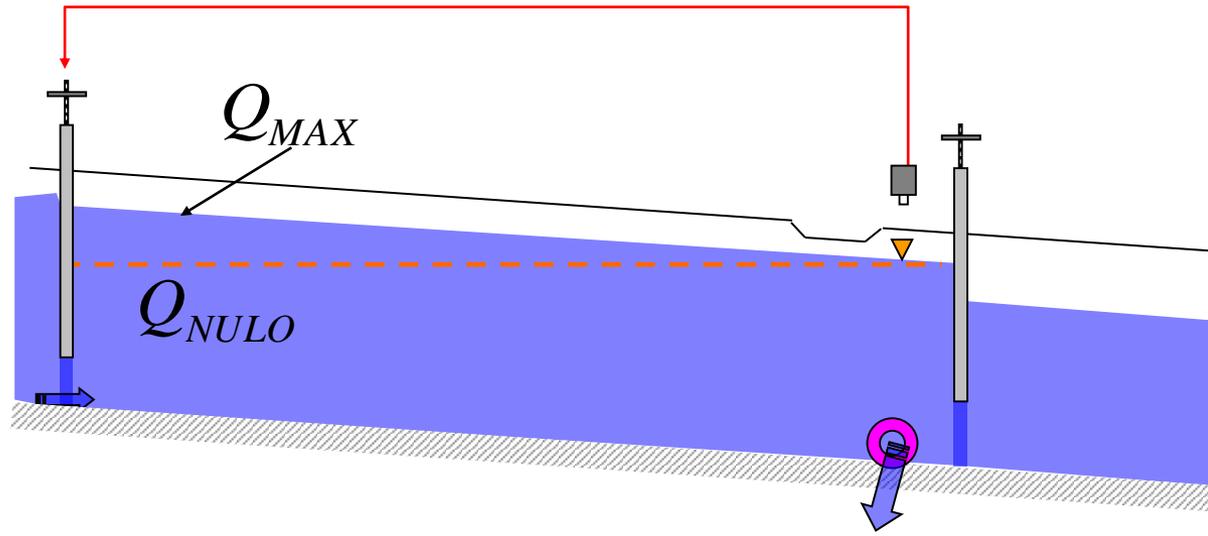
- Regido por la demanda
- No hay pérdidas operacionales
- La capacidad de transporte se reduce
- Tiempo de respuesta largo



Conceptos de operación y control de canales

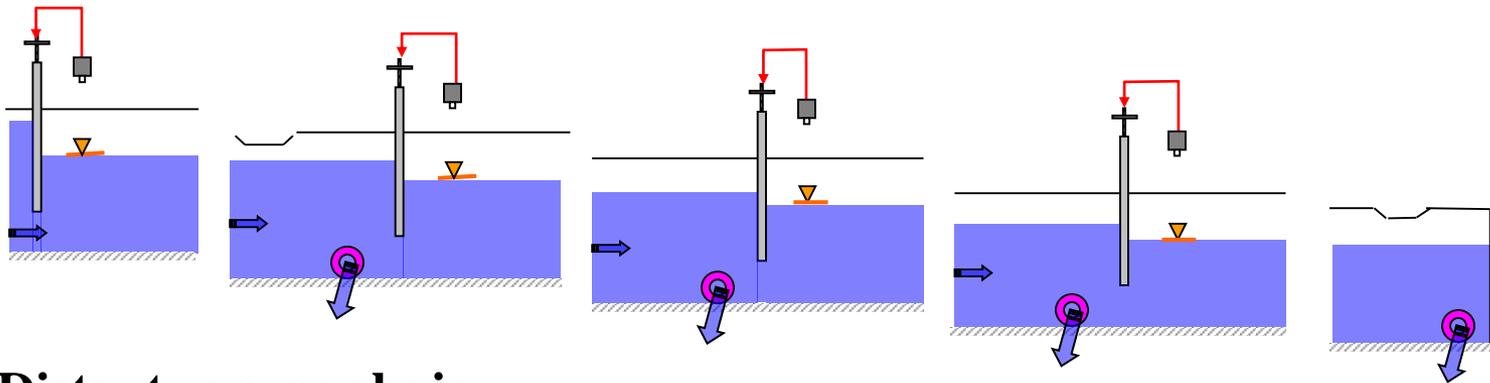
Control distante aguas abajo

- Regido por la demanda
- Puede haber algunas pérdidas operacionales
- Capacidad de transporte máxima
- Anticipa la respuesta

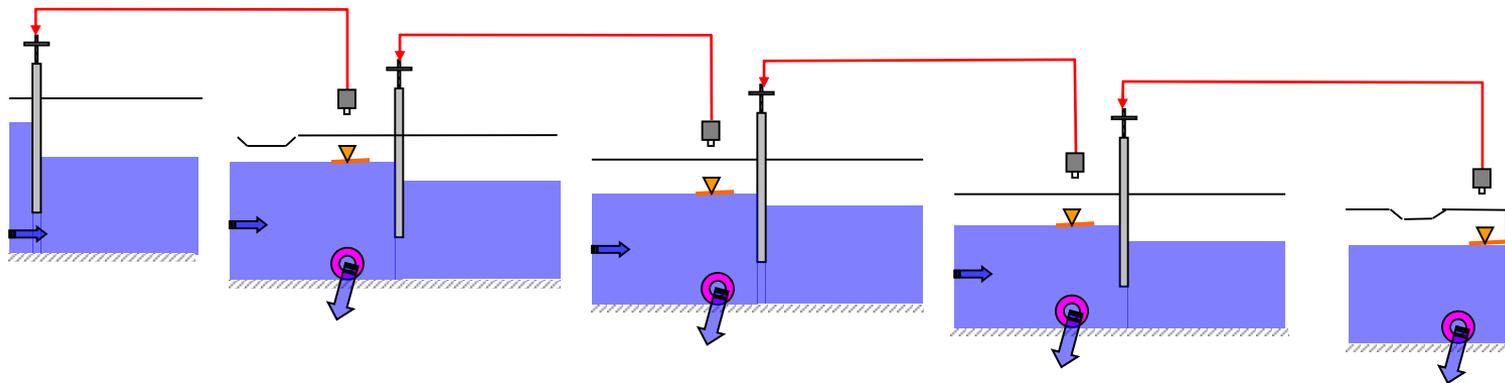


Conceptos de operación y control de canales

Local aguas abajo



Distante aguas abajo



Conceptos de operación y control de canales

- **Elementos de un sistema de control:**
 - » software
 - » hardware
 - » sensores
 - » equipo de comunicación
- **Tipos de sistemas de control:**
 - » estructuras autoregulables con algoritmos implícitos
 - » controladores automáticos con feedback (i.e., PI)
 - » control centralizado

¡Gracias!



***Jornada Técnica sobre la Gestión Automatizada de Canales en las
Comunidades de Regantes***

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación

Métodos y algoritmos de control

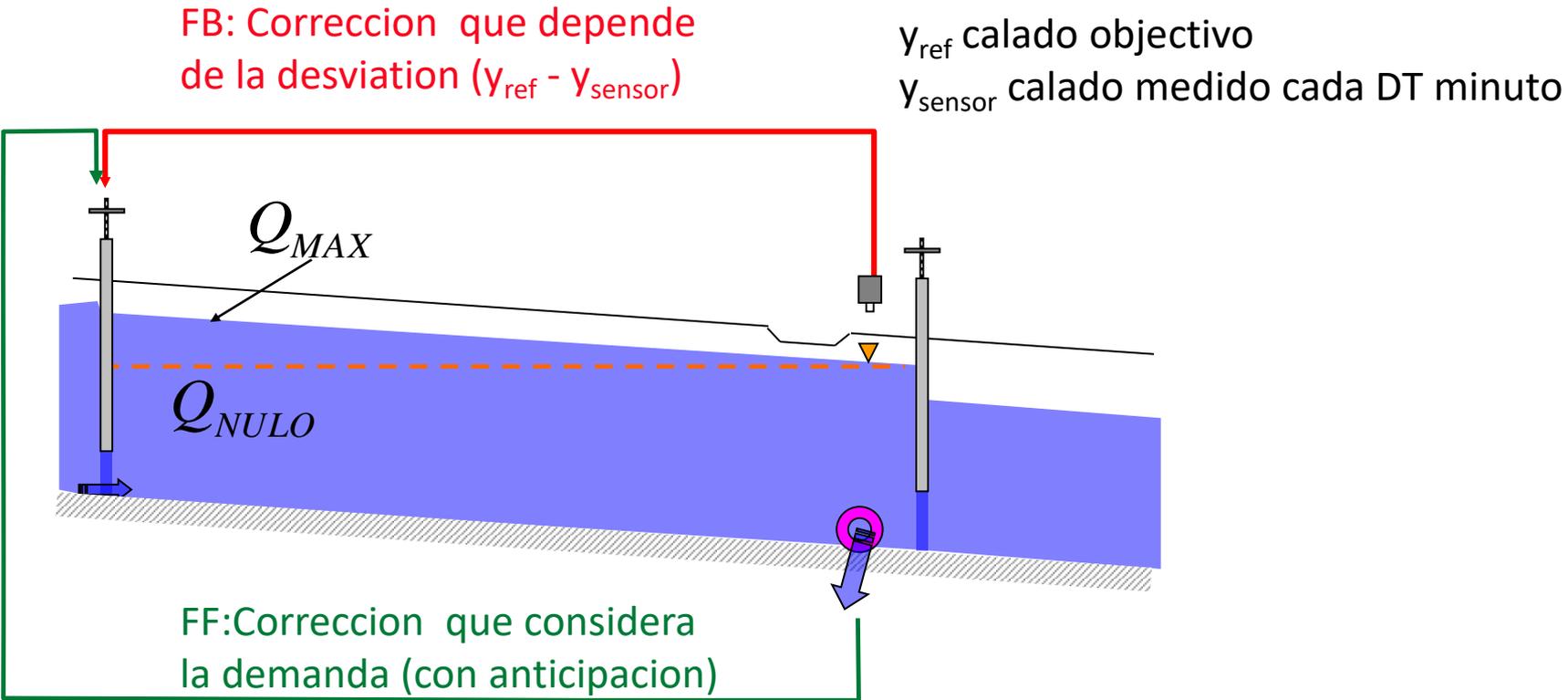
Gilles Belaud

Supagro, Montpellier, Francia

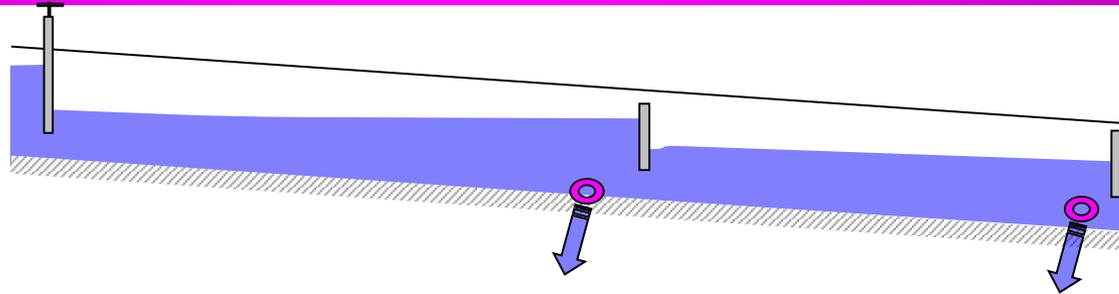
Luciano Mateos

Instituto de Agricultura Sostenible, CSIC, Córdoba

Control en lazo abierto (FF) / lazo cerrado (FB)



Control en lazo abierto (FF)

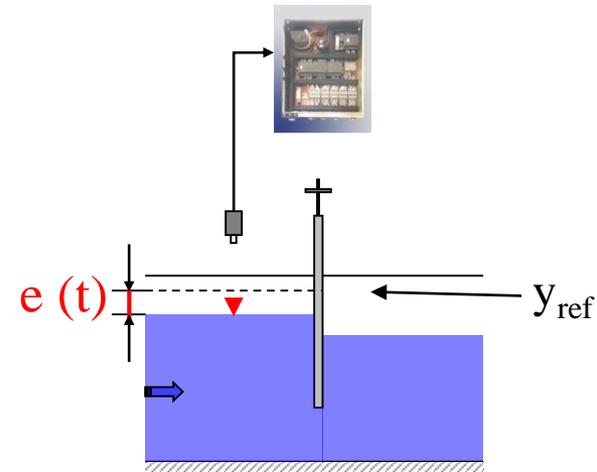


- Principios: conocer los tiempos de retraso en cada tramo
 - » Metodo: con el calculo $T_l = \Delta V / \Delta Q$, o con experiencia
 - » T_l puede depender del caudal inicial y del volumen: tabulo $T_l(Q)$ o $T_l(V)$
 - » Calcular los cambios necesarios a cada estructura, utilizando los tiempos T_l de cada tramo, empezando por abajo
 - » Identificacion de los tiempos de propagacion
 - Hacer un cambio arriba, medir el cambio abajo, determinacion grafica
 - Inversion del modelo: $q_d^{(r)}(t) = (1 - e^{-(t-\tau)/K})\delta Q_u \rightarrow K, \tau \rightarrow T_l = K + \tau$

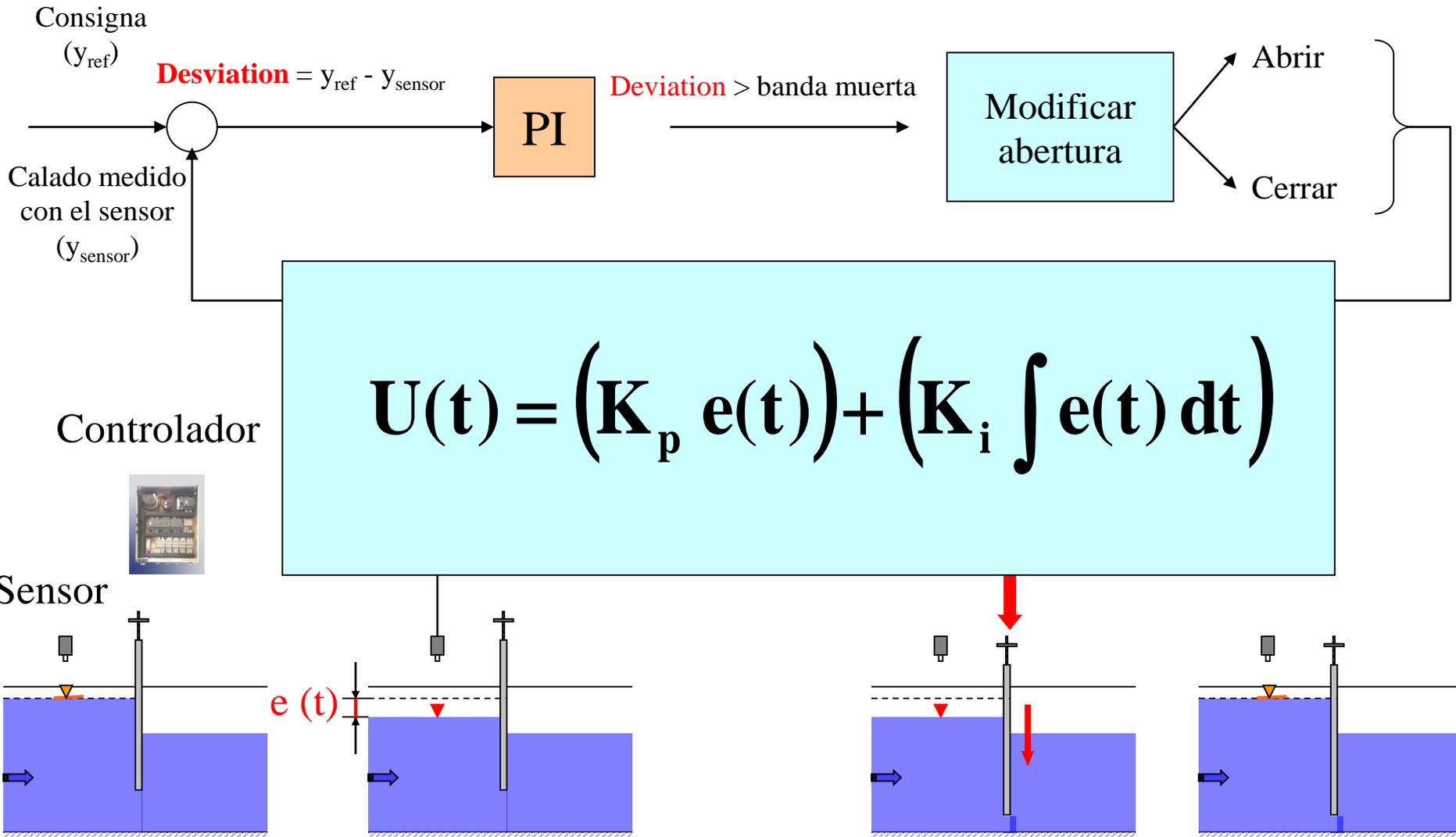
Control en lazo cerrado (FB)

- La corrección debe depender del error de medida (desviación)
- Si la corrección es demasiado fuerte, el canal puede oscilar
- Si el control es distante, y un retraso T_r , antes de que haya cambio después del cambio distante

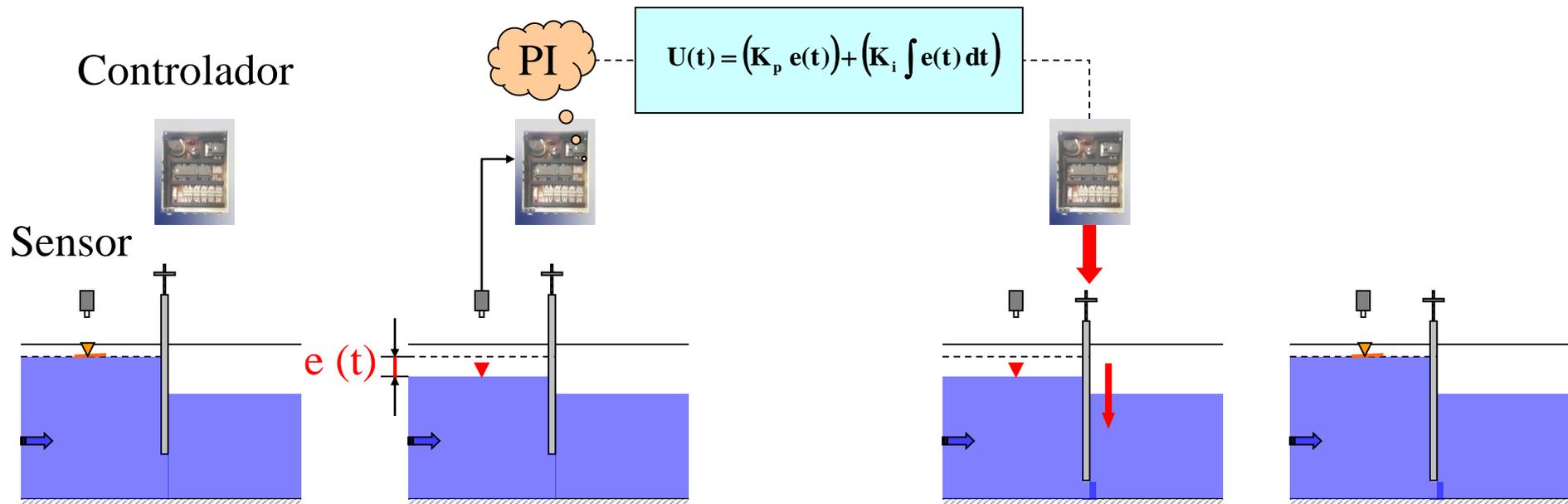
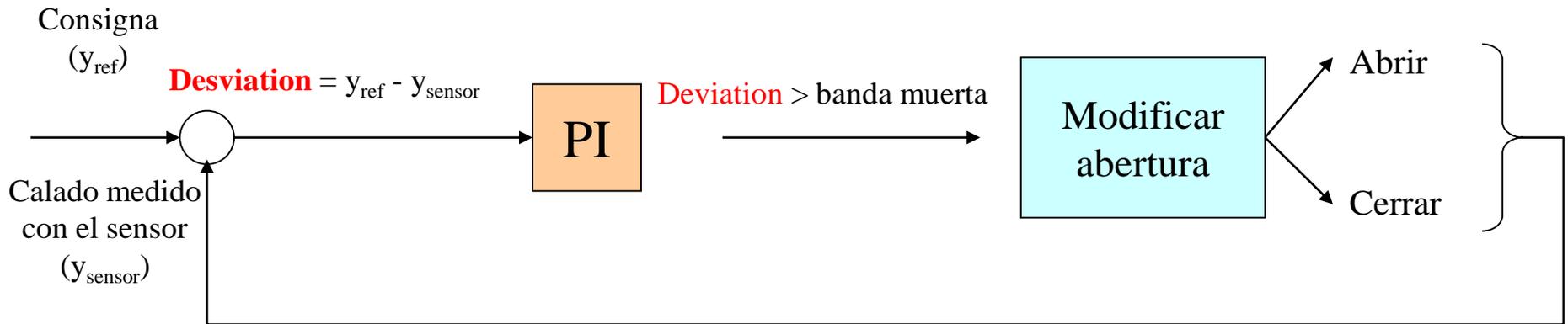
$$\text{Desviación } e(t) = y_{\text{ref}} - y_{\text{sensor}}$$



Métodos y algoritmos de control



Métodos y algoritmos de control



¡Gracias!



Jornada Técnica sobre la Gestión Automatizada de Canales en las Comunidades de Regantes

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación

Ejemplos de canales con control automático

Gilles Belaud

Supagro, Montpellier, Francia

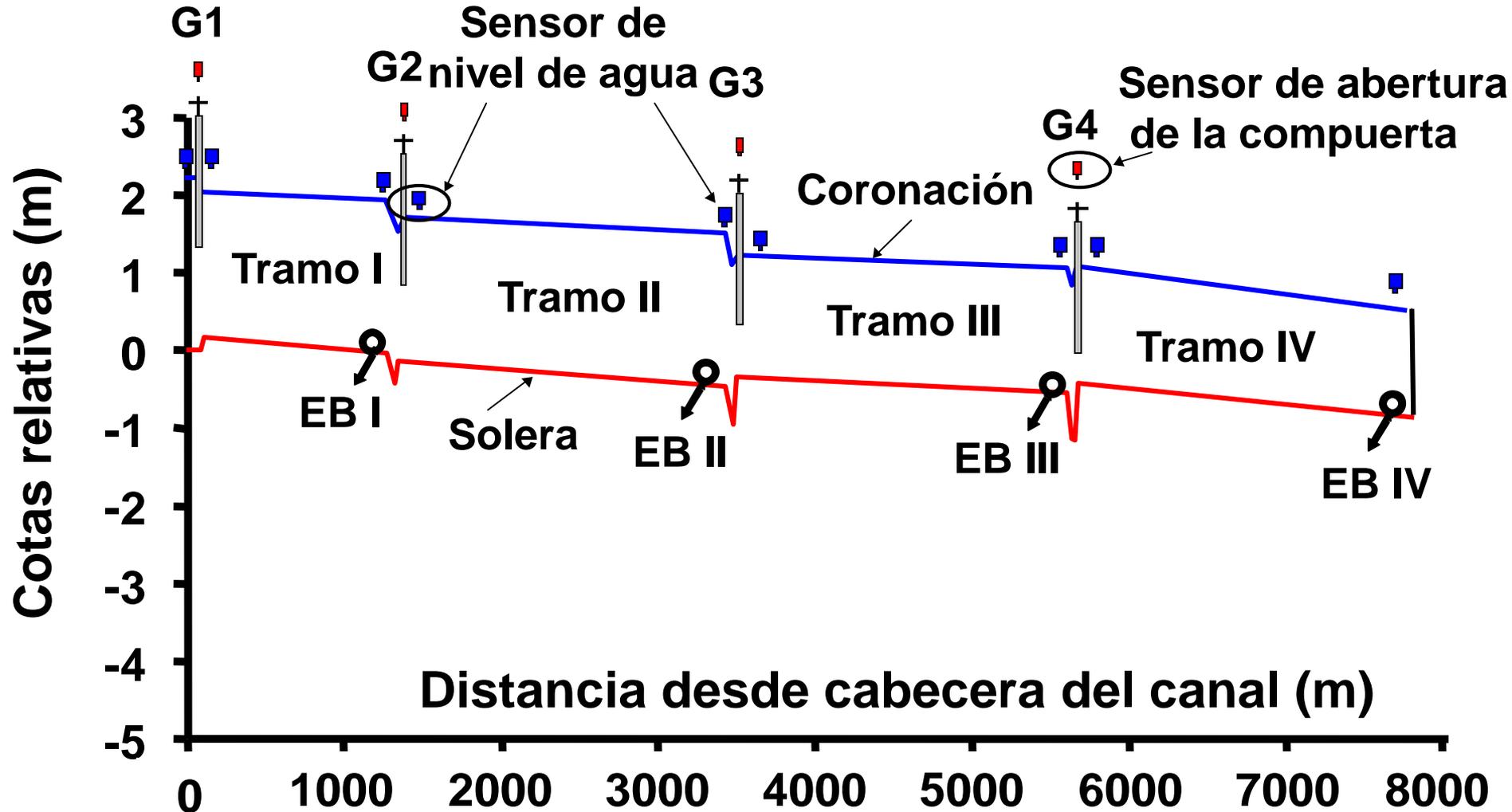
Luciano Mateos

Instituto de Agricultura Sostenible, CSIC, Córdoba

Sector BXII del Bajo Guadalquivir



Sector BXII del Bajo Guadalquivir



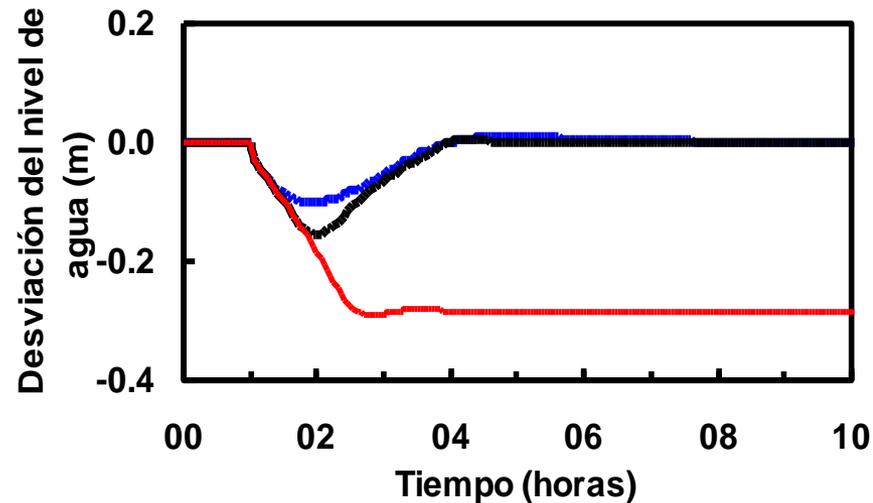
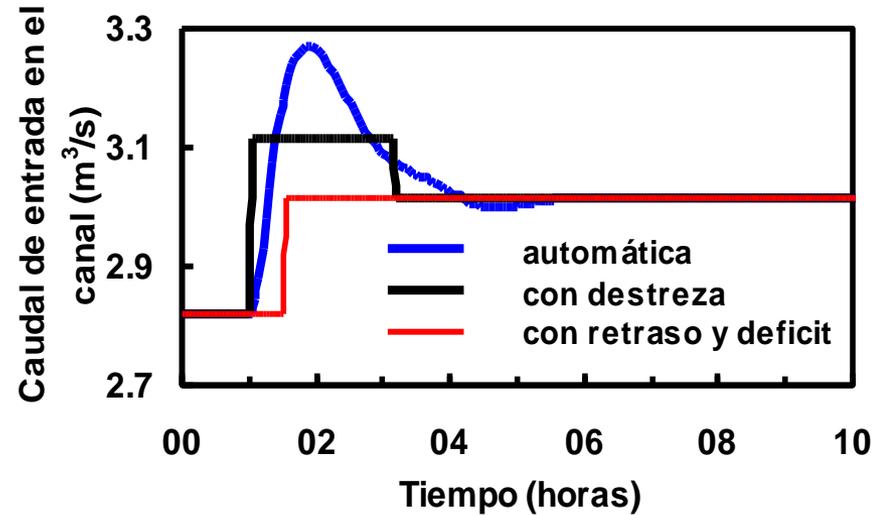
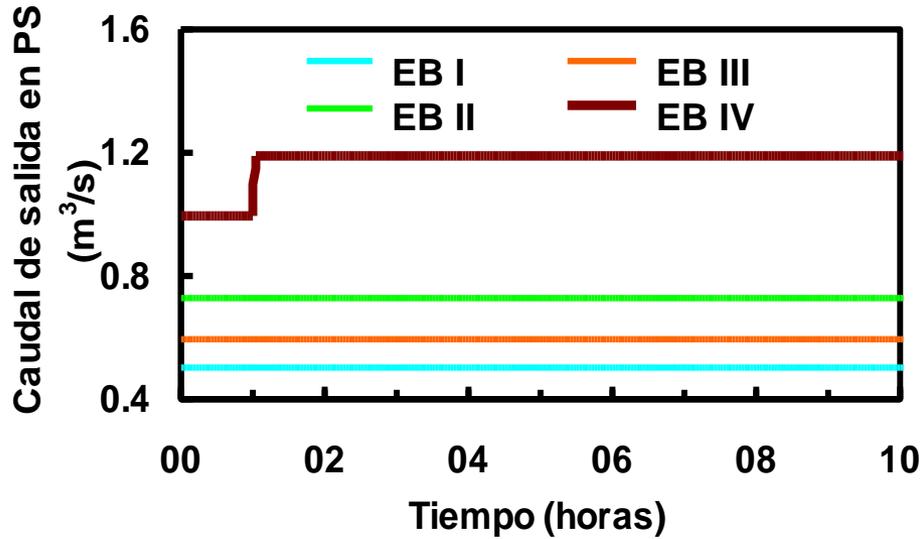


Sector BXII del Bajo Guadalquivir

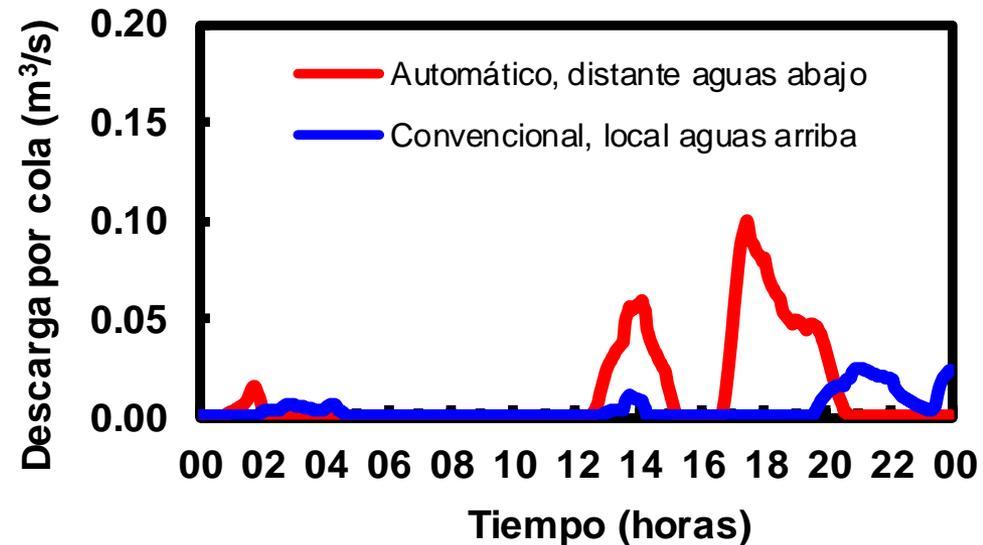
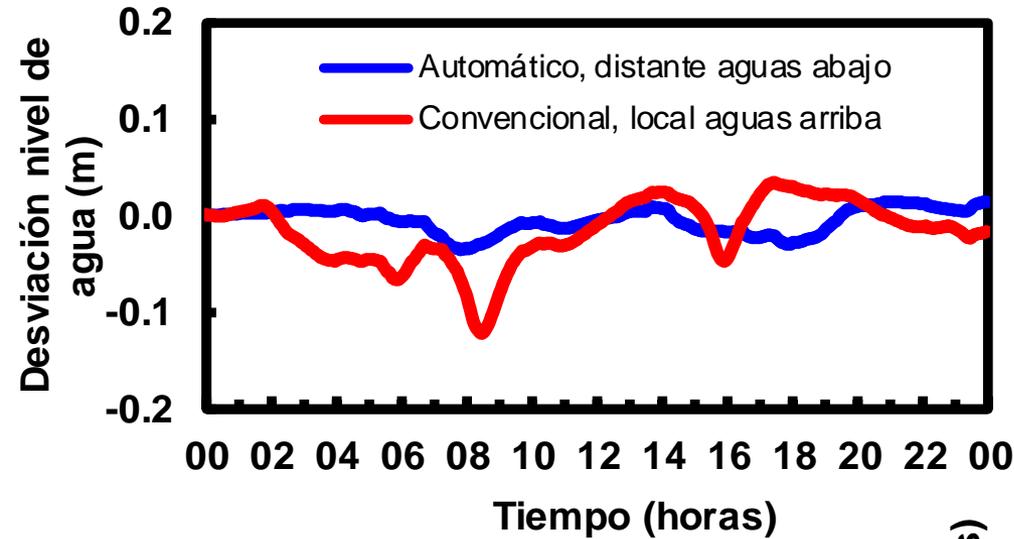


- Para simular el flujo en canales con flujo variable
- Para evaluar métodos de control

Sector BXII del Bajo Guadalquivir



Sector BXII del Bajo Guadalquivir

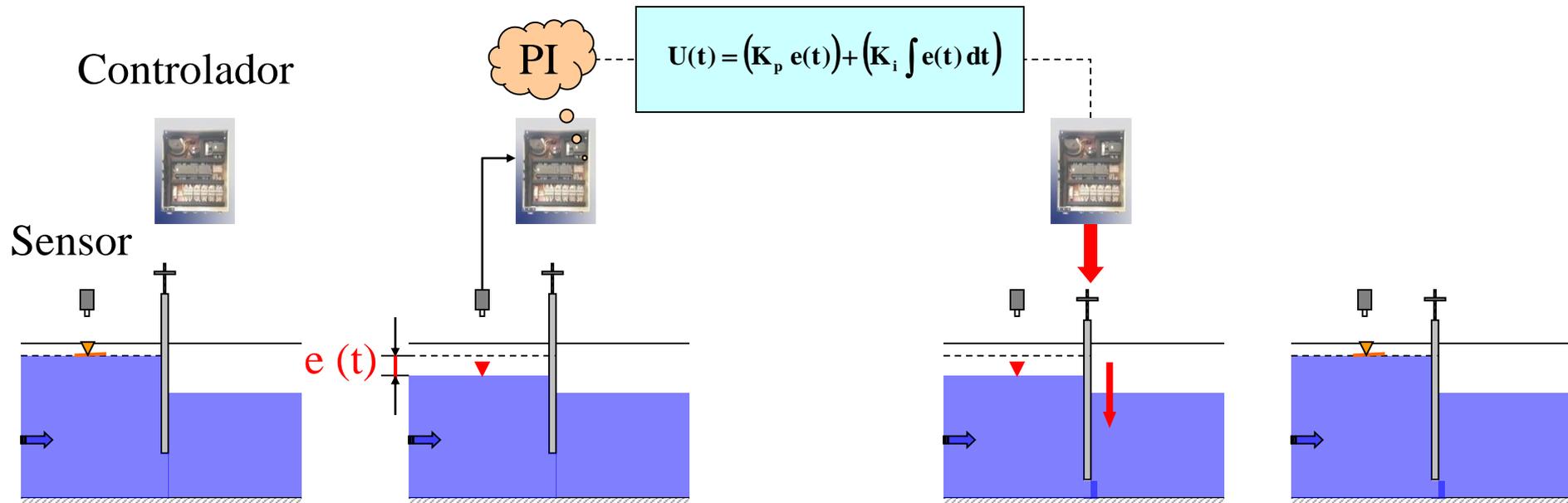
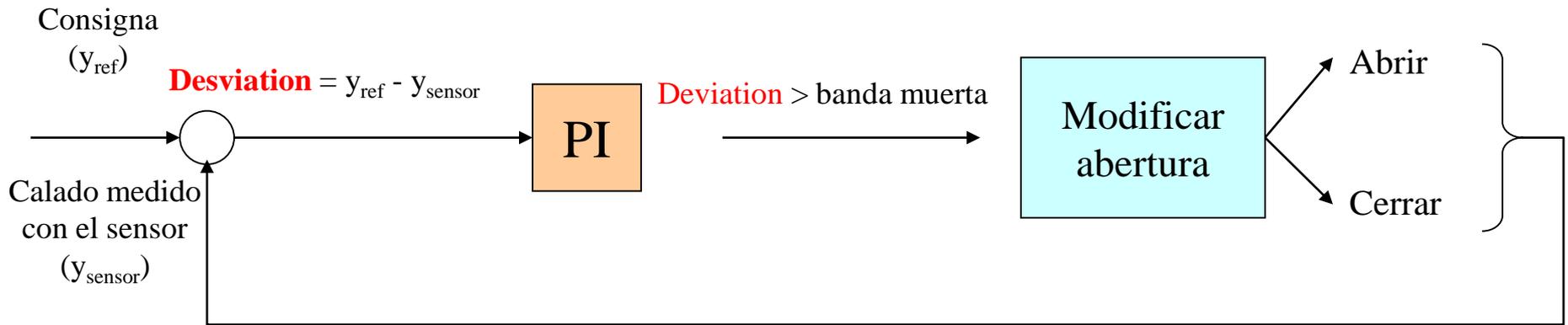


Sector BXII del Bajo Guadalquivir



- Para simular el flujo en canales con flujo variable
- Para evaluar métodos de control

Sector BXII del Bajo Guadalquivir



¡Gracias!

