

# TRANSITORIOS HIDRÁULICOS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA A PRESIÓN

Jorge García-Serra García

ITA

Universitat Politècnica de València

# Interés del estudio de los TRANSITORIOS

Diseño de sistemas de distribución de agua a presión

Condiciones **estáticas** ( $Q = 0$ )

**Régimen estacionario** (funcionamiento normal)

Pero además existen circunstancias a tener en cuenta originadas por variaciones del flujo con el tiempo (**FLUJOS NO ESTACIONARIOS o TRANSITORIOS**)

que pueden provocar que el sistema opere bajo condiciones que pueden ser **INACEPTABLES**

- Presiones demasiado altas (roturas y explosiones)
- Presiones demasiado bajas (colapso)
- Flujo inverso
- Movimientos y vibraciones de tuberías

# Roturas por sobrepresión



Reventón

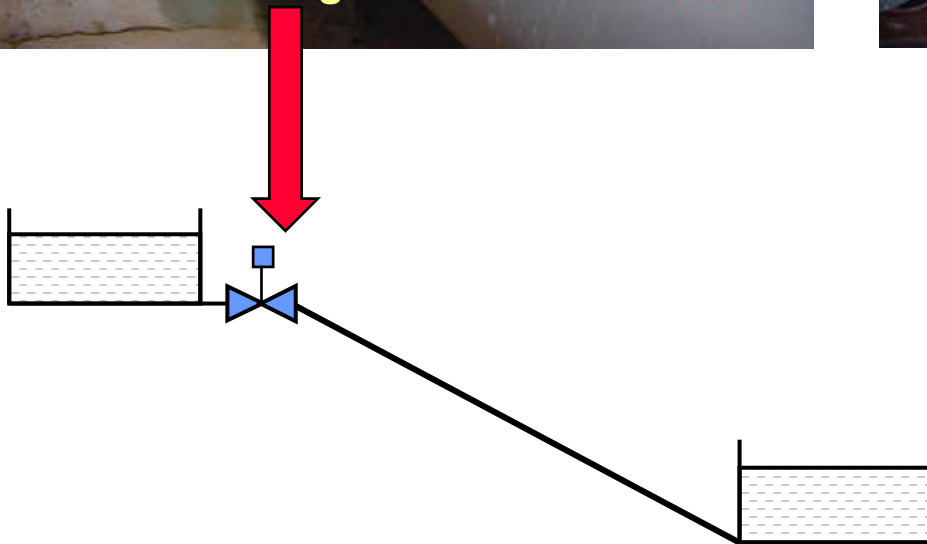


Circunferencial



Longitudinal

# Colapso por depresión





# Rotura en arqueta de válvulas



# Los transitorios se originan por variaciones del caudal con el tiempo $Q(t)$

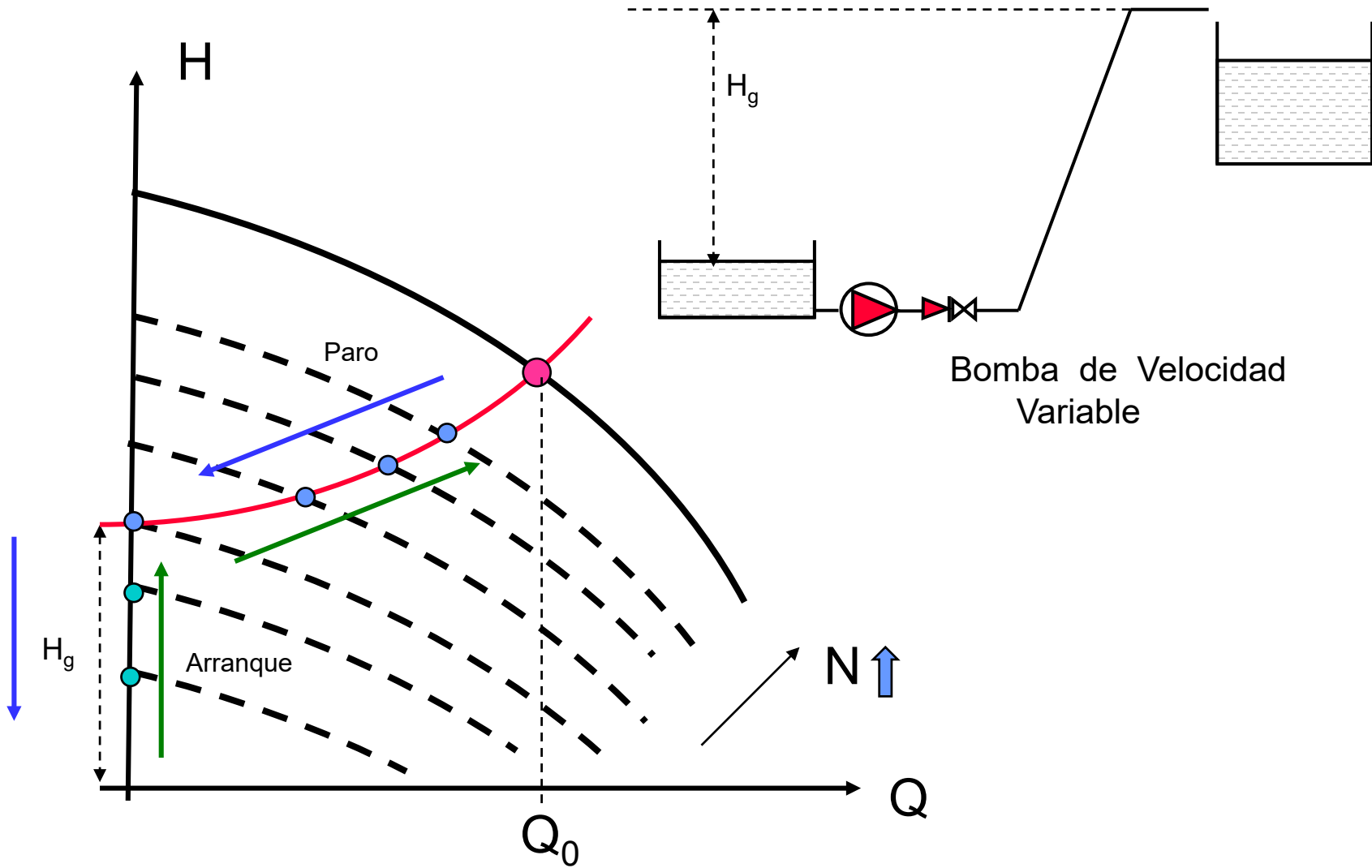
- 1.- Maniobras en Estaciones de Bombe
  - Arranque/Parada programado y variaciones en la velocidad de giro (Control **usuario**)
  - Fallo de Energía eléctrica (**Causas Externas** → **Proteger**)
- 2.- Maniobras en Válvulas/Hidrantes: (Velocidad controlada **por el usuario**)
- 3.- Roturas en conducciones (**accidentales**). Generan vaciado y depresiones con posible colapso. **Buena ejecución y protección.**
- 4.- Llenado y vaciado de conducciones. **Control por usuario (lentitud) y elementos de protección.**
- 5.- Variaciones de la demanda: **Normalmente suaves**
- 6.- Acciones no adecuadas de dispositivos (p.e. válvulas automáticas). (Ajuste de la velocidad de respuesta **por el usuario**).

Si estas variaciones  
son lentas

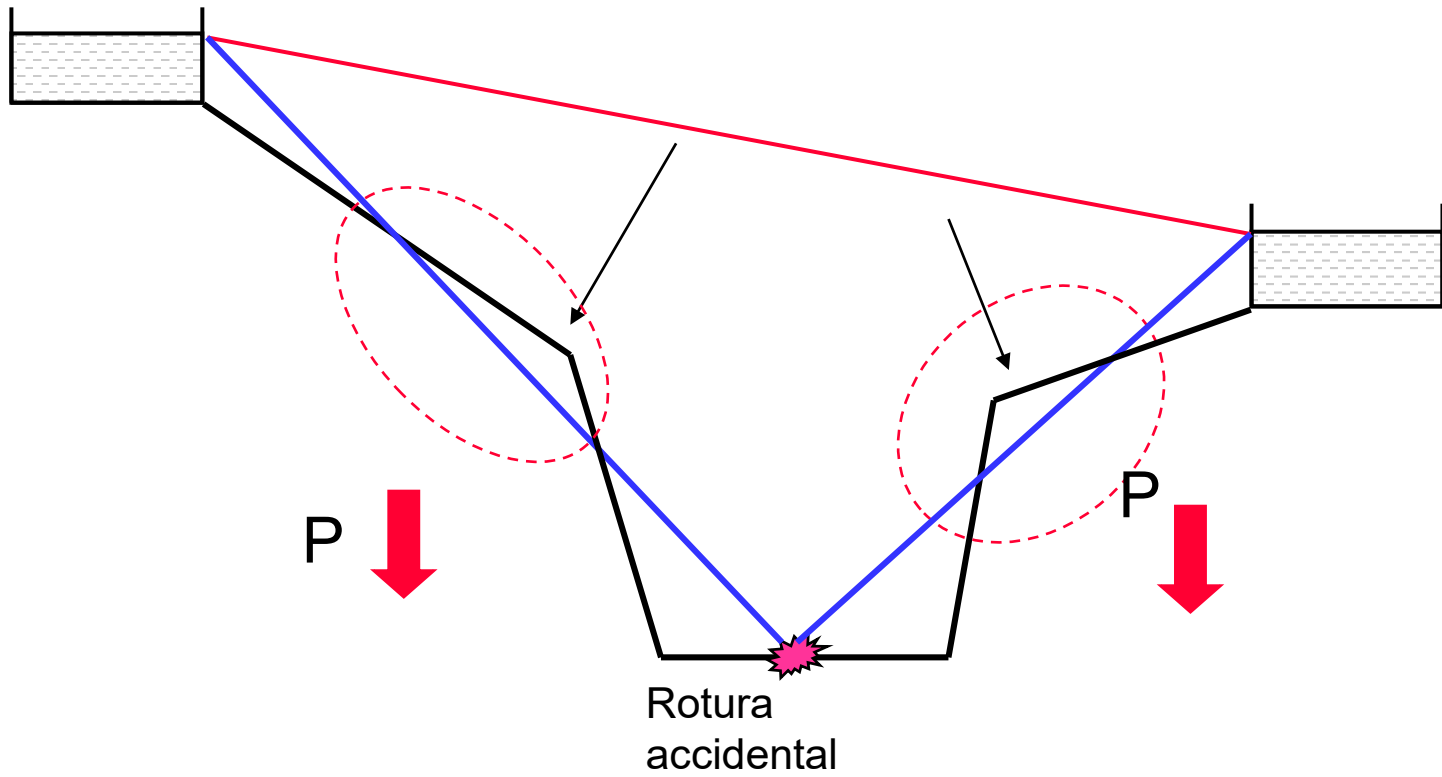
$$\left| \frac{dQ}{dt} \right| \downarrow$$

las consecuencias no  
son graves

# Arranque/Paro controlado por BVV

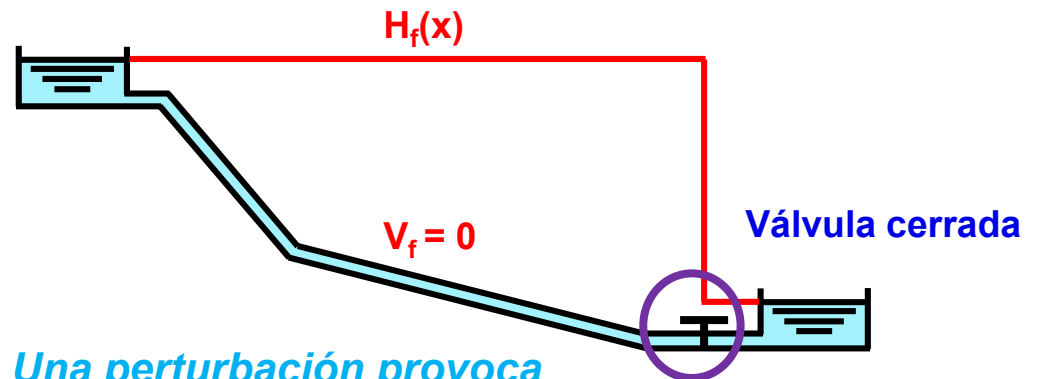
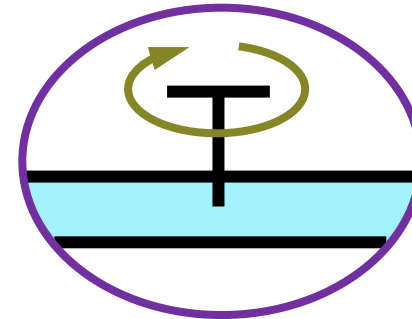
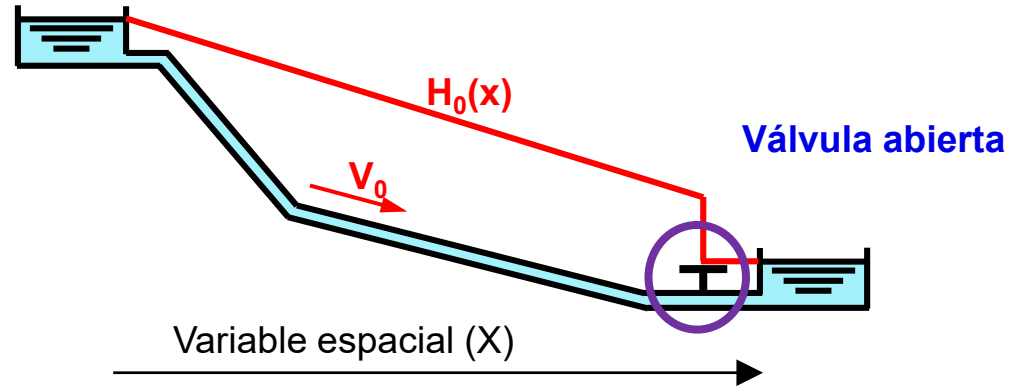


# Rotura accidental



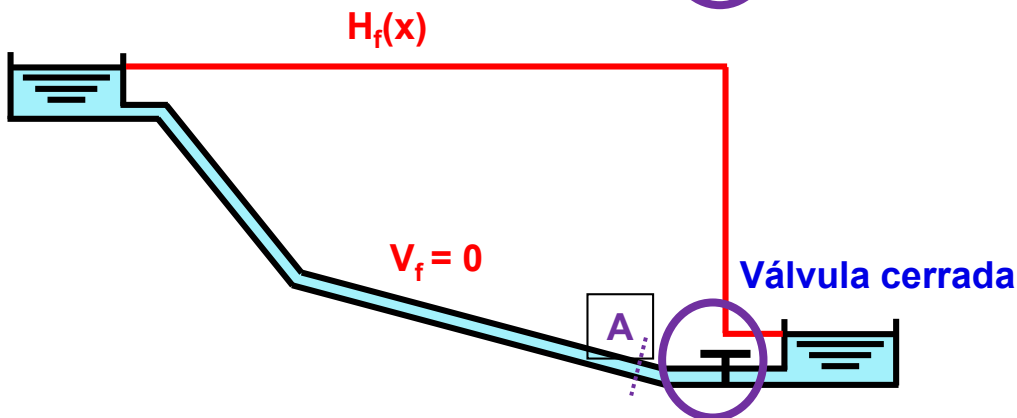
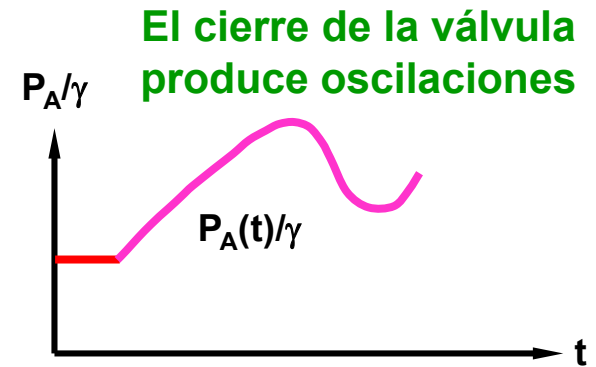
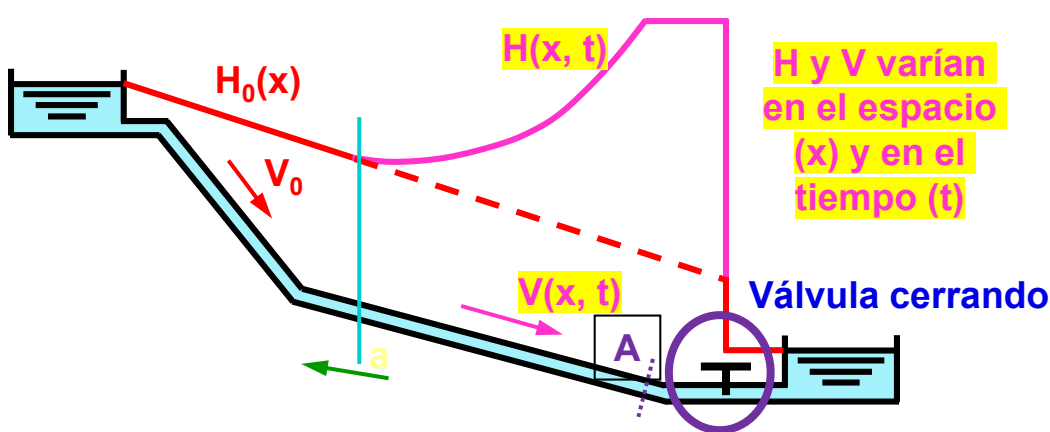
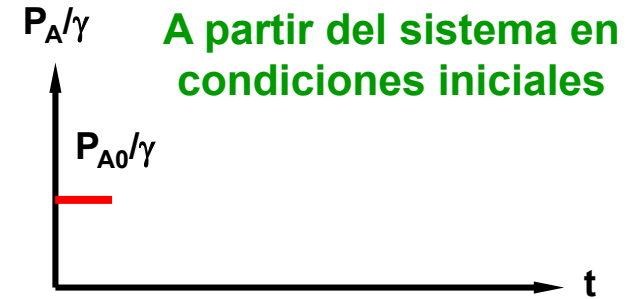
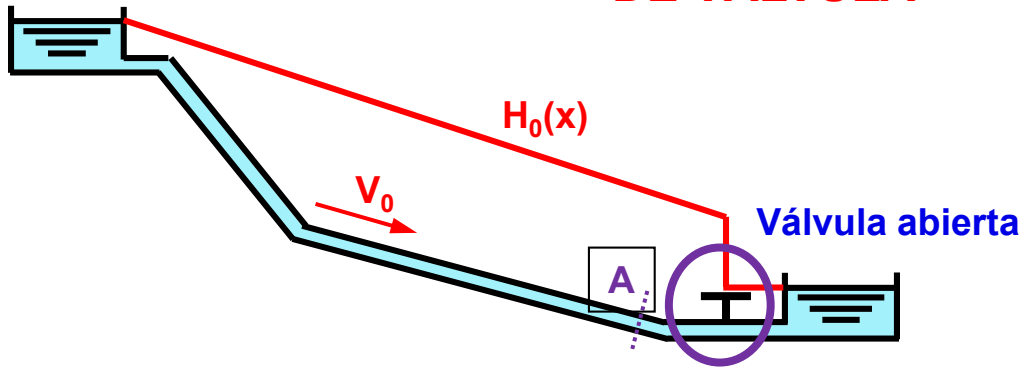


## ORIGEN DE LOS TRANSITORIOS HIDRÁULICOS



Una perturbación provoca un transitorio entre dos estados

# TRANSITORIO POR CIERRE DE VÁLVULA





¿Dónde se inicia?

¿Cómo se propaga?

¿Cómo actúa?

¿Cómo es modificada por los  
elementos de la conducción?

¿Cuáles son sus efectos?

¿Cuál es la sensibilidad del  
sistema a estos efectos?

¿Cómo pueden ser mitigados  
estos efectos si es necesario?

---

## ANALISIS DE TRANSITORIOS

# ANÁLISIS DE TRANSITORIOS

## MAGNITUDES

Presión o Altura piezométrica

$p(x,t)$  o  $H(x,t)$

Velocidad o Caudal

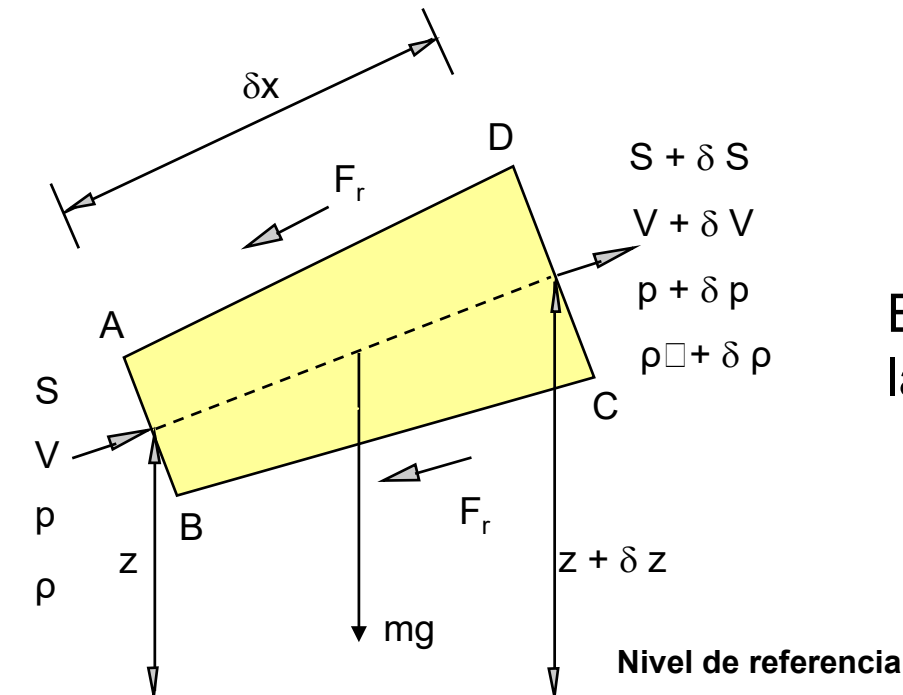
$V(x,t)$  o  $Q(x,t)$

Sección tubería

$S(x,t)$

Densidad fluido

$\rho(x,t)$



Ecuación de continuidad

$$\frac{1}{S} \frac{dS}{dt} + \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dt} + \frac{\partial V}{\partial x} = 0$$

Ecuación de conservación de la cantidad de movimiento

$$\frac{1}{g} \frac{dV}{dt} + F_r + \frac{\partial H}{\partial x} = 0$$

# ¿Cómo se propaga la perturbación?

MODELOS

**RIGIDO**

oscilación en masa

Caso particular del  
modelo elástico

**ELASTICO**

golpe de ariete

Tiene en cuenta la  
elasticidad del Fluido y de  
la tubería

Transmisión de la  
Perturbación

**instantánea**

**velocidad finita**  
**(a) celeridad**

# Celeridad de las ondas generadas por la perturbación

Korteweg (1878)

$$a = \frac{1}{\sqrt{\rho \left( \frac{1}{K} + \frac{1}{A} \frac{\delta A}{\Delta p} \right)}} = \frac{\sqrt{K/\rho}}{\sqrt{1 + \frac{K D}{E e}}}$$

$$a = \frac{9900}{\sqrt{48.3 + k \frac{D}{e}}}$$



MATERIAL	k
Acero	0.5
Fundición	1.0
Fibrocemento	5-6
PVC	20-25

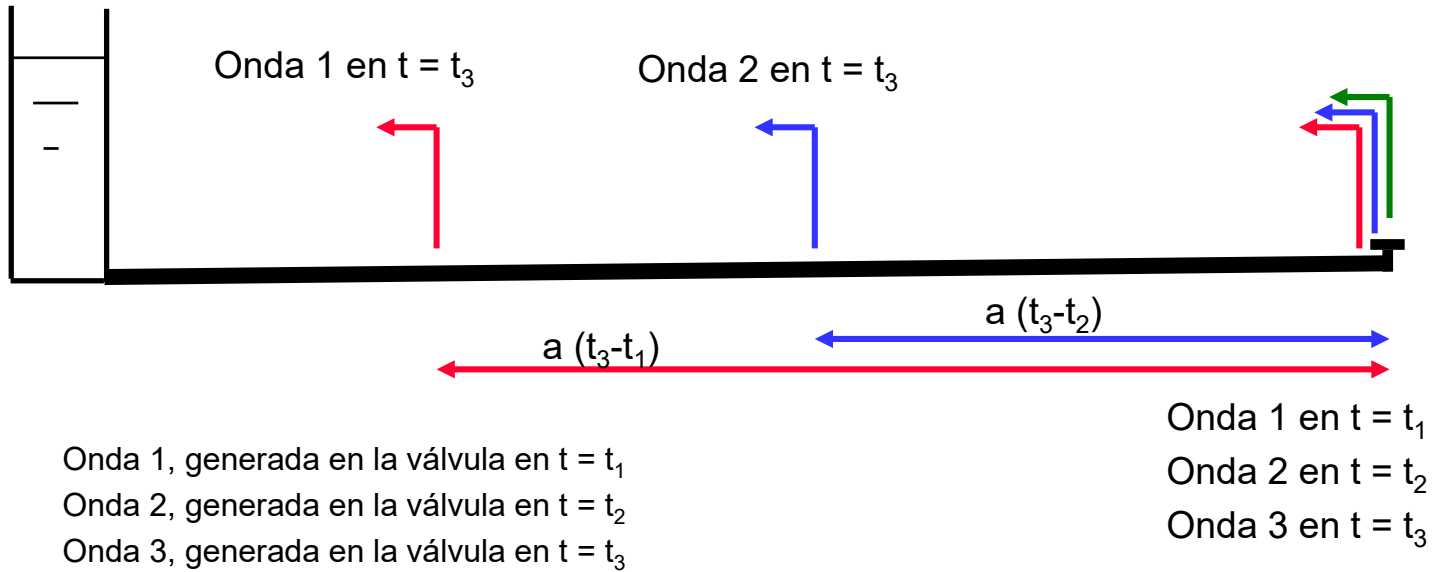
E: Módulo de Young del material de la tubería  
 K: Módulo de elasticidad volumétrico del agua  
 D: Diámetro interior tubería  
 e: Espesor tubería

**Orden de magnitud celeridad “a”:**

**Materiales metálicos: 1000 m/s**

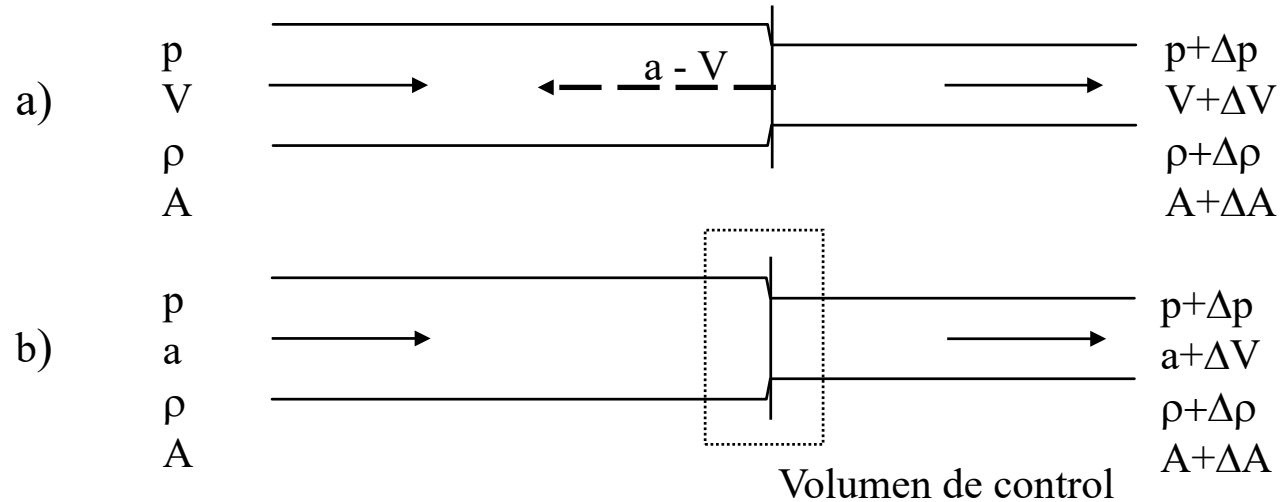
**Materiales plásticos: 300 a 500 m/s**





# Intensidad de la onda de presión

## Pulso de Joukowsky o de Allievi



Aplicando la ecuación de conservación de la cantidad de movimiento

$$\Delta p = -\rho a \Delta V$$

$$\Delta H = -\frac{a \Delta V}{g}$$

Para cierre instantáneo de válvula

$$\Delta V = 0 - V_0 = -V_0 \rightarrow \Delta H = \frac{a V_0}{g}$$

Para  $a = 1000 \text{ m/s}$ , con  $g = 10 \text{ m/s}^2$

$$\Delta H (mca) = \frac{1000 V_0}{10} = 100 V_0$$

## MODELO ELÁSTICO

Ec. de continuidad

$$\frac{a^2}{g} \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial t} = 0$$

Ec. Conservación  
cantidad de movimiento

$$\frac{\partial V}{\partial t} + g \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{f}{2D} V|V| = 0$$

Sistema de ecuaciones en derivadas parciales  
acoplado  
no lineal  
de tipo hiperbólico

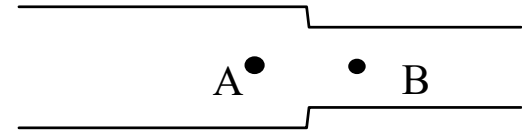
# ¿Dónde se inicia y cómo es modificada la perturbación?

- Los modelos llevan la contabilidad de las ondas.
- Las perturbaciones son
  - generadas (bombas, válvulas...)
  - modificadas
    - amortiguadas (calderines, fricción tuberías...)
    - reflejadas (extremos ciegos, conexiones...)
    - Transmitidas (conexiones, a lo largo de tuberías...)
    - absorbidas (depósitos, grandes tuberías...)
    - amplificadas (resonancia...)
    - ...
  - ¿Cómo se modelizan estos elementos?  
CONDICIONES DE CONTORNO

## Ejemplos sencillos de condiciones de contorno

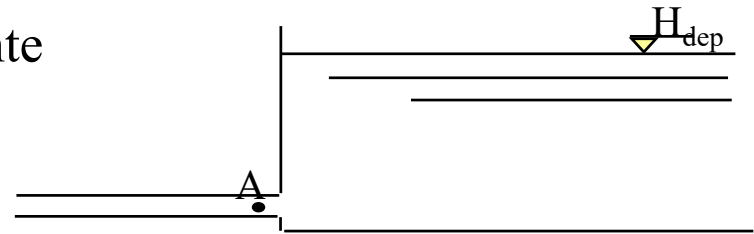
a) Conexión simple.

$$H_A = H_B$$



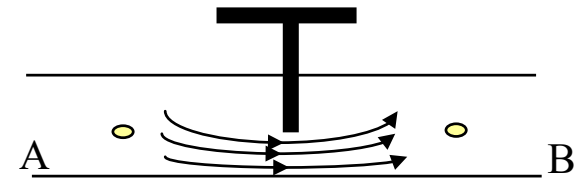
b) Elemento de altura constante

$$H_A = H_{dep}$$



c) Válvula.

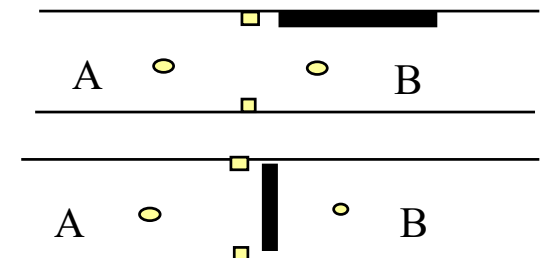
$$\Delta H = K(t) Q|Q|$$



d) Válvula de retención.

$$H_A = H_B ; Q_A = Q_B$$

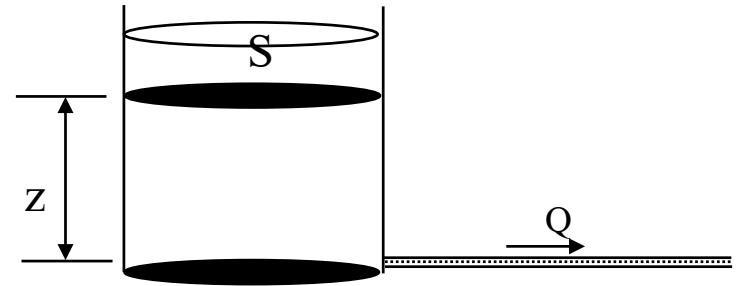
$$Q_A = 0 ; Q_B = 0$$



## Ejemplos sencillos de condiciones de contorno

e) Depósito de altura variable.

$$\frac{dz}{dt} = - \frac{Q}{S}$$



f) Bomba parando.

Altura-Caudal:  $H_b = A Q^2 + B \alpha Q + C \alpha^2$

Potencia :  $P = \frac{\gamma Q H_b}{\eta}$

Par:  $M = \frac{\text{Pot.}}{\omega} = \frac{\gamma Q H_b}{\eta \cdot \omega}$

Inercia :  $M = - I \frac{dw}{dt}$

w: vel. giro rad/s

I: Momento Inercia (bomba+motor)



# ANÁLISIS DE TRANSITORIOS HIDRAULICOS

El objetivo es determinar:

$H(t,x)$  o  $p(t,x)$       y       $Q(t,x)$  o  $V(t,x)$

**ECUACION(ES)**

Integración

+

**CONDICIONES  
DE CONTORNO**

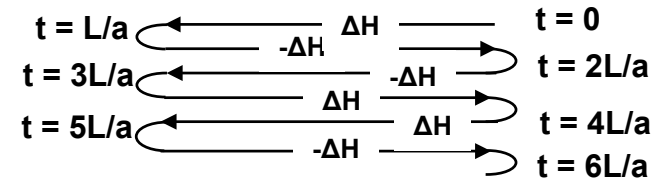
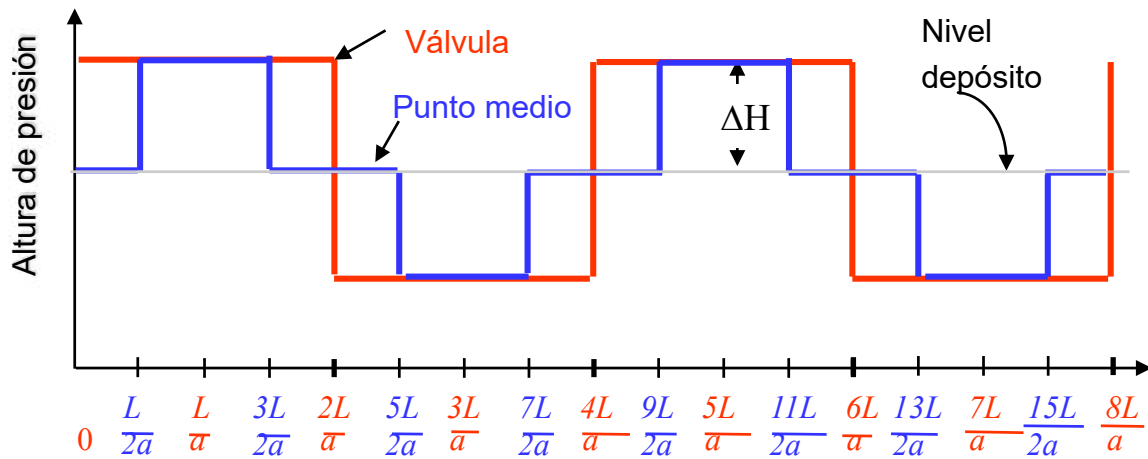
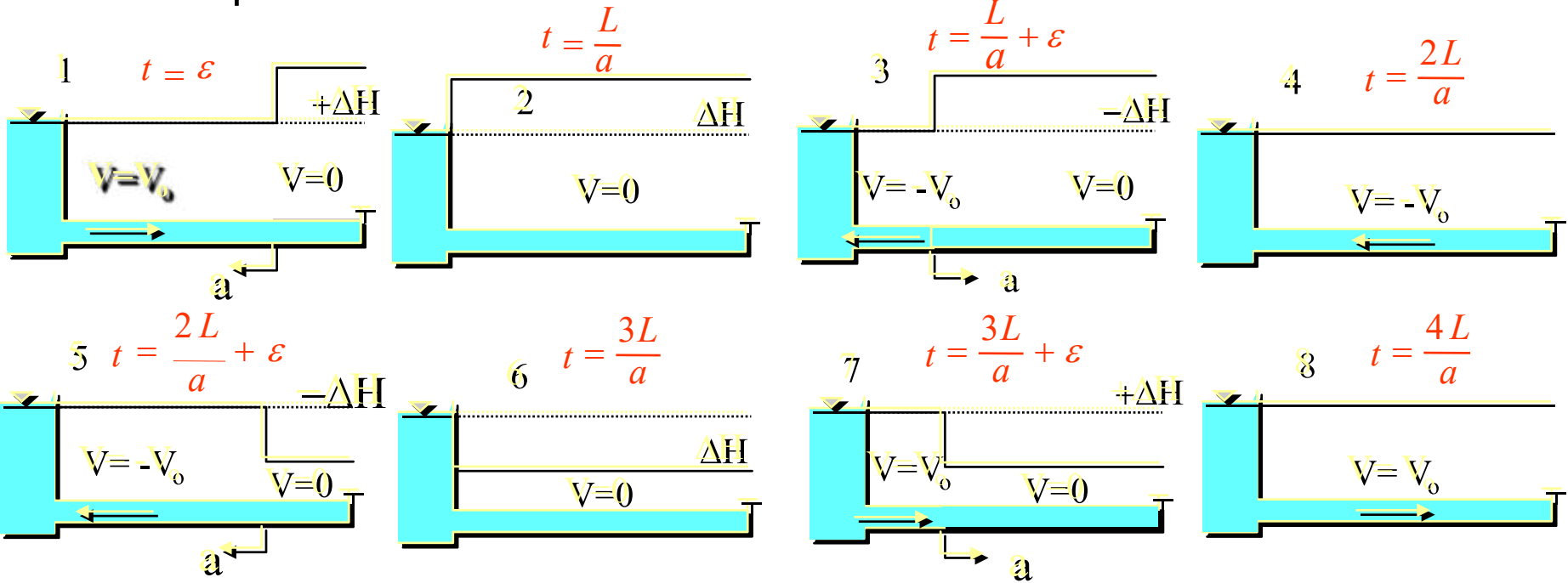
Complementan  
información

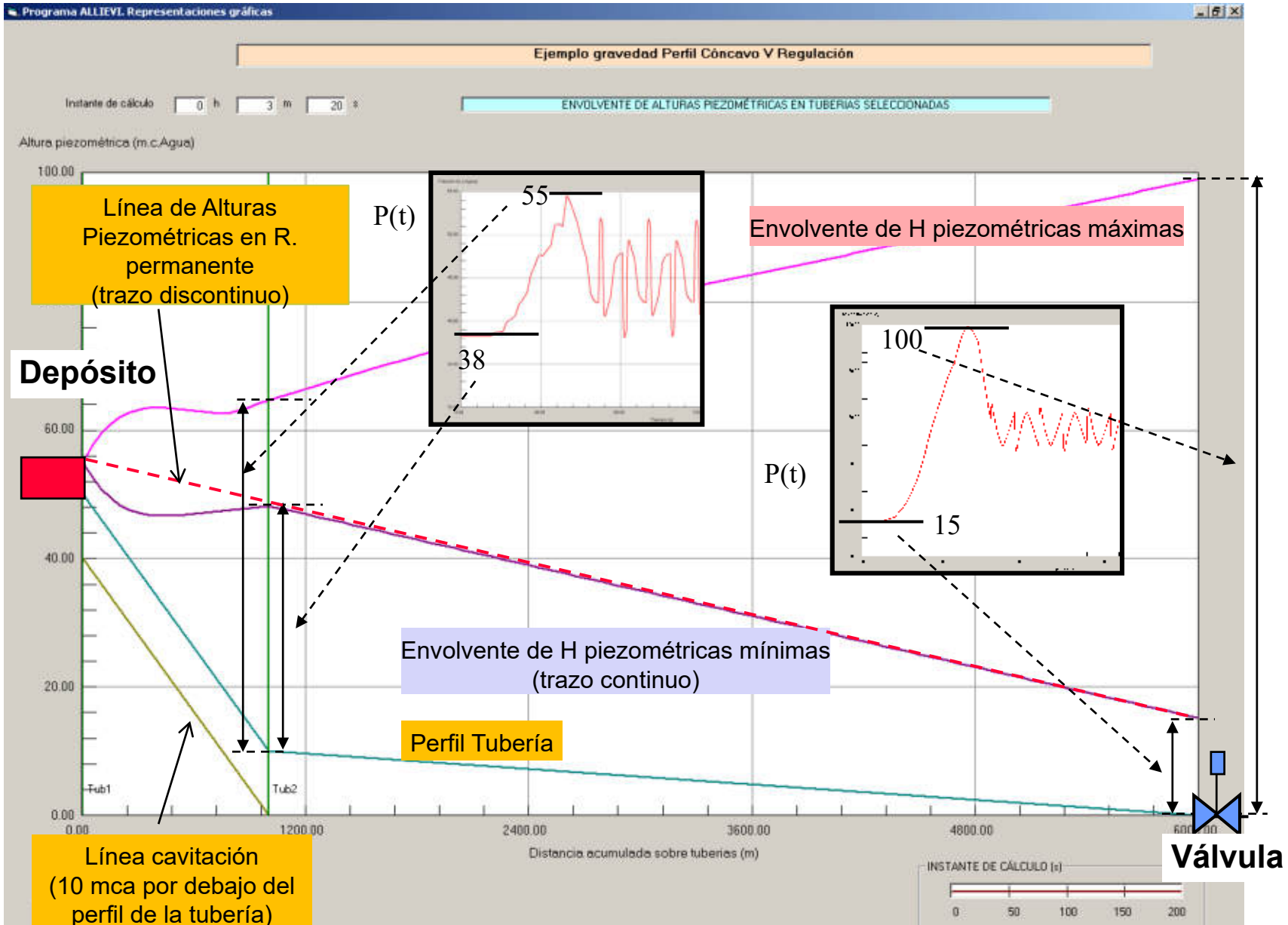
+

**CONDICION  
INICIAL**

Punto de partida:  
condición de  
Régimen inicial

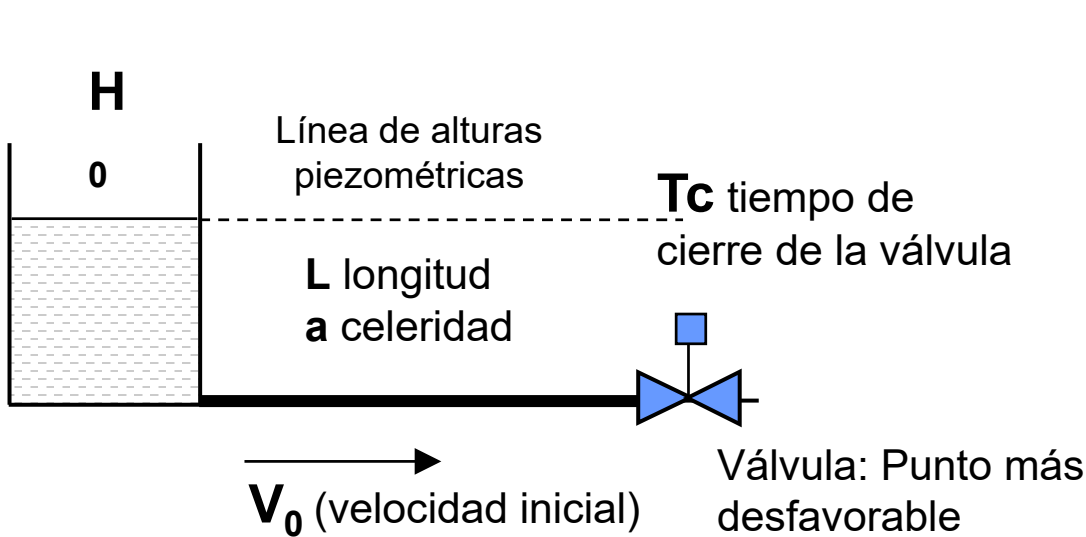
# Descripción: Cierre instantáneo de válvula sin considerar la fricción





# CIERRES RÁPIDOS Y LENTOS

## Maniobra de cierre de una válvula



$$\Delta H = -\frac{a\Delta V}{g}$$

Máxima sobrepresión de Allievi (Joukowsky)

$$\Delta H_{MÁX} = \frac{a \cdot V_0}{g}$$

Cierre Instantáneo:  $T_c = 0$

En  $t = L/a$   **toda** la tubería sometida a

$$\Delta H_{MÁX} = \frac{a \cdot V_0}{g}$$

Cierre Rápido:  $0 < T_c < 2.L/a$

Tubería larga

Parte de la tubería sometida a

$$\Delta H_{MÁX} = \frac{a \cdot V_0}{g}$$

Cierre Lento:  $T_c > 2.L/a$

Tubería corta

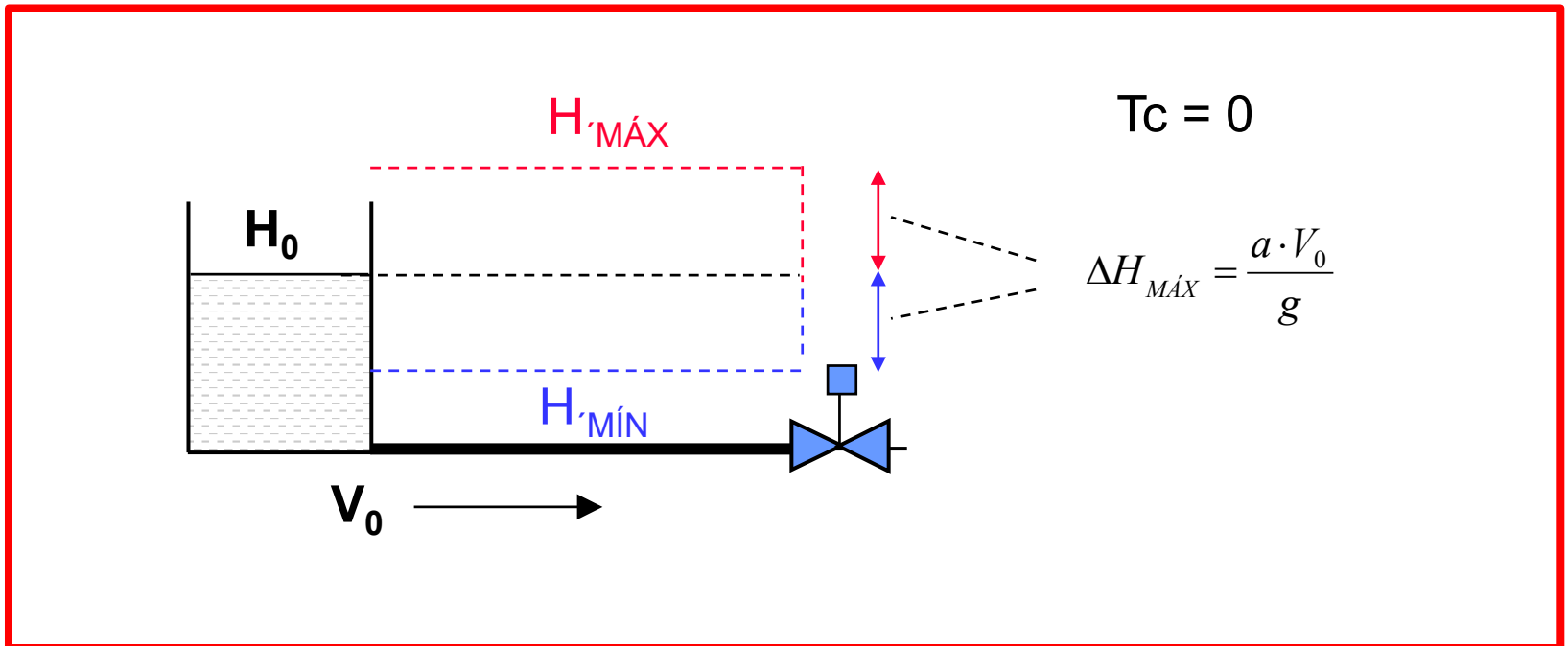
Ningún punto de la tubería sometido a

$$\Delta H_{MÁX} = \frac{a \cdot V_0}{g}$$

**Cierre Instantáneo:**  $T_c = 0$

En  $t = L/a$  **toda** la tubería sometida a  $\Delta H_{MÁX} = \frac{a \cdot V_0}{g}$

En  $t = 3L/a$  **toda** la tubería sometida a  $\Delta H_{MÁX} = -\frac{a \cdot V_0}{g}$



## Cierre Rápido:

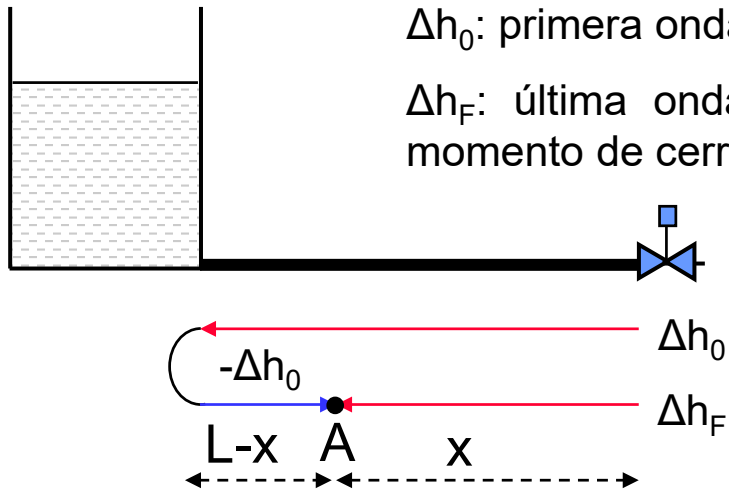
$$0 < T_c < 2.L/a$$

Tubería larga

Parte de la tubería sometida a

$$\Delta H_{MÁX} = \frac{a \cdot V_0}{g}$$

Existen puntos de la tubería por los que pasan todas las ondas positivas (sobrepresiones) generadas por el cierre de la válvula, antes de que vuelva la primera depresión desde el depósito



$\Delta h_0$ : primera onda que genera la válvula (en  $t = 0$ ) al empezar a cerrar

$\Delta h_F$ : última onda que genera la válvula (en  $t = T_c$ ) justo en el momento de cerrar completamente

$$\Delta h_0 \text{ está en A en } t = \frac{L}{a} + \frac{L-x}{a}$$

$$\Delta h_F \text{ está en A en } t = T_c + \frac{x}{a}$$

$$\frac{L}{a} + \frac{L-x}{a} = T_c + \frac{x}{a} \rightarrow x = L - \frac{a \cdot T_c}{2}$$

$x$ : Longitud de tubería por la que pasan todas las ondas + sin que haya pasado ninguna onda – (Longitud que soporta la máxima sobrepresión)

$$T_c = 0 \rightarrow x = L$$

Toda la tubería (cierre instantáneo)

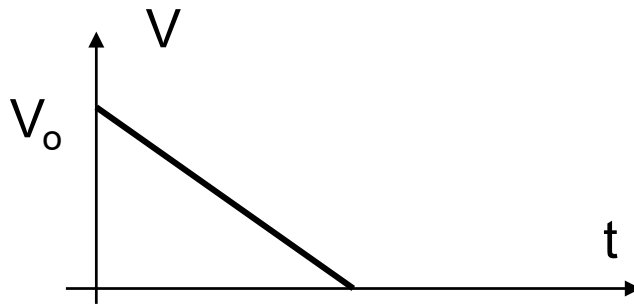
$$T_c = \frac{2 \cdot L}{a} \rightarrow x = 0$$

Ningún punto de la tubería (cierre lento)

Si  $T_c \uparrow \rightarrow x \downarrow$  menos porción de tubería deberá soportar  $\Delta H_{MÁX} = \frac{a \cdot V_0}{g}$

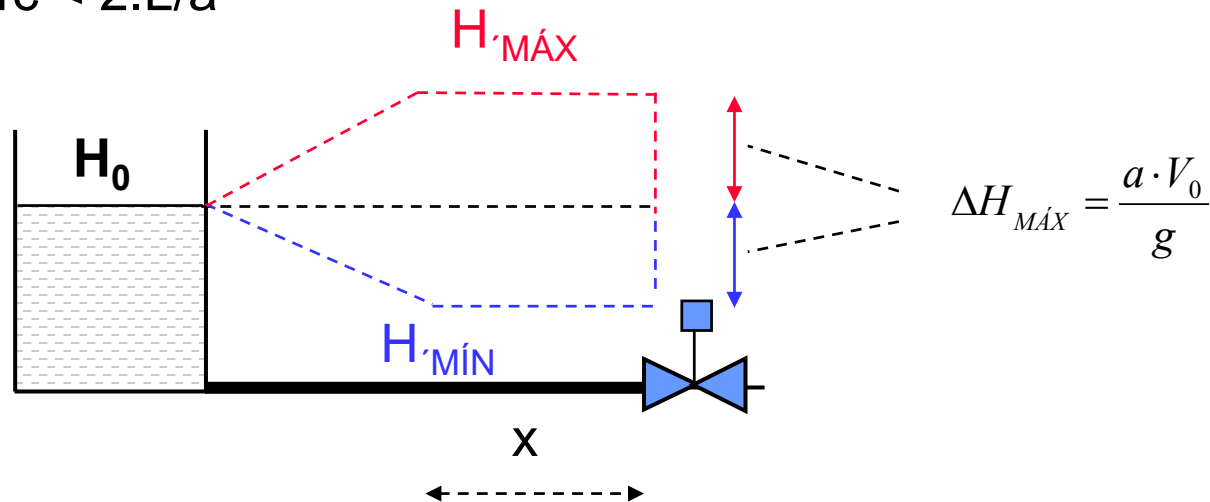


Para el caso de **cierre rápido** con disminución lineal de velocidad en la válvula:



$$x = L - \frac{a \cdot T_c}{2}$$

$T_c < 2.L/a$

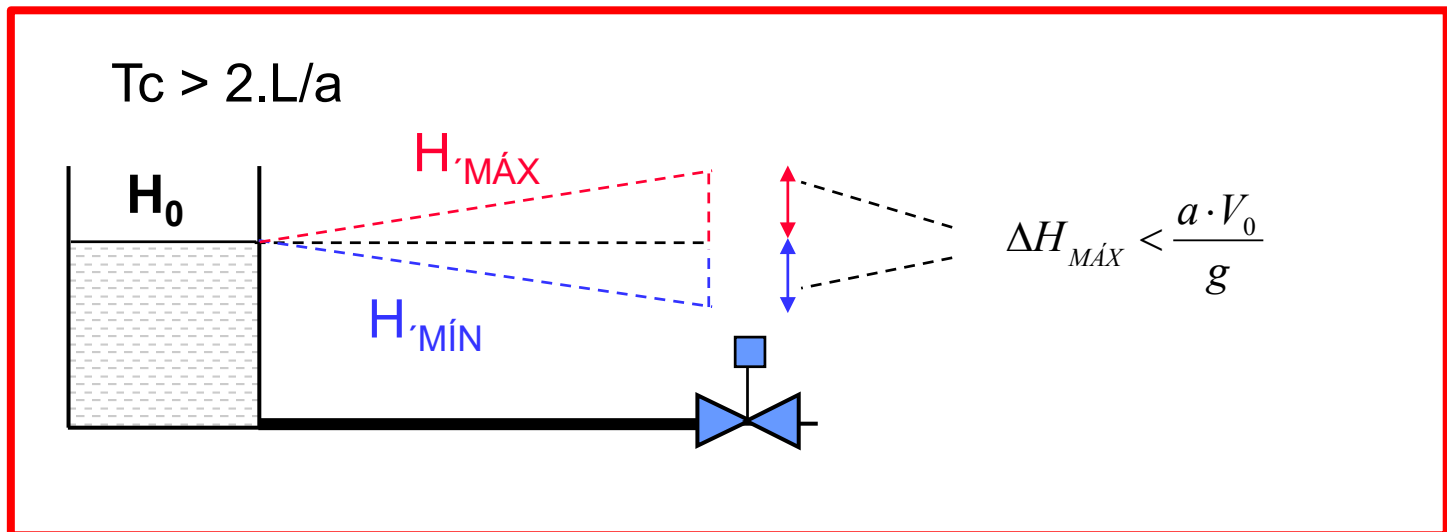
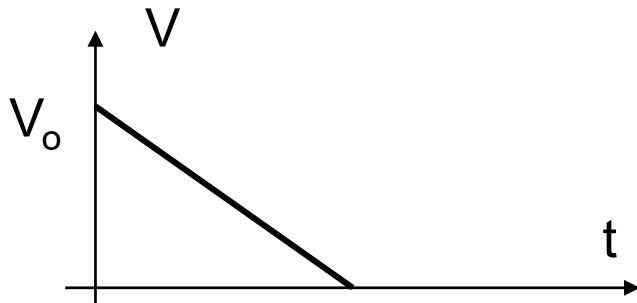


## Cierre Lento: $T_c > 2.L/a$

Tubería corta

Ningún punto de la tubería sometido a  $\Delta H_{MÁX} = \frac{a \cdot V_0}{g}$

Para el caso de cierre rápido con disminución lineal de velocidad en la válvula:



$$T_c > 2.L/a$$

Si suponemos variación lineal de la velocidad (1):  $V(t) = \left(1 - \frac{t}{T_c}\right) \cdot V_0$

La sobrepresión máxima en la válvula se producirá en  $t = 2.L/a$ , que es el momento en que empiezan a llegar ondas negativas.

$$\Delta V_{MÁX} = V\left(t = \frac{2 \cdot L}{a}\right) - V_0 = \left(1 - \frac{2 \cdot L/a}{T_c}\right) \cdot V_0 - V_0 = -\frac{V_0 \cdot 2 \cdot L}{a \cdot T_c}$$

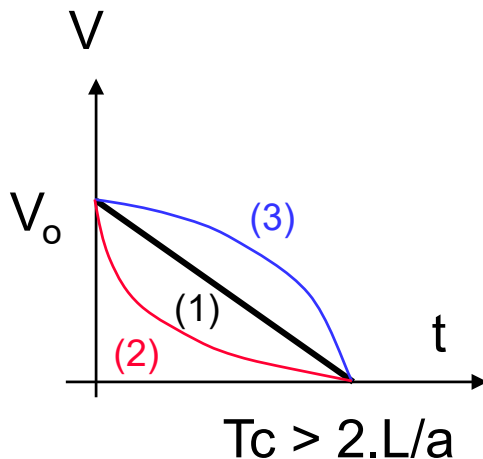
$$\Delta H_{MÁX} = -\frac{a \cdot \Delta V_{MÁX}}{g} = \frac{a \cdot V_0 \cdot 2 \cdot L}{g \cdot a \cdot T_c}$$



$$\Delta H_{MÁX} = \frac{V_0 \cdot 2 \cdot L}{g \cdot T_c}$$

Michaud

Si  $T_c \uparrow \rightarrow \Delta H_{máx} \downarrow$

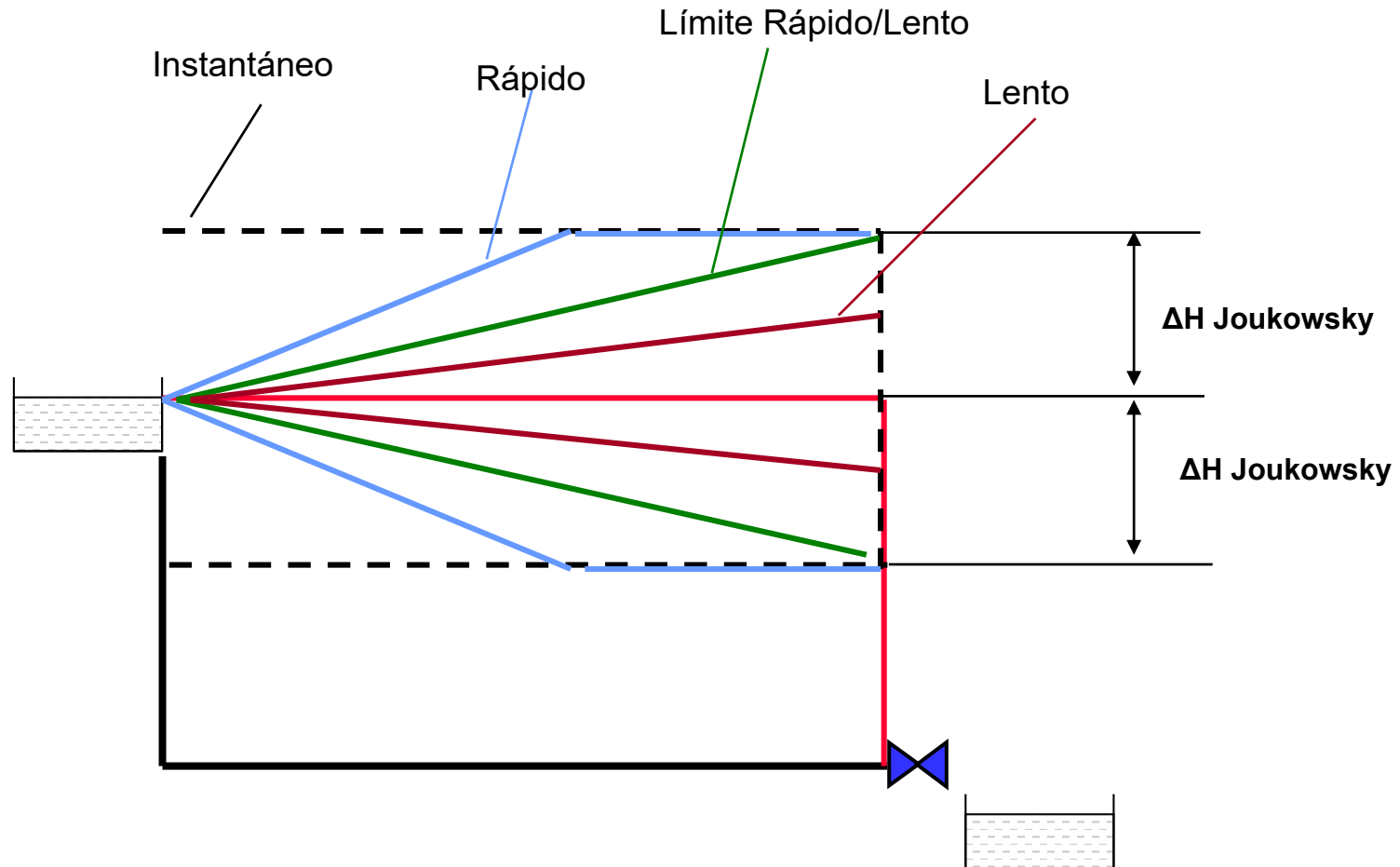


Si ley de cierre lineal (1)  $\rightarrow$  Fórmula de Michaud correcta

Si ley de cierre (2)  $\rightarrow \Delta H$  (Michaud)  $>$   $\Delta H$  (Real)

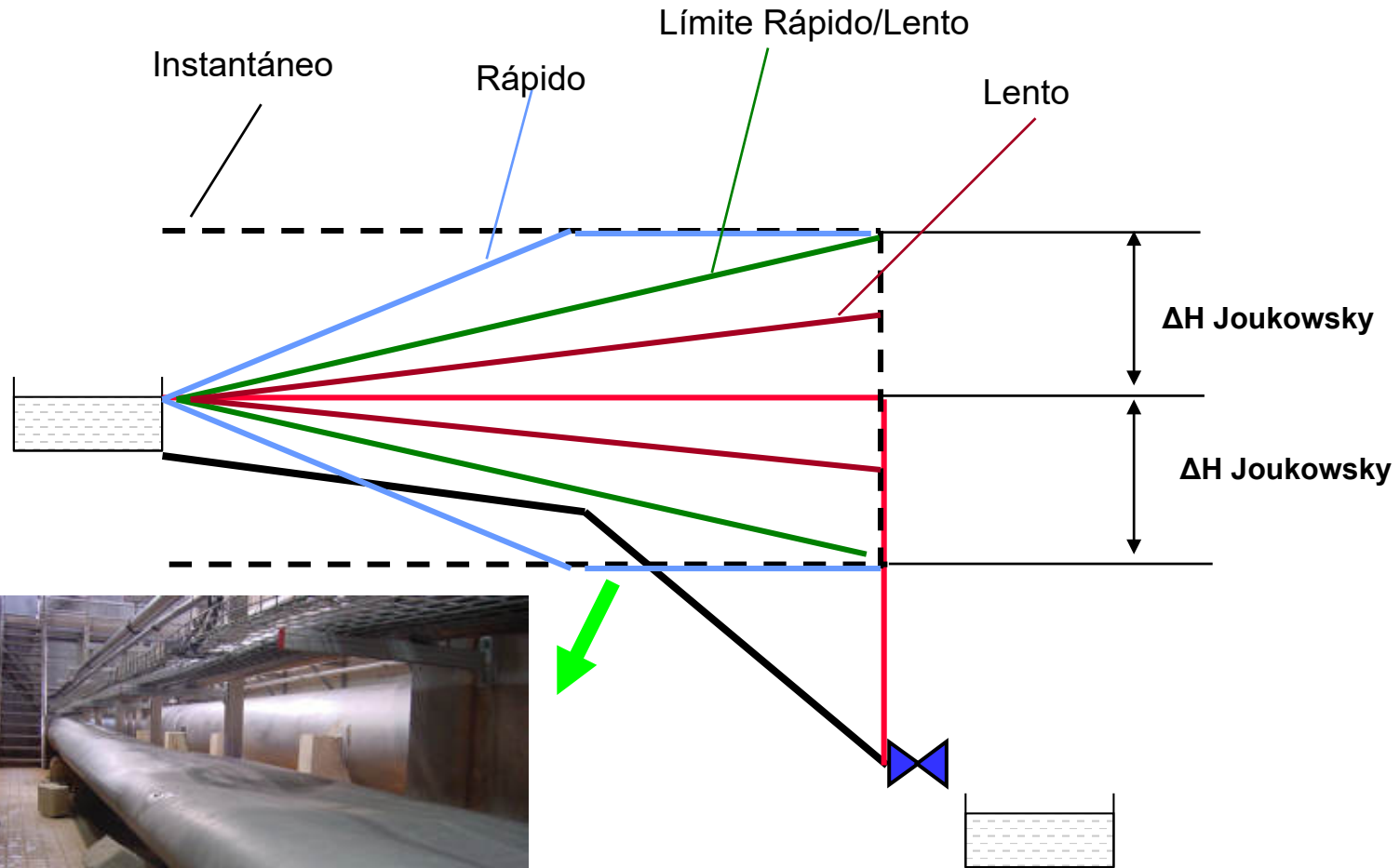
Si ley de cierre (3)  $\rightarrow \Delta H$  (Michaud)  $<$   $\Delta H$  (Real)

# Envolvente de H piezométrica



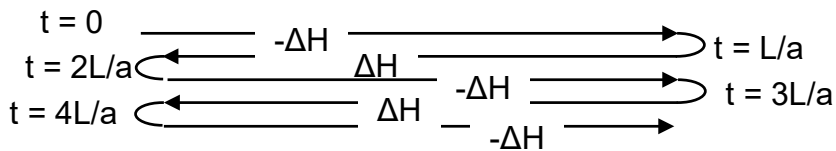
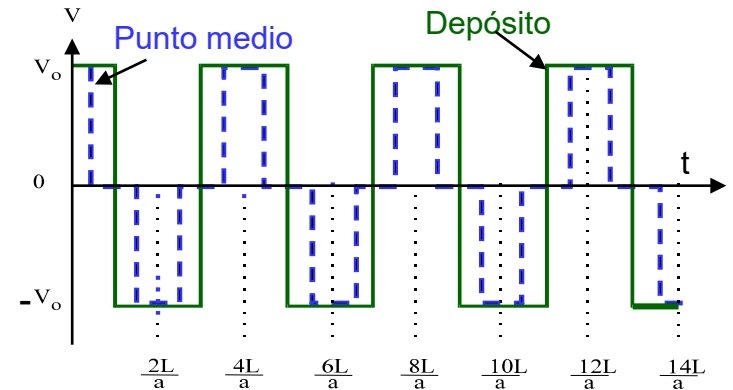
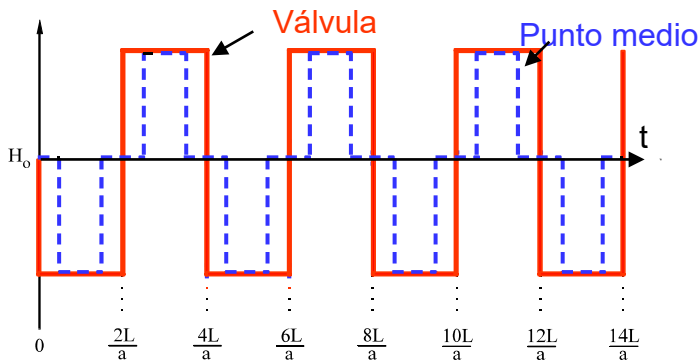
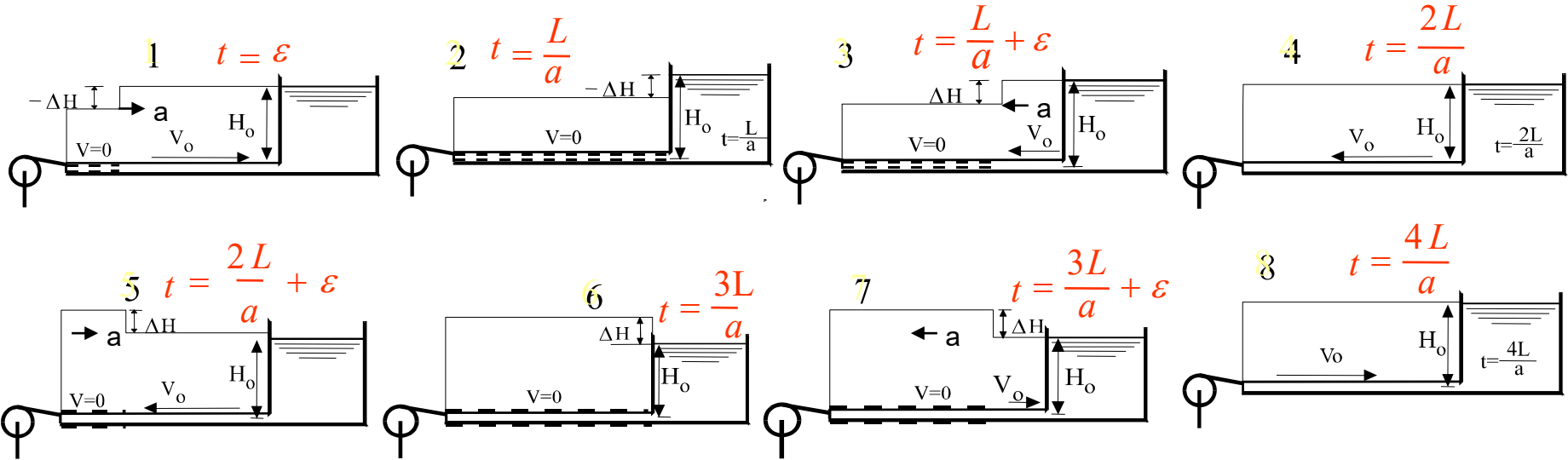
Caso ideal: No hay pérdidas de carga en la tubería

# Envolvente de H piezométrica

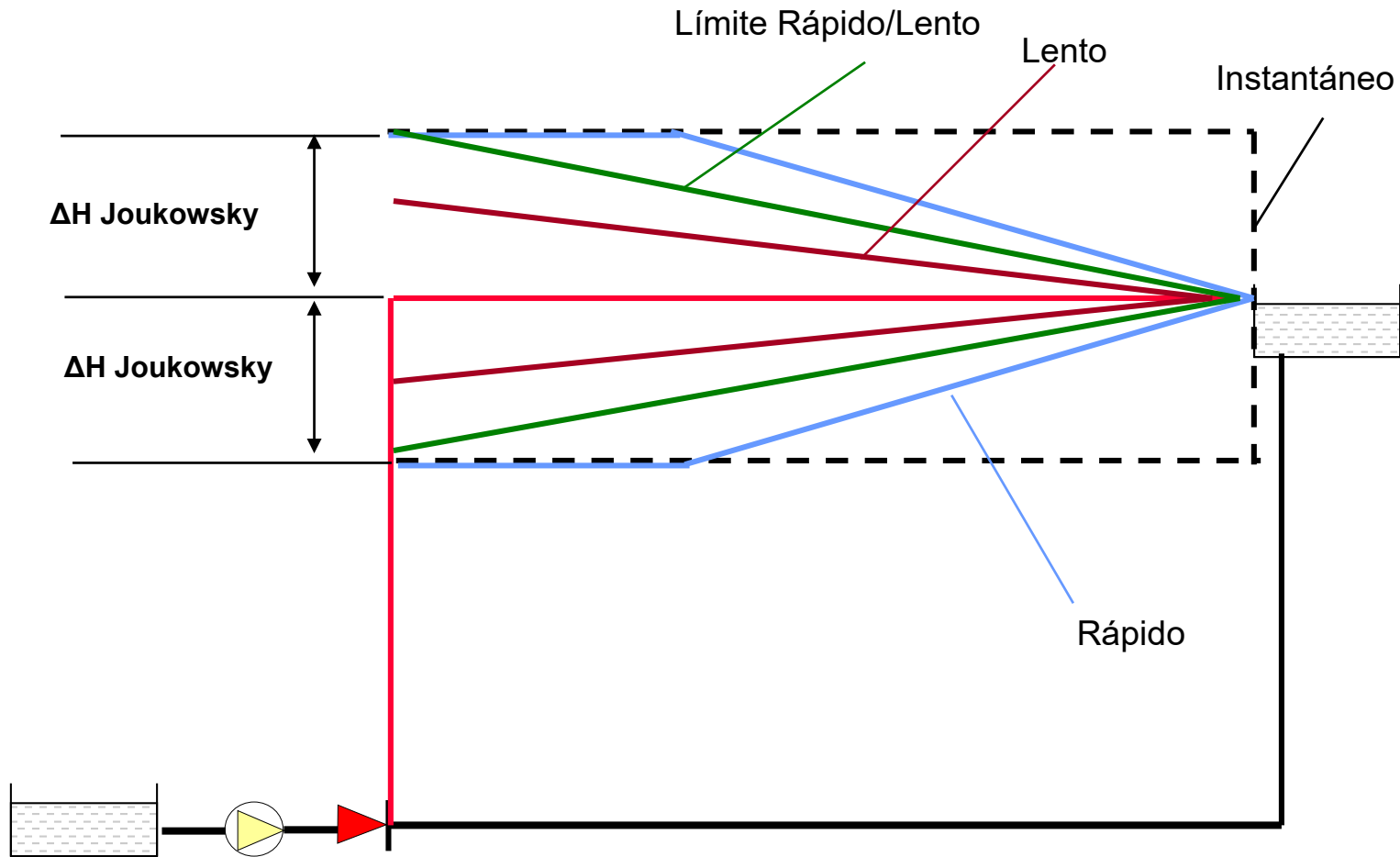


Caso ideal: No hay pérdidas de carga en la tubería

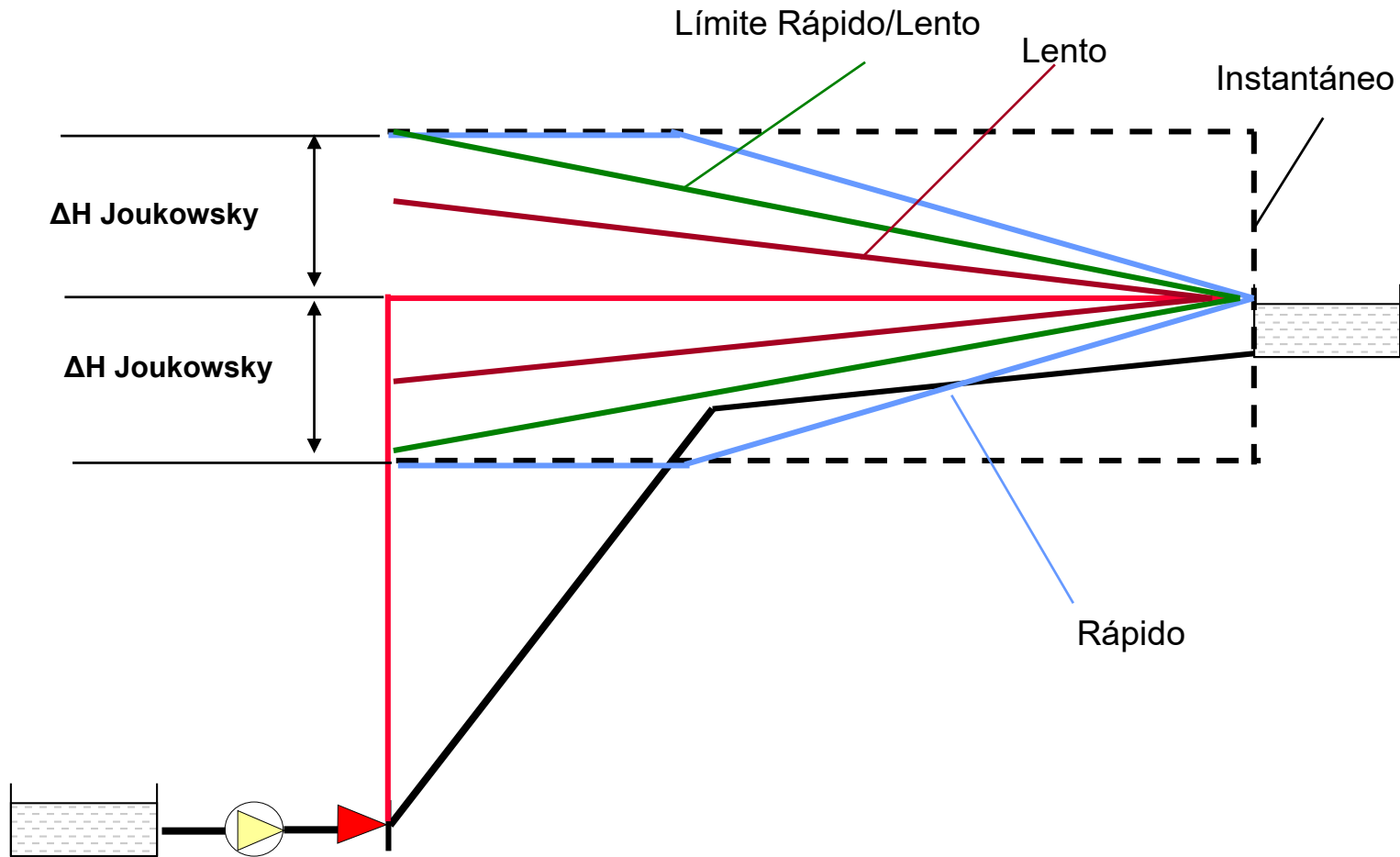
# Cierre instantáneo de las válvulas de descarga en un grupo de bombeo







Caso ideal: No hay pérdidas de carga en la tubería



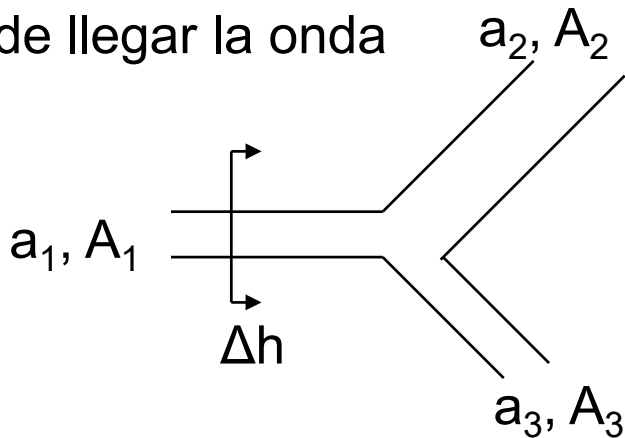
Caso ideal: No hay pérdidas de carga en la tubería

# TRANSMISIÓN Y REFLEXIÓN (1)

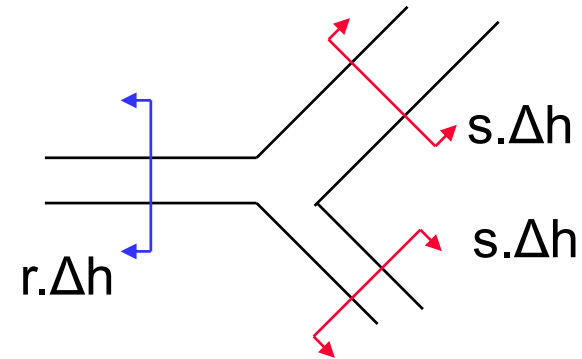
Bifurcación de tuberías de características:

$a_i$ : celeridad  
 $A_i$ : Sección transversal

Antes de llegar la onda



Tras pasar la onda



Coefficiente de transmisión:

$$s = \frac{\frac{2 \cdot A_1}{a_1}}{\frac{A_1}{a_1} + \frac{A_2}{a_2} + \frac{A_3}{a_3}}$$

$$0 < s < 2$$

Con una entrada "e" y n conexiones en el nudo:

$$s = \frac{\frac{2 \cdot A_e}{a_e}}{\sum_{i=1}^n \frac{A_i}{a_i}}$$

Si  $a_1 = a_2 = \dots = a_n$ :

$$s = \frac{2 \cdot A_e}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

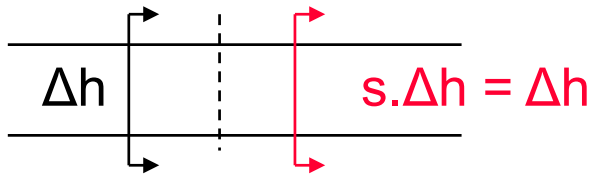
Coefficiente de reflexión:

$$r = s - 1$$

$$s = \frac{2 \cdot A_e}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

$$r = s - 1$$

Tubería de Área constante:



$$A_1 = A_2 = A \quad s = \frac{2 \cdot A_e}{\sum_{i=1}^n A_i} = \frac{2 \cdot A}{A + A} = 1$$

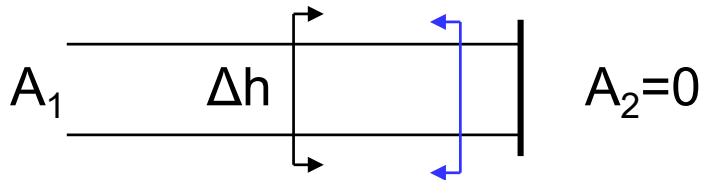
$$r = 1 - 1 = 0 \quad \text{Se transmite toda la onda}$$

Depósito:

$$s = \frac{2 \cdot A_1}{A_1 + A_2} \cong 0 \quad r = 0 - 1 = -1$$

Se refleja toda la onda con signo cambiado

Extremo cerrado:



$$r \cdot \Delta h = +\Delta h$$

$$s = \frac{2 \cdot A_1}{A_1 + 0} = 2$$

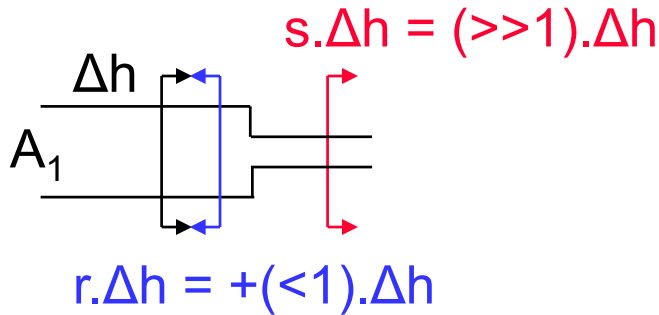
$$r = 2 - 1 = 1$$

Se refleja toda la onda con el mismo signo, de manera que la presión al lado del extremo se incrementa en  $2\Delta h$

$$s = \frac{2 \cdot A_e}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

$$r = s - 1$$

## Estrechamiento



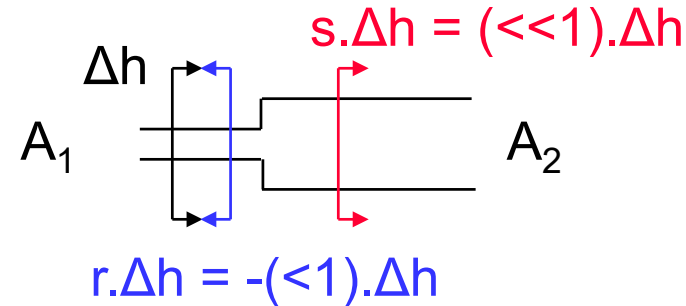
$$s = \frac{2 \cdot A_1}{A_1 + A_2} > 1$$

Si  $A_2 \ll A_1$ ,  
 $s \approx 2$  y  $r \approx 1$

$$r = s - 1 < 1$$

De cara a la tubería principal actúa casi como un tapón, pero de cara a la tubería secundaria se transmite más onda de la que llega al estrechamiento.

## Ensanchamiento



$$s = \frac{2 \cdot A_1}{A_1 + A_2} < 1$$

Si  $A_2 \gg A_1$ ,  
 $s \approx 0$  y  $r \approx -1$

$$r = s - 1 < 0$$

Desde la tubería de menor diámetro se transmite poco a la de mayor diámetro. La onda generada en la tubería (1) queda encerrada en la zona de menor diámetro

$$D_1 = 200 \text{ mm y } D_2 = 800 \text{ mm}$$

$$s = 0.12 \text{ y } r = 0.88$$

$$D_1 = 600 \text{ mm y } D_2 = 800 \text{ mm}$$

$$s = 0.72 \text{ y } r = -0.28$$

$$D_1 = 800 \text{ mm y } D_2 = 200 \text{ mm}$$

$$s = 1.89 \text{ y } r = 0.89$$

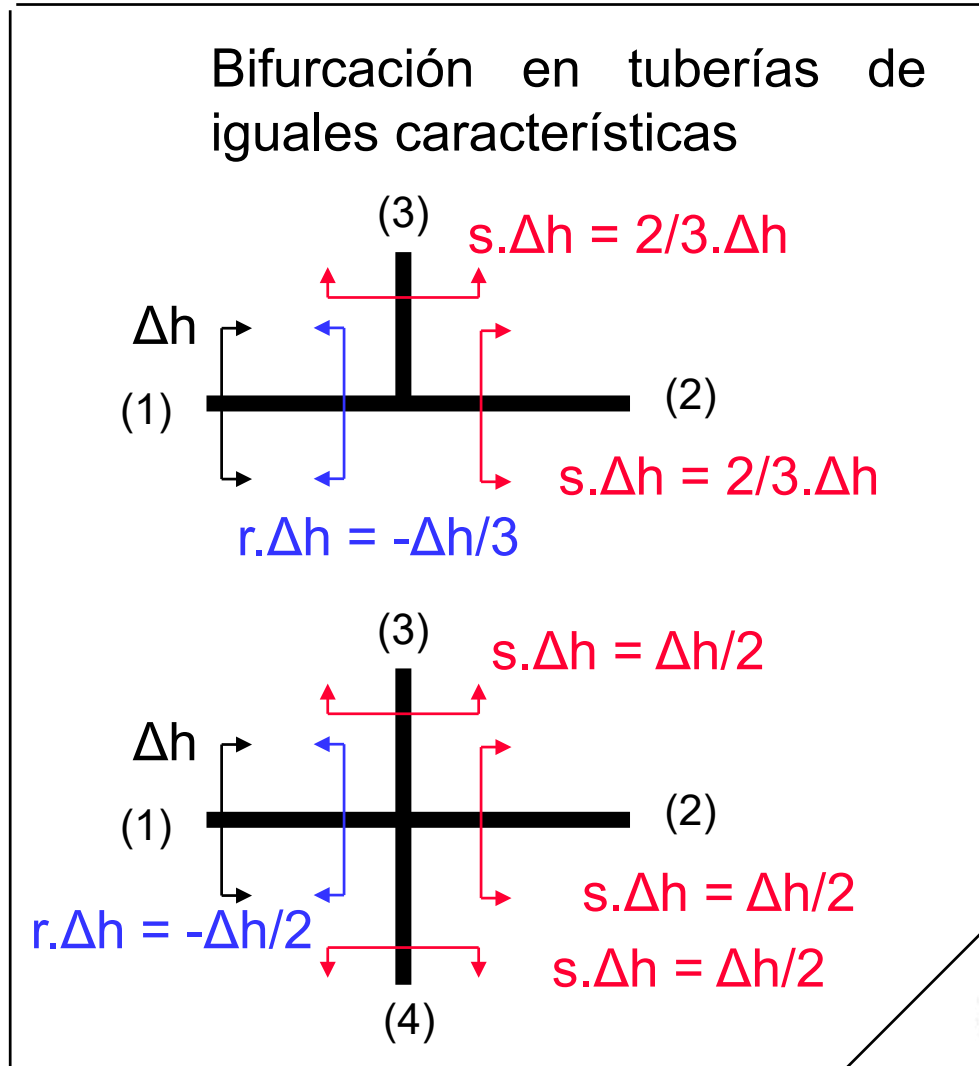
$$D_1 = 800 \text{ mm y } D_2 = 600 \text{ mm}$$

$$s = 1.28 \text{ y } r = 0.28$$

# TRANSMISIÓN Y REFLEXIÓN (4)

$$r = s - 1$$

$$s = \frac{2 \cdot A_e}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

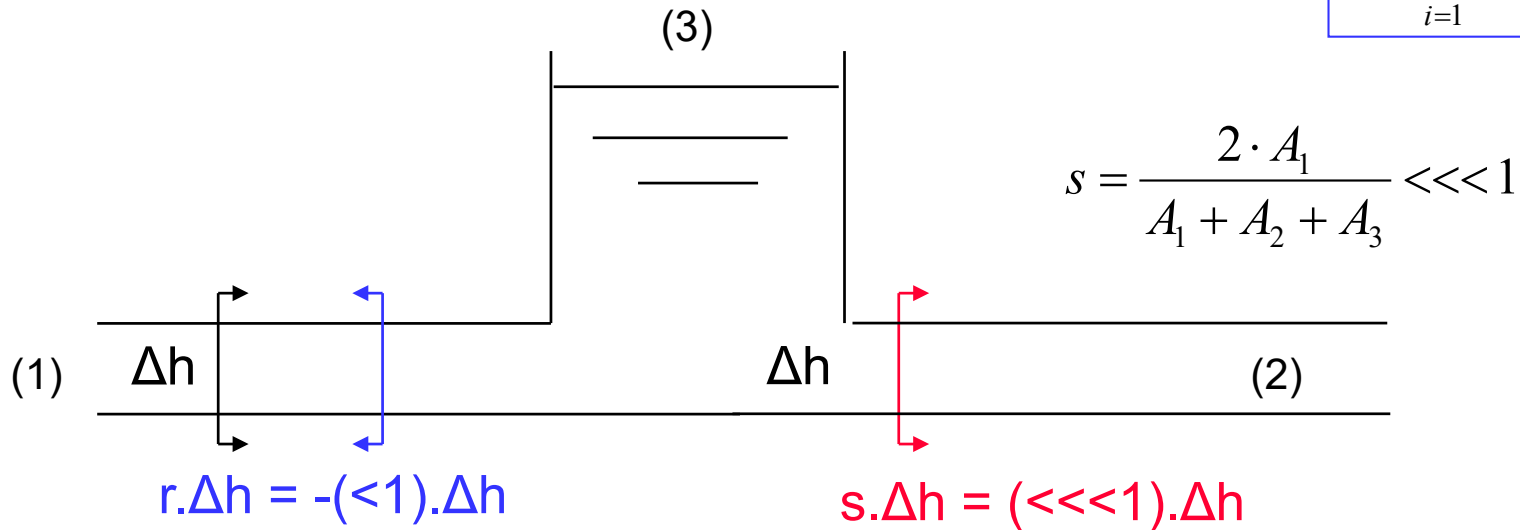


# TRANSMISIÓN Y REFLEXIÓN (5)

Chimenea de equilibrio

$$r = s - 1$$

$$s = \frac{2 \cdot A_e}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

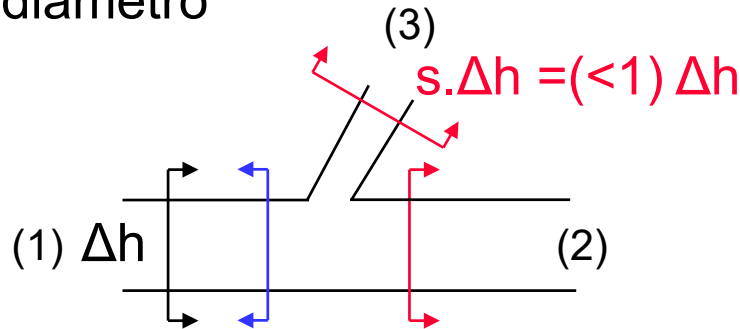


La chimenea protege la zona situada aguas abajo de las ondas generadas en la parte de aguas arriba

$$A_1 = A_2 \ll A_3 \rightarrow s \approx 0 \text{ y } r \approx -1$$

# TRANSMISIÓN Y REFLEXIÓN (6)

Onda generada en la tubería principal cuando llega a un Bifurcación de pequeño diámetro



$$r = s - 1$$

$$s = \frac{2 \cdot A_e}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

$$r \cdot \Delta h = -(\ll 1) \cdot \Delta h \quad s \cdot \Delta h = (< 1) \Delta h$$

$$A_1 = A_2 \gg A_3 \rightarrow s \approx 1 \text{ y } r \approx 0$$

**Desde la tubería principal, prácticamente se transmite toda la onda a la red.** Luego, quedará encerrada en la tubería de menor diámetro (las ondas en las de poco diámetro apenas se transmiten hacia la tubería principal). Atención a los dispositivos de medición colocados en la bifurcación (3)

$$D_1 = 800 \text{ mm, con } D_2 = 200 \text{ mm y } D_3 = 800 \text{ mm}$$

$$D_1 = 800 \text{ mm, con } D_2 = 600 \text{ mm y } D_3 = 800 \text{ mm}$$

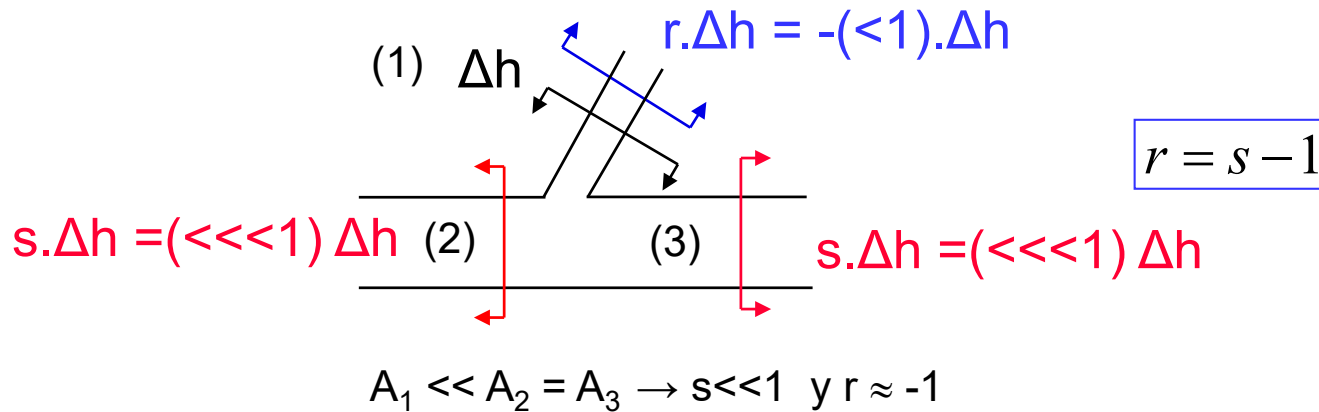
$$s = 0.97 \text{ y } r = -0.03$$

$$s = 0.78 \text{ y } r = -0.22$$



# TRANSMISIÓN Y REFLEXIÓN (7)

Onda generada en la tubería secundaria (bifurcación) cuando llega a una tubería de mayor diámetro.



$$s = \frac{2 \cdot A_e}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

**Desde la tubería secundaria se transmite poco a las tuberías de mayor diámetro.** Los cierres de hidrantes en red solo generan variaciones de presión importantes cerca de los mismos, y la perturbación se va “minorando” porque en el sentido aguas arriba se “transmite poco” y parte de la onda se amortigua (fricción y movimiento de elementos).

$$D_1 = 200 \text{ mm y } D_2 = D_3 = 800 \text{ mm}$$

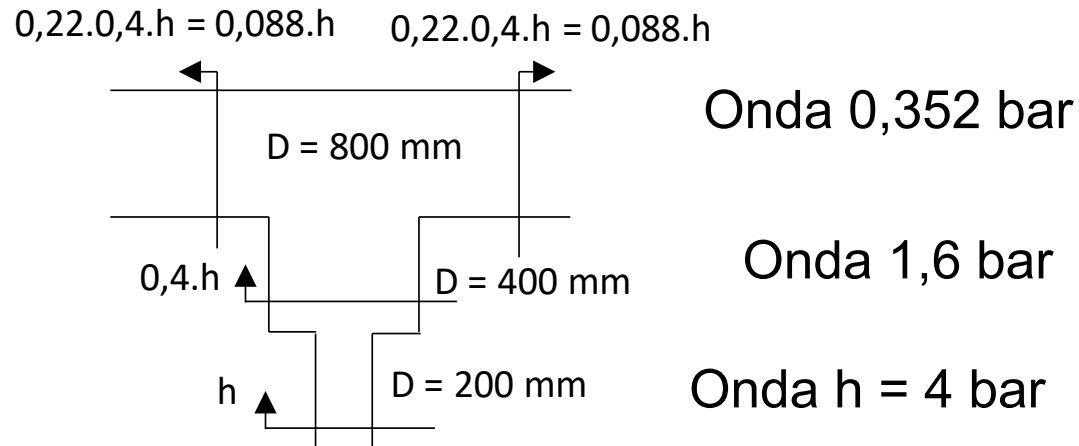
$$D_1 = 600 \text{ mm y } D_2 = D_3 = 800 \text{ mm}$$

$$s = 0.06 \text{ y } r = -0.94$$

$$s = 0.44 \text{ y } r = -0.56$$

# TRANSMISIÓN Y REFLEXIÓN (8)

Onda generada en la tubería secundaria (bifurcación) transmitiéndose hacia aguas arriba (tuberías de mayor diámetro).



# Software de simulación

Water 2021, 13, 495

2 of 15

Table 1. Available water hammer commercial software.

Institution	Software Name	Solution Method	Friction Model
Applied Flow Technology	AFT Impulse	MoC	Quasisteady
Flow Science Inc.	FLOW 3-D	TruVOF	Steady
Hydromantis Inc.	ARTS	MoC	Steady
University of Auckland	HYTRAN	MoC	Vitkovský
BHR Group	FLOWMASTER 2	MoC	Steady
Bentley Systems, Inc.	HAMMER	MoC	Vitkovský
Stoner Associates, Inc.	LIQT	MoC	Steady
DHI	HYPRESS	Finite-Difference Method	Steady
University of Cambridge	PIPENET	MoC	Steady
University of Kentucky	SURGE	Wave Method (WM)	Steady
University of Texas at Austin	TSNet	MoC	Vitkovský
University of Toronto	TRANSAM	MoC	Steady
University Politècnica de Valencia	DYAGATS	MoC	Steady
University Politècnica de Valencia	ALLIEVI	MoC	Steady
Deltares	WANDA	MoC	Quasisteady
US Army Corps Engineers	WHAMO	Finite-Difference Method	Steady
DHI	MIKE URBAN	MoC	Steady
Innovyze	H <sub>2</sub> O SURGE	WM	Steady
KYPIPE	SURGE	WM	Steady
EPA	EPA SURGE	WM	Steady
Unison Engineering, Inc.	uSLAM	MoC	Steady

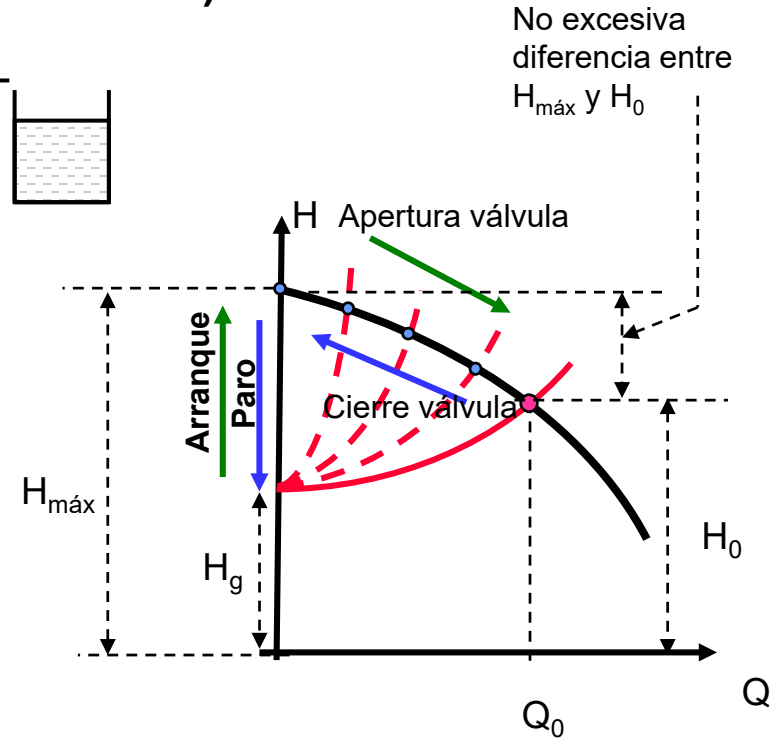
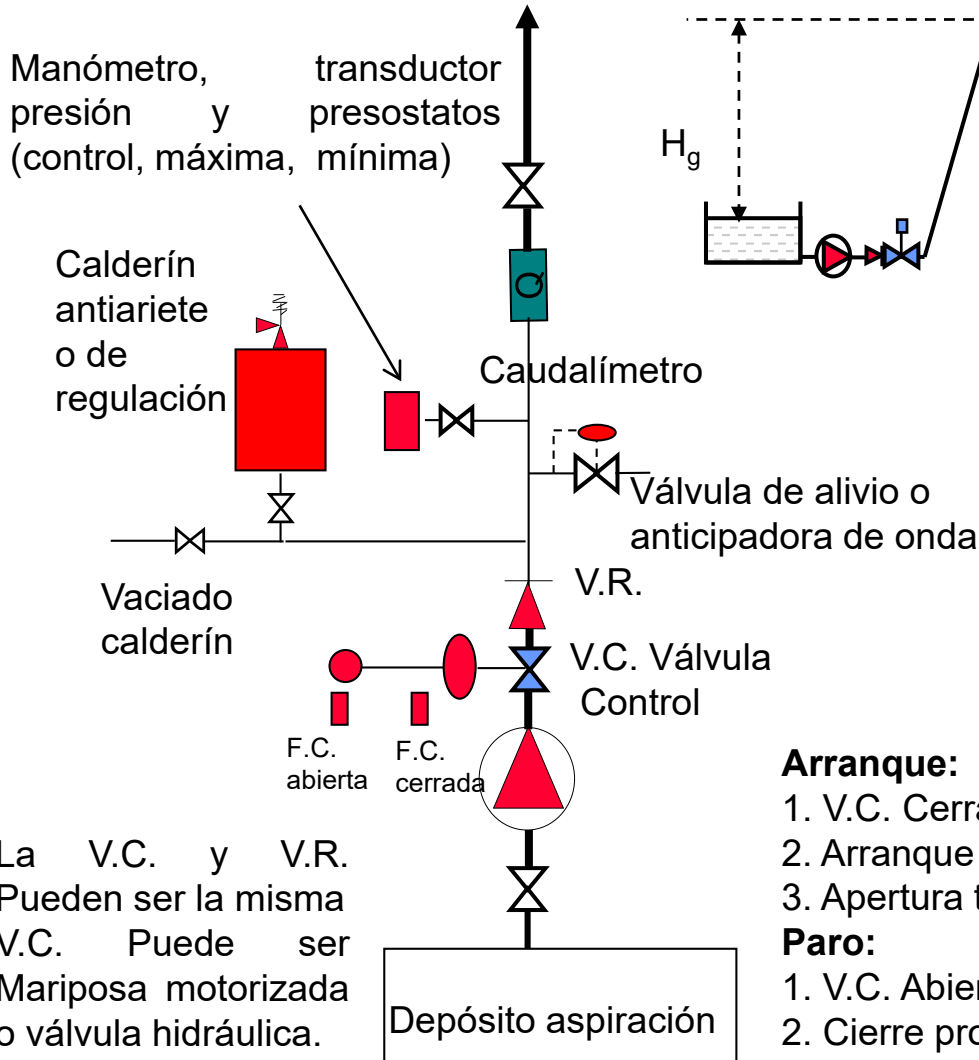
MoC (Método de las características)

## MANIOBRAS CONTROLADAS EN ESTACIONES DE BOMBEO

- Arranques a válvula cerrada de Bombas de característica plana
- Arranques con válvula en derivación
- Utilización de los variadores de frecuencia
- Arranques y paradas de los equipos de bombeo de manera escalonada

En las paradas accidentales, cuanto mayor es el Momento de inercia del conjunto Bomba + Agua + Motor, menos oscilaciones de presión se producen pues la bomba para de manera más lenta tras su desconexión.

# Arranque/Paro a Válvula cerrada (Curva característica Horizontal)



La V.C. y V.R. Pueden ser la misma V.C. Puede ser Mariposa motorizada o válvula hidráulica.

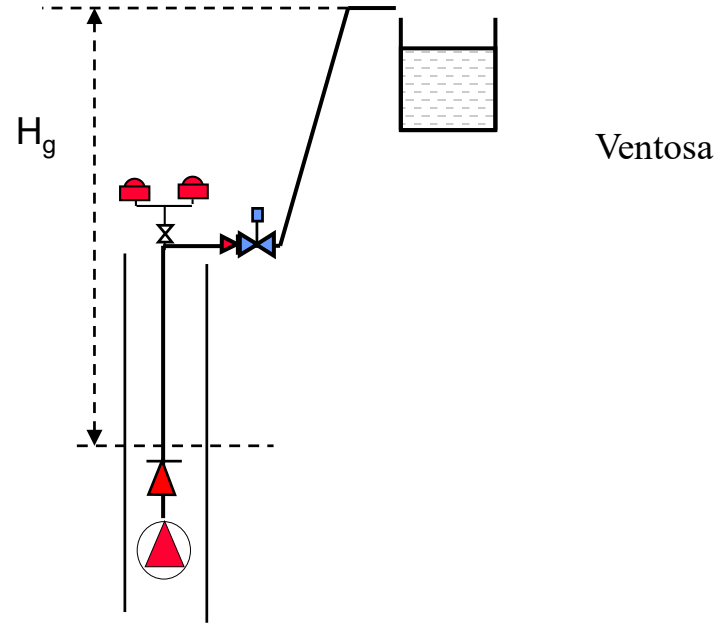
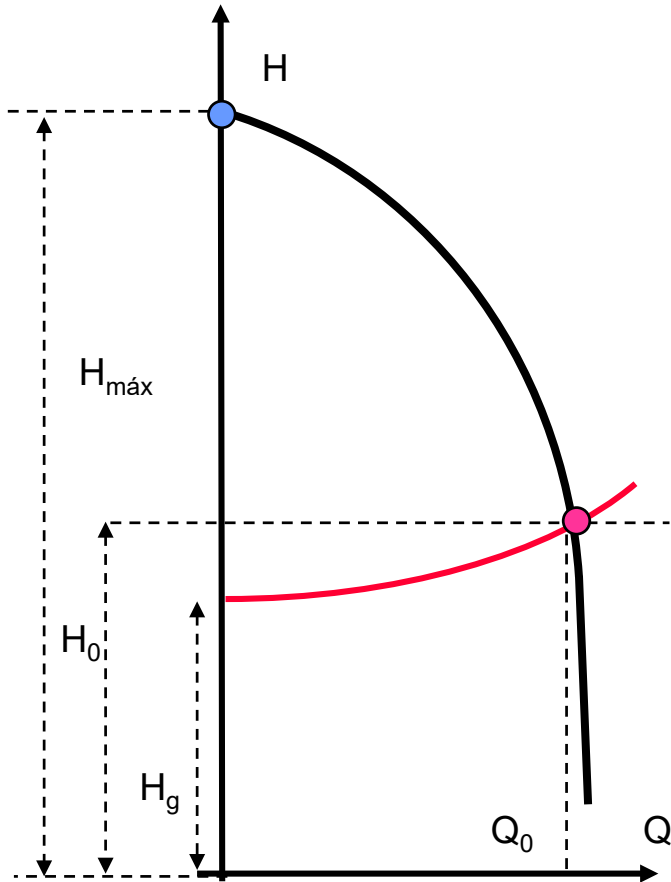
### Arranque:

1. V.C. Cerrada
2. Arranque bomba
3. Apertura temporizada V.C.

### Paro:

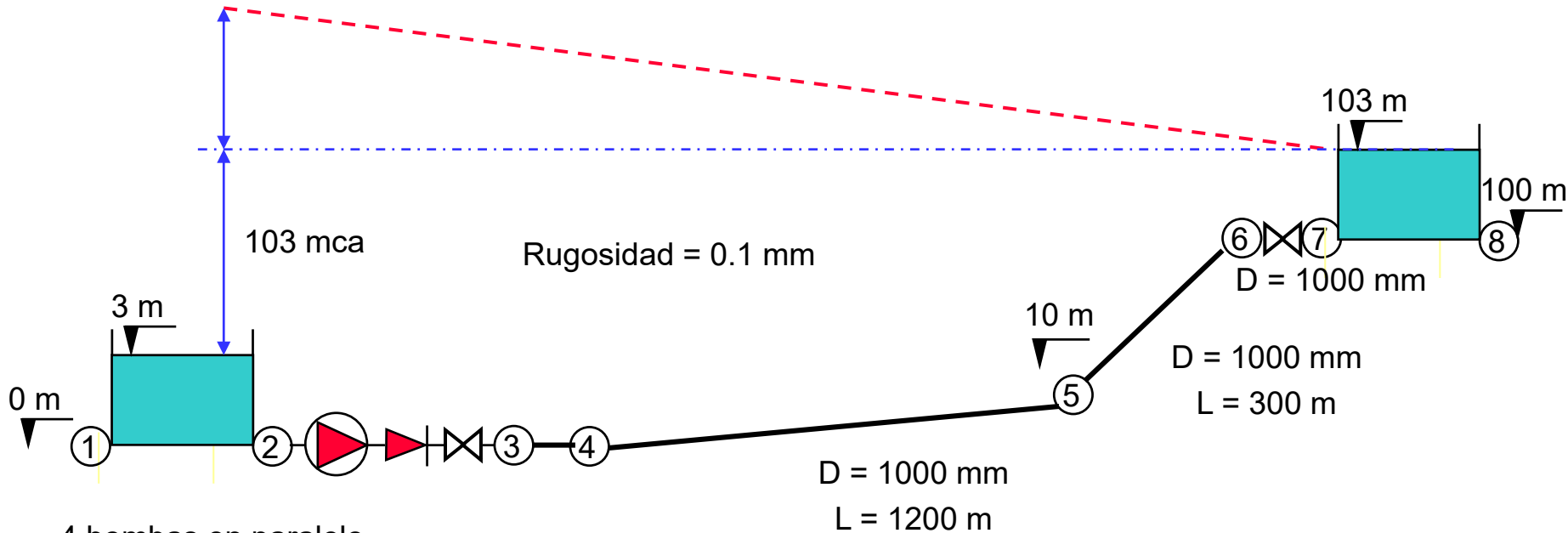
1. V.C. Abierta
2. Cierre progresivo V.C.
3. Final carrera V.C. Activado (cerrada)
4. Paro bomba

## En el caso de una bomba de pozo esta maniobra puede ser peligrosa



La diferencia entre  $H_{m\acute{a}x}$  y  $H_0$  puede ser excesiva  
 Si no hay válvula de retención al lado de la bomba el flujo puede acelerarse de forma excesivamente rápida chocar bruscamente contra la VR exterior

# IMPULSIÓN PERFIL CÓNCAVO B. G.D.A. por maniobra de bomba



4 bombas en paralelo.

Parada de todas las bombas

Para cada bomba:

$I = 25 \text{ Kg.m}^2$   $H = 110 \text{ mca}$   $Q = 300 \text{ l/s}$

$P = 360 \text{ kw}$   $N = 1484 \text{ rpm}$

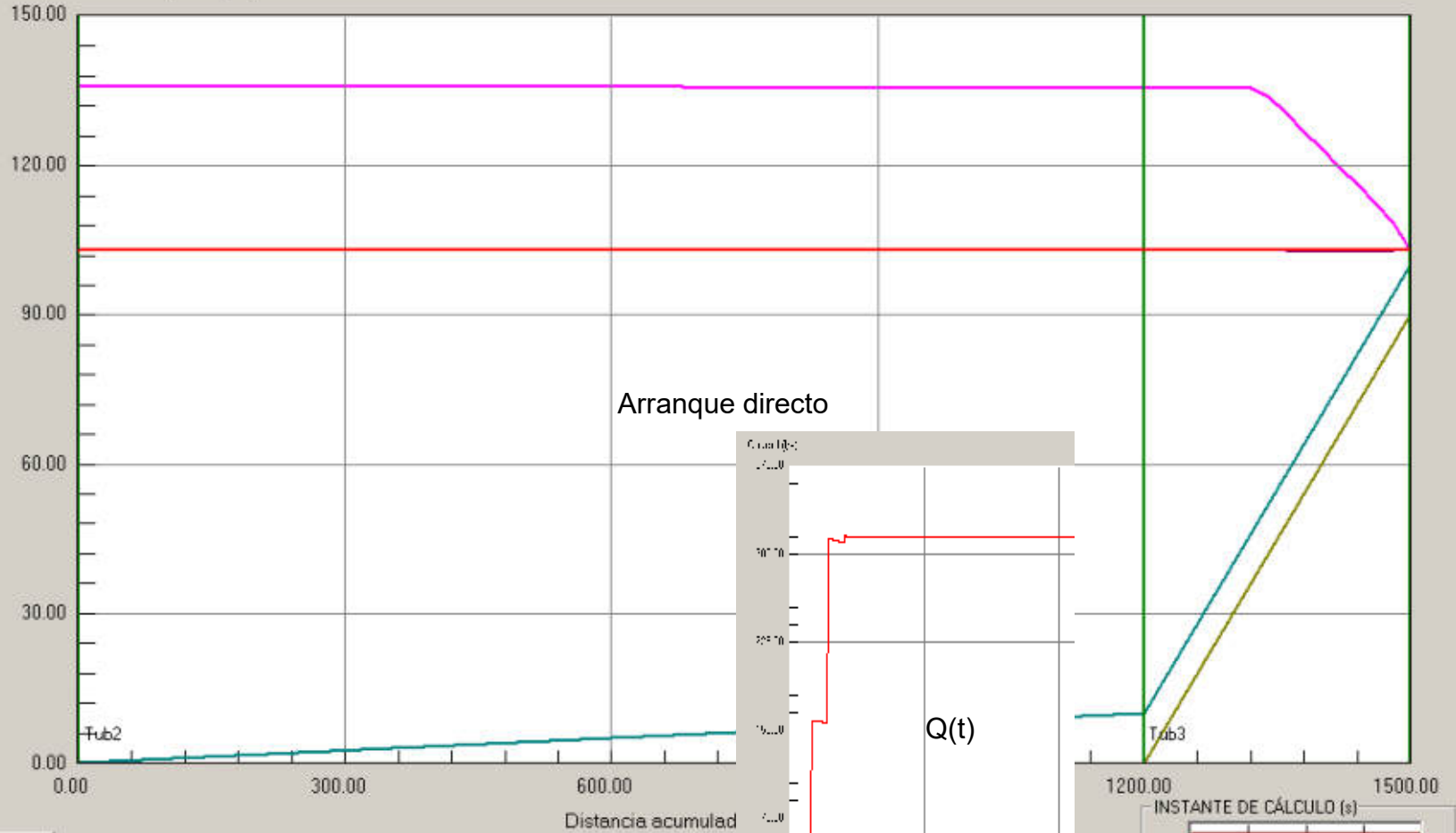
**Arranque y paro a V Cerrada**

Imp cóncavo B arranque directo

Tiempo de cálculo 0 h 5 m 0 s

ENVOLVENTE DE ALTURAS PIEZOMÉTRICAS EN TUBERIAS SELECCIONADAS

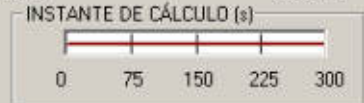
Altura piezométrica (m.c.Agua)



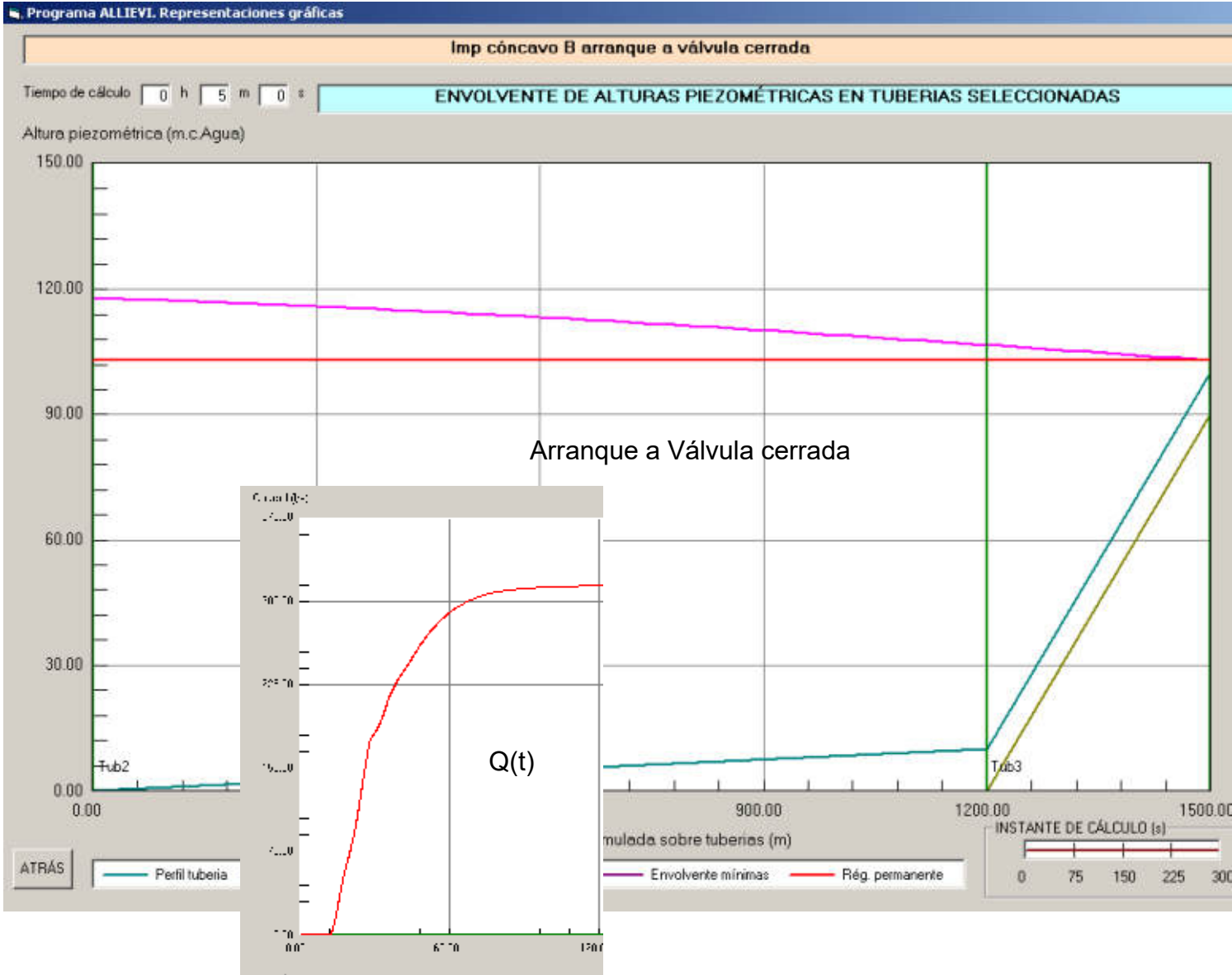
ATRÁS

— Perfil tubería — Línea cavitación — Envolvente máximas —

ste







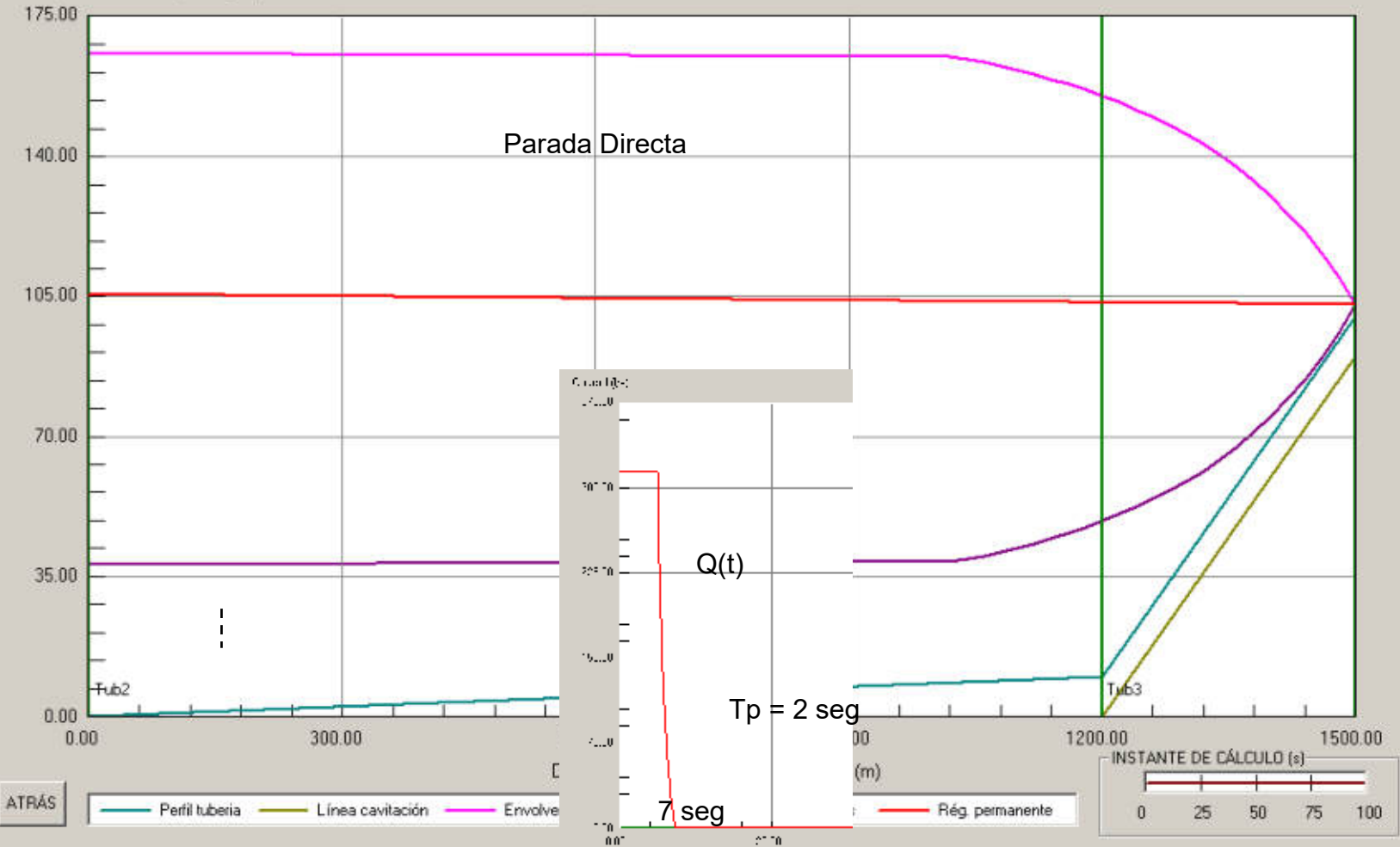
Programa ALLIEVI. Representaciones gráficas

Imp cóncavo B sp

Tiempo de cálculo 0 h 1 m 40 s

ENVOLVENTE DE ALTURAS PIEZOMÉTRICAS EN TUBERIAS SELECCIONADAS

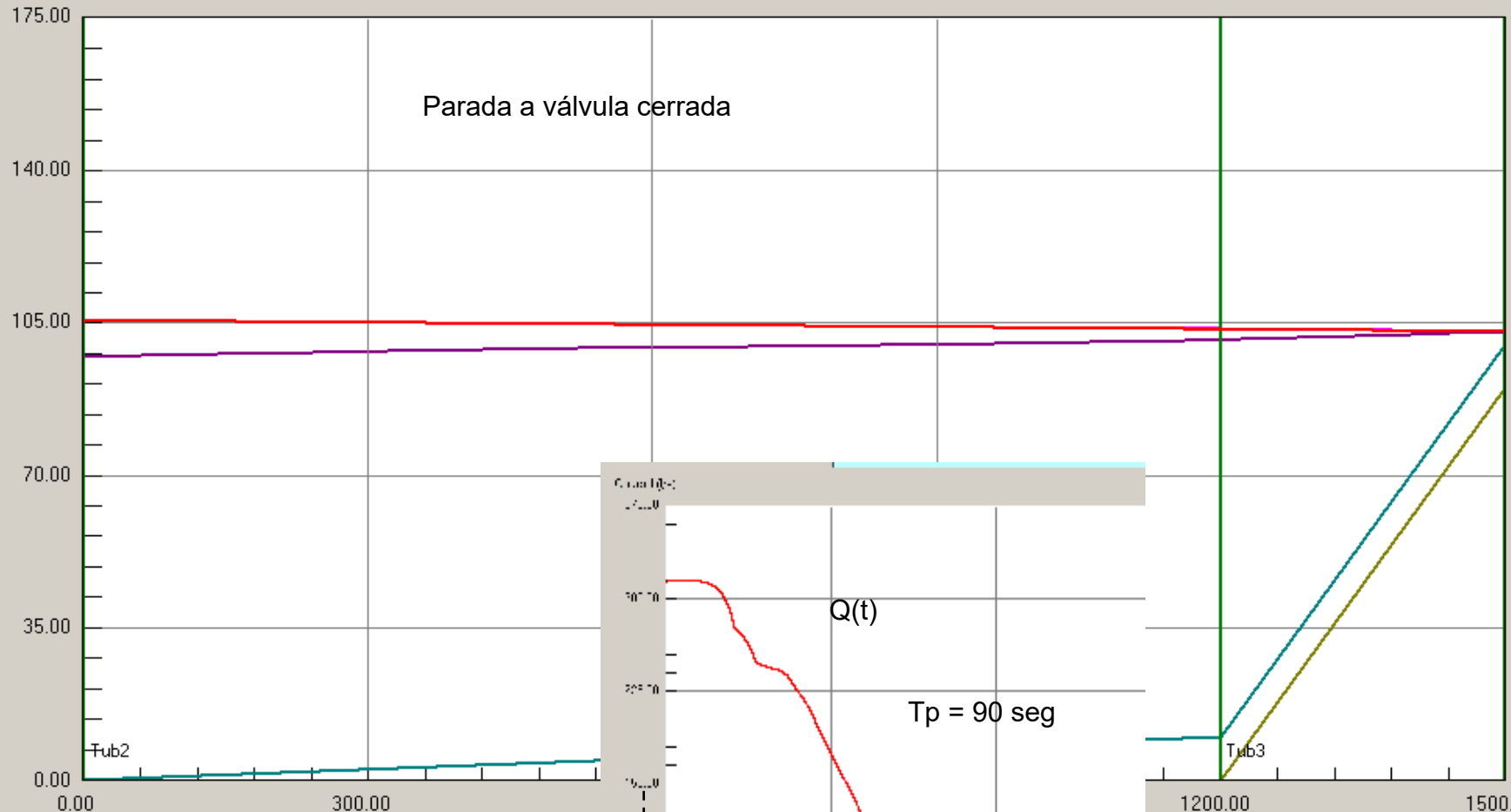
Altura piezométrica (m.c.Agua)



Tiempo de cálculo 0 h 5 m 0 s

ENVOLVENTE DE ALTURAS PIEZOMÉTRICAS EN TUBERIAS SELECCIONADAS

Altura piezométrica (m.c.Agua)



Parada a válvula cerrada

Q(t)

Tp = 90 seg

100 s

INSTANTE DE CÁLCULO (s)

0 75 150 225 300

ATRÁS

- Perfil tubería
- Línea cavitación
- Envolv

# Arranque/Paro con Válvula en derivación (Curva característica Vertical) Caso típico en perforaciones

La ventosa debe admitir aire rápidamente si fallo E.Eléctrica.

Descarga a la atmósfera o a pozo

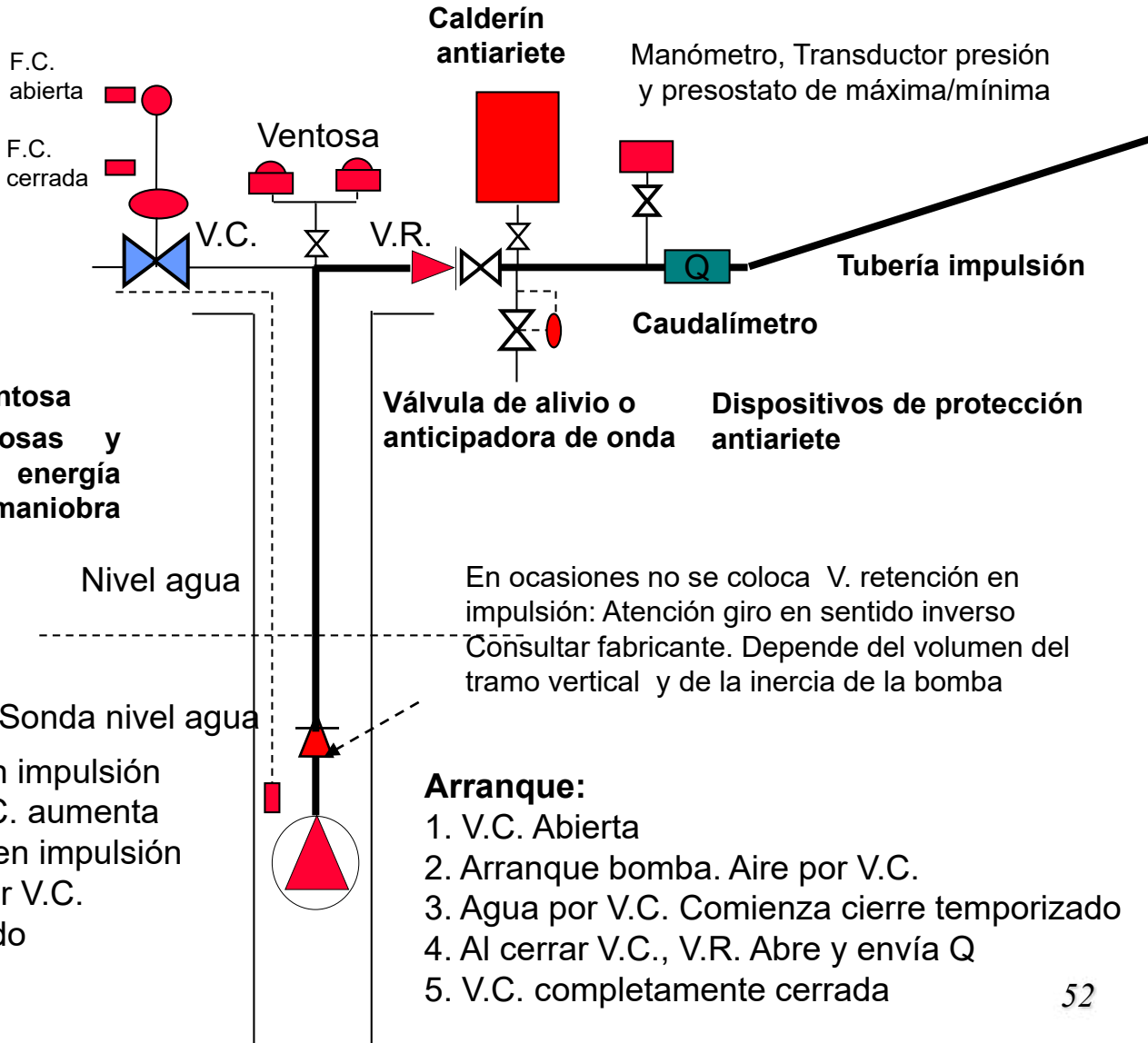
La válvula se instala en derivación

La descarga a la atmósfera actúa de ventosa

Siempre hay que instalar ventosas y protecciones para cuando falle la energía eléctrica y no podamos realizar la maniobra programada.

## Paro:

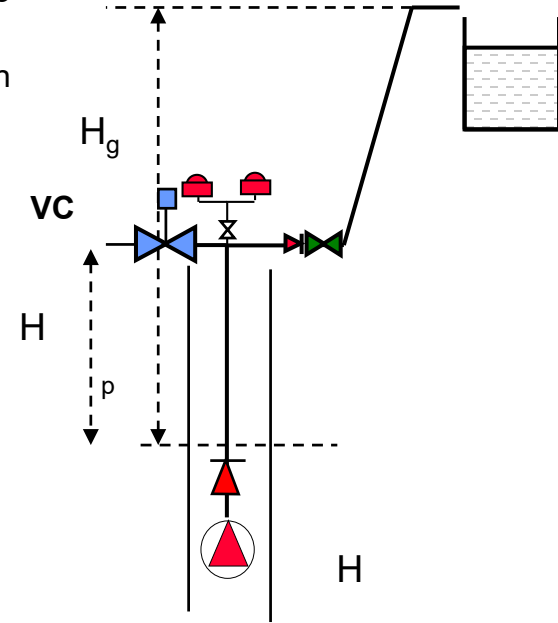
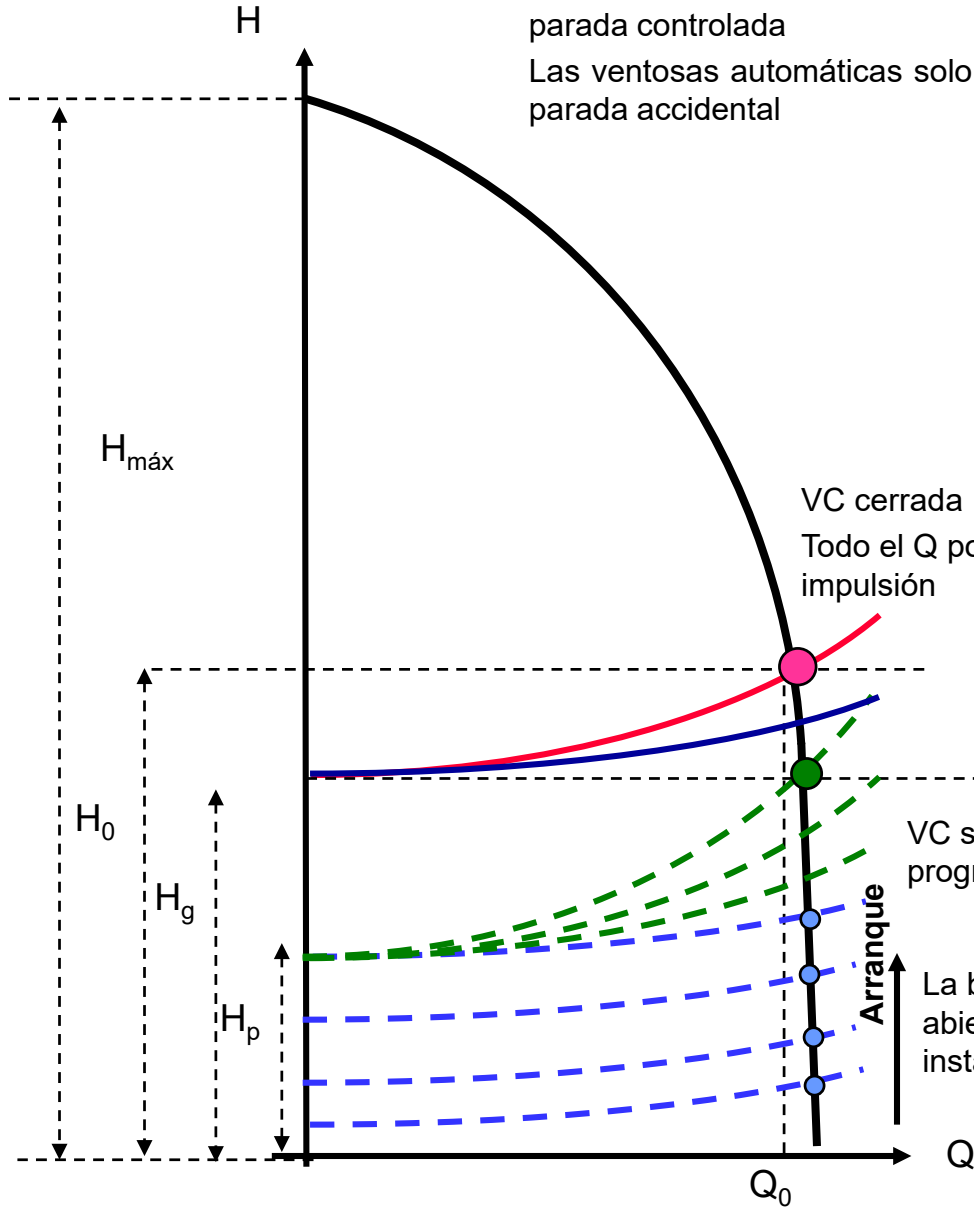
1. V.C. cerrada
2. Apertura V.C. Temporizada. Q en impulsión disminuye lentamente. Q por V.C. aumenta
3. V.C. Completamente abierta. Q en impulsión nulo. V.R. Cerrada. Todo el Q por V.C.
4. Final carrera V.C. Abierta activado
5. Parar bomba.



## Arranque:

1. V.C. Abierta
2. Arranque bomba. Aire por V.C.
3. Agua por V.C. Comienza cierre temporizado
4. Al cerrar V.C., V.R. Abre y envía Q
5. V.C. completamente cerrada

VC actúa de Ventosa en arranque o parada controlada  
 Las ventosas automáticas solo actúan en parada accidental



A partir de este punto, parte del caudal va por VC y parte por la tubería de impulsión

VC se cierra de manera progresiva

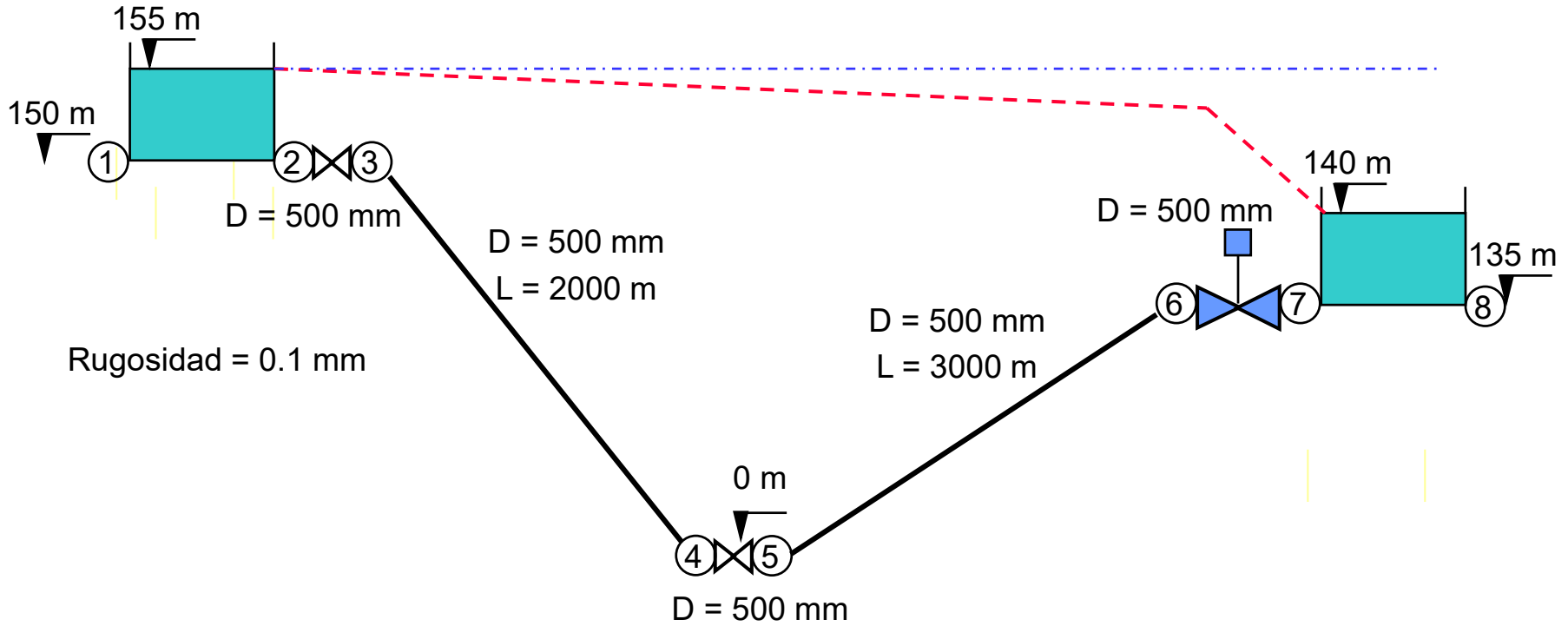
La bomba arranca con VC abierta y saca el aire de la instalación a través de VC

# MANIOBRAS CONTROLADAS EN VÁLVULAS E HIDRANTES

- Maniobras programadas en válvulas de seccionamiento en aducciones y redes.
- Cuanto más lenta es la maniobra, menores oscilaciones de presión (intentar que  $dQ/dt$  no sea grande)
- En conducciones de mayor longitud la maniobra de cierre puede ser más rápida al inicio y más lenta al final. Cierre en varias etapas.
- Aperturas y cierres de hidrantes de manera lenta y escalonada en redes (Riego programado)

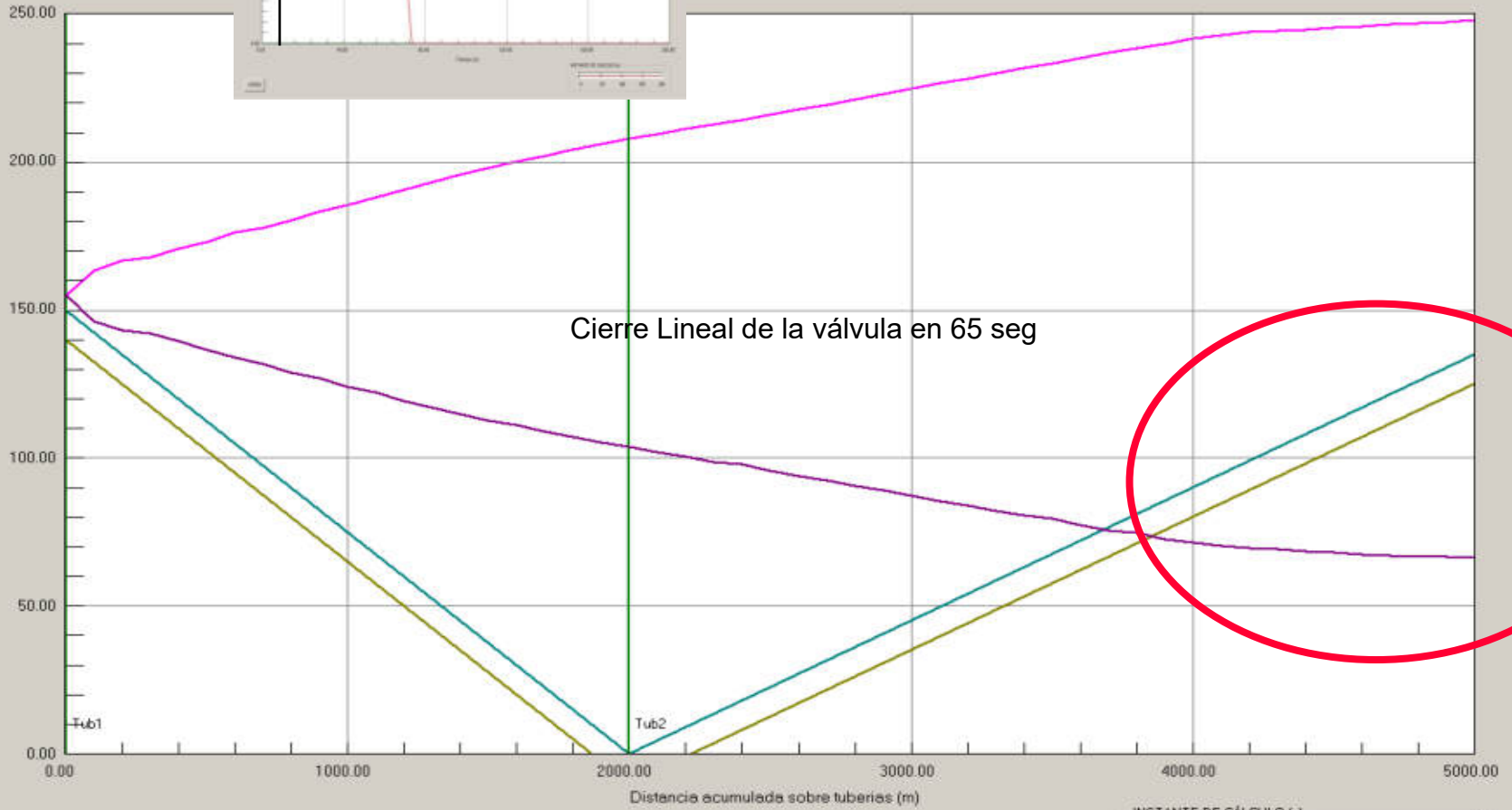


# GRAVEDAD Sifón



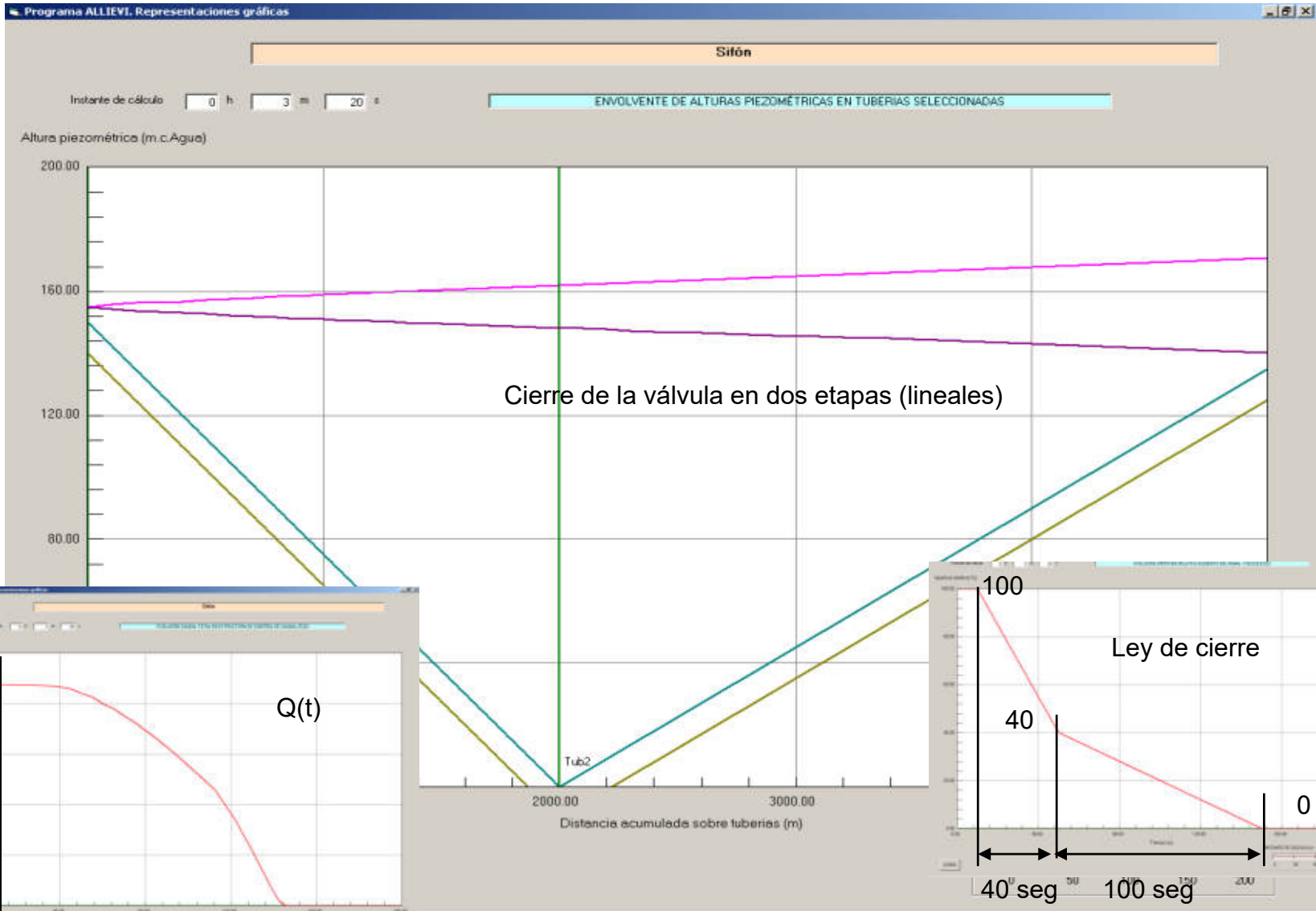
Programa ALLIEVI. Representacion

Instante de cálculo: 0  
Altura piezométrica (m.c. Agua)



ATRÁS



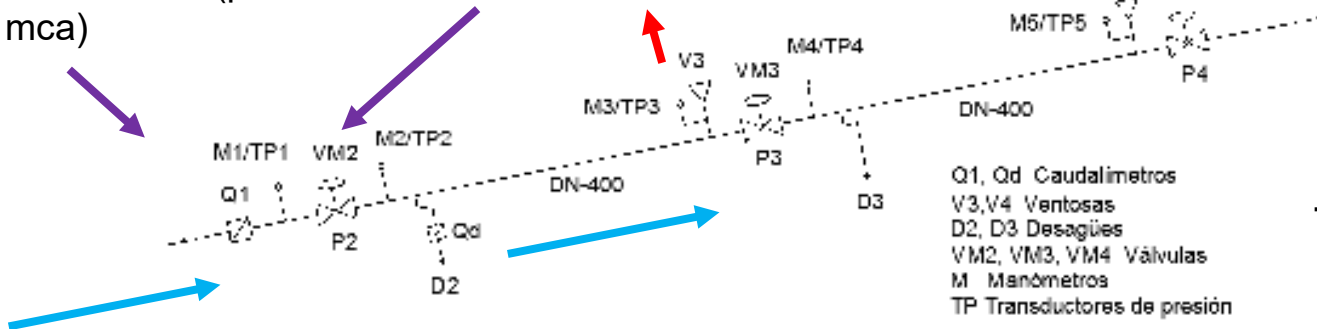


# Llenado de conducciones

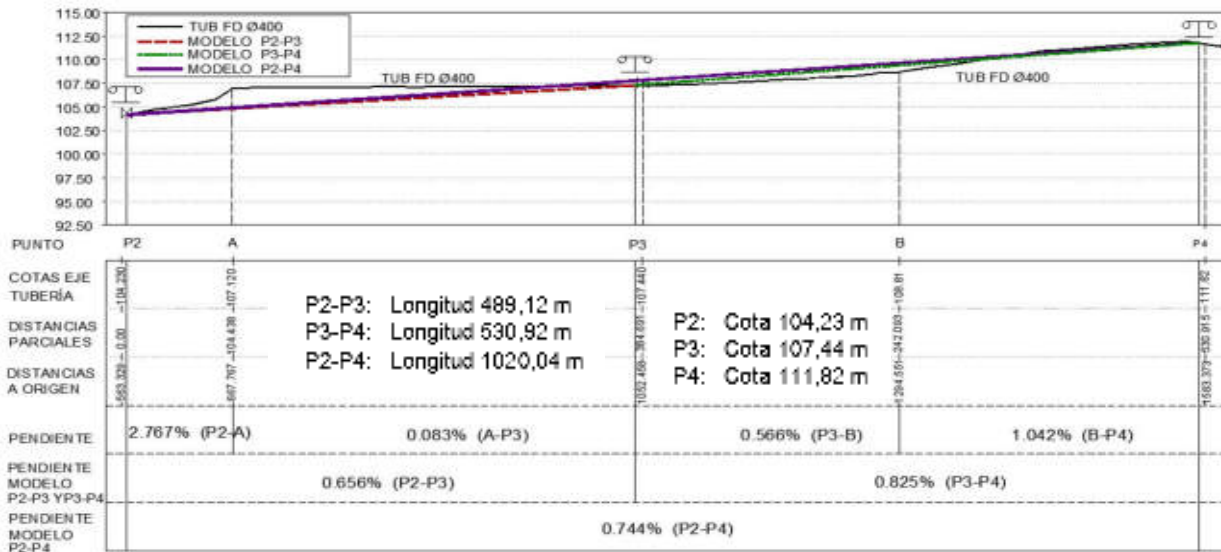
Red presurizada desde la que se llena la conducción ( $p = 35$  mca)

VM2: Válvula de Mariposa que regula el caudal de llenado

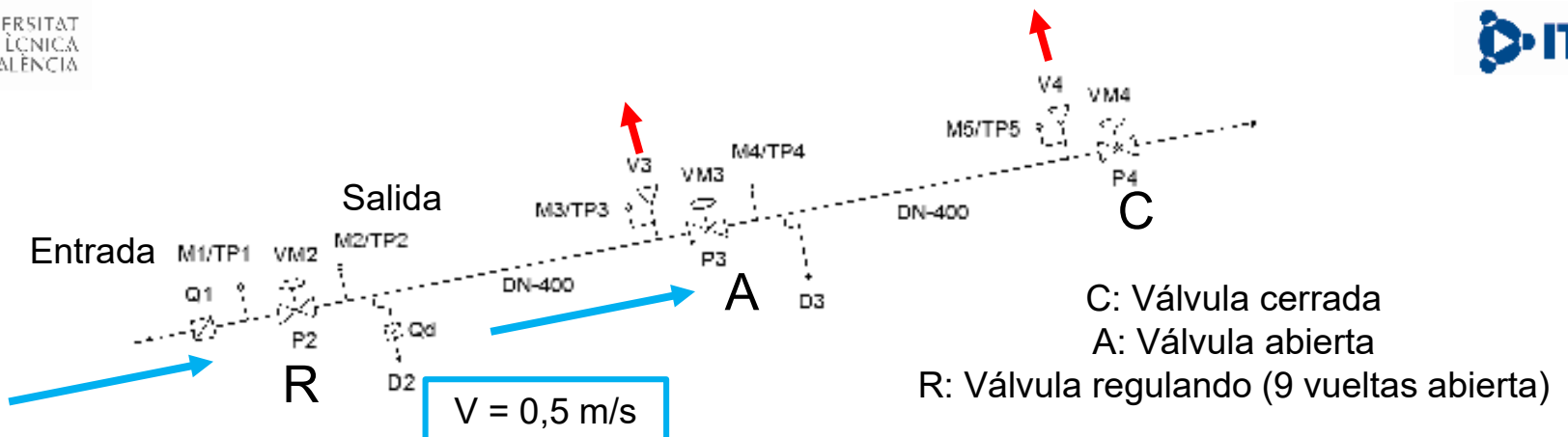
Ventosas DN 100



- Controlar el caudal de llenado para que la velocidad en la tubería esté entre 0,3 y 0,6 m/s.
- Elegir la ventosa para que con ese caudal, la presión mientras expulsa el aire no sea superior a 3 mca



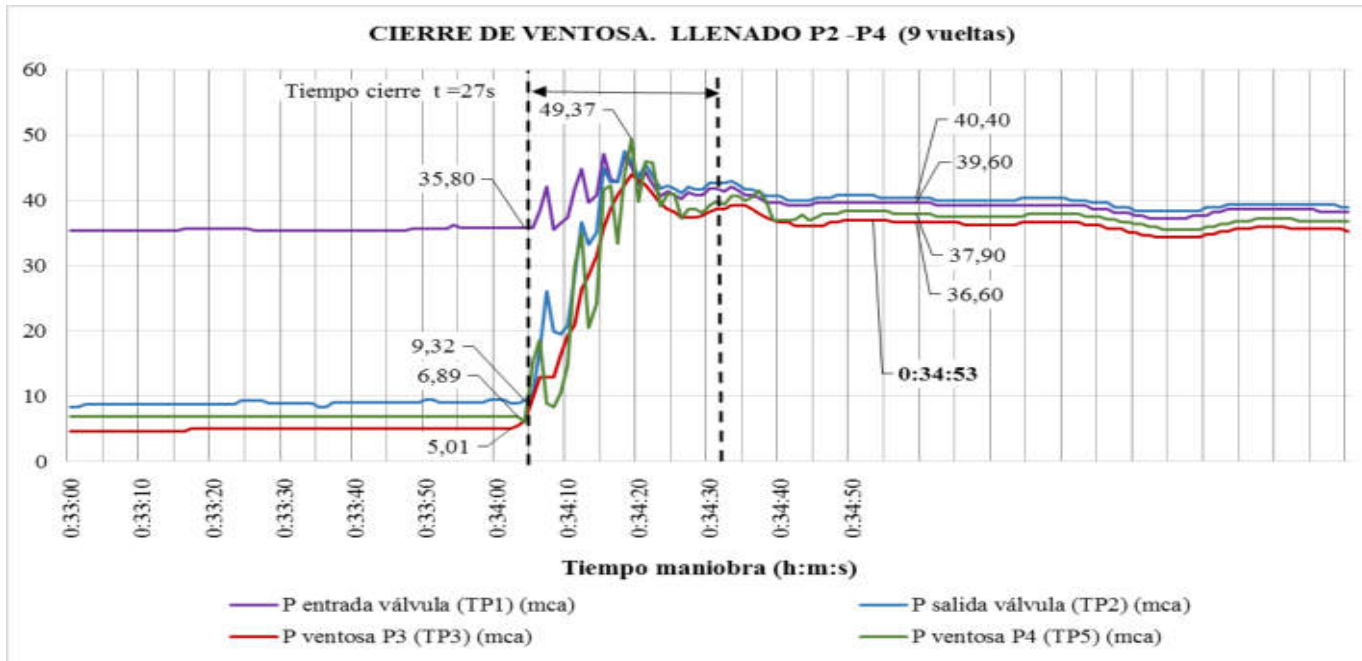
Si la velocidad de llenado es excesiva, se producirán sobrepresiones elevadas al cerrar la ventosa



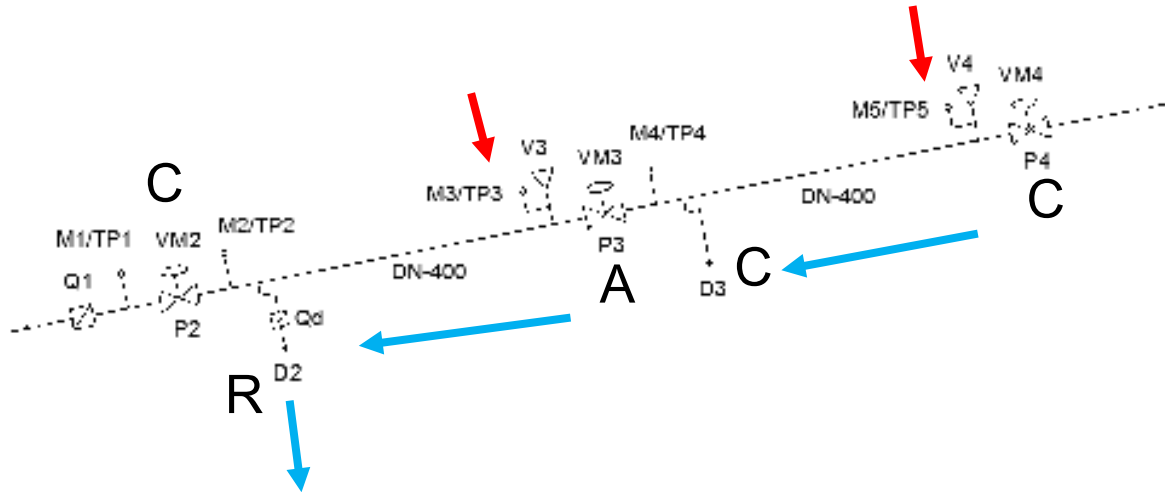
Q1, Qd Caudalímetros  
 V3, V4 Ventosas  
 D2, D3 Desagües  
 VM2, VM3, VM4 Válvulas  
 M Manómetros  
 TP Transductores de presión

P2: Cota 104,23 m  
 P3: Cota 107,44 m  
 P4: Cota 111,82 m

P2-P3: Longitud 489,12 m  
 P3-P4: Longitud 530,92 m  
 P2-P4: Longitud 1020,04 m



# Vaciado de conducciones



- Controlar el caudal de vaciado (con la válvula o con disipadores como placas orificio) para lograr que no se generan depresiones en la tubería por insuficiencia de aireación (entrada de aire)
- Adecuar el caudal de vaciado a la capacidad de aireación. Se recomienda un caudal de vaciado para que la velocidad en la tubería esté entre 0,3 y 0,6 m/s.
- Elegir la ventosa para que con ese caudal, la presión mientras expulsa el aire no sea inferior a - 3 mca o, en cualquier caso, a la que no produzca daños en la tubería.
- Los aductores, que se suelen colocar para limitar los daños por depresión debido a vaciados por roturas, ayudan a limitar las depresiones.

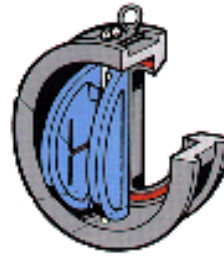
## Recomendaciones llenado y vaciado de conducciones

- Para llenado ventosa de gran capacidad no son problemáticas si se controla el caudal de llenado.
- Para vaciado, cuanta más capacidad de aireación mejor.
- Para controlar el caudal de vaciado, usar la válvula de desagüe o disipadores.
- Si no se controla el caudal de llenado, si las ventosas son de gran capacidad la velocidad de llenado puede ser excesiva y se producirán sobrepresiones importantes al cerrar las ventosas cuando llegue el agua.

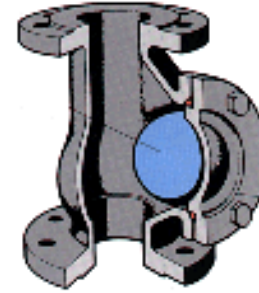
# INFLUENCIA DE LAS VÁLVULAS DE RETENCIÓN INSTAÑLADAS A LA SALIDA DE LAS BOMBAS (CHEK VALVE SLAM)



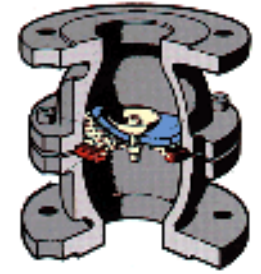
CLAPETA



DOBLE DISCO  
(Clapeta partida)



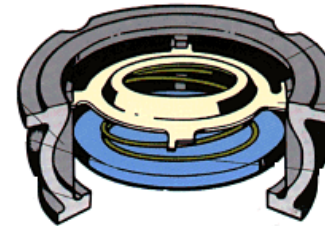
BOLA



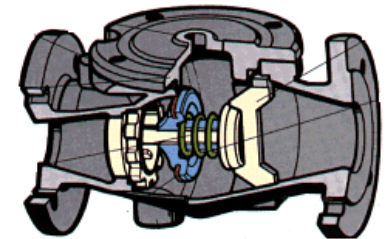
MEMBRANA

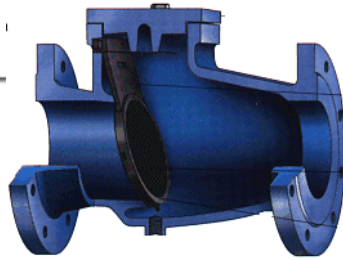


MARIPOSA CON  
CONTRAPESO Y  
AMORTIGUADOR.  
REGULADOR  
DE LAS VELOCIDADES DE  
APERTURA Y CIERRE

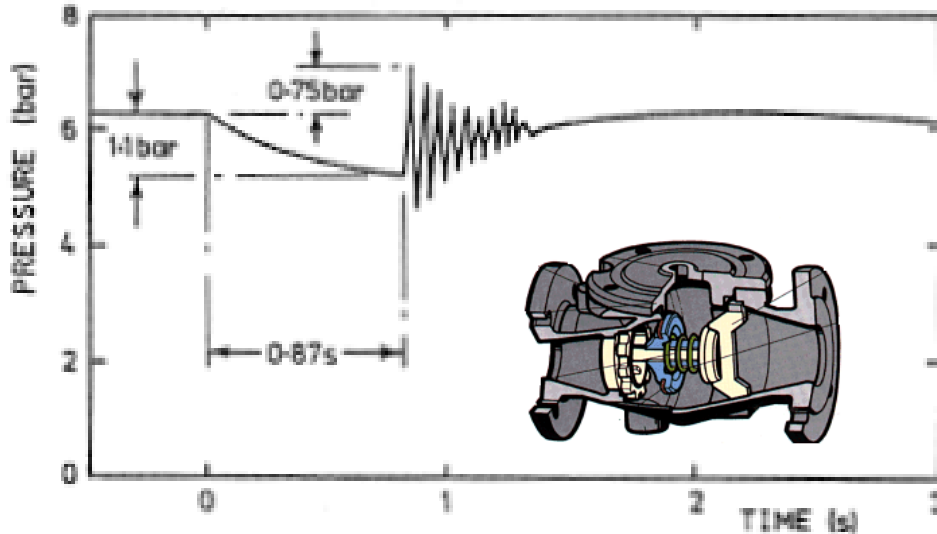
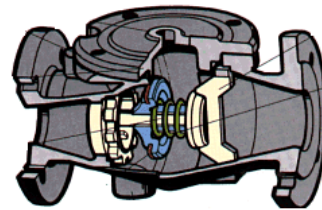
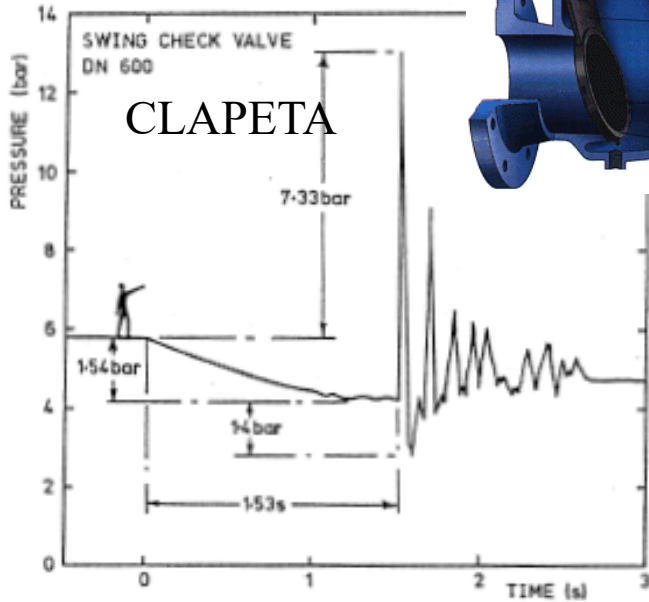


DISCO CON MUELLE

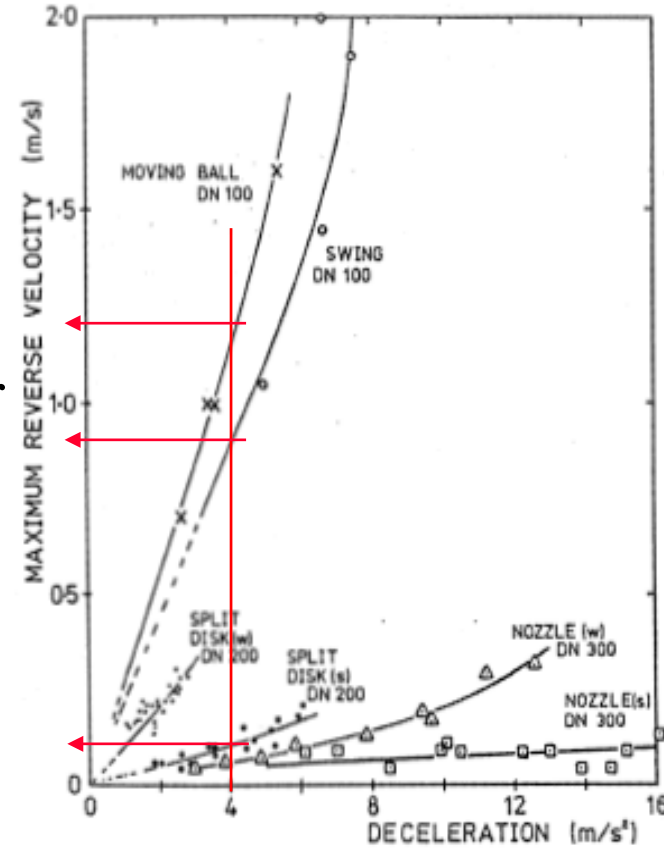




CLAPETA



Diferentes tipos de válvulas



$V_r$

$$\frac{dV}{dt} \cong \frac{V_0}{T}$$

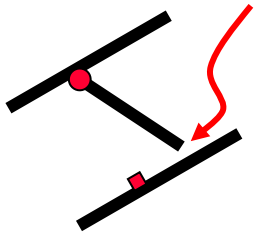
A igual deceleración ( $dV/dt$ ), cuanto más velocidad de retorno  $V_r$  permita, más sobrepresión se genera



# Comportamiento dinámico

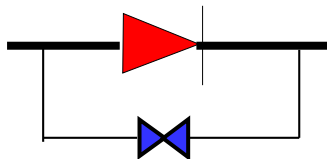
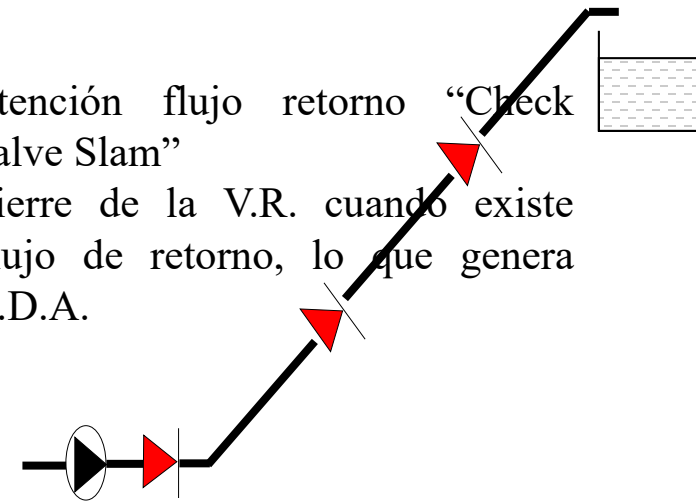
## Problemas cuando se usa como elemento de protección

VR ideal: Cierra cuando  $V=0$

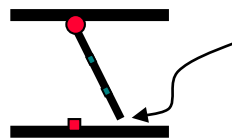


Flujo de Retorno  $V_r$

Atención flujo retorno "Check Valve Slam"  
Cierre de la V.R. cuando existe Flujo de retorno, lo que genera G.D.A.



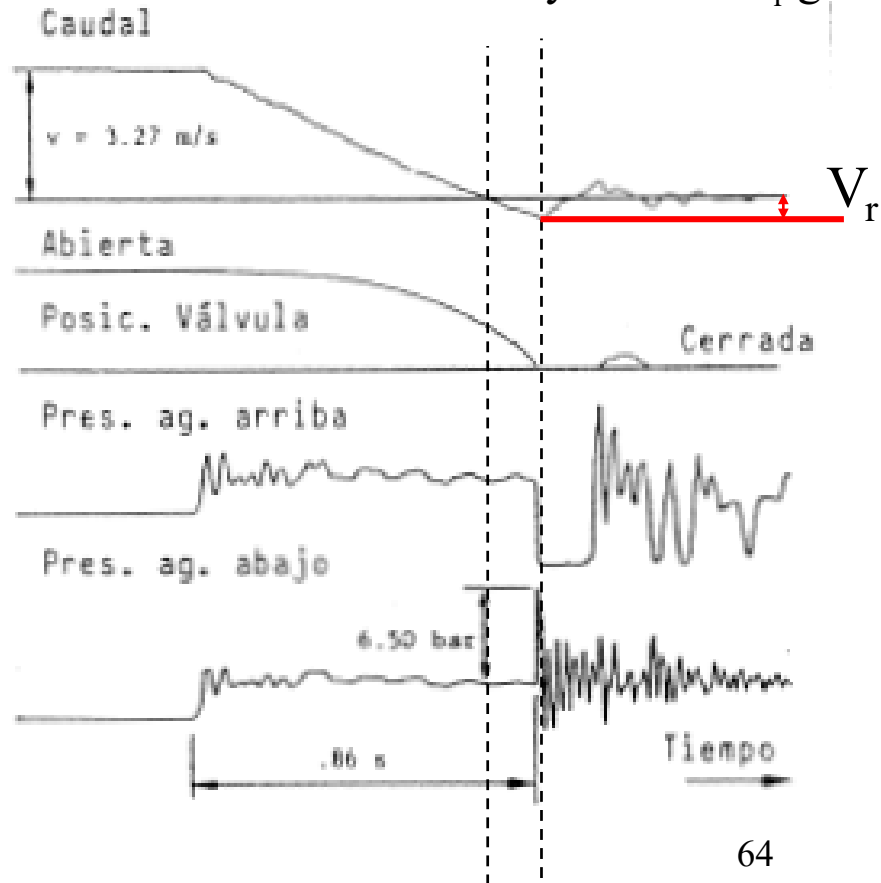
By-pass



Perforar la clapeta

Comportamiento "no ideal" de la V.R.  
(CHECK VALVE SLAM)

$V_r$  se anula de forma casi instantánea  
Pulso de Joukowsky  $\Delta H = a \cdot V_r / g$





# DISPOSITIVOS PROTECCIÓN

- Volantes de Inercia
- Chimenas de equilibrio
- Tanques unidireccionales
- Calderines
- By-pass
- Válvulas de alivio y anticipadoras de onda
- Ventosas

Aunque el sistema esté protegido frente a posibles “accidentes”, realizar las maniobras usualmente como se ha recomendado para no someter a los elementos del sistema a unas sollicitaciones innecesarias.

## Volantes de Inercia (1)

- Ralentizar la parada de la bomba para que el flujo se detenga más lentamente. Actúa sobre la causa.
- Presenta problemas en arranque (mayor duración).
- Efectivo ante fallo de energía eléctrica
- **Limitan tanto depresiones como sobrepresiones**

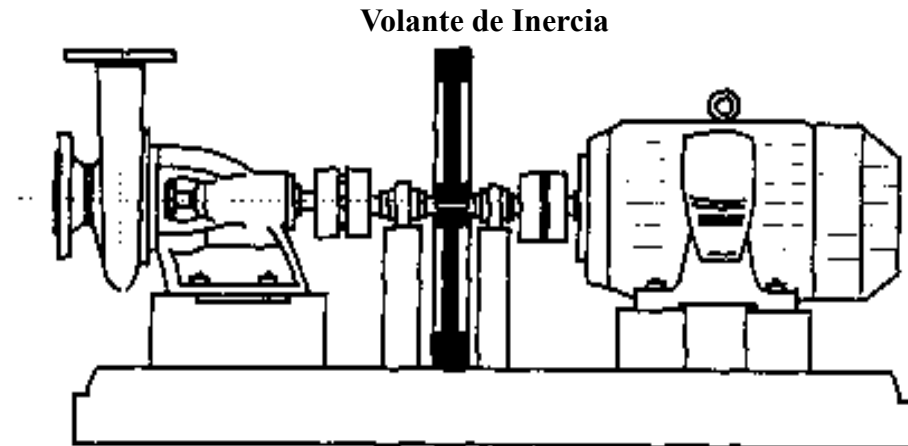
Altura-Caudal:

$$H_b = A Q^2 + B \alpha Q + C \alpha^2$$

$$\text{Par: } M = \frac{\text{Pot.}}{\omega} = \frac{\gamma Q H_b}{\eta \cdot \omega}$$

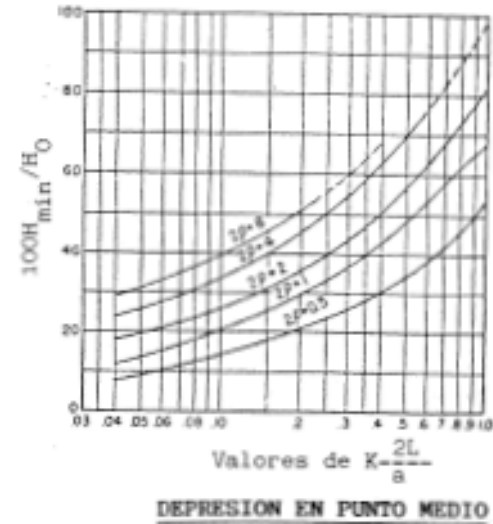
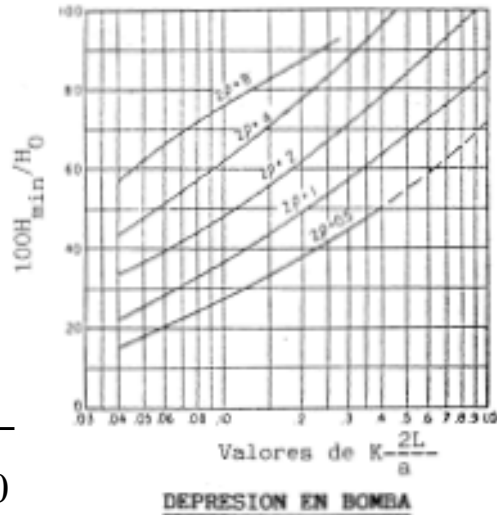
Inercia

$$M = - I \frac{dw}{dt}$$

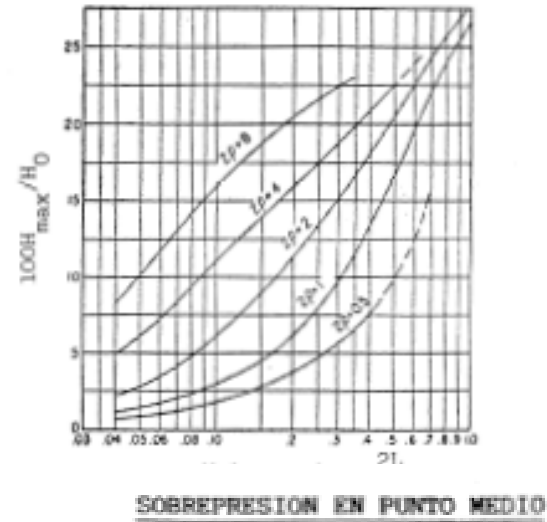
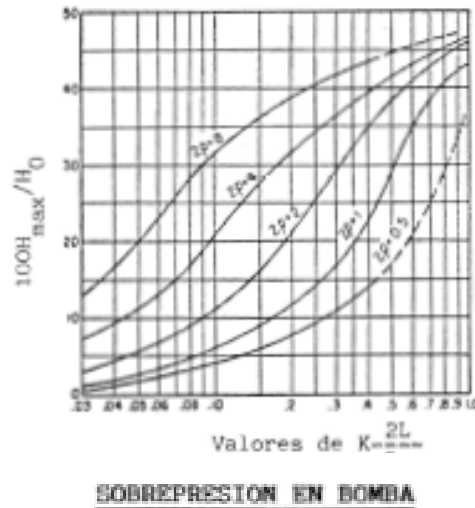


# Volantes de Inercia (2)

$$K = \frac{M_0}{2 I \omega_0}$$



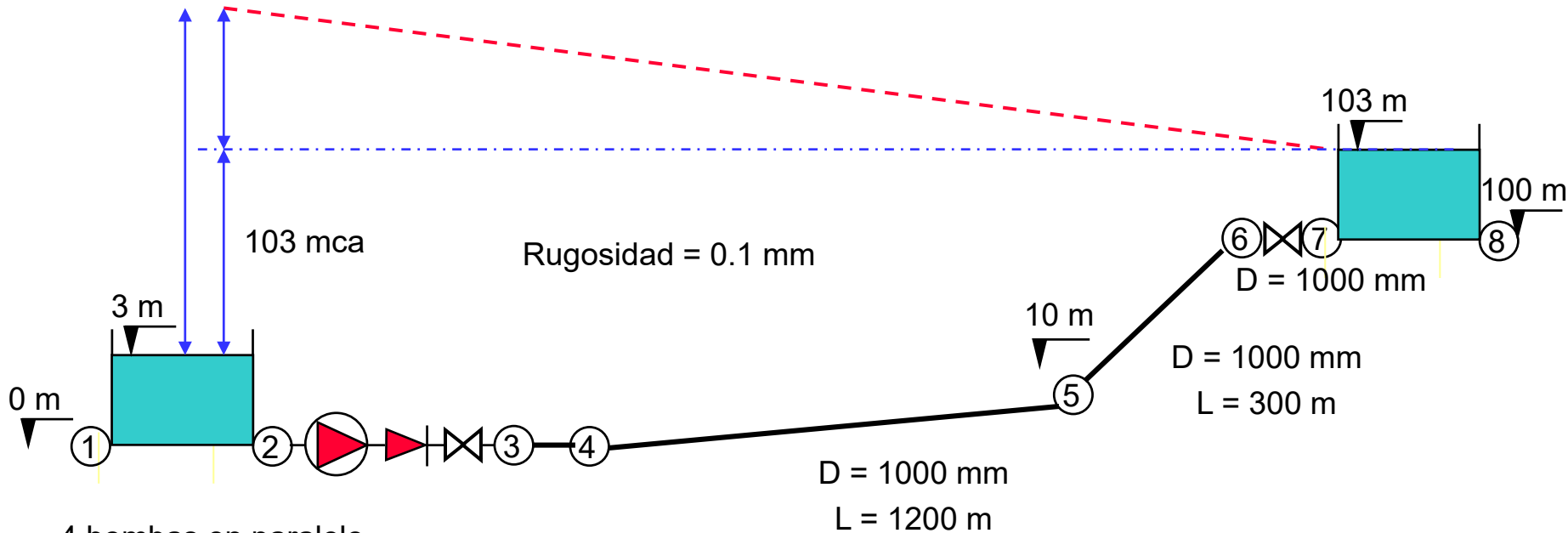
$$2\rho = \frac{a \cdot V_0}{g \cdot H_0}$$



Abacos de Parmakian

# IMPULSIÓN PERFIL CÓNCAVO B. G.D.A. por parada de bomba

Influencia del Momento de Inercia (Volante de inercia)



4 bombas en paralelo.

Parada de todas las bombas

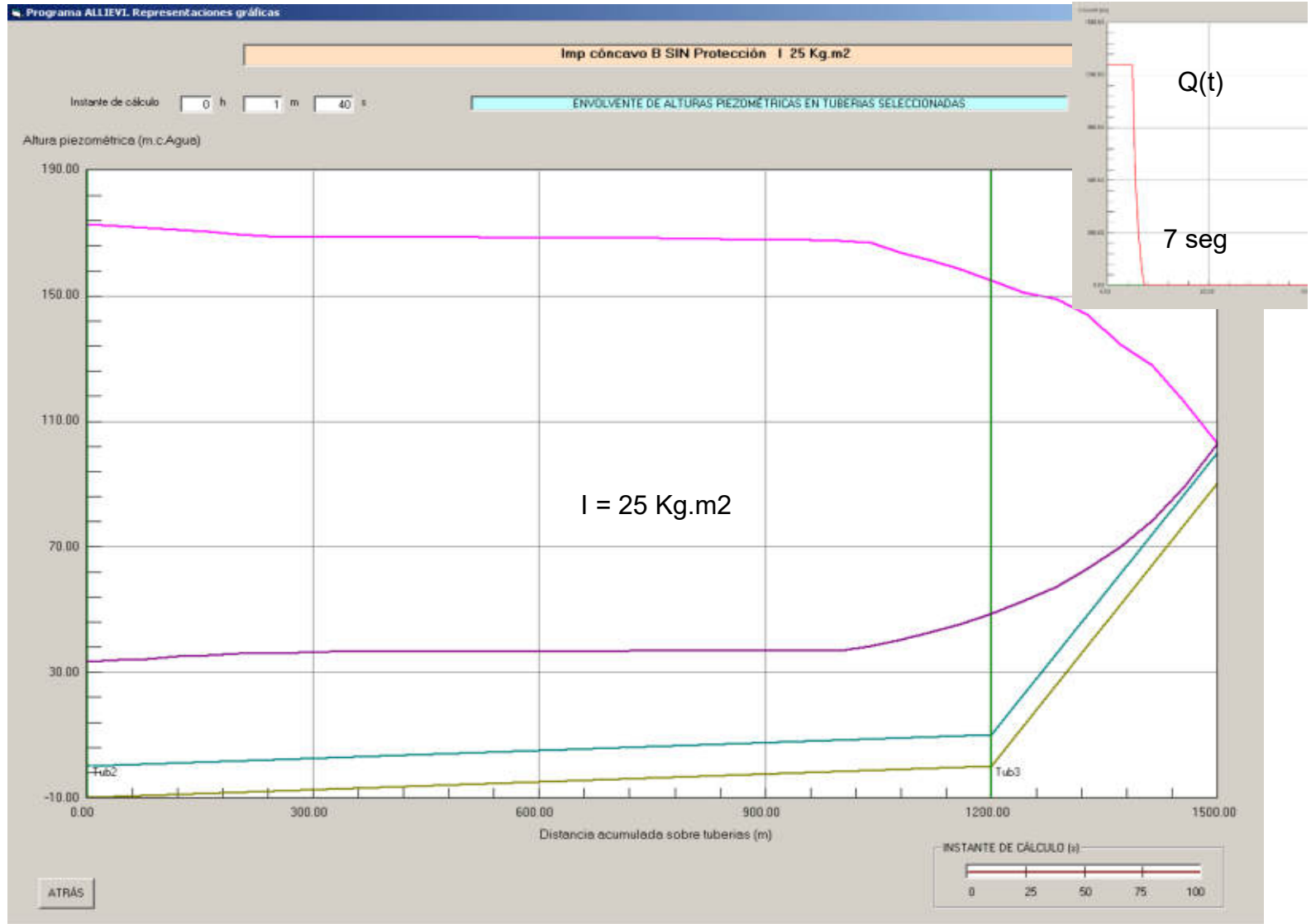
Para cada bomba:

$I = 25 \text{ Kg.m}^2$   $H = 110 \text{ mca}$   $Q = 300 \text{ l/s}$

$P = 360 \text{ kw}$   $N = 1484 \text{ rpm}$

$D = 1000 \text{ mm}$   
 $L = 1200 \text{ m}$

$Q = 1258 \text{ l/s}$   
 $H = 102 \text{ mca}$

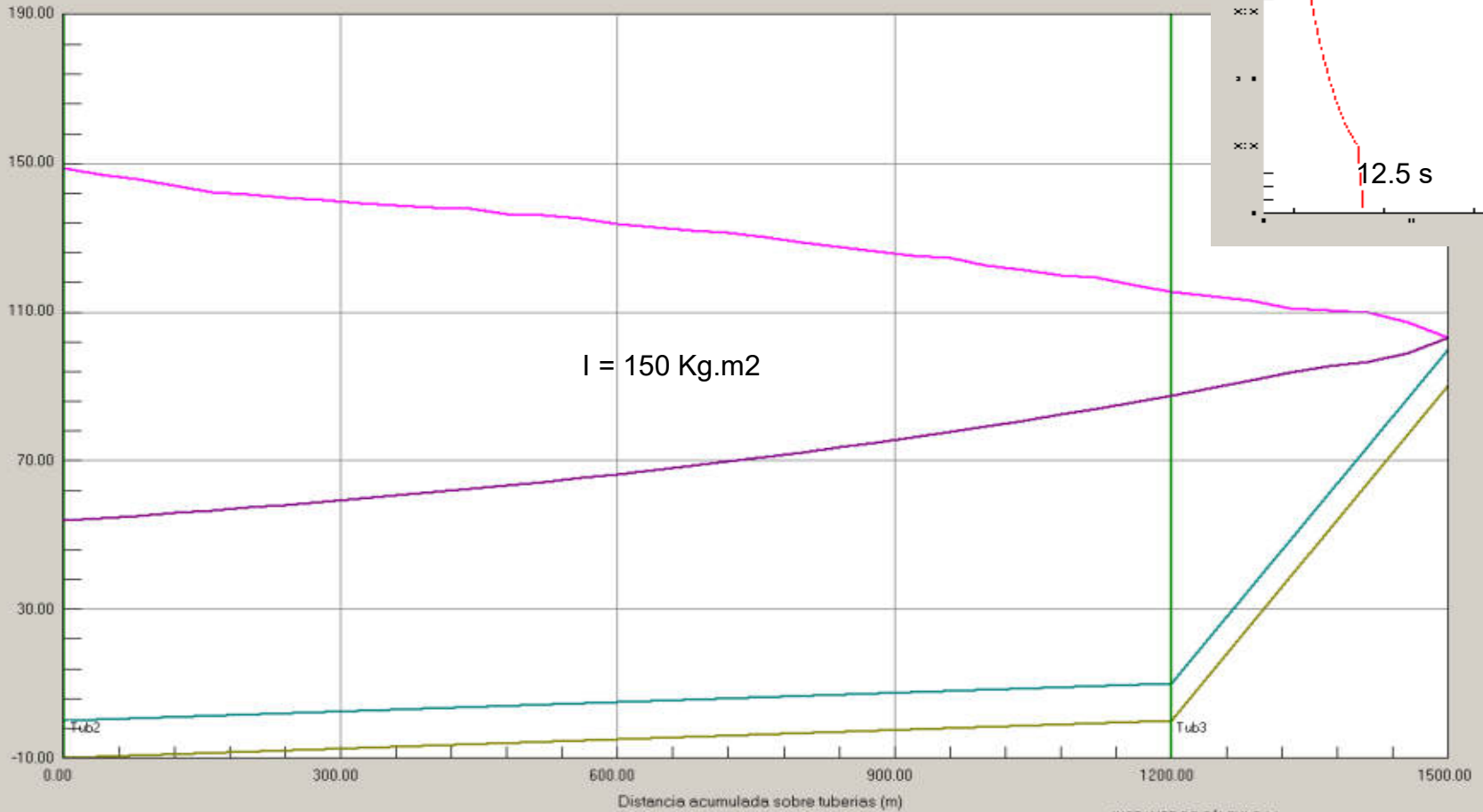


Imp cóncavo B SIN Protección I 25 Kg.m2 150

Instante de cálculo 0 h 1 m 40 s

ENVOLVENTE DE ALTURAS PIEZOMÉTRICAS EN TUBERIAS SELECCIONADAS

Altura piezométrica (m.c. Agua)

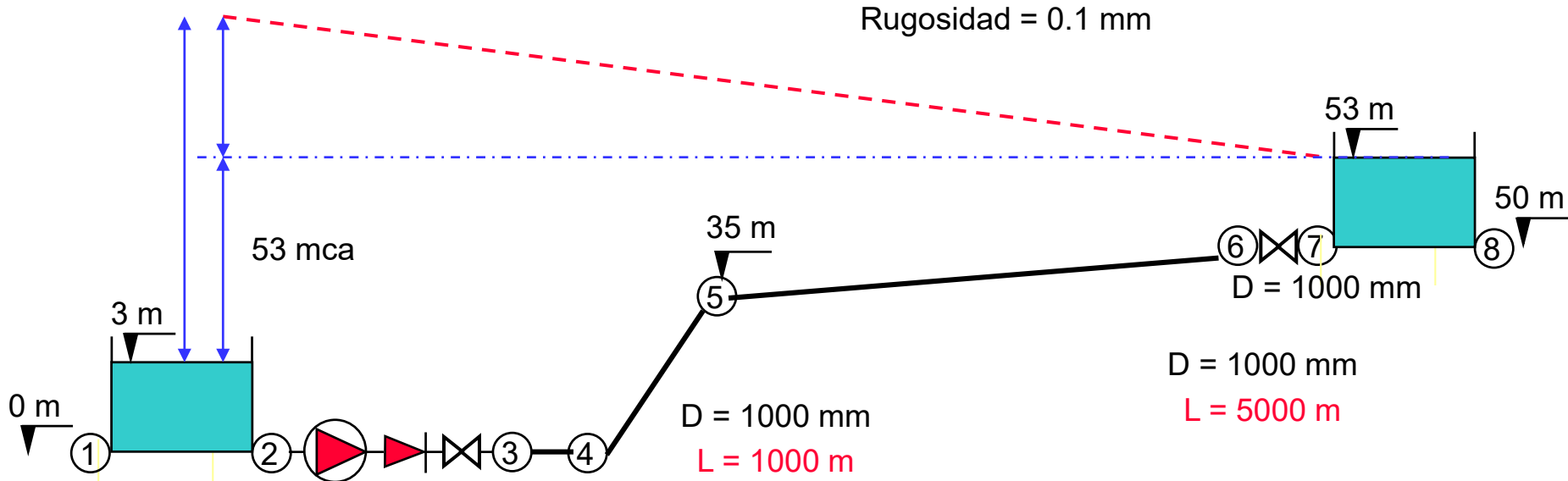


ATRÁS



# IMPULSIÓN PERFIL CONVEXO A. G.D.A. por parada de bomba

Influencia del Momento de Inercia (Volante de inercia)



4 bombas en paralelo.

Parada de todas las bombas

Para cada bomba:

$I = 20 \text{ Kg.m}^2$   $H = 70 \text{ mca}$   $Q = 416 \text{ l/s}$

$P = 400 \text{ kw}$   $N = 1484 \text{ rpm}$

$Q = 1609 \text{ l/s}$

$H = 67 \text{ mca}$

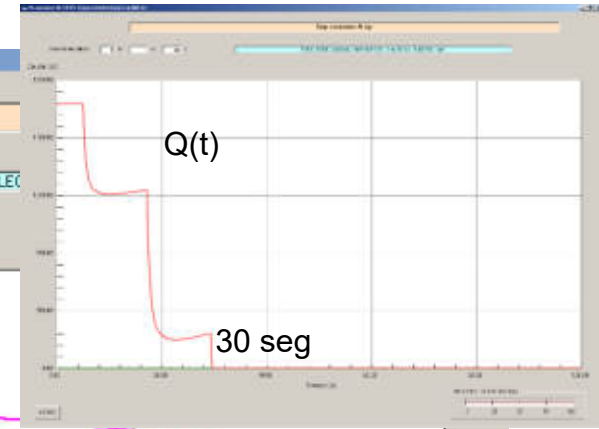
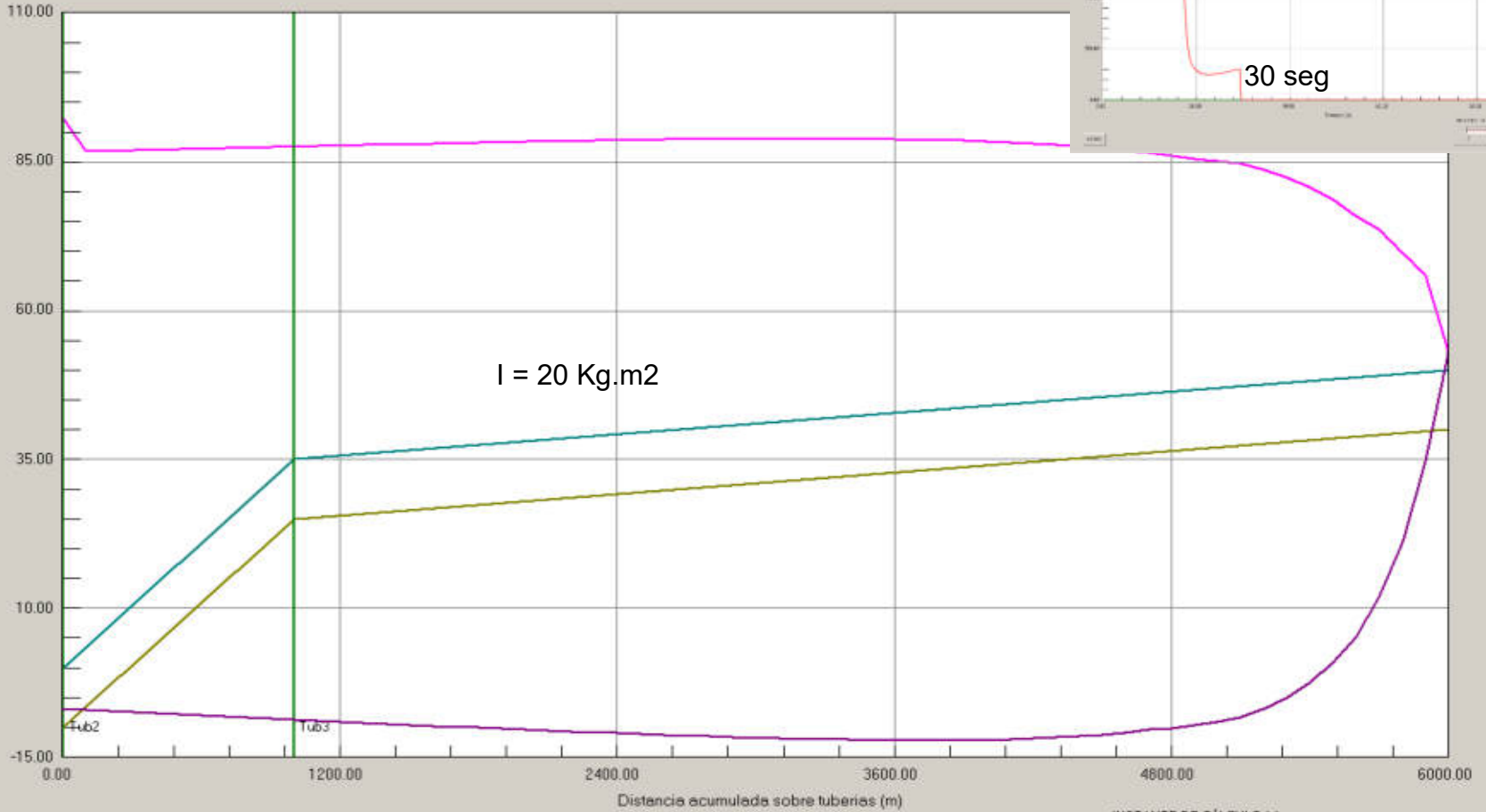
Programa ALLIEVI. Representaciones gráficas

Imp convexo A Sin Protección I 20 kg.m2

Instante de cálculo: 0 h 1 m 40 s

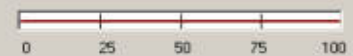
ENVOLVENTE DE ALTURAS PIEZOMÉTRICAS EN TUBERIAS SELEC

Altura piezométrica (m.c. Agua)



ATRÁS

INSTANTE DE CÁLCULO (s)

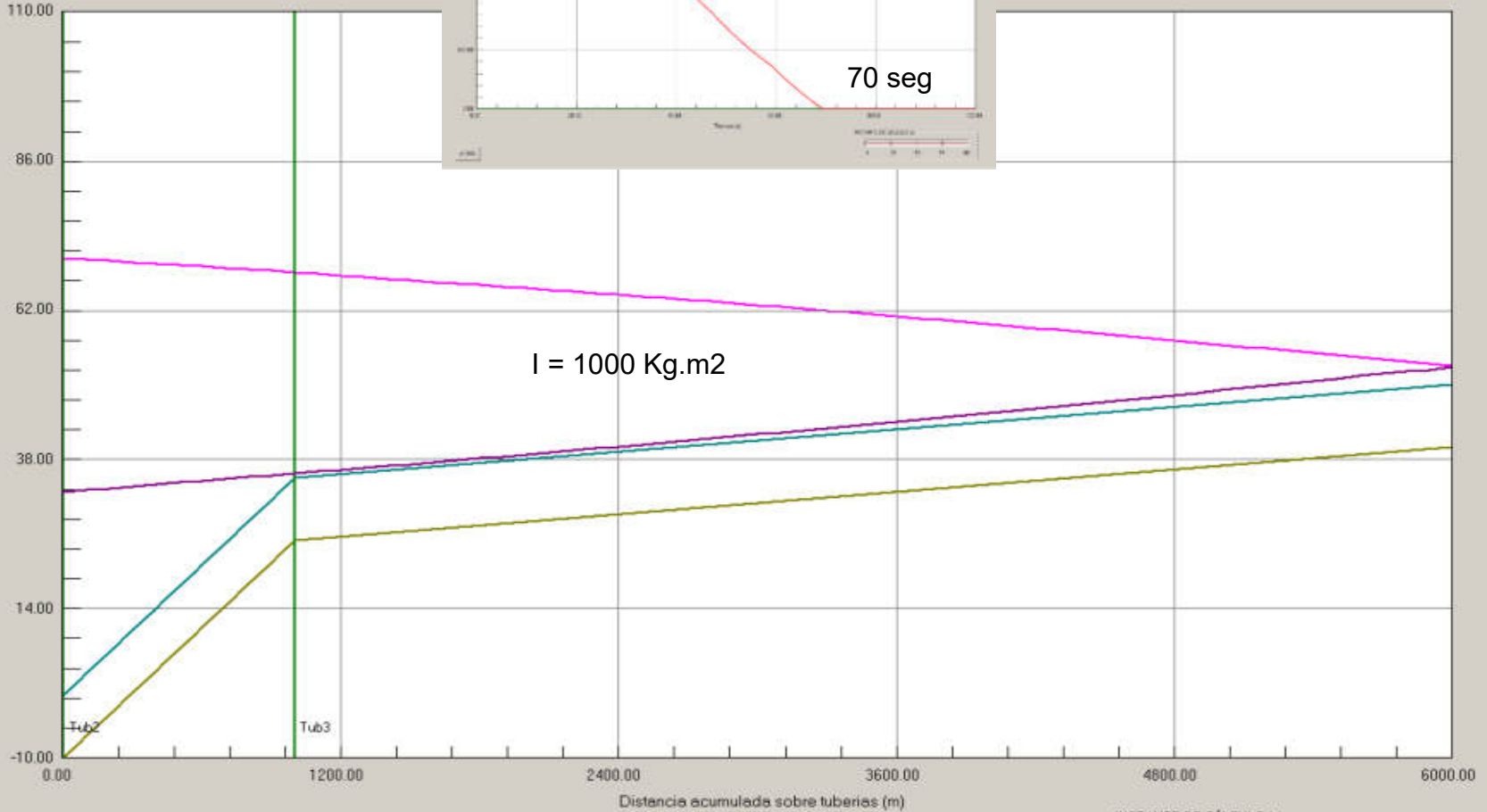




Programa ALLIEVI. Representaciones gráficas

Instante de cálculo: 0 h 1 m 40 s

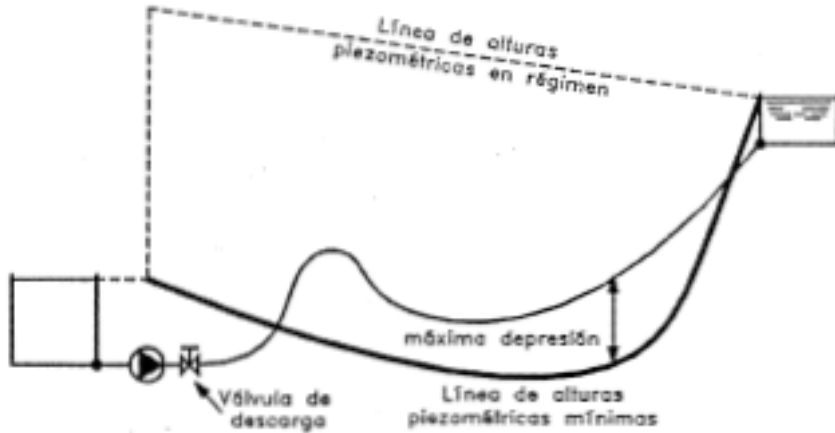
Altura piezométrica (m.c.Agua)



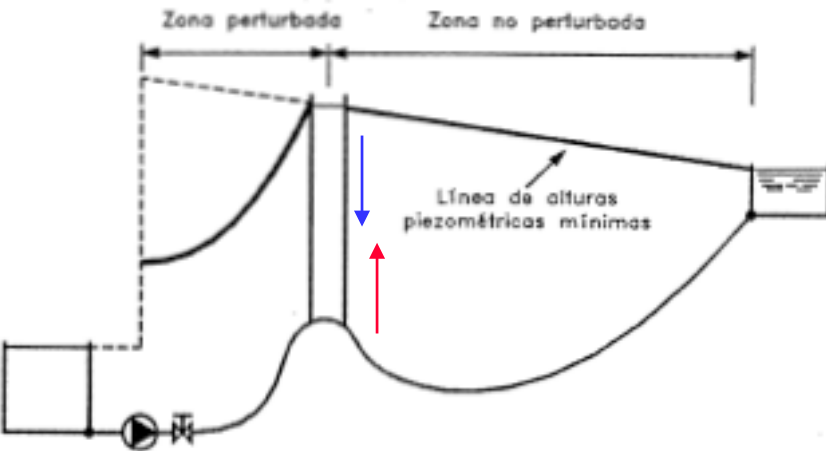
ATRÁS



# Chimenas de equilibrio (1)

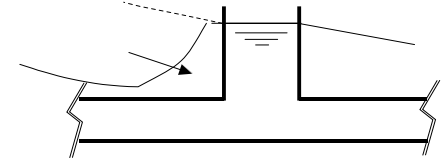
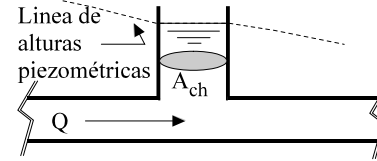


(a) Sin dispositivo de protección



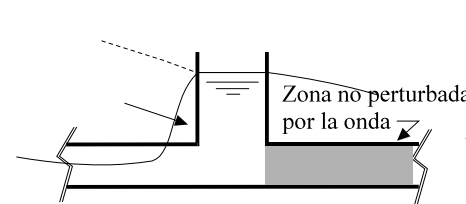
(b) Con chimenea de equilibrio

- Facilitar flujo hacia la tubería para limitar depresiones
- Restringir flujo hacia la chimenea (disipar energía ondas)



(a) Aproximación de la onda

(b) Llegada de la onda

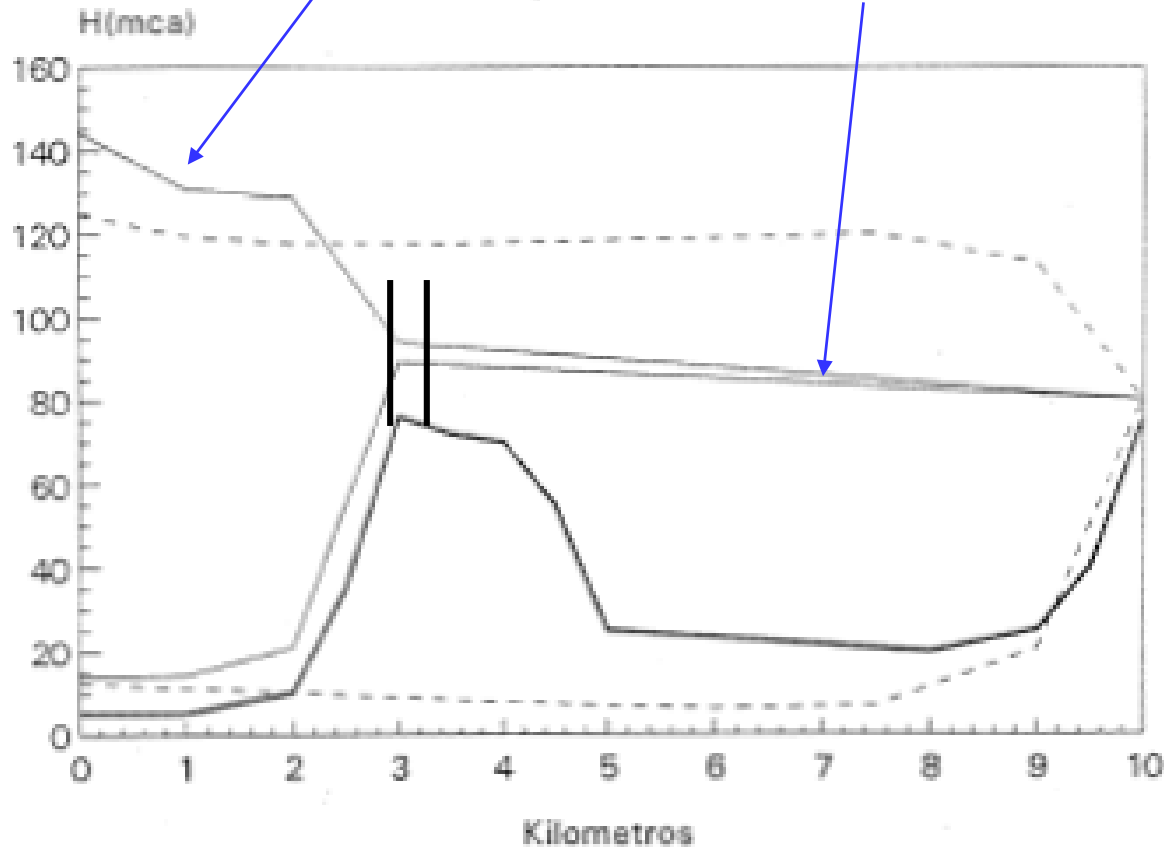


(c) Reflexión de la onda



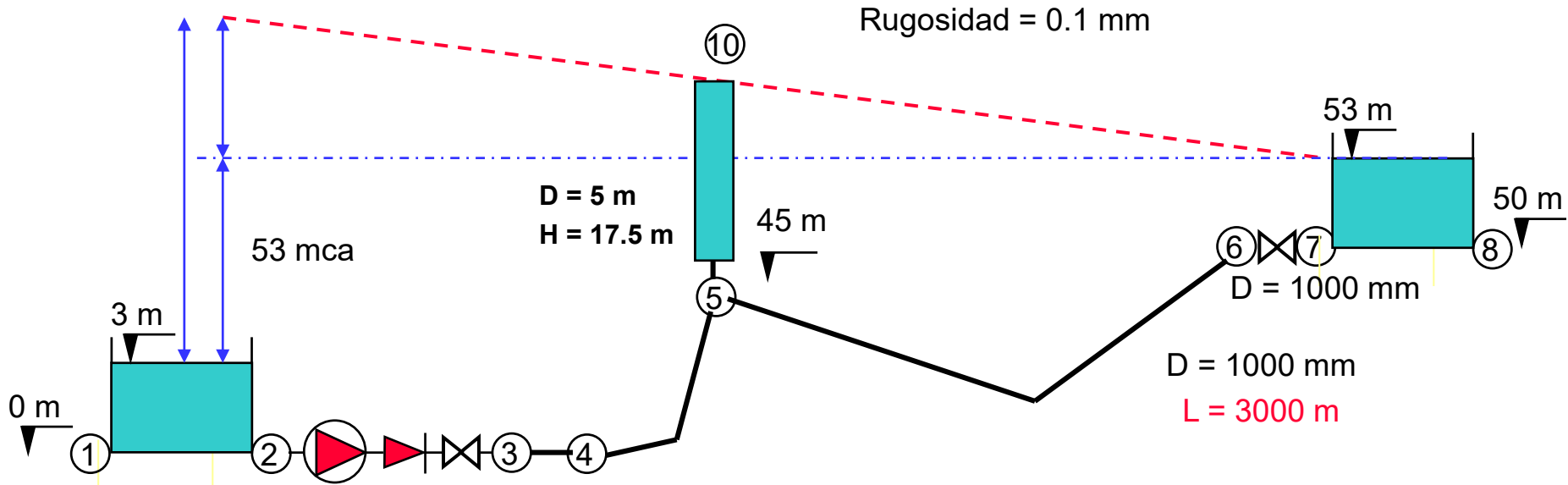
## Chimenas de equilibrio (2)

- Simplicidad y seguridad de funcionamiento
- Protección aguas abajo
- Importante obra civil y altura
- Puede generar mayores sobrepresiones a. arriba
- **Limitan tanto depresiones como sobrepresiones aguas abajo**



IMPULSIÓN PERFIL CONVEXO A CHI.  
G.D.A. por parada de bomba

Chimenea



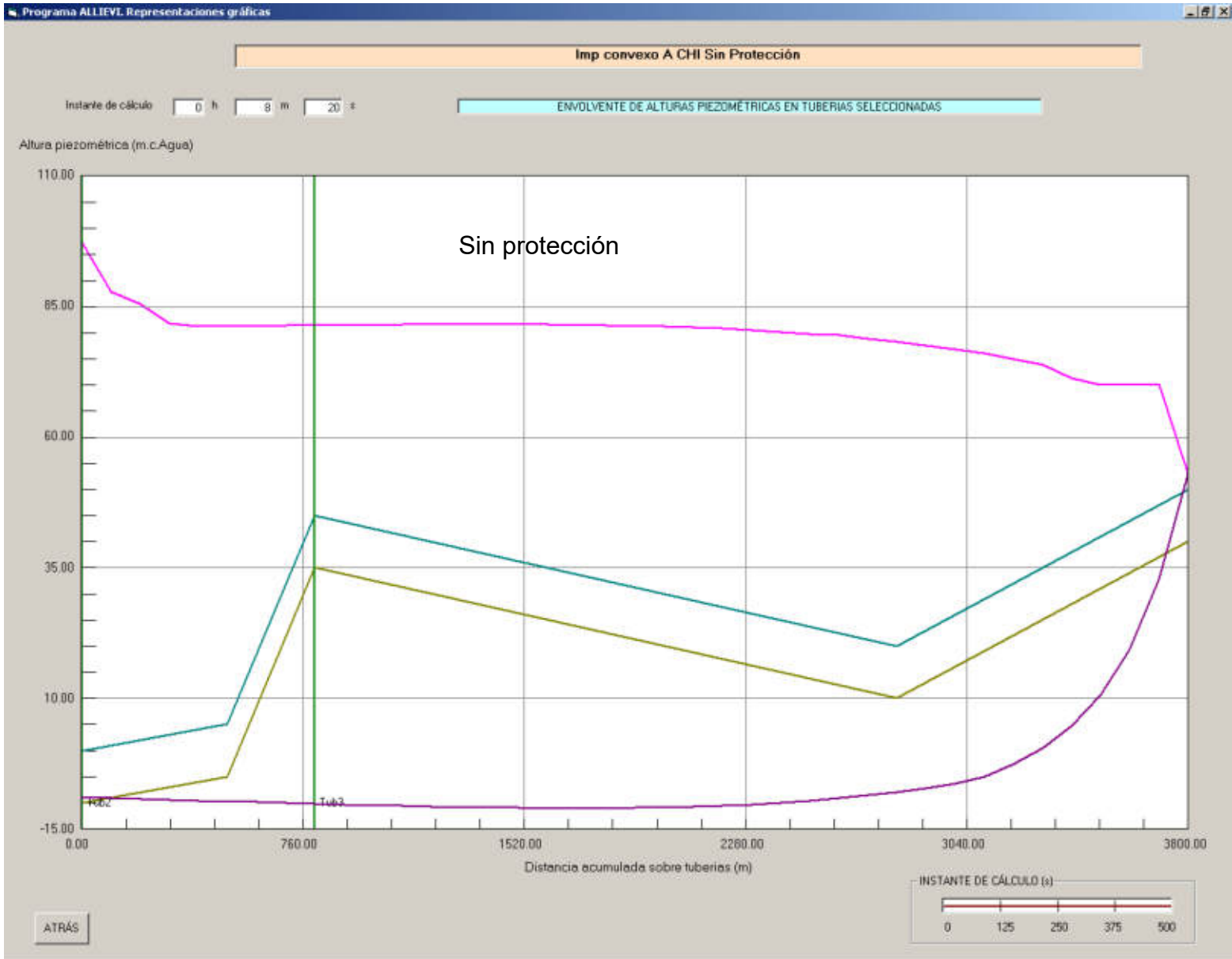
4 bombas en paralelo.

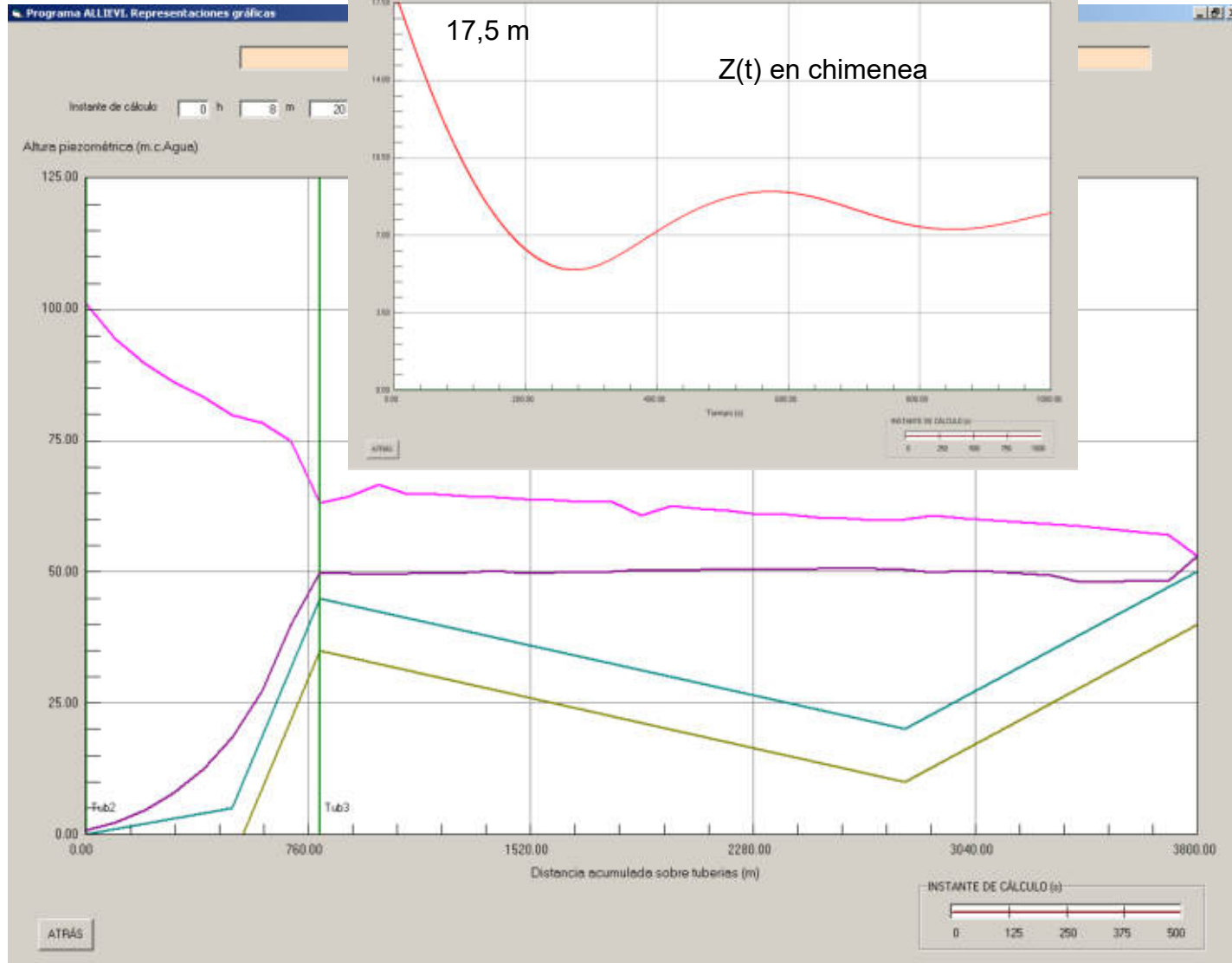
Parada de todas las bombas

Para cada bomba:

$I = 20 \text{ Kg.m}^2$   $H = 70 \text{ mca}$   $Q = 416 \text{ l/s}$

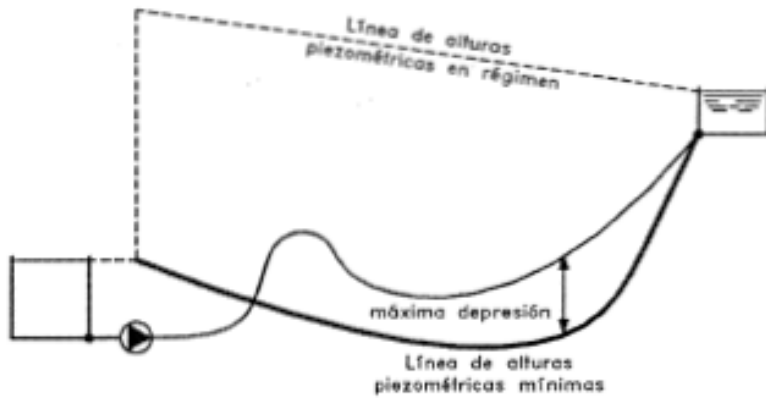
$P = 400 \text{ kw}$   $N = 1484 \text{ rpm}$



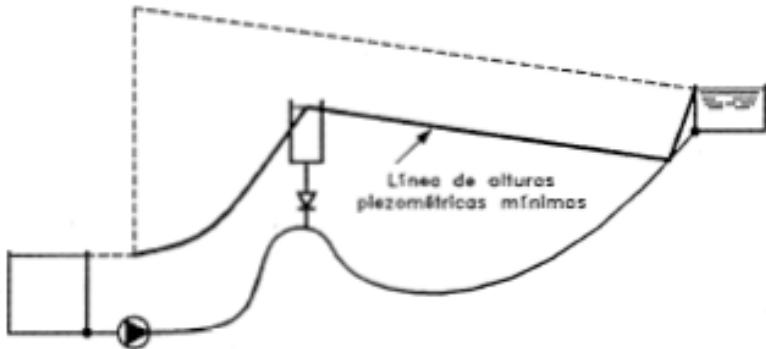


# Tanques unidireccionales (1)

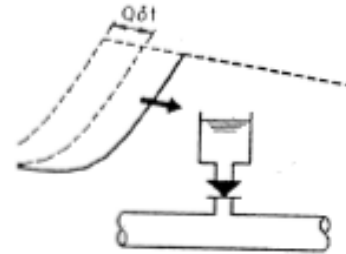
- **Limitan depresiones** inyectando agua
- No necesitan altura como chimeneas (cota limitada por línea piezométrica)
- Actúan como “ventosas de agua”



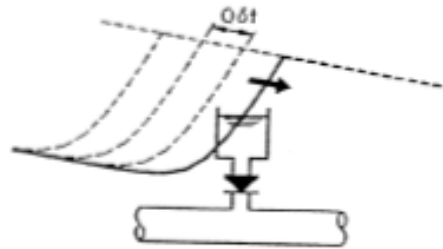
(a) Sin dispositivo de protección



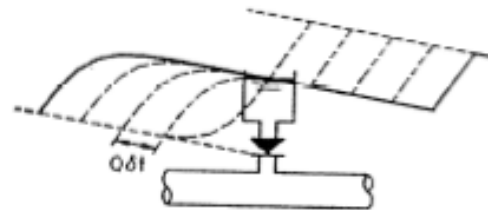
(b) Con tanque unidireccional



(a) Aproximación de la onda

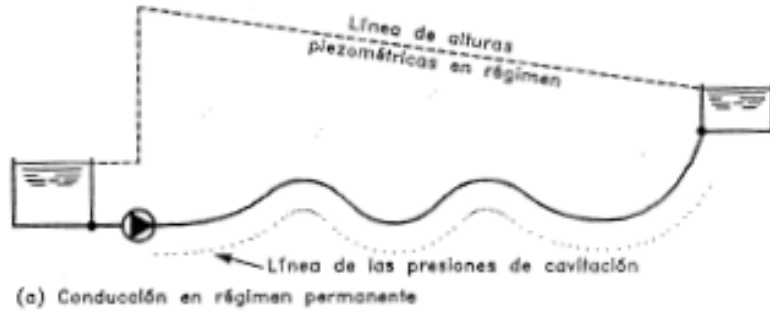


(b) Llegada de la onda

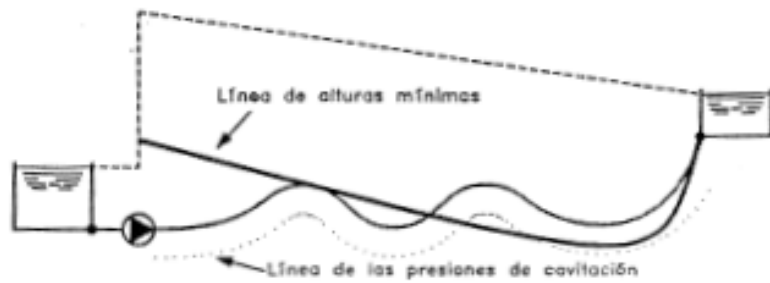


(c) Reflexión de la onda

# Tanques unidireccionales (2)



(a) Conducción en régimen permanente



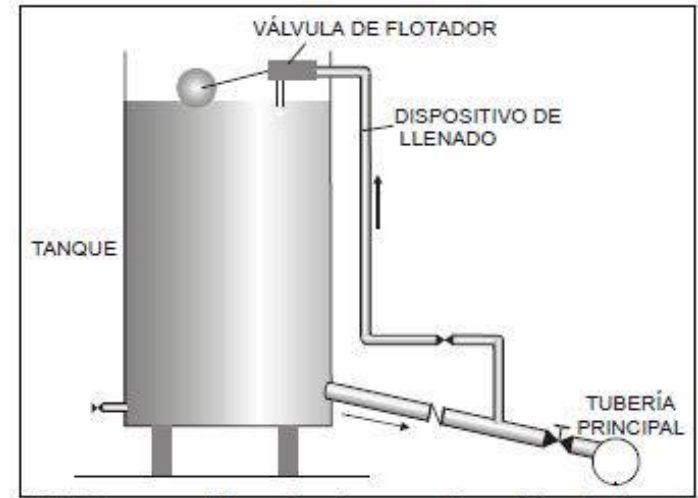
(b) Parada accidental de la estación de bombeo



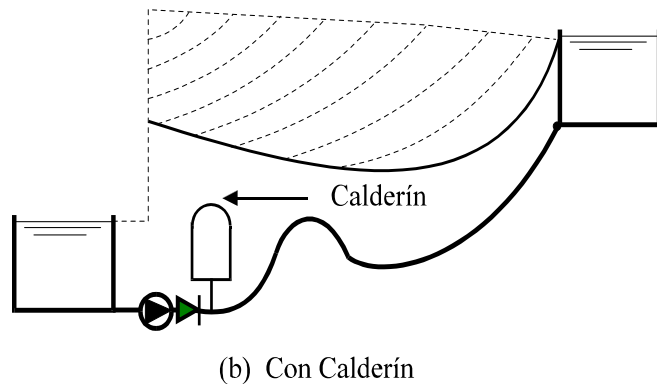
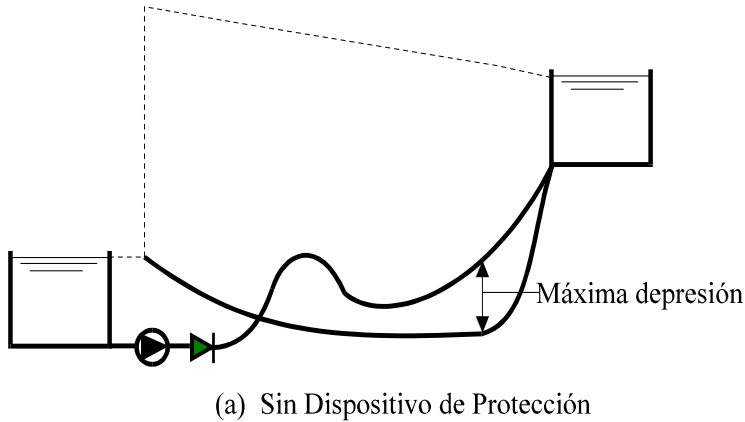
(a) Conducción con un tanque unidireccional



(b) Conducción con dos tanques unidireccionales en serie







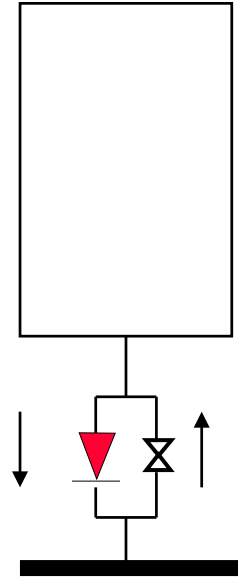
- Funcionamiento semejante a chimeneas
- No requieren cota (versatilidad)
- Requieren mantenimiento (recarga aire sobre todo en los que no son de membrana)
- Cierre más brusco de Válvula de Retención (VR) si están cerca VR y Calderín
- Volumen y carga de aire para:
  - **Limitar depresiones y sobrepresiones**
  - Evitar vaciado calderín



Con Calderín: Cierre brusco de la VR. Colocar VR “ideal” que cierre en el momento en que  $Q=0$  para evitar flujo inverso y sobrepresión por cierre en el momento en que el flujo en Sentido inverso tiene una velocidad elevada

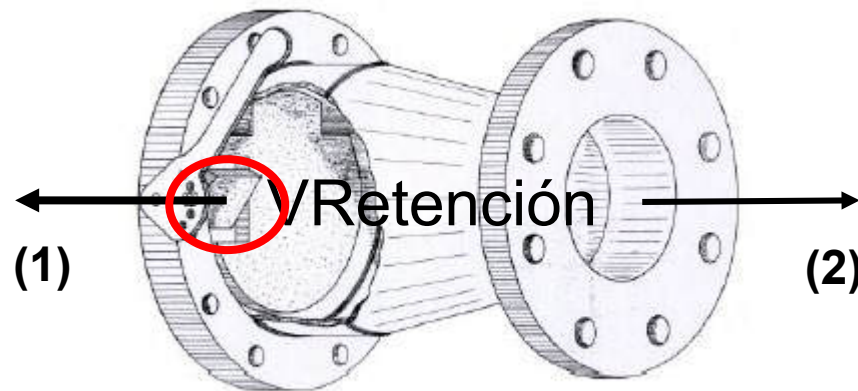
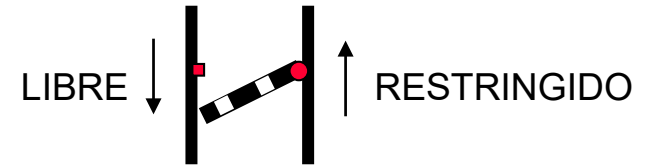
## Calderines (2)

Facilitar entrada de agua a la tubería (limitar depresiones)



Restringir entrada de Agua (amortiguamiento de sobrepresiones)

Otra posibilidad  
Poner VR perforada

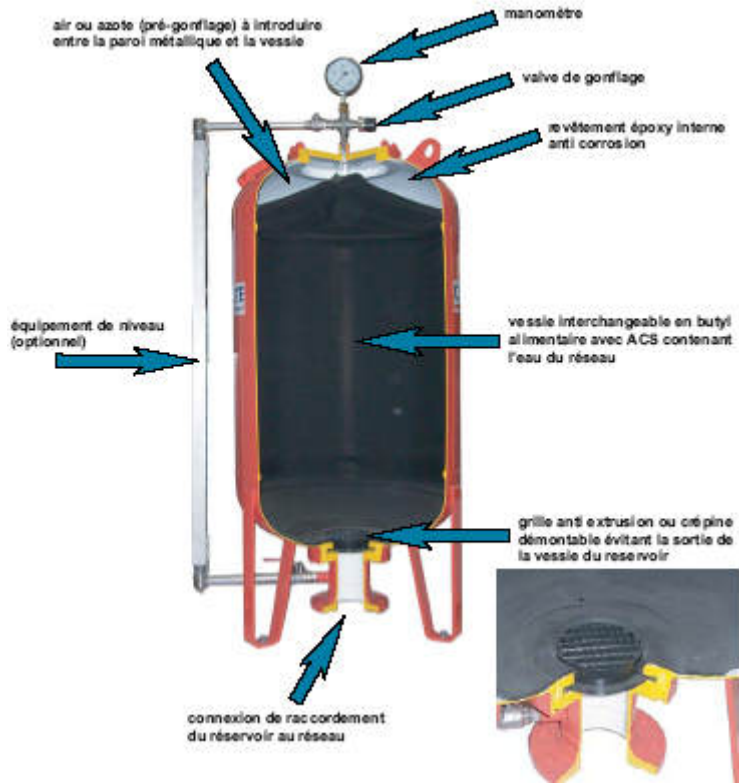


- (1) Flujo de retorno hacia el calderín a través de la restricción (orificio regulable en la VR)
- (2) Flujo de salida hacia la tubería a través de la VR que abrirá completamente

## Coeficientes pérdidas Conexión Standard

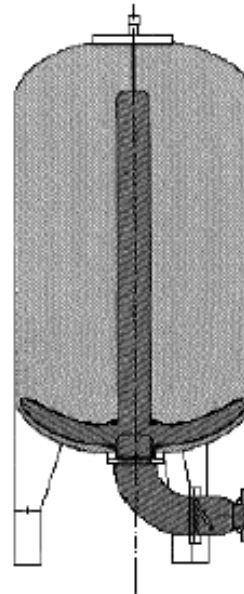
	Llenado	Llenado	Vaciado	Vaciado		Llenado	Vaciado
	De ramal a Estructura	De ramal a Estructura	Estructura a Ramal	Estructura a Ramal	Sección tub	De ramal a Estructura	Estructura a Ramal
DN (mm)	AR (bar/(m <sup>3</sup> /s) <sup>2</sup> )	AR (mca/(m <sup>3</sup> /s) <sup>2</sup> )	AV (bar/(m <sup>3</sup> /s) <sup>2</sup> )	AV (mca/(m <sup>3</sup> /s) <sup>2</sup> )	m <sup>2</sup>	k adimens.	k adimens.
100	693	7064,220	590	6014,271	0,0079	8,55	7,28
150	70	713,558	50	509,684	0,0177	4,37	3,12
200	16,5	168,196	10,3	104,995	0,0314	3,26	2,03
250	6,77	69,011	4,23	43,119	0,0491	3,26	2,04
300	3,26	33,231	2,04	20,795	0,0707	3,26	2,04
400	1,03	10,499	0,65	6,626	0,1257	3,25	2,05
450	0,64	6,524	0,4	4,077	0,1590	3,24	2,02
500	0,42	4,281	0,26	2,650	0,1963	3,24	2,00
600	0,2	2,039	0,13	1,325	0,2827	3,20	2,08
700	0,11013	1,123	0,06883	0,702	0,3848	3,26	2,04
800	0,06455	0,658	0,04035	0,411	0,5027	3,26	2,04

# Calderines con membrana (4)

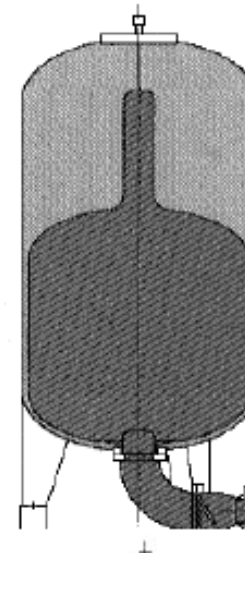


Agua limpia

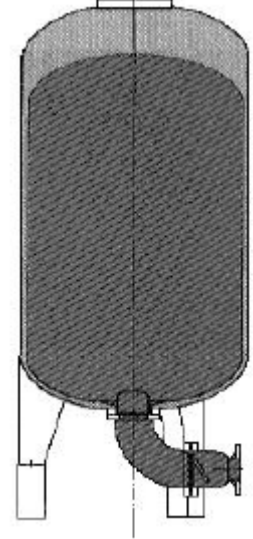
Calderín a Presión hinchado, sin agua



Comienza a llenarse de agua

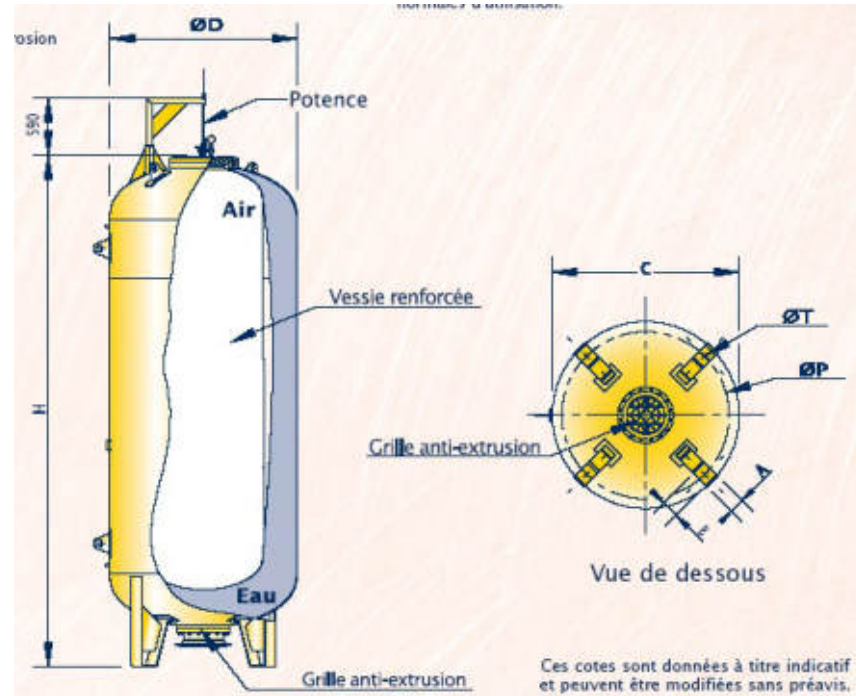


En régimen permanente



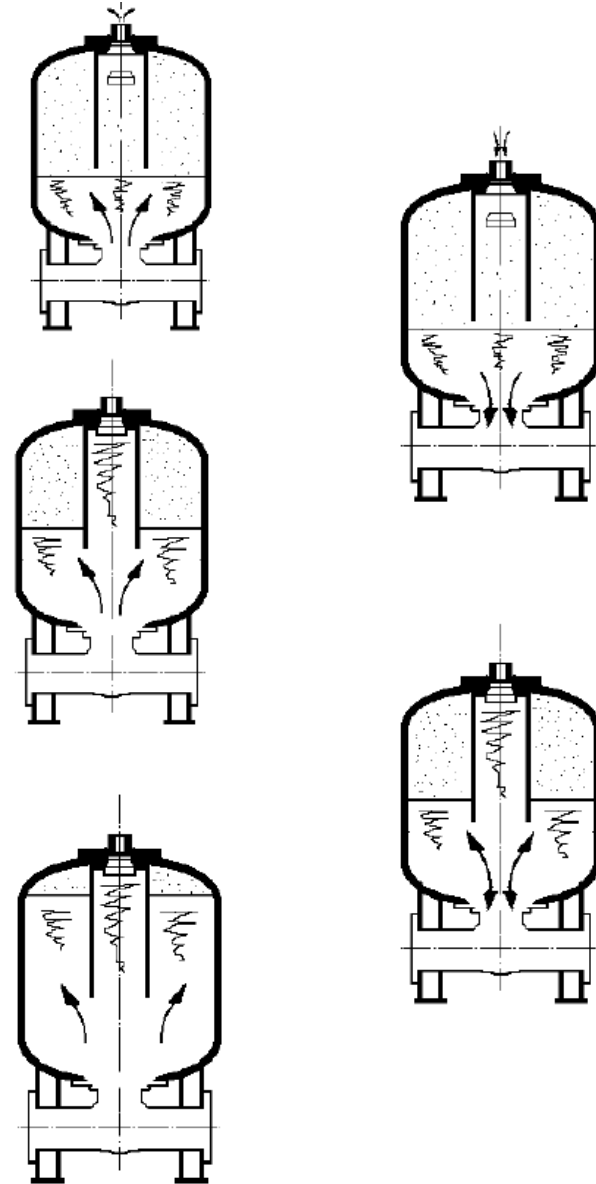
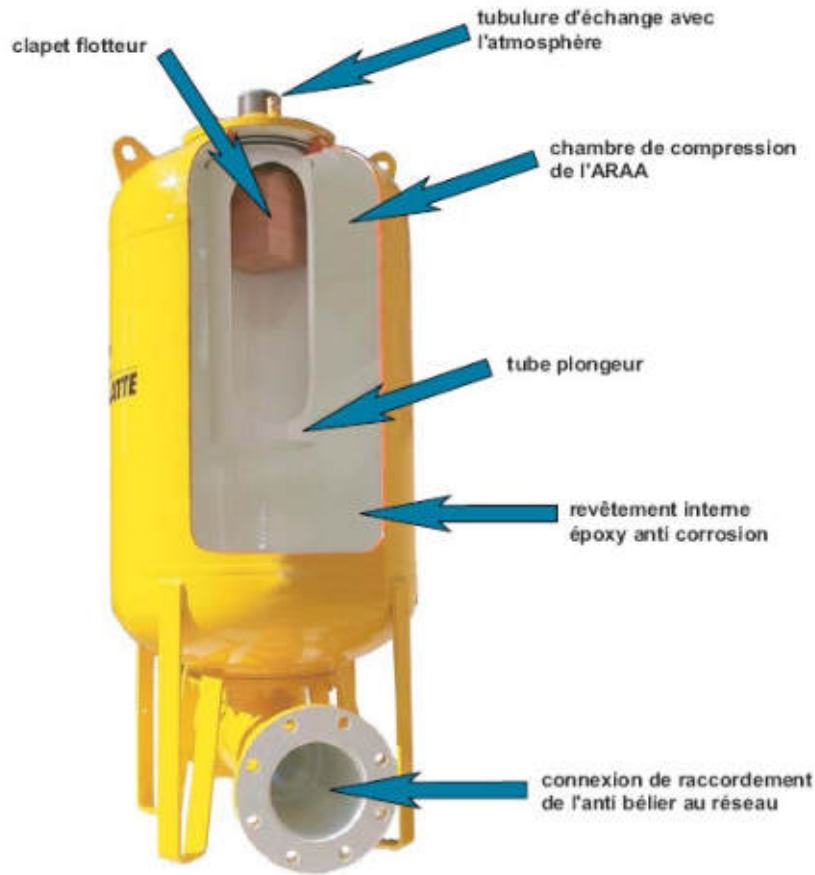
# Calderines con membrana (5)

## Aguas Residuales



# Calderines (6)

Aire comprimido/Aire atmosférico



## Calderines sin membrana (7)



El agua y el aire están en contacto en el interior del calderín.

Al estar a presión superior a la atmosférica, el agua que entra no está “saturada” de aire y puede diluir más cantidad de aire.

Hay que instalar un compresor para reponer la masa de aire que se va perdiendo por dilución en el agua.

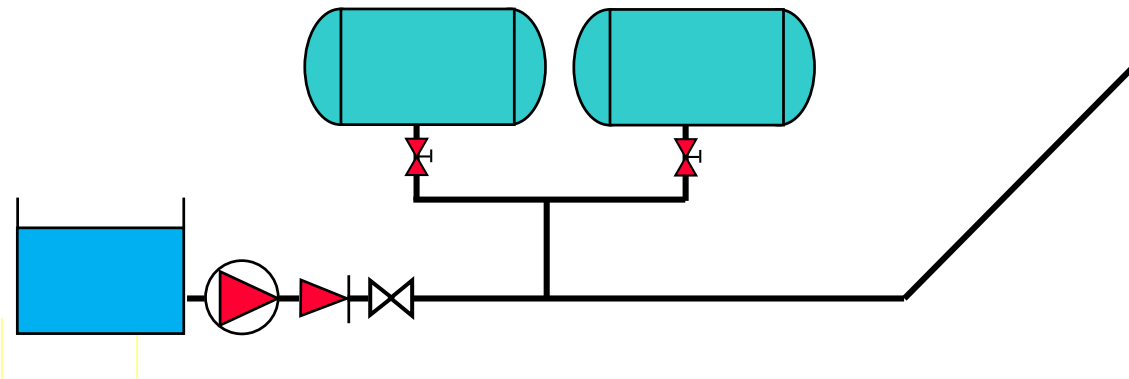


# Calderines (8)



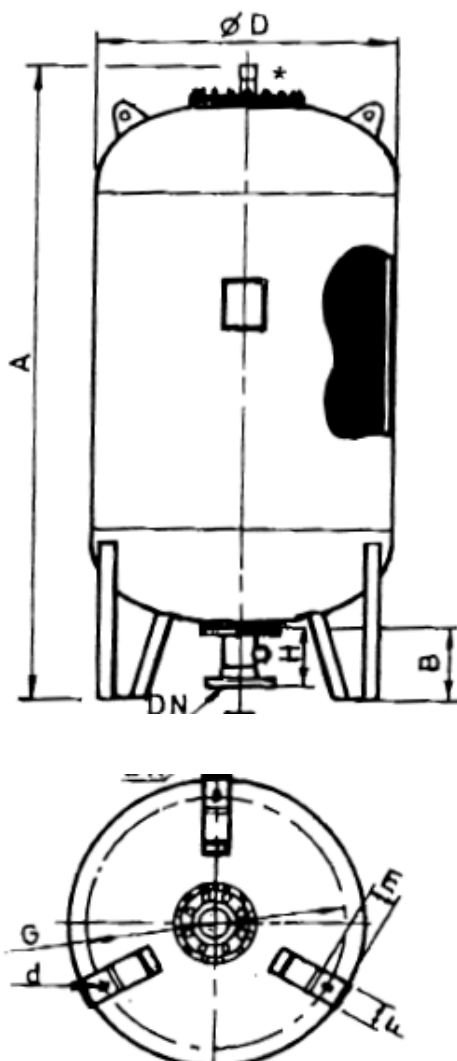
Calderines instalados en paralelo en la impulsión desde el Embalse de Mequinzenza

Calderín de 35 m<sup>3</sup> y 16 bar



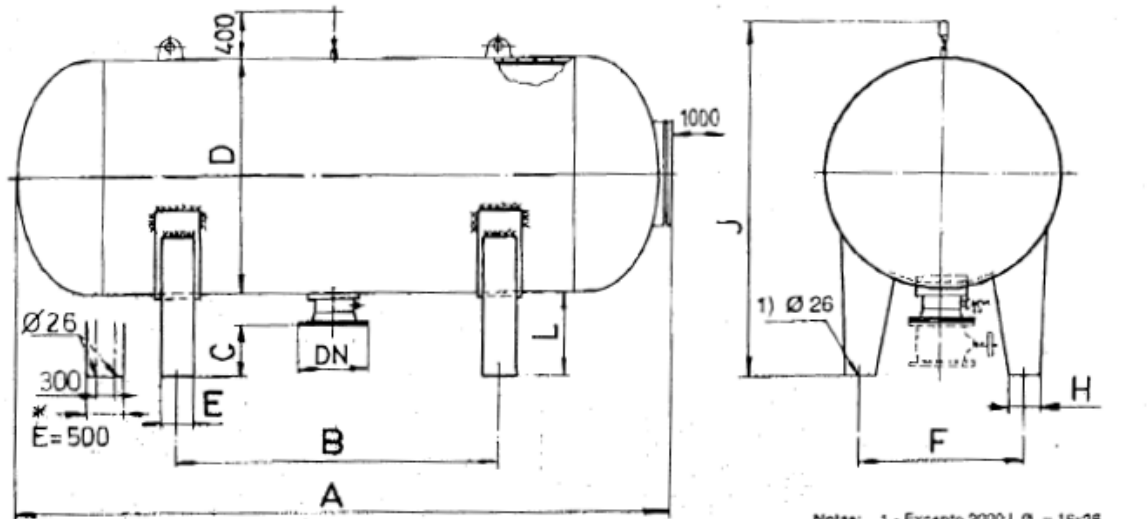


# Calderines (9)



Modelo	Volumen litros	Presión bar	Peso kg	Conexión DN	Dimensiones							
					A	B	Ø D	E	F	G	H	Coliso d
AAV 100 - 10	100	10	59	DN 100	783	220	630	54	50	560	167	16 x 26
AAV 200 - 10	200	10	81	DN 100	1093	220	630	54	50	560	167	16 x 26
AAV 300 - 10	300	10	104	DN 100	1418	220	630	54	50	560	167	16 x 26
AAV 500 - 10	500	10	151	DN 100	2068	220	630	54	50	560	167	16 x 26
AAV 100 - 16	100	16	78	DN 100	791	220	630	54	50	560	167	16 x 26
AAV 200 - 16	200	16	110	DN 100	1101	220	630	54	50	560	167	16 x 26
AAV 300 - 16	300	16	148	DN 100	1450	220	630	54	50	560	167	16 x 26
AAV 500 - 16	500	16	210	DN 100	2076	220	630	54	50	560	167	16 x 26
AAV 100 - 25	100	25	116	DN 100	807	220	630	54	50	560	167	16 x 26
AAV 200 - 25	200	25	159	DN 100	1132	220	630	54	50	560	167	16 x 26
AAV 300 - 25	300	25	202	DN 100	1457	220	630	54	50	560	167	16 x 26
AAV 500 - 25	500	25	288	DN 100	2107	220	630	54	50	560	167	16 x 26
Modelo	Volumen litros	Presión bar	Peso kg	Conexión brida	Dimensiones							
					A	B	D	E	F	G	H	Coliso d
AAV 750 - 10	750	10	237	DN 150	1863	215	850	80	80	755	170	16 x 26
AAV 1000 - 10	1000	10	306	DN 150	2363	215	850	80	80	755	170	16 x 26
AAV 1500 - 10	1500	10	408	DN 150	2414	215	1000	80	100	905	170	16 x 26
AAV 2000 - 10	2000	10	521	DN 150	3114	215	1000	80	100	905	170	16 x 28
AAV 750 - 16	750	16	338	DN 150	1893	220	850	80	80	755	170	16 x 26
AAV 1000 - 16	1000	16	427	DN 150	2393	220	850	80	80	755	170	16 x 26
AAV 1500 - 16	1500	16	601	DN 150	2472	215	1000	80	100	905	170	16 x 26
AAV 2000 - 16	2000	16	782	DN 150	3178	215	1000	80	100	905	170	16 x 26
AAV 750 - 25	750	25	439	DN 150	1912	220	850	80	80	755	170	16 x 26
AAV 1000 - 25	1000	25	549	DN 150	2412	220	850	80	80	755	170	16 x 26
AAV 1500 - 25	1500	25	792	DN 150	2495	220	1000	80	100	905	170	16 x 26
AAV 2000 - 25	2000	25	1007	DN 150	3195	220	1000	80	100	905	170	16 x 26

# Calderines (10)



MODELO	VOLUMEN litros	PRESIÓN bar	PESO TEÓRICO VACÍO kg	Dimensiones									
				A	B	C	D	DN	*E	F	H	J	L
ANG H 2000-10	2000	10	550	2805	1800	305	1000	150	100	750	80	1600	480
ANG H 2000-16		16	810	2810		305							
ANG H 2000-25		25	1025	2865		281							
ANG H 2000-32		32	1195	2895		281							
ANG H 3000-10	3000	10	1065	2975	1600	237	1200	200	150	900	167	1771	400
ANG H 3000-15		15	1110	2975		237							
ANG H 3000-20		20	1420	2985		221							
ANG H 3000-24		24	1610	2995		221							
ANG H 3000-28		28	1860	3030		193							
ANG H 3000-32		32	2040	3040		193							
ANG H 3000-38		38	2215	3040		183							
ANG H 4000-10		4000	10	1265		3775							
ANG H 4000-15	15		1310	3775	237								
ANG H 4000-20	20		1720	3785	221								
ANG H 4000-24	24		1955	3795	221								
ANG H 4000-28	28		2240	3830	193								
ANG H 4000-32	32		2470	3840	193								
ANG H 4000-38	38		2690	3840	193								

# Calderines (11)

MODELO	VOLUMEN litros	PRESIÓN bar	PESO TEÓRICO VACÍO kg	Dimensiones									
				A	B	C	D	DN	E	F	H	J	L
ANG H 5000-11	5000	11	1500	3440		190		250					
ANG H 5000-11		11	1850	3465		165		350					
ANG H 5000-16		16	1850	3450		190		250					
ANG H 5000-22		22	2460	3485	1600	170	1500	250	150	1200	158	2071	400
ANG H 5000-25		25	2740	3505		165		250					
ANG H 5000-32		32	3270	3515		135		250					
ANG H 5000-38	38	3800	3525		140		250						
ANG H 6000-11	6000	11	1630	3940		190							
ANG H 6000-16		16	2035	3950		190							
ANG H 6000-22		22	2720	3985	2200	170	1500	250	150	1200	158	2071	400
ANG H 6000-25		25	3040	4005		165							
ANG H 6000-32		32	3640	4015		135							
ANG H 6000-38		38	4325	4025		140							
ANG H 7000-11	7000	11	1760	4440		190							
ANG H 7000-16		16	2220	4450		190							
ANG H 7000-22		22	2980	4485	2700	170	1500	250	150	1200	158	2071	400
ANG H 7000-25		25	3340	4505		165							
ANG H 7000-32		32	4010	4515		135							
ANG H 7000-38		38	4790	4525		140							
ANG H 8000-11	8000	11	1890	4940		190							
ANG H 8000-16		16	2405	4950		190							
ANG H 8000-22		22	3240	4985	3200	170	1500	250	150	1200	158	2071	400
ANG H 8000-25		25	3640	5005		165							
ANG H 8000-32		32	4380	5015		135							
ANG H 8000-38		38	5255	5025		140							

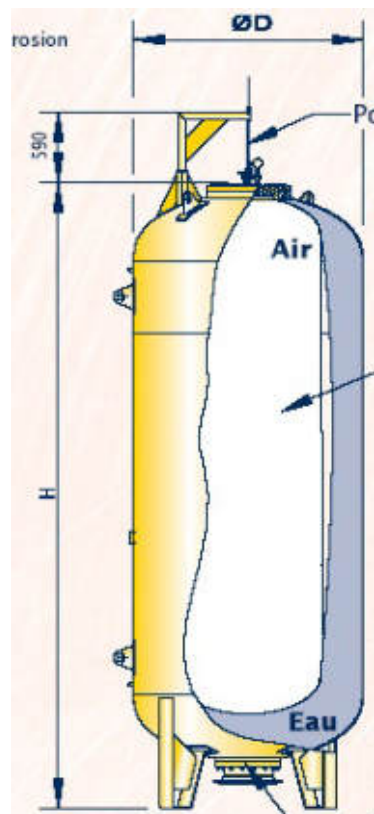
# Calderines (12)

MODELO	VOLUMEN litros	PRESIÓN bar	PESO TEÓRICO VACÍO kg	Dimensiones											
				A	B	C		D	E	F	H	J	L		
						C / DN	C / DN								
ANG H 9000-11	9000	11	2020	5440	3700	190	250	/	1500	150	1200	158	2071	400	
ANG H 9000-16		16	2590	5450		190									
ANG H 9000-22		22	3500	5485		170									
ANG H 9000-25		25	3940	5505		165									
ANG H 9000-32		32	4750	5515		135									
ANG H 9000-38		38	5720	5525		140									
ANG H 10000-10	10000	10	2800	4190	2200	190	250	204	1900	150	1300	268	2471	400	
ANG H 10000-15		15	3600	4210		190		193							
ANG H 10000-20		20	4200	4230		177		161							400
ANG H 10000-25		25	5000	4240		134		165							
ANG H 10000-30		30	6300	4290		125		118							
ANG H 10000-36		36	7000	4295		125		108							
ANG H 12000-10	12000	10	3035	4690	2700	190	250	204	1900	150	1300	268	2471	400	
ANG H 12000-15		15	3920	4710		190		193							
ANG H 12000-20		20	4575	4730		177		161							400
ANG H 12000-25		25	5460	4740		134		165							
ANG H 12000-30		30	6885	4790		125		118							
ANG H 12000-36		36	7730	4795		125		108							
ANG H 15000-10	15000	10	3505	5690	3700	190	250	204	1900	150	1300	268	2471	400	
ANG H 15000-15		15	4580	5710		190		193							
ANG H 15000-20		20	5300	5730		177		161							400
ANG H 15000-25		25	6400	5740		134		165							
ANG H 15000-30		30	8060	5790		125		118							
ANG H 15000-36		36	9100	5795		125		108							
ANG H 18000-10	18000	10	4230	7190	5200	190	250	204	1900	150	1300	268	2471	400	
ANG H 18000-15		15	5560	7210		190		193							
ANG H 18000-20		20	6450	7230		177		161							400
ANG H 18000-25		25	7800	7240		134		165							
ANG H 18000-30		30	9800	7290		125		118							
ANG H 18000-36		36	11200	7295		125		108							
ANG H 20000-10	20000	10	4480	7690	5700	190	250	204	1900	150	1300	268	2471	400	
ANG H 20000-15		15	5950	7710		190		193							
ANG H 20000-20		20	6800	7730		177		161							400
ANG H 20000-25		25	8300	7740		134		165							
ANG H 20000-30		30	10000	7790		125		118							
ANG H 20000-36		36	11260	7790		125		108							

# Calderines (13)

MODELO	VOLUMEN litros	PRESIÓN bar	PESO TEÓRICO VACÍO kg	Dimensiones											
				A	B	C		D	E	F	H	J	L		
						C / DN	C / DN								
ANG H 25000-11	25000	11	6300	5530	3150	377	250	374	400	2500	500	1900	500	3261	590
ANG H 25000-13		13	7000	5540		377		376							
ANG H 25000-15		15	7800	5550		381		366							
ANG H 25000-17		17	8500	5555		367		343							
ANG H 25000-18		18	9000	5560		367		345							
ANG H 25000-21		21	10800	5570		372		321							
ANG H 25000-24		24	12800	5610		377		326							
ANG H 25000-29		29	14500	5630		345		304							
ANG H 25000-34		34	16300	5650		323		309							
ANG H 27000-25	27000	25	11784	8863	6000	96 / 600			2100	300	1600	328	2670	400	
ANG H 30000-11	30000	11	7500	7030	4600	377	250	374	400	2500	500	1900	500	3261	590
ANG H 30000-13		13	8400	7040		377		376							
ANG H 30000-15		15	9300	7050		381		366							
ANG H 30000-17		17	10200	7055		367		343							
ANG H 30000-18		18	10900	7060		367		345							
ANG H 30000-21		21	13100	7070		372		321							
ANG H 30000-24		24	15400	7110		377		326							
ANG H 30000-29		29	17700	7130		345		304							
ANG H 30000-34		34	20000	7150		323		309							
ANG H 35000-10	35000	10	8457	8030	5600	336 / 700			2500	500	1900	500	3260	590	
ANG H 35000-11	35000	11	8200	8030	5600	377	250	374	400	2500	500	1900	500	3261	590
ANG H 35000-13		13	9200	8040		377		376							
ANG H 35000-15		15	10300	8050		381		366							
ANG H 35000-17		17	11300	8055		367		343							
ANG H 35000-18		18	12100	8060		367		345							
ANG H 35000-21		21	14600	8070		372		321							
ANG H 35000-24		24	17300	8110		377		326							
ANG H 35000-29		29	19900	8130		345		304							
ANG H 35000-34		34	22400	8150		323		309							
ANG H 50000-10	50000	10	10655	7818	5000	321 / 700			3000	500	2000	500	3760	590	

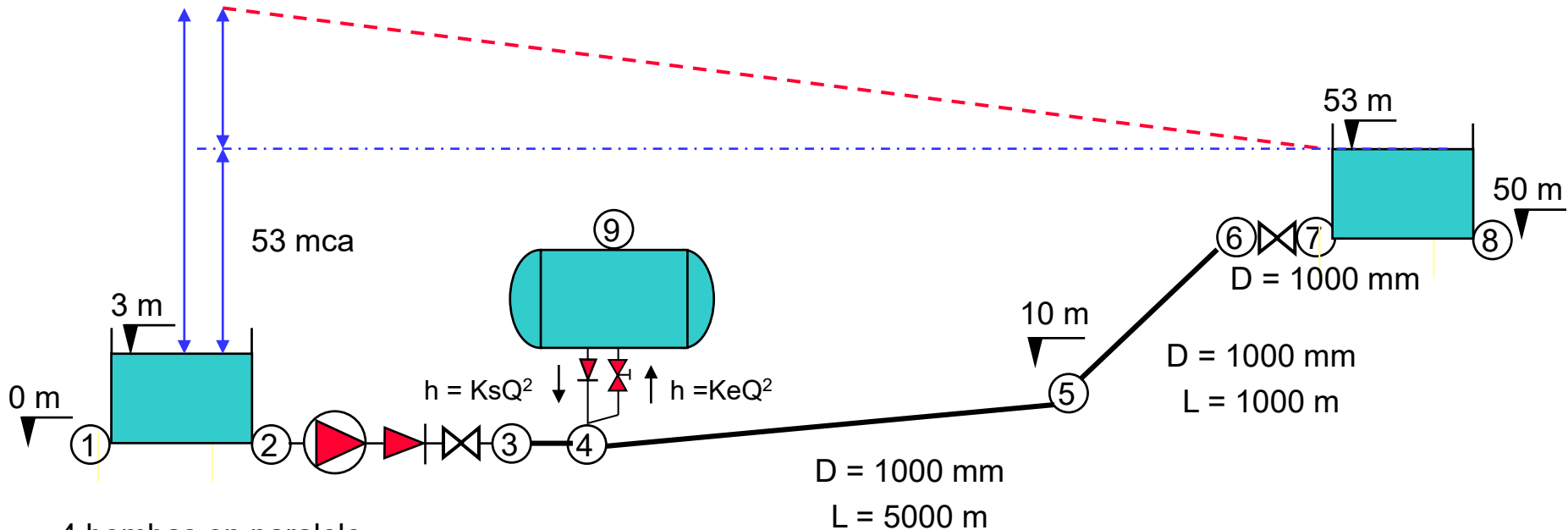




Capacitat	Ø D (mm)	Hauteur H	P	T	Cote A	Cote B	Cote C	Potence
3000	1200	3800	1050	26	150	125	1370	Non
4000	1200	4100	1050	26	150	125	1370	Non
5000	1500	3500	1300	26	150	178	1670	Non
6000	1500	4300	1300	26	150	178	1670	Non
7000	1500	4800	1300	26	150	178	1670	Non
8000	1500	5300	1300	26	150	178	1670	Non
9000	1900	4500	1700	26	150	178	2070	Oui
9000	2100	3500	1800	26	150	276	2270	Oui
10000	1900	4900	1700	26	150	178	2070	Oui
10000	2100	3800	1800	26	150	276	2270	Oui
12000	1900	5600	1700	26	150	178	2070	Oui
12000	2100	4400	1800	26	150	276	2270	Oui
15000	2100	5300	1800	26	150	276	2270	Oui
20000	2500	5000	2000	26	500	500	2670	Oui
25000	2500	6000	2000	26	500	500	2670	Oui
30000	3000	5400	2550	26	500	500	3170	Oui
35000	3000	6100	2550	26	500	500	3170	Oui

# IMPULSIÓN PERFIL CÓNCAVO A. G.D.A. por parada de bomba

## Inclusión de calderín de protección



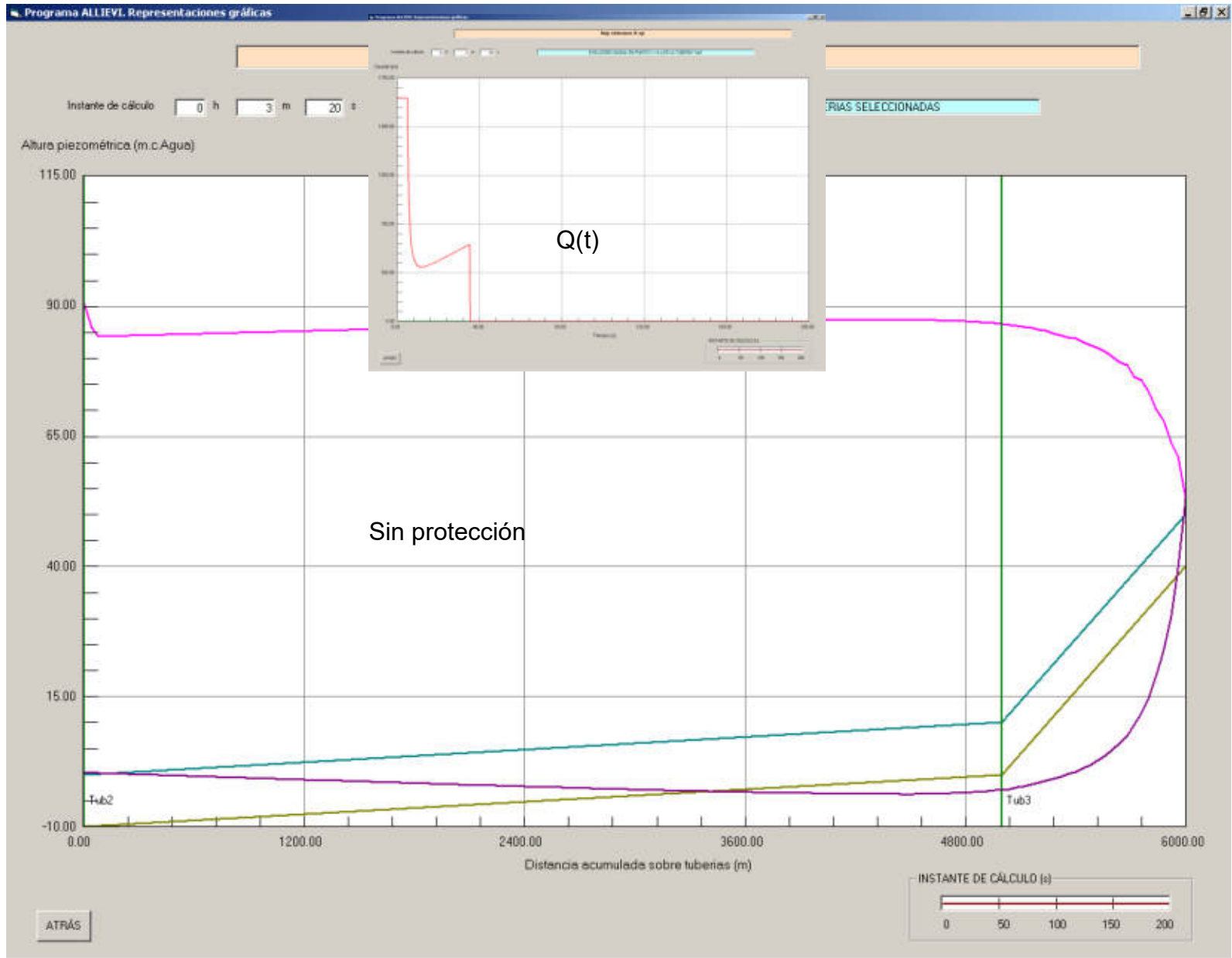
4 bombas en paralelo.

Parada de todas las bombas

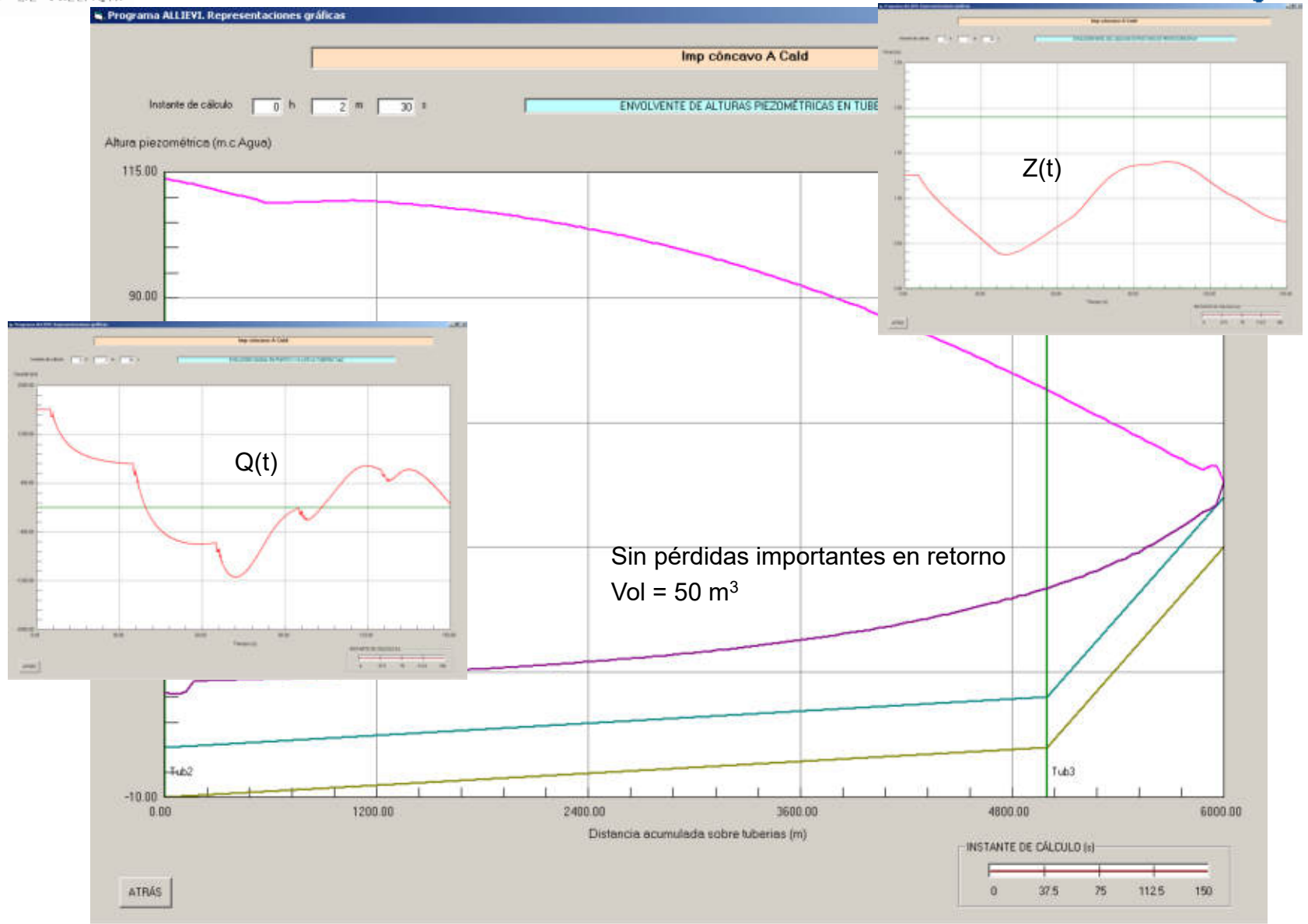
Para cada bomba:

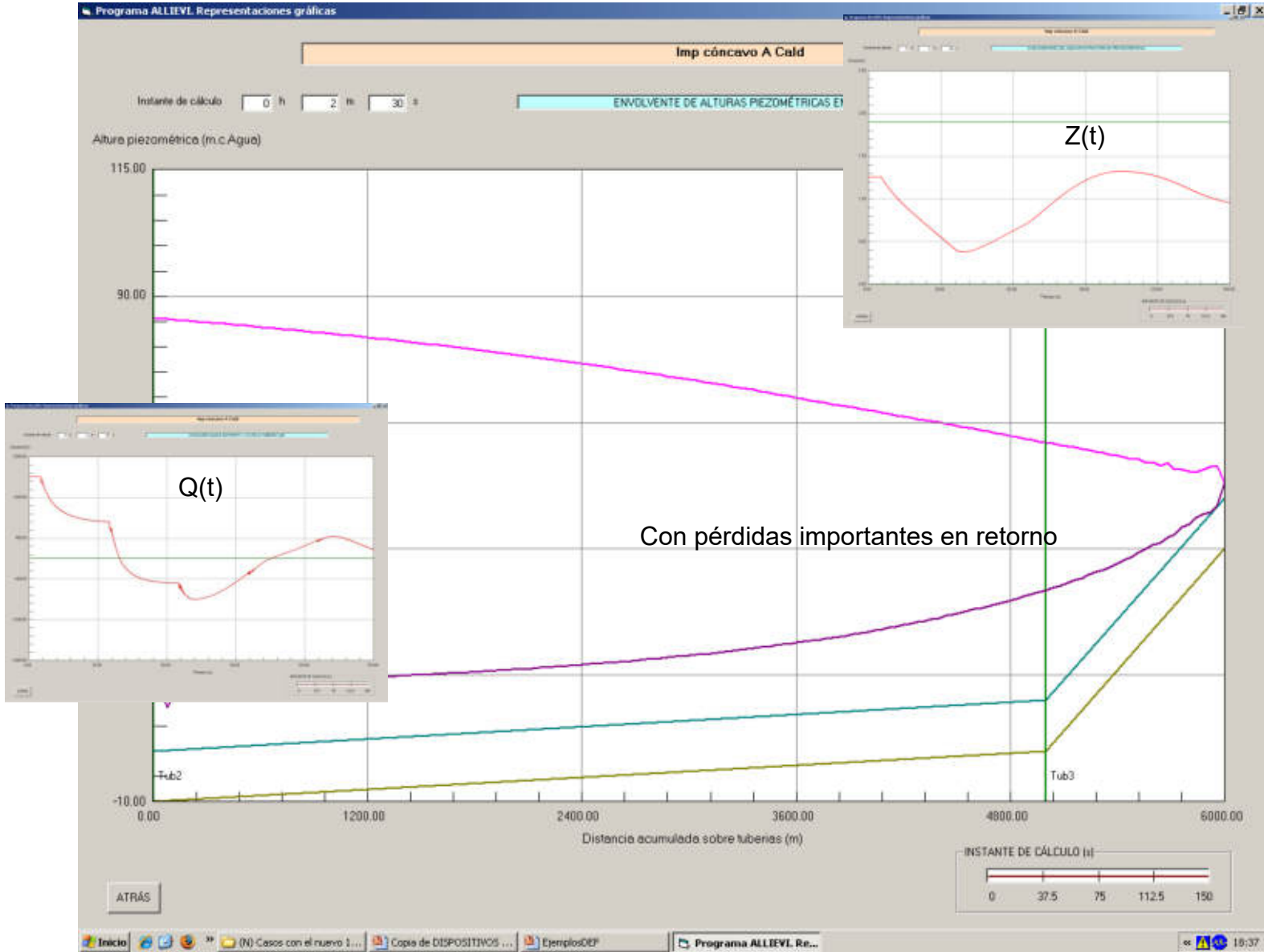
$I = 20 \text{ Kg.m}^2$   $H = 70 \text{ mca}$   $Q = 416 \text{ l/s}$

$P = 400 \text{ kw}$   $N = 1484 \text{ rpm}$



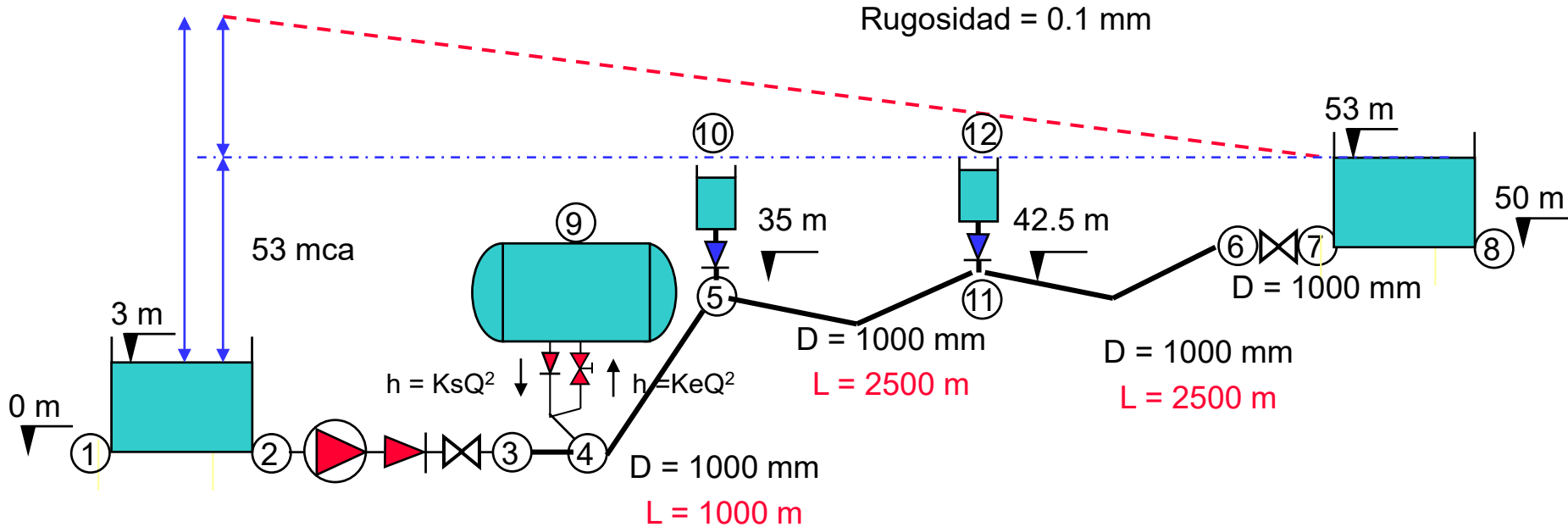






# IMPULSIÓN PERFIL CONVEXO A. G.D.A. por parada de bomba

Calderín y 2 TU



4 bombas en paralelo.

Parada de todas las bombas

Para cada bomba:

$I = 20 \text{ Kg.m}^2$   $H = 70 \text{ mca}$   $Q = 416 \text{ l/s}$

$P = 400 \text{ kw}$   $N = 1484 \text{ rpm}$

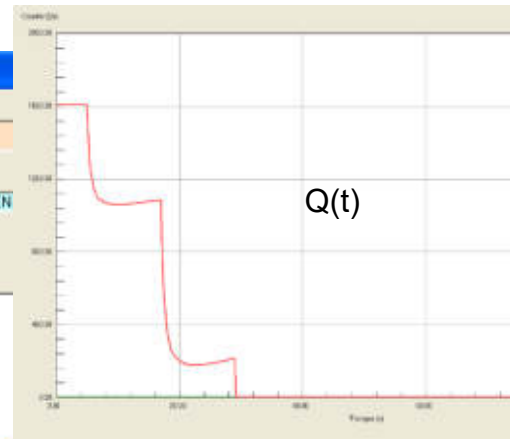
Solo Calderín V excesivo



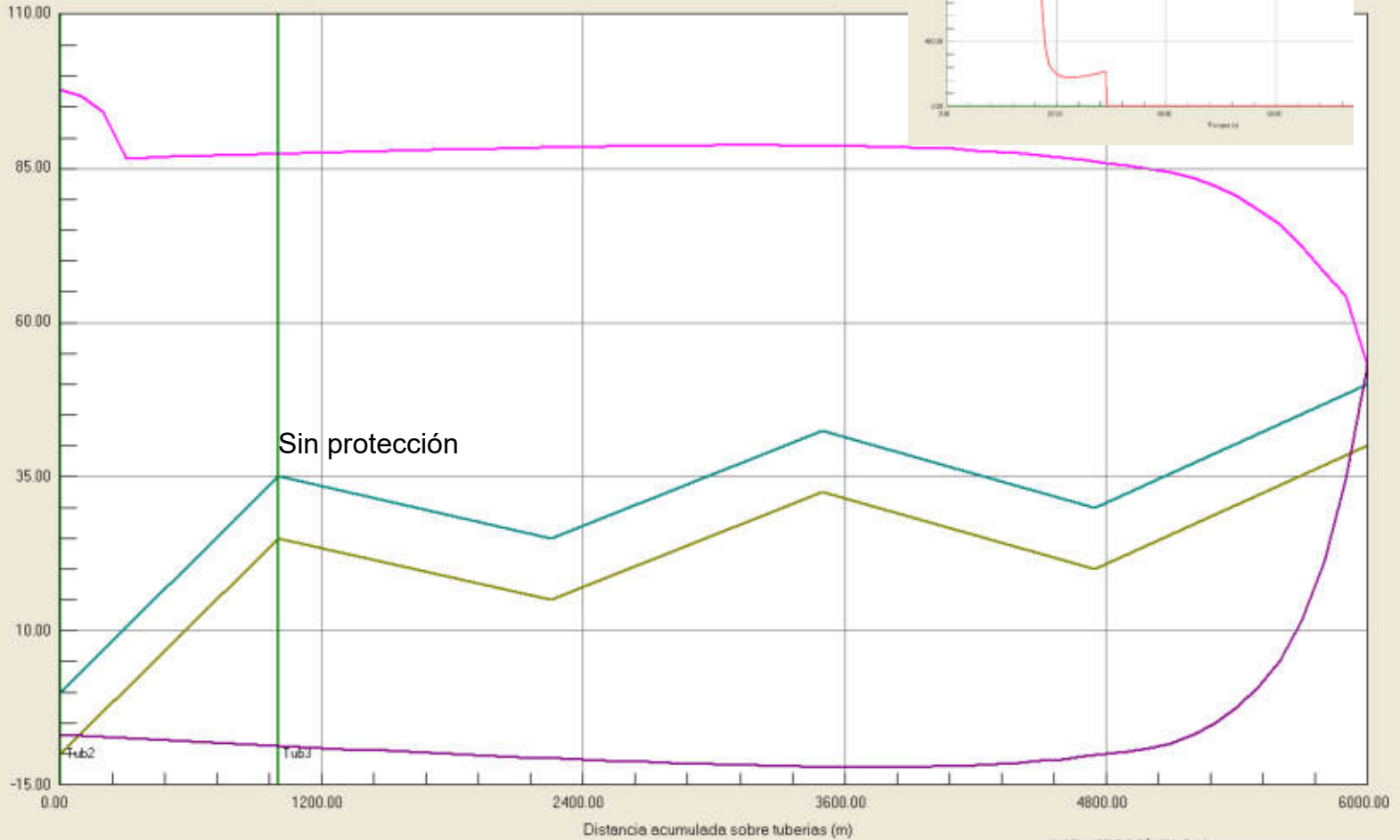
Imp convexo A sp

Instante de cálculo 0 h 1 m 40 s

ENVOLVENTE DE ALTURAS PIEZOMÉTRICAS EN



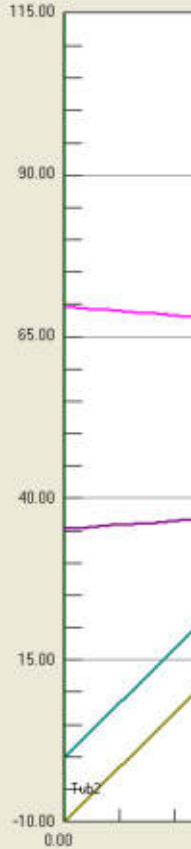
Altura piezométrica (m.c. Agua)



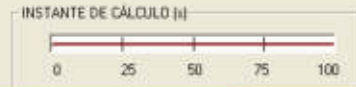
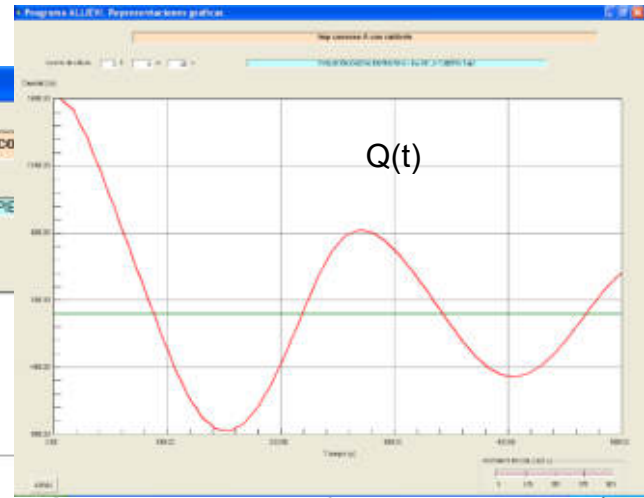
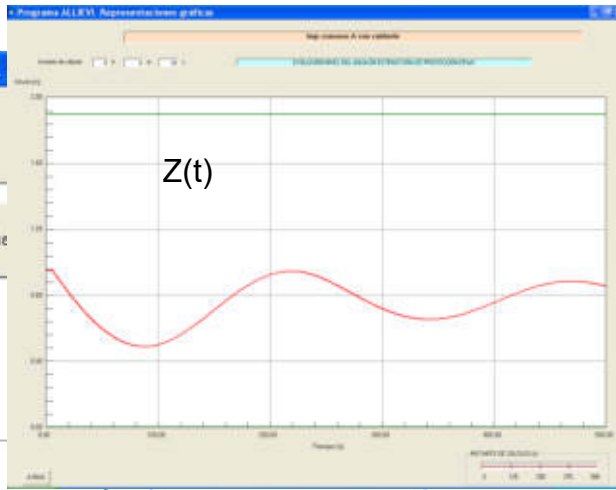
ATRÁS

Programa ALLIEVI.

Instante de cálculo   
 Altura piezométrica (m.c.Agué)

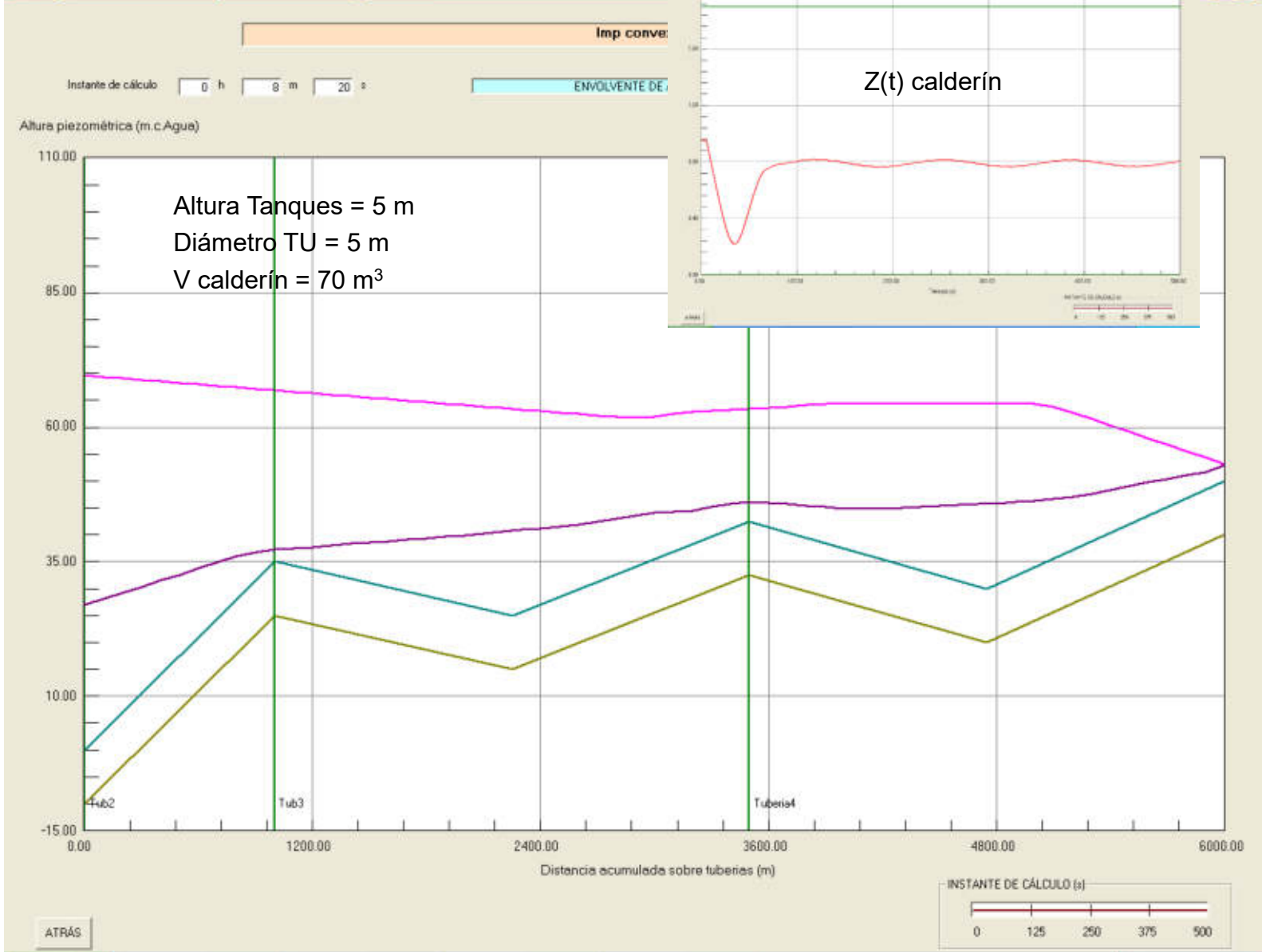


V calderín = 250 m<sup>3</sup>

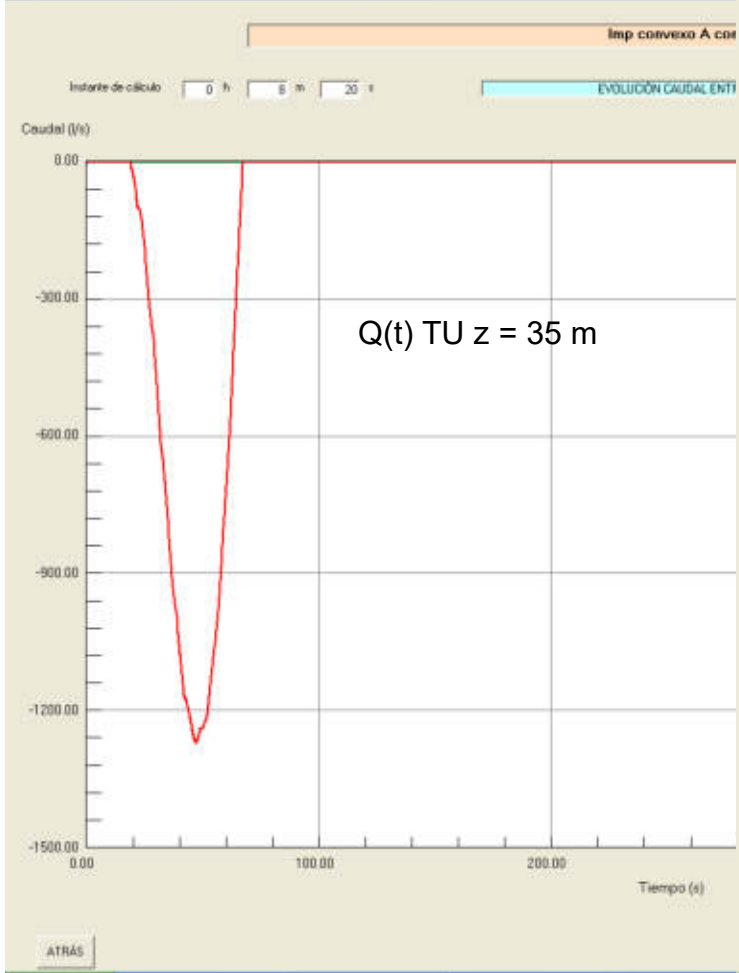


ATRÍAS

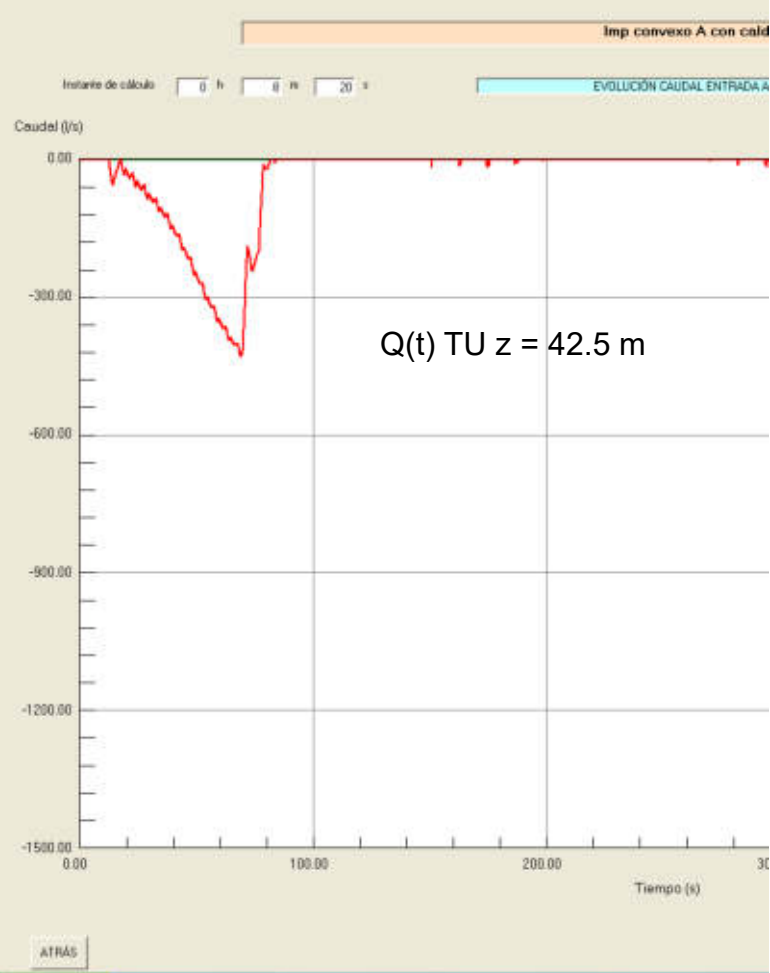
Programa ALLIEVI. Representaciones gráficas



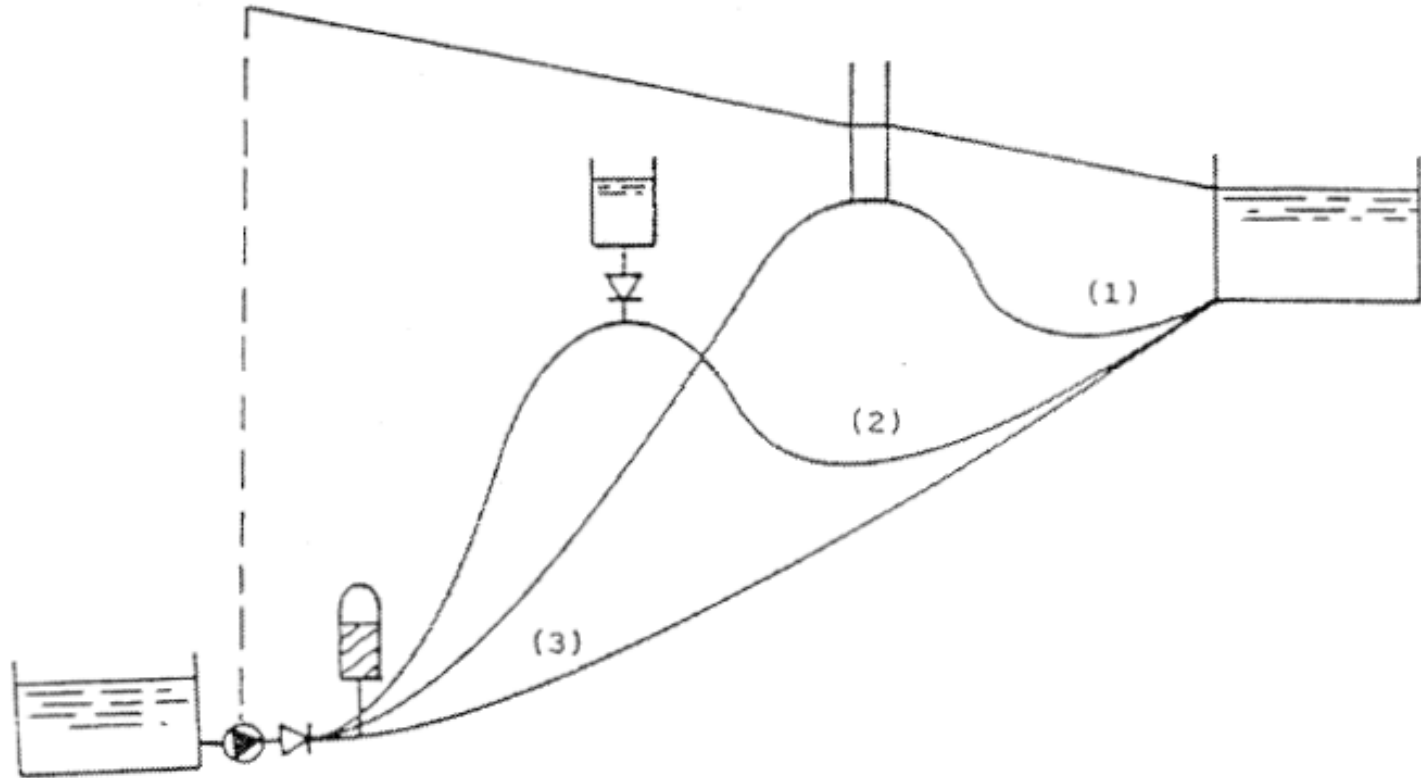
Programa ALLIEVI. Representaciones gráficas



Programa ALLIEVI. Representaciones gráficas



# Comparación

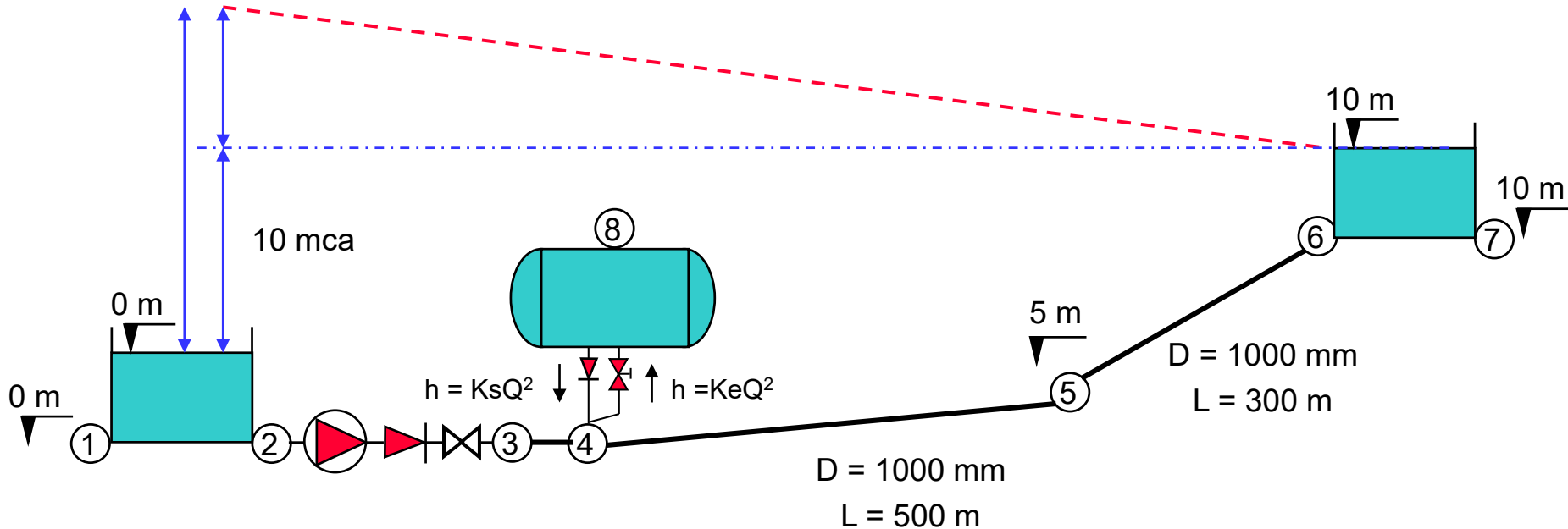




# PEQUEÑO DESNIVEL

## IMPULSIÓN G.D.A. por parada de bomba

### Inclusión de calderín de protección



4 bombas en paralelo.

Parada de todas las bombas

Para cada bomba:

$I = 1 \text{ Kg.m}^2$   $H = 12 \text{ mca}$   $Q = 250 \text{ l/s}$

$P = 40 \text{ kw}$   $N = 1450 \text{ rpm}$

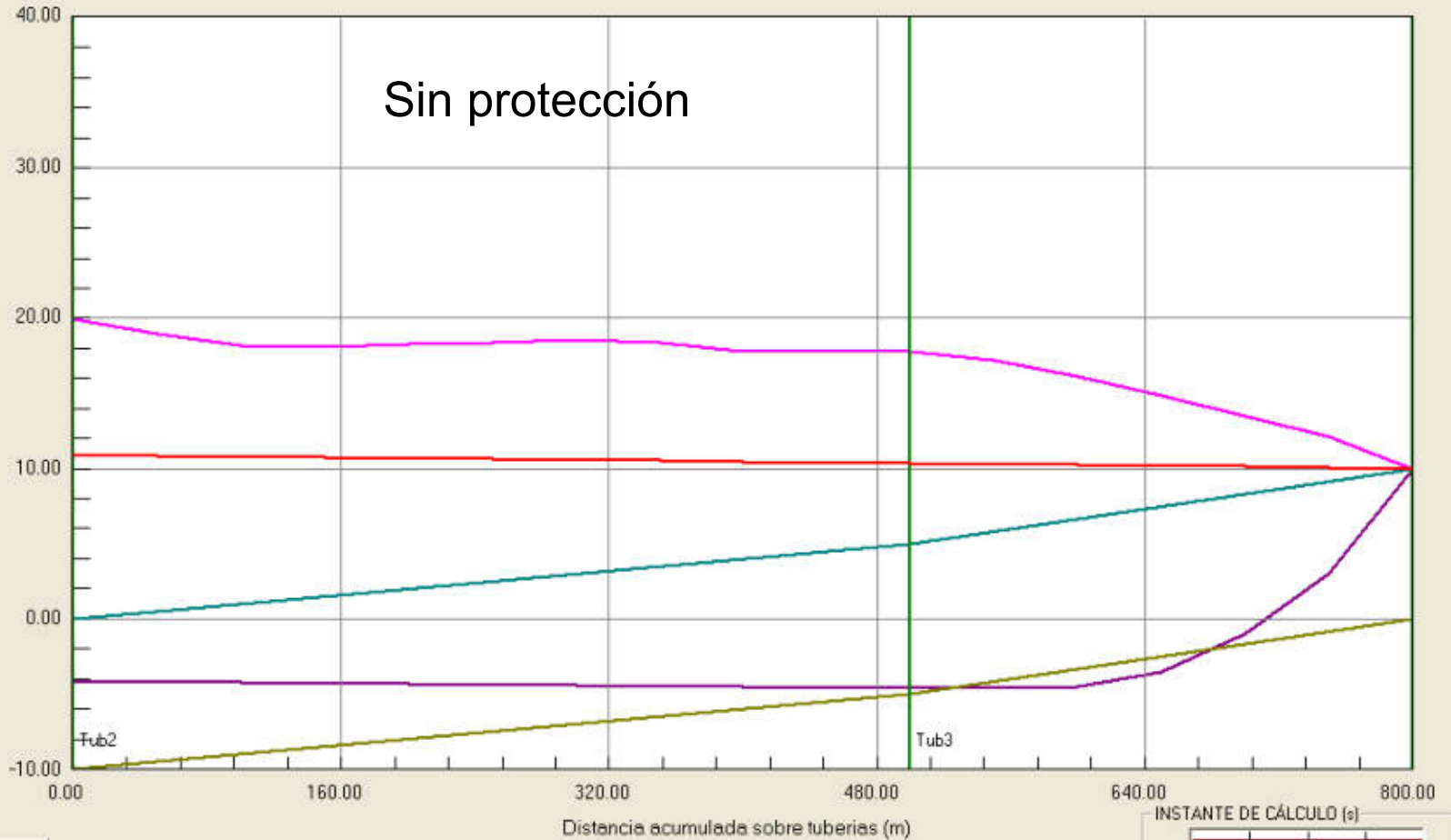
2 Calderines de  $10 \text{ m}^3$

Vol. Inicial aire =  $5 \text{ m}^3$

Tiempo de cálculo 0 h 1 m 40 s

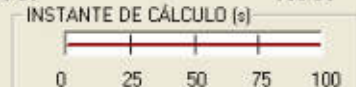
ENVOLVENTE DE ALTURAS PIEZOMÉTRICAS EN TUBERIAS SELECCIONADAS

Altura piezométrica (m.c.Agua)



ATRÁS

— Perfil tubería — Línea cavitación — Envolvente máximas — Envolvente mínimas — Rég. permanente



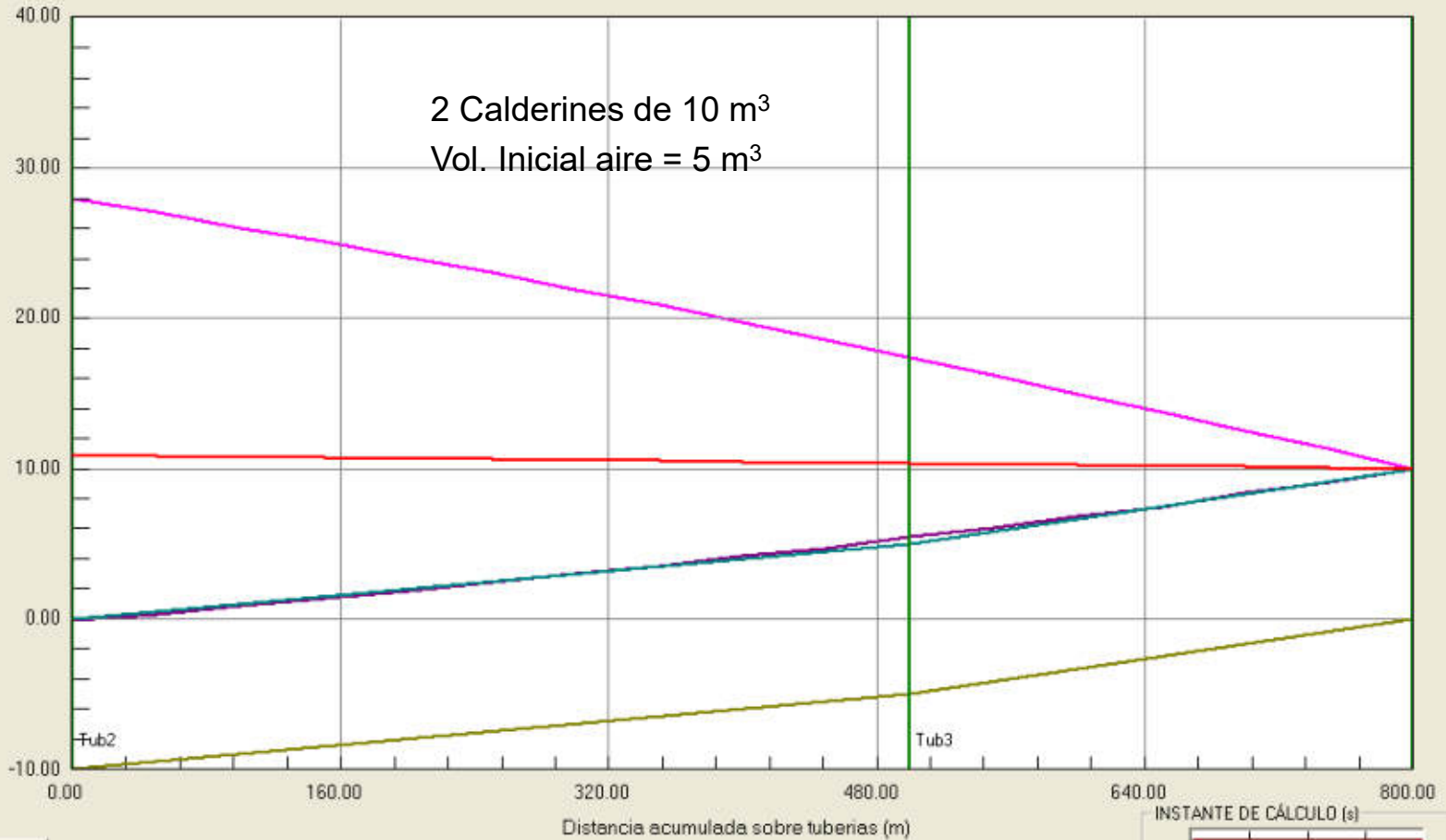
Programa ALLIEVI. Representaciones gráficas



Tiempo de cálculo 0 h 1 m 40 s

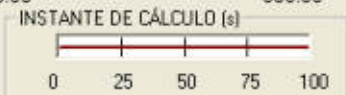
ENVOLVENTE DE ALTURAS PIEZOMÉTRICAS EN TUBERIAS SELECCIONADAS

Altura piezométrica (m.c. Agua)



ATRÁS

- Perfil tubería
- Línea cavitación
- Envolvente máximas
- Envolvente mínimas
- Rég. permanente



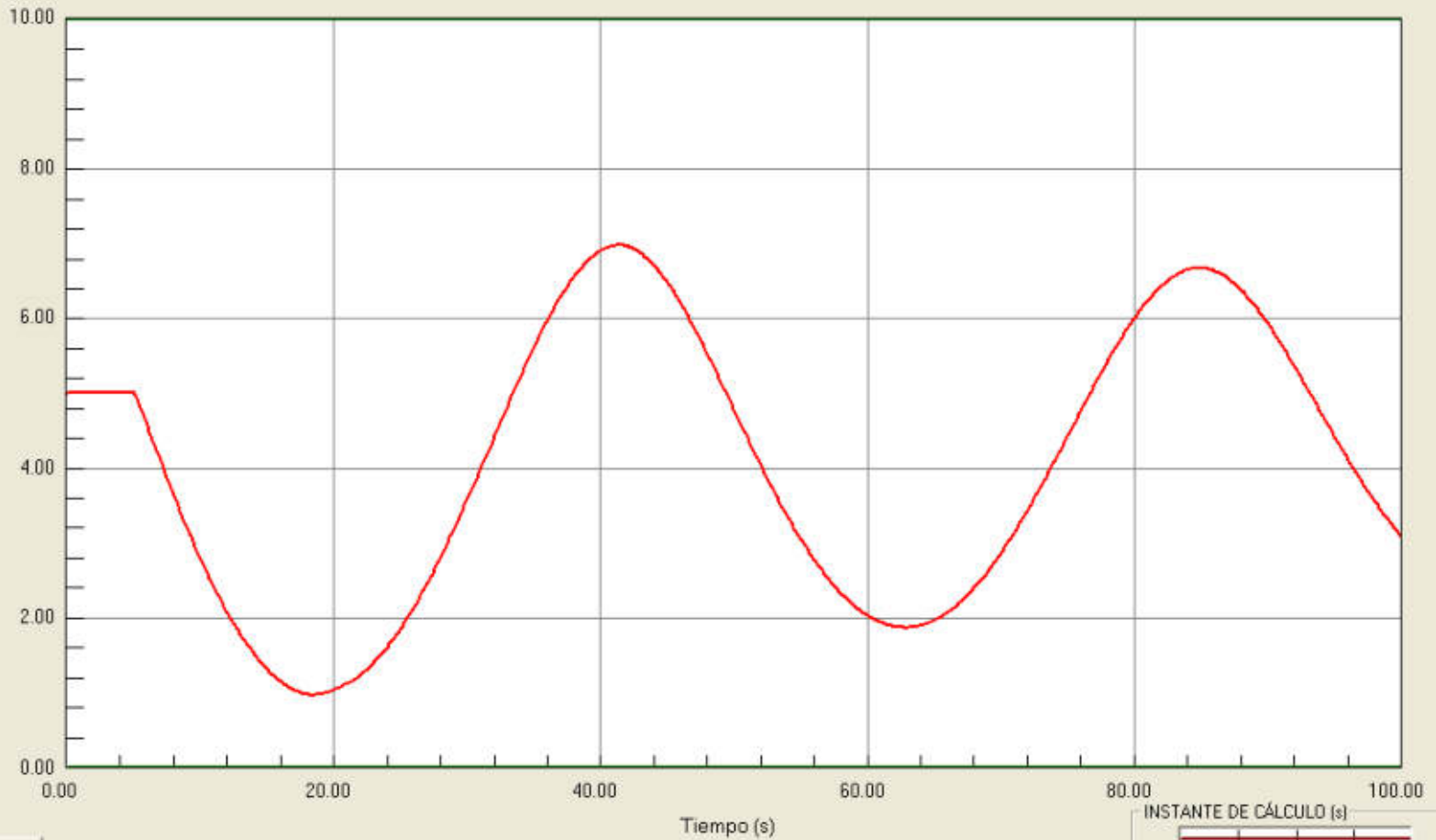
Programa ALLIEVI. Representaciones gráficas

ej

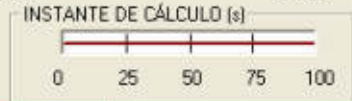
Tiempo de cálculo 0 h 1 m 40 s

EVOLUCIÓN VOLUMEN DE AGUA EN DEPÓSITO HIDRONEUMÁTICO EProt1

Volumen (m<sup>3</sup>)



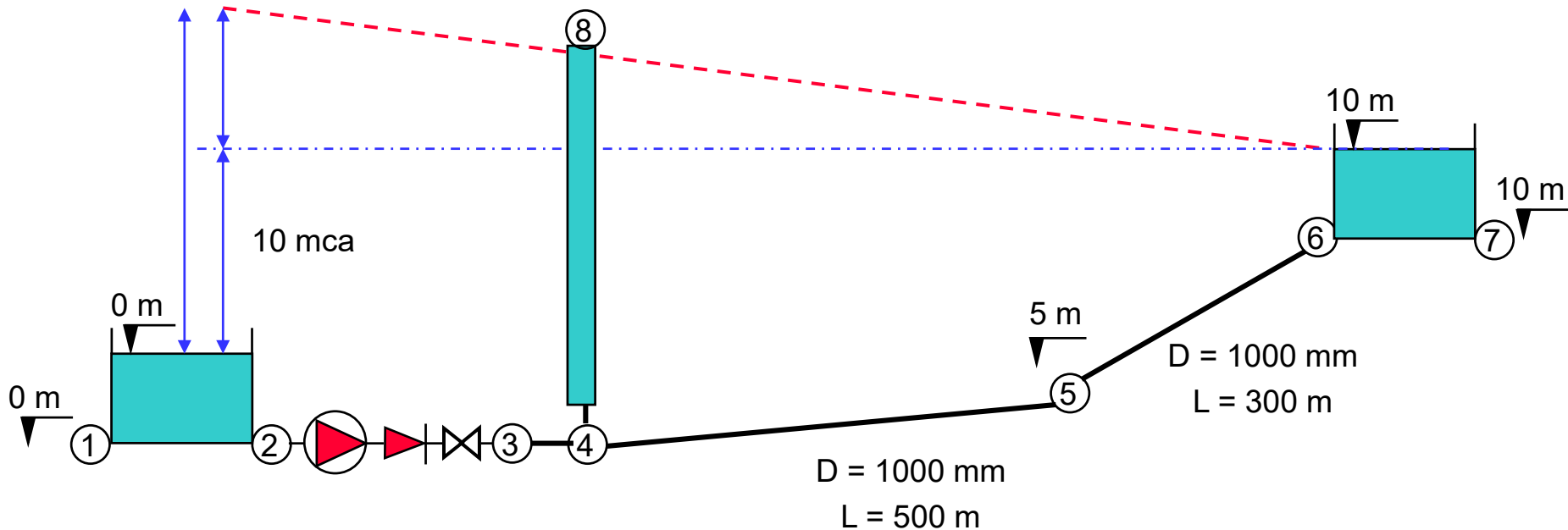
ATRÁS



# PEQUEÑO DESNIVEL

## IMPULSIÓN G.D.A. por parada de bomba

### Inclusión de Chimenea de equilibrio



4 bombas en paralelo.

Parada de todas las bombas

Para cada bomba:

$I = 1 \text{ Kg.m}^2$   $H = 12 \text{ mca}$   $Q = 250 \text{ l/s}$

$P = 40 \text{ kw}$   $N = 1450 \text{ rpm}$

1 Chimenea de 4 m de diámetro

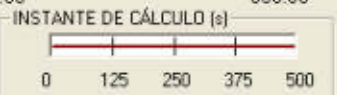
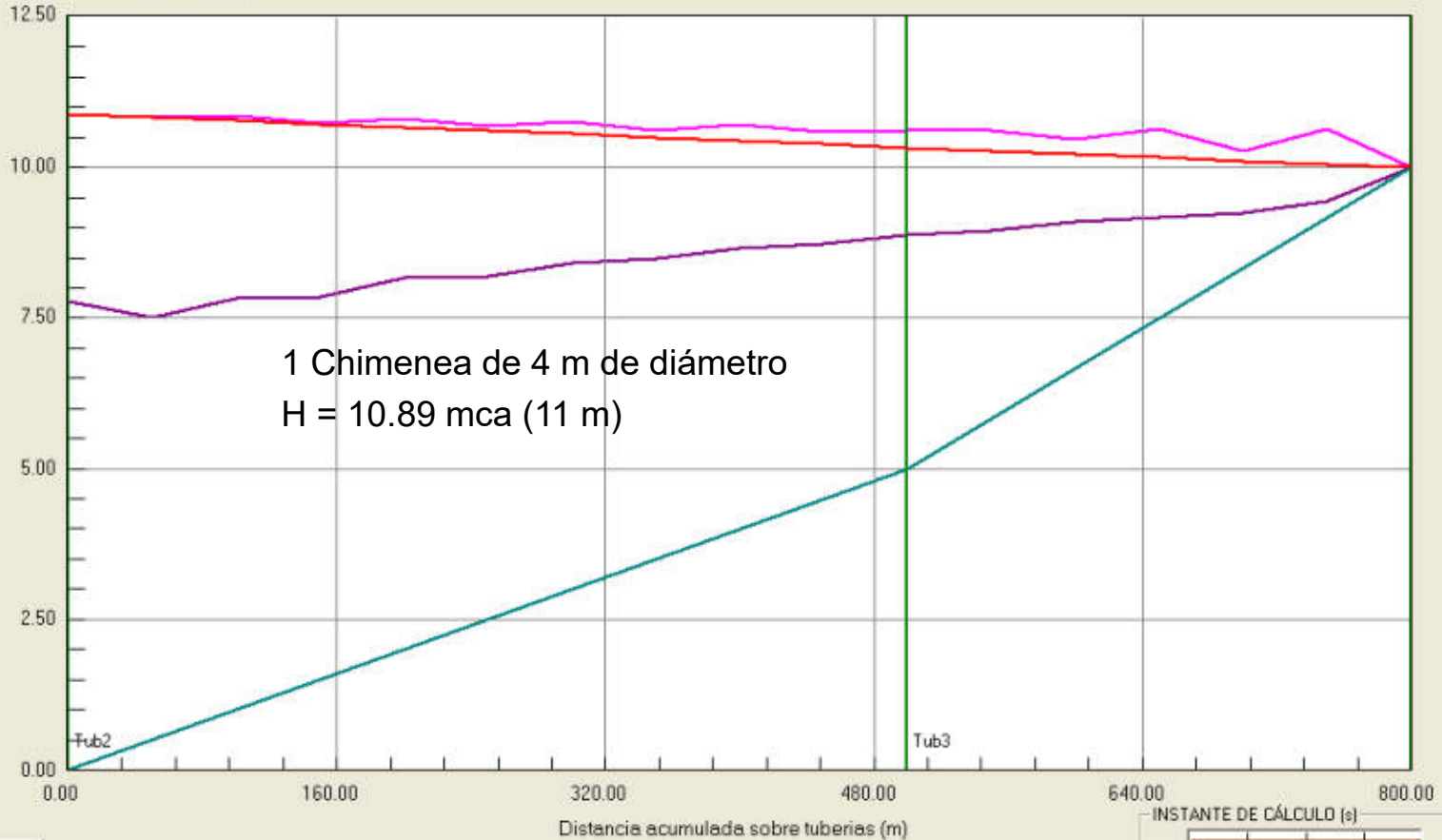
$H = 10.89 \text{ mca}$  (11 m)



Tiempo de cálculo 0 h 8 m 20 s

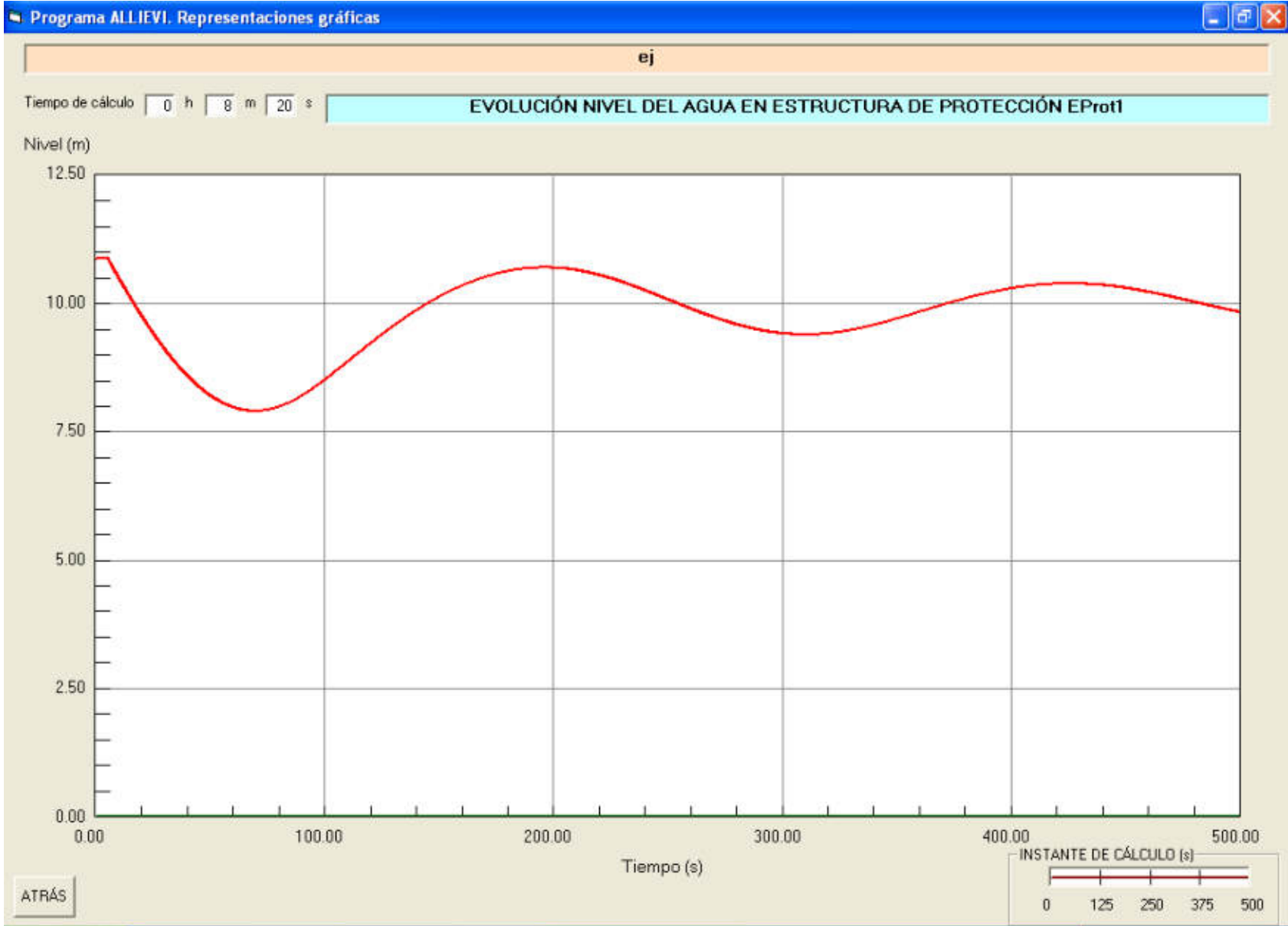
ENVOLVENTE DE ALTURAS PIEZOMÉTRICAS EN TUBERIAS SELECCIONADAS

Altura piezométrica (m.c.Agua)



ATRÁS

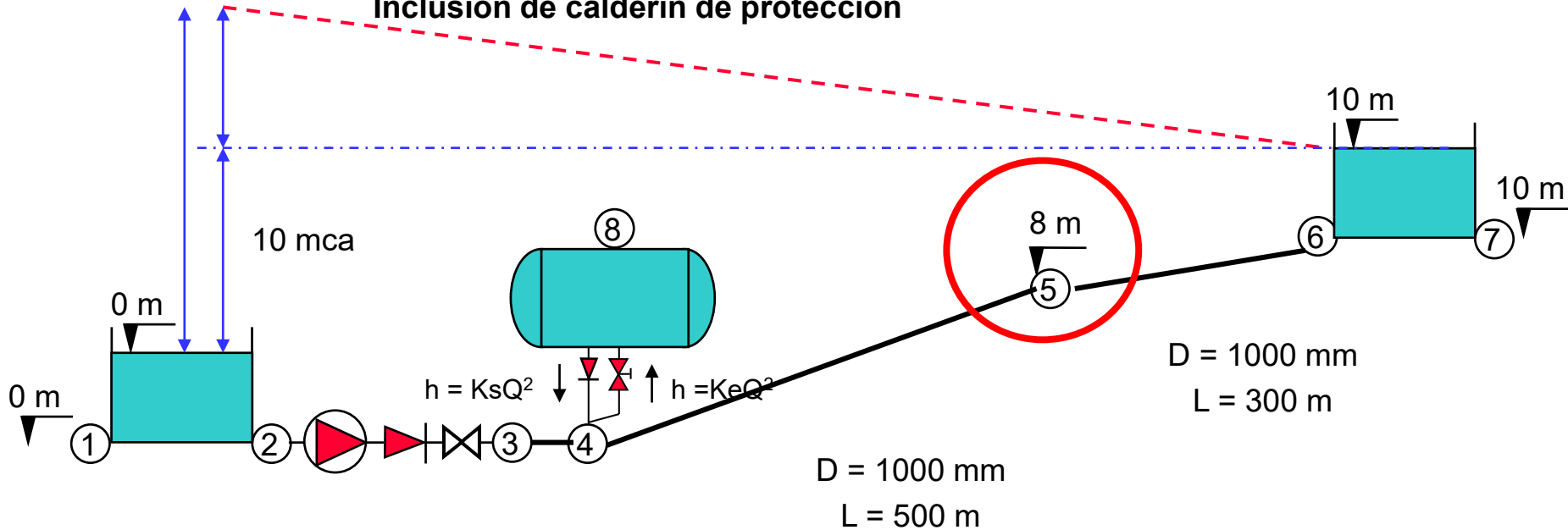
- Perfil tubería
- Línea cavitación
- Envolvente máximas
- Envolvente mínimas
- Rég. permanente



# PEQUEÑO DESNIVEL

## IMPULSIÓN G.D.A. por parada de bomba

### Inclusión de calderín de protección



4 bombas en paralelo.

Parada de todas las bombas

Para cada bomba:

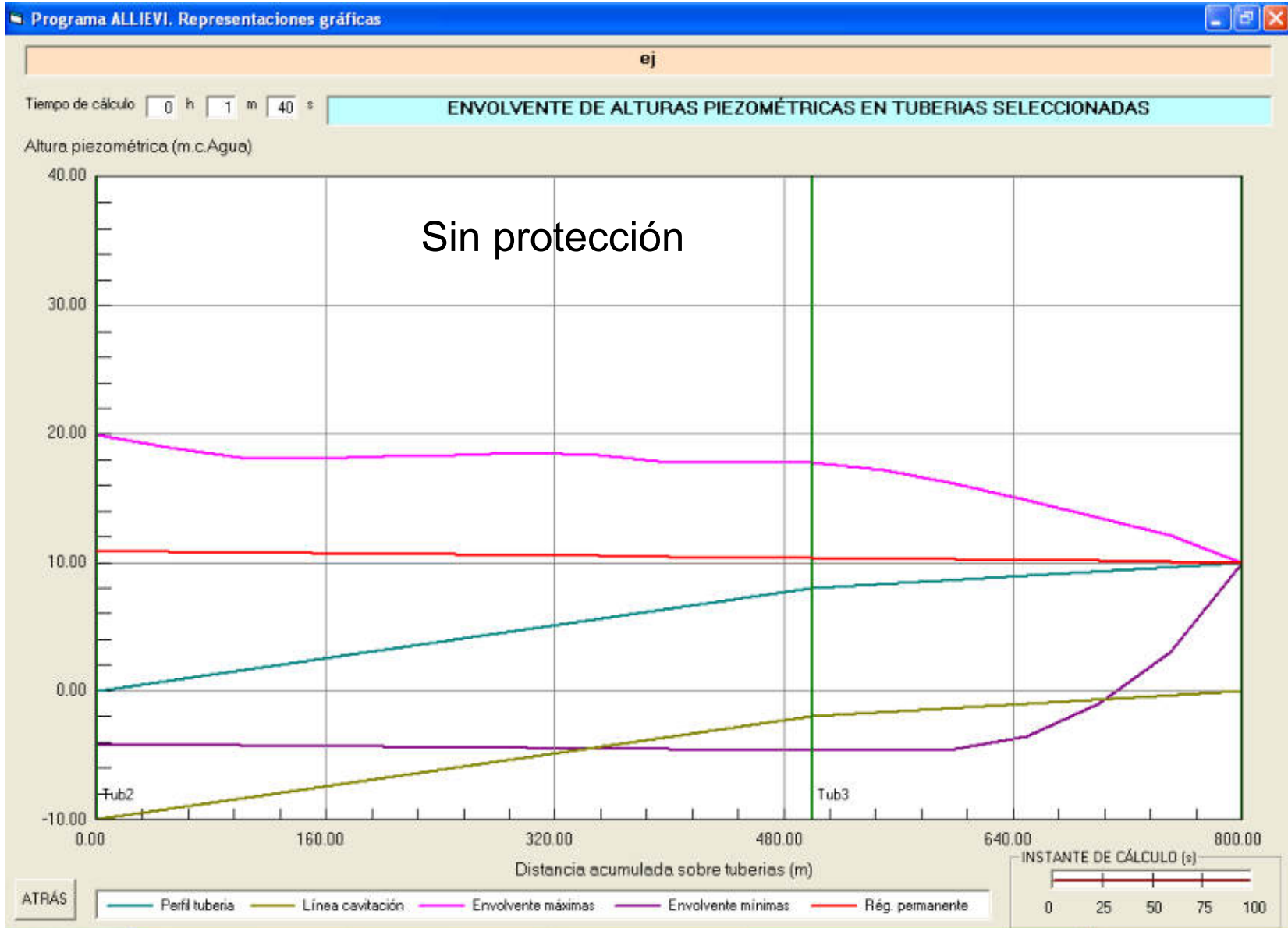
$I = 1 \text{ Kg.m}^2$   $H = 12 \text{ mca}$   $Q = 250 \text{ l/s}$

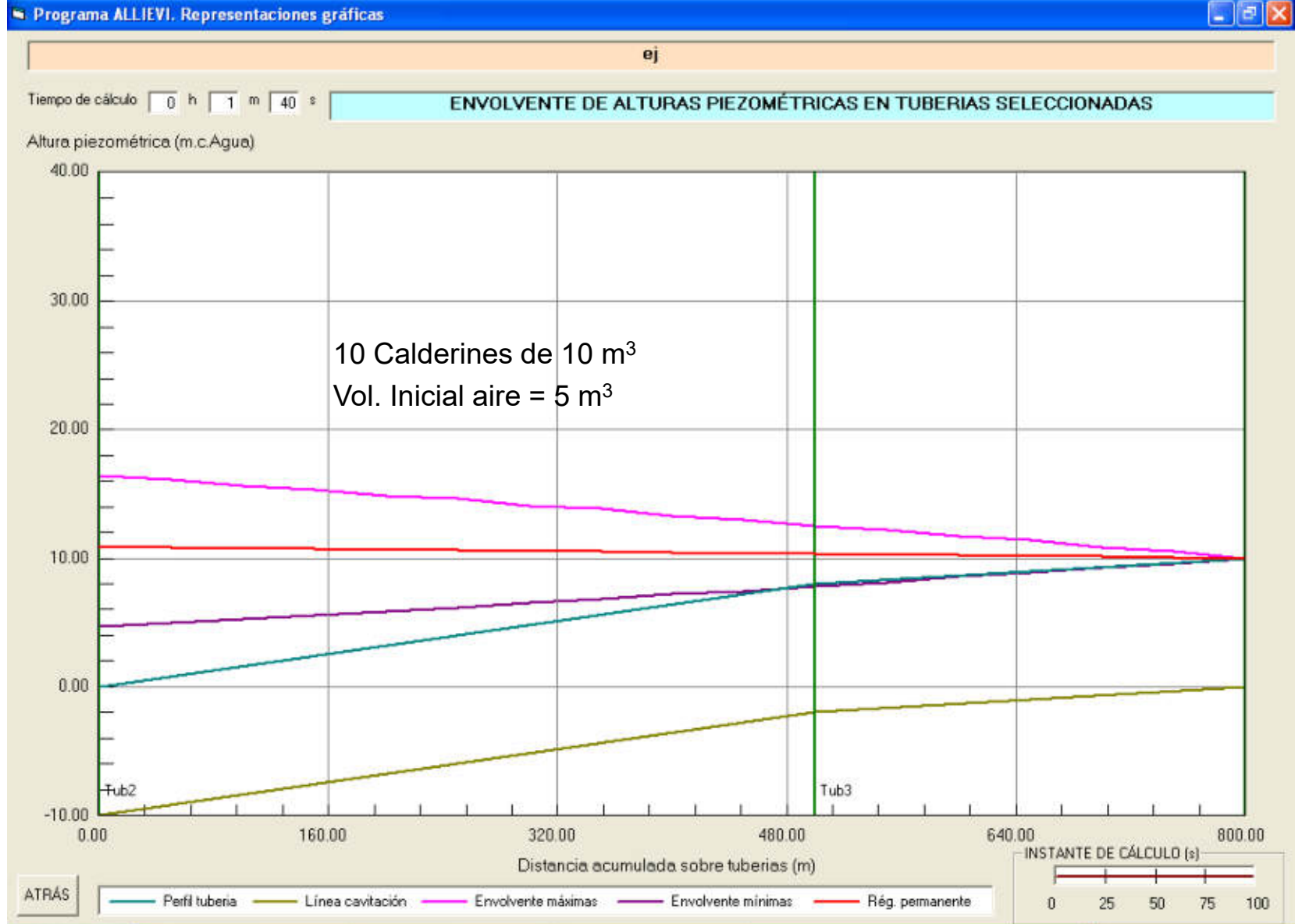
$P = 40 \text{ kw}$   $N = 1450 \text{ rpm}$

10 Calderines de  $10 \text{ m}^3$

Vol. Inicial aire =  $5 \text{ m}^3$

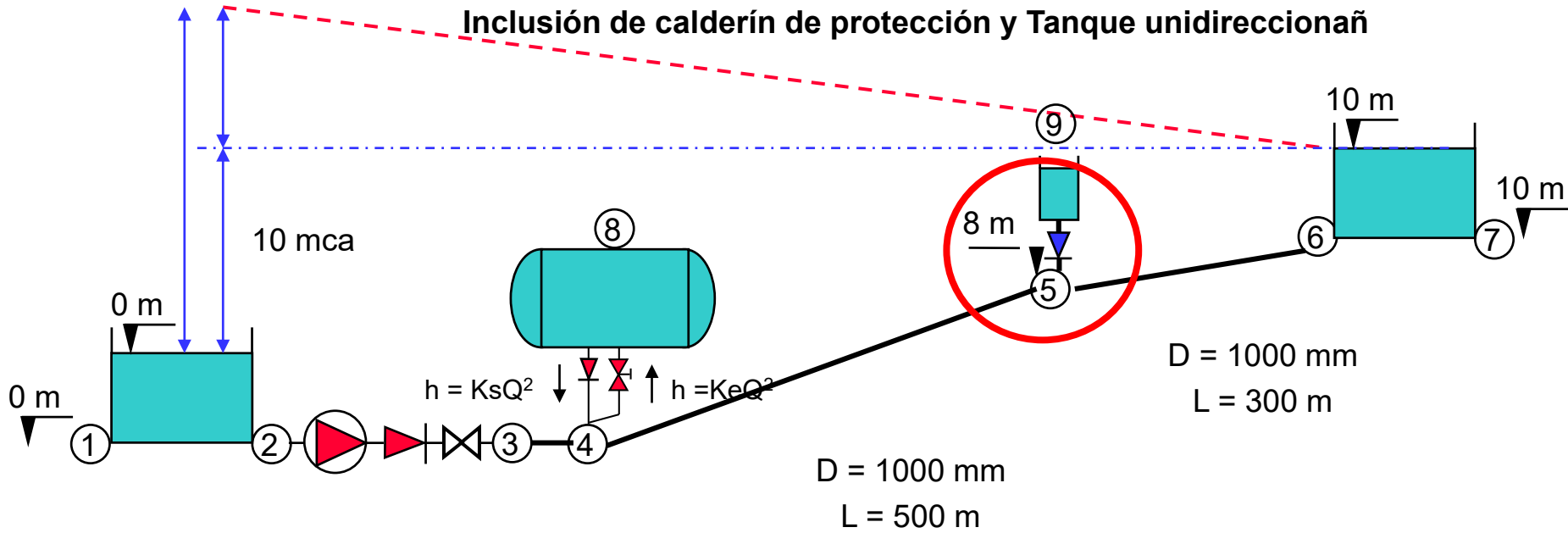






# PEQUEÑO DESNIVEL

## IMPULSIÓN G.D.A. por parada de bomba



4 bombas en paralelo.

Parada de todas las bombas

Para cada bomba:

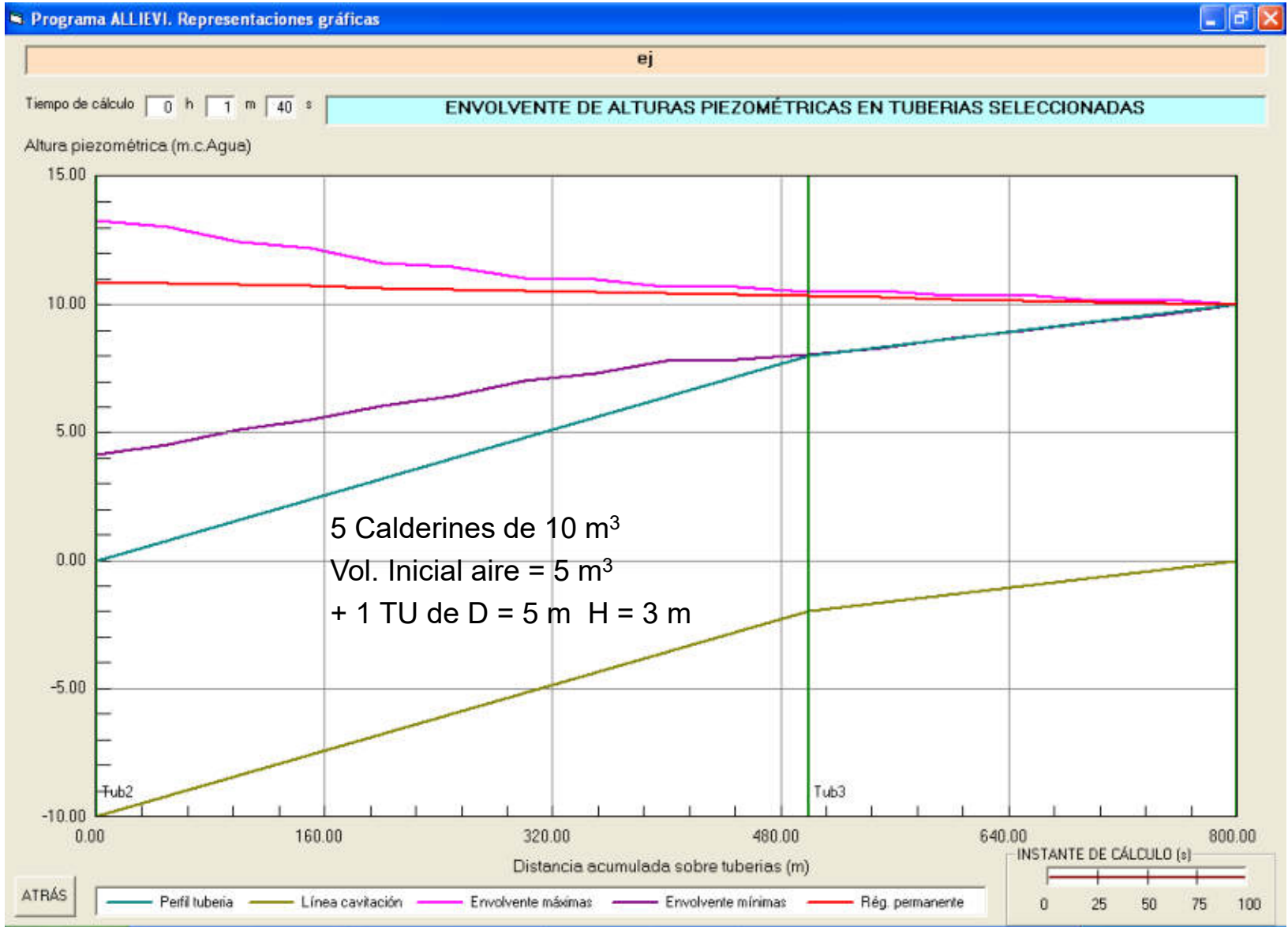
$I = 1 \text{ Kg.m}^2$   $H = 12 \text{ mca}$   $Q = 250 \text{ l/s}$

$P = 40 \text{ kw}$   $N = 1450 \text{ rpm}$

5 Calderines de  $10 \text{ m}^3$

Vol. Inicial aire =  $5 \text{ m}^3$

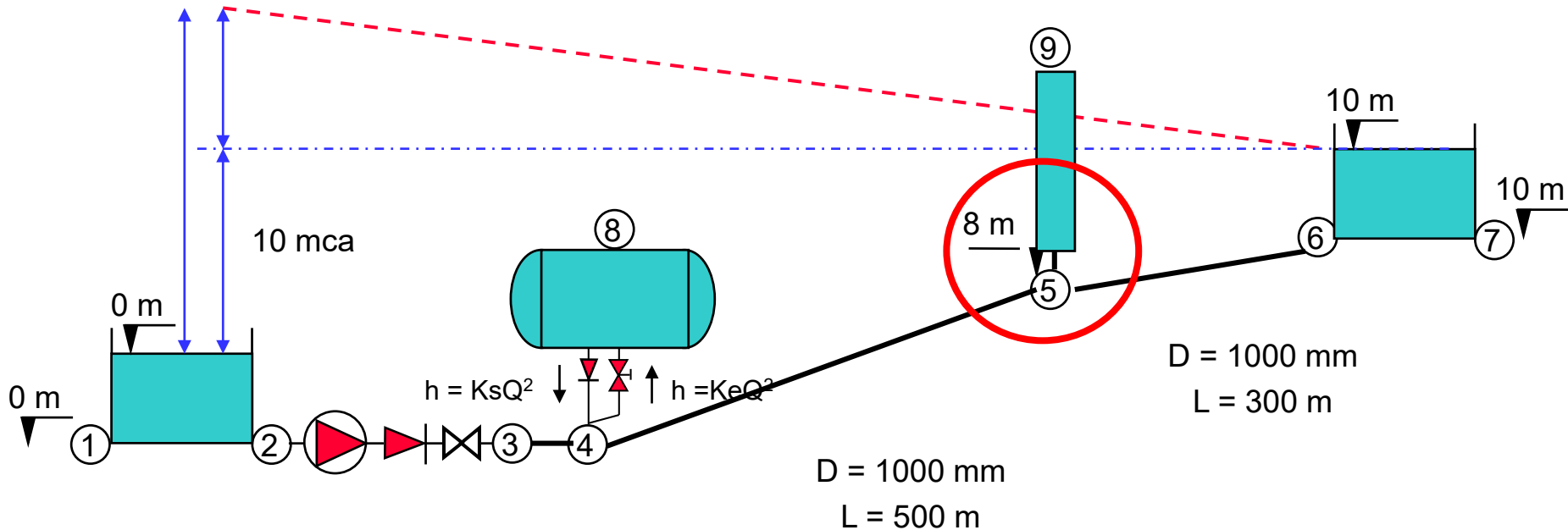
+ 1 TU de  $D = 5 \text{ m}$   $H = 3 \text{ m}$



# PEQUEÑO DESNIVEL

## IMPULSIÓN G.D.A. por parada de bomba

### Inclusión de calderín de protección y Chimenea de equilibrio



4 bombas en paralelo.

Parada de todas las bombas

Para cada bomba:

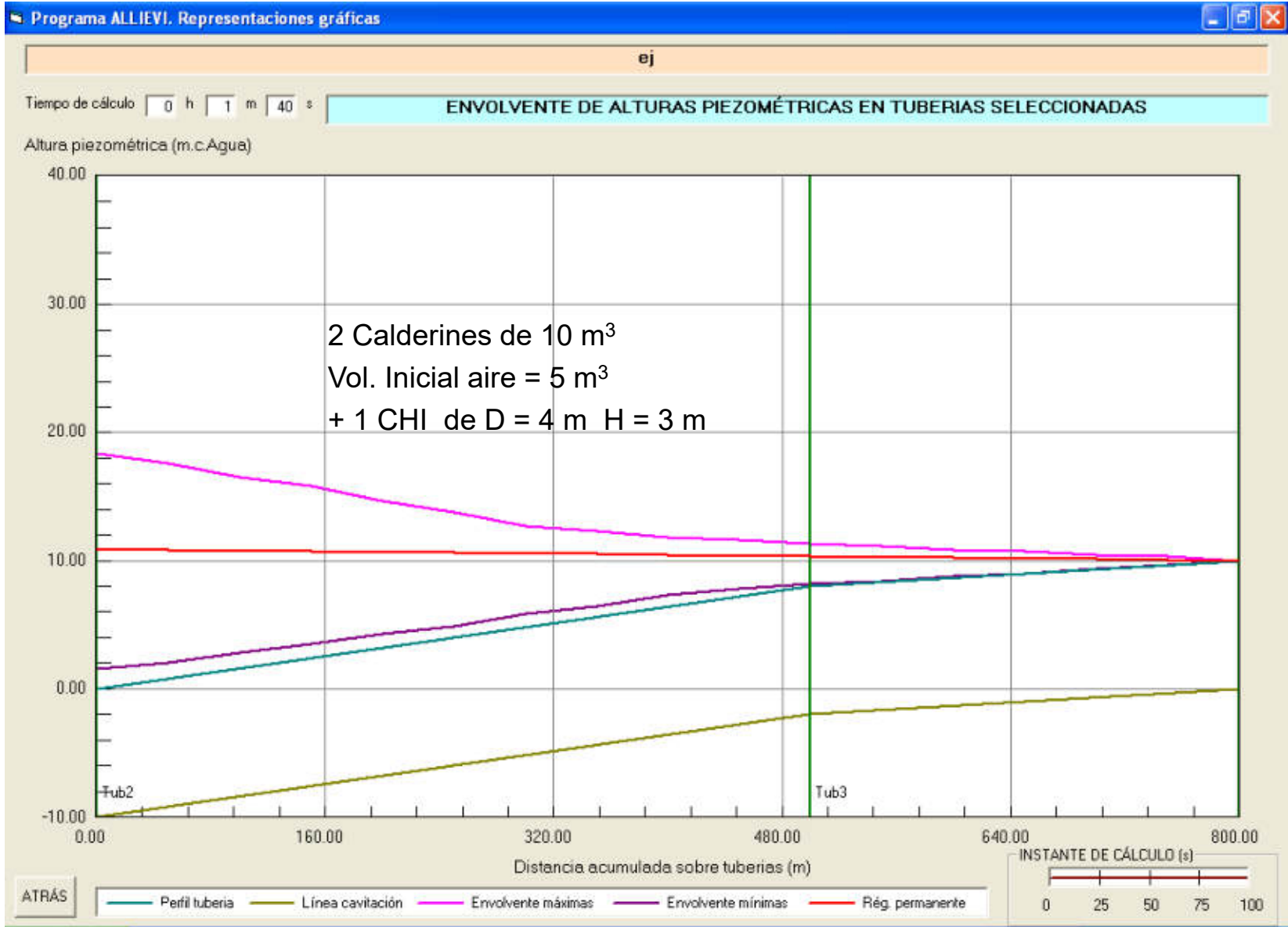
$I = 1 \text{ Kg.m}^2$   $H = 12 \text{ mca}$   $Q = 250 \text{ l/s}$

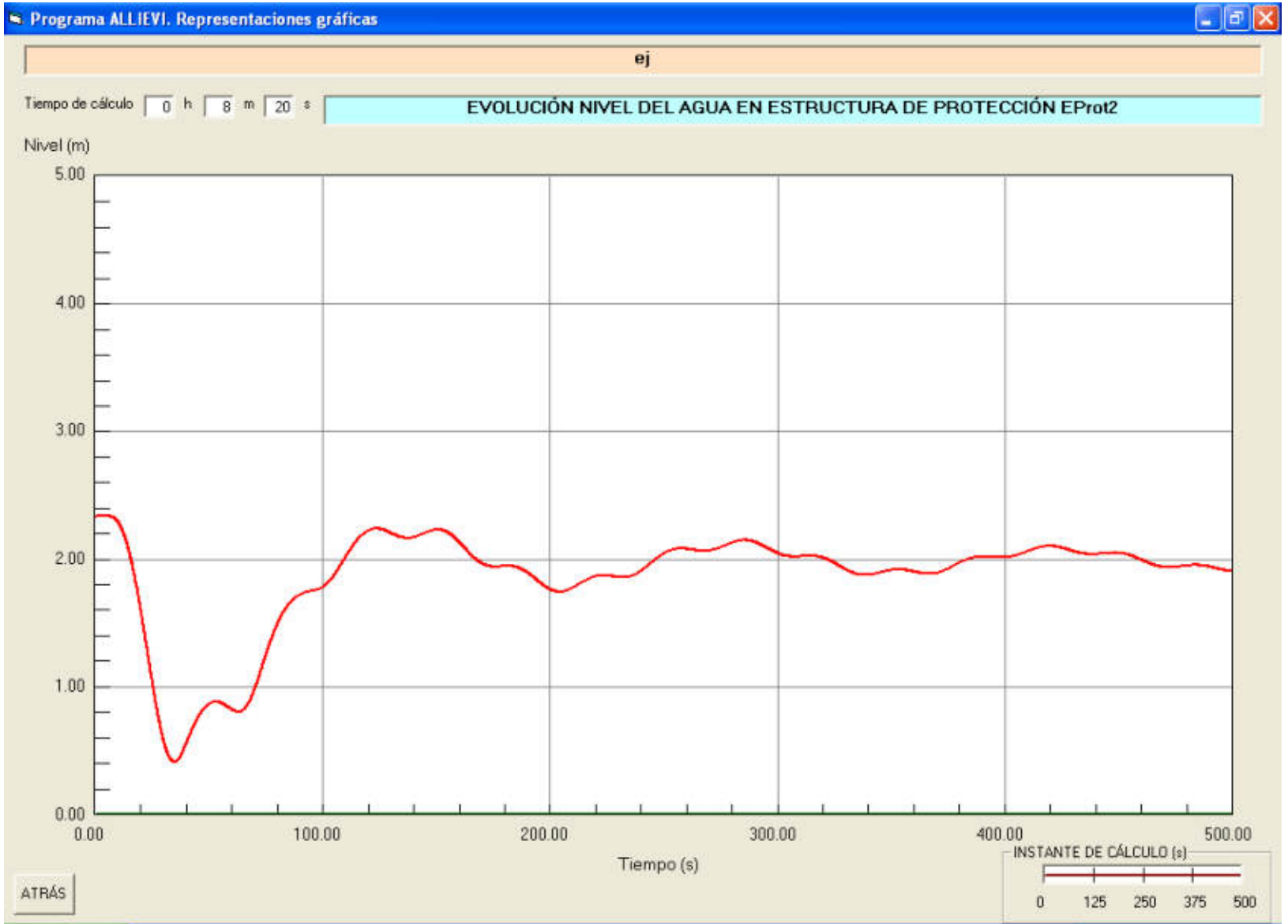
$P = 40 \text{ kw}$   $N = 1450 \text{ rpm}$

2 Calderines de  $10 \text{ m}^3$

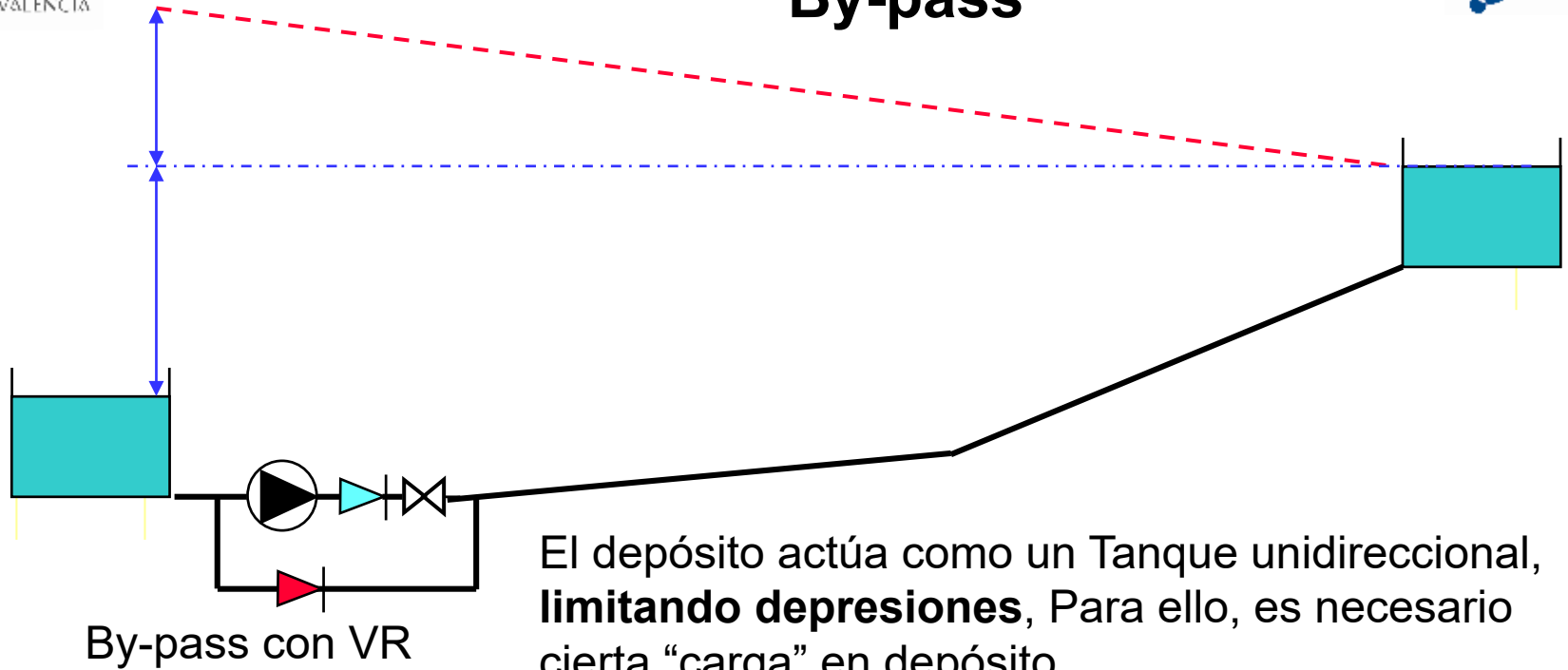
Vol. Inicial aire =  $5 \text{ m}^3$

+ 1 CHI de  $D = 4 \text{ m}$   $H = 3 \text{ m}$





# By-pass



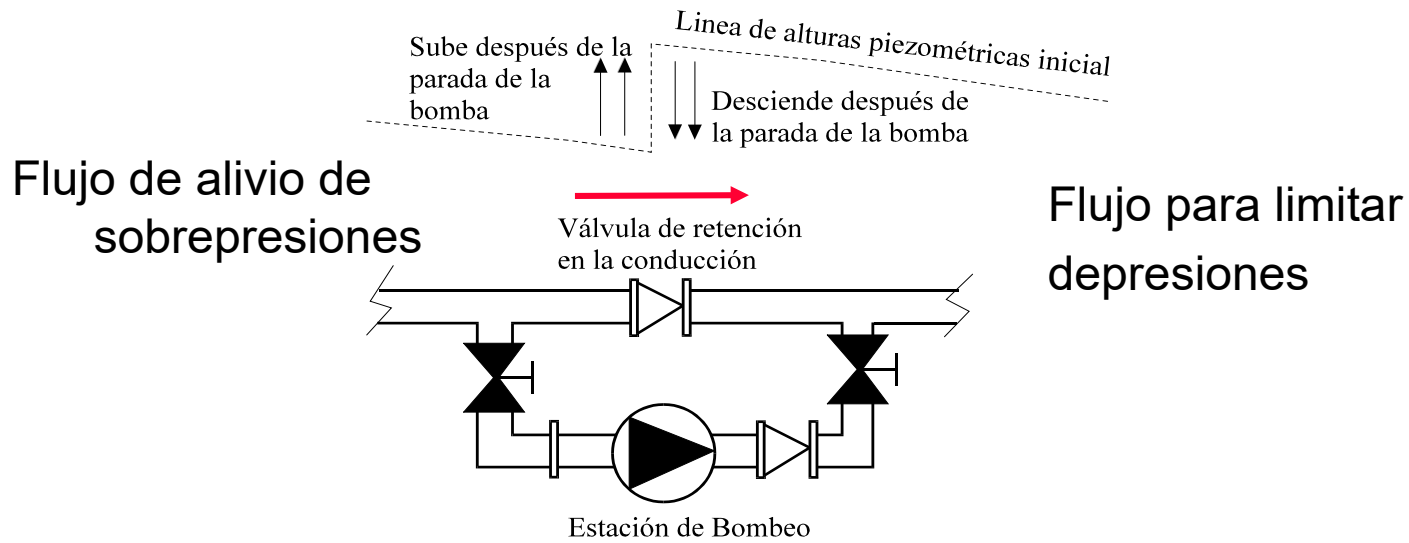
El depósito actúa como un Tanque unidireccional, **limitando depresiones**, Para ello, es necesario cierta "carga" en depósito.

El flujo también podría pasar a través de la bomba cuando esta para, pero si lo hace a través de la VR, las pérdidas de carga son menores y el caudal será mayor.

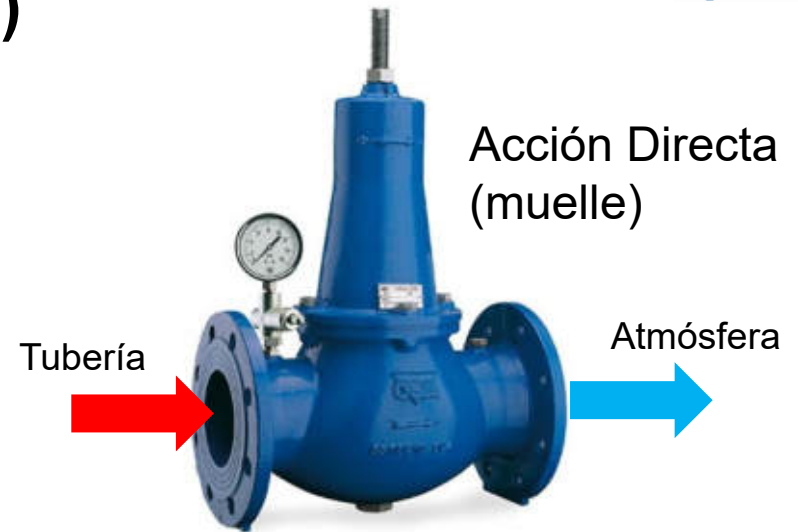
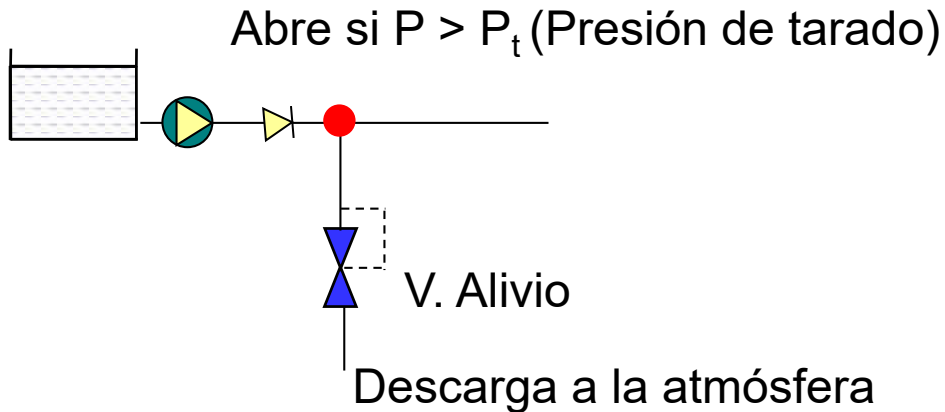


# By-pass

En bombas “booster” (reimpulsiones)



# Válvulas de alivio (1)

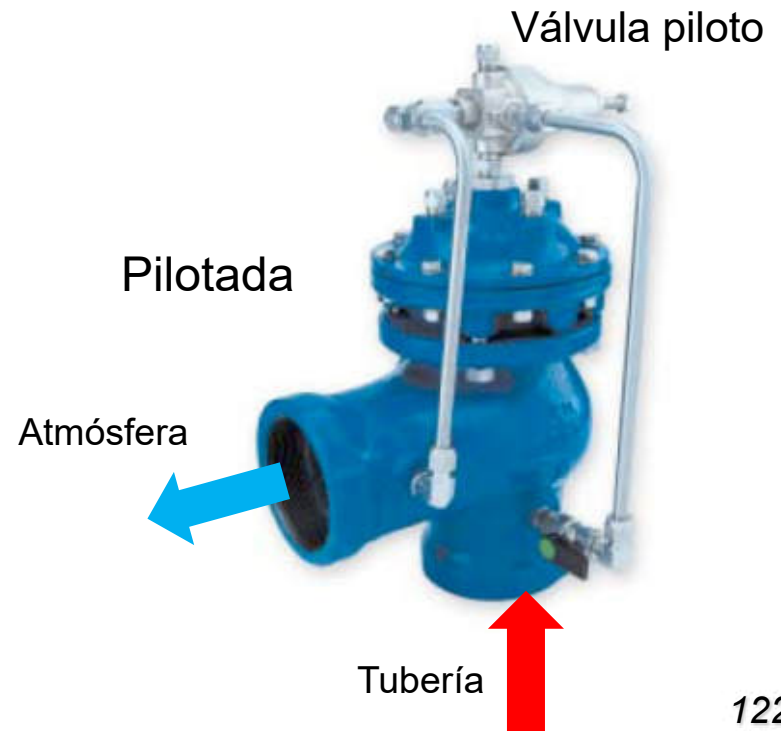


## Pilotadas:

- Alivio rápido (abre completamente)
- Sostenedora (mantiene la presión en el valor de tarado)

## Acción directa (muelle)

- **No limitan las depresiones**
- El cierre cuando  $P < P_t$  puede provocar g.d.a.
- El tamaño de la válvula piloto condiciona la velocidad de apertura (Inercia)
- Colocando varias en paralelo se incrementa la seguridad



# Válvula piloto

Pilotada

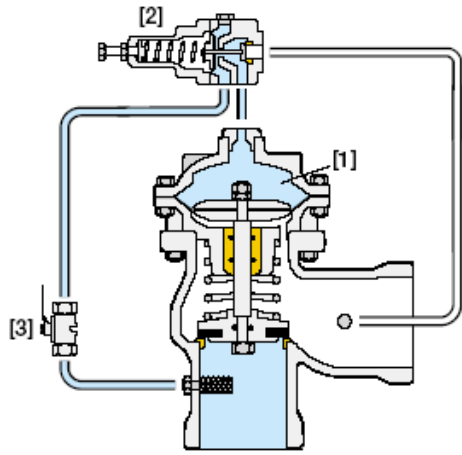
Atmósfera



Tubería



Atmósfera

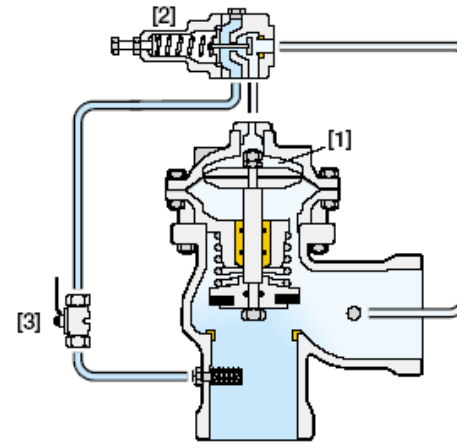


Valve Closed  
(system pressure is below setting)

Tubería



# Válvulas de alivio (2)



Valve Open

Atmósfera



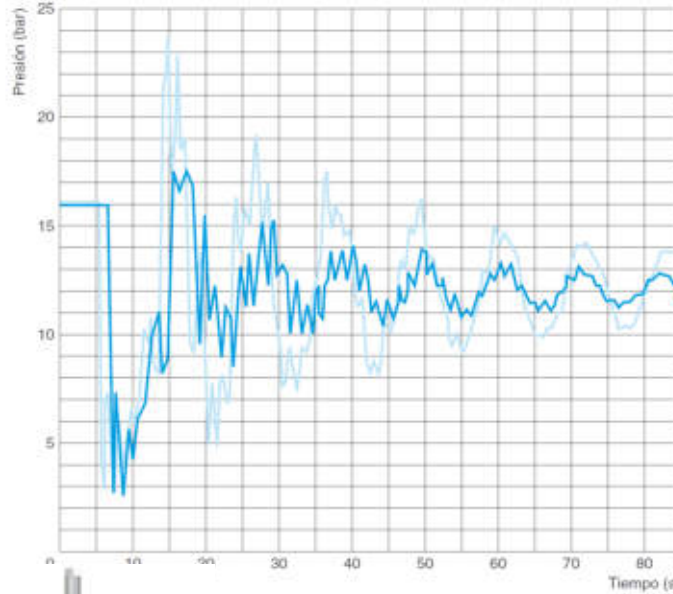
Tubería



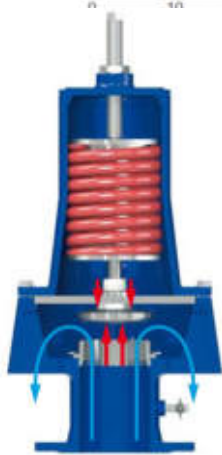
# Acción Directa



Tubería

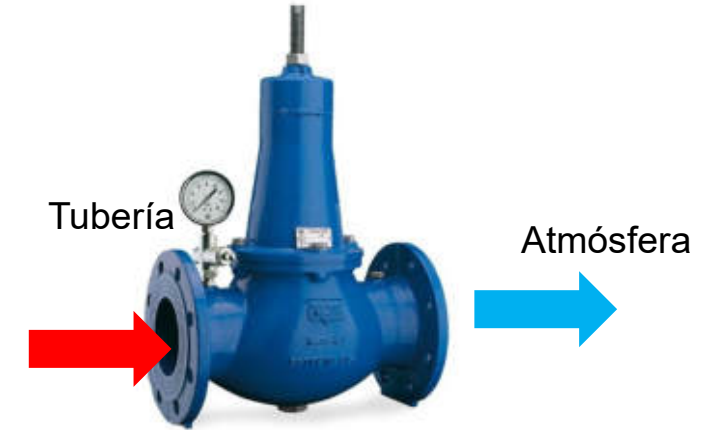


Cerrada  
( $P < P_{tarado}$ )

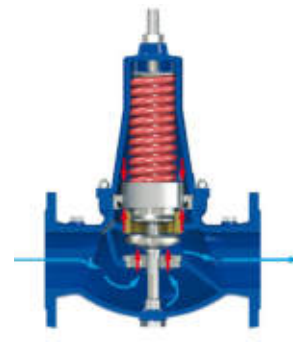


Abierta:  
( $P > P_{tarado}$ )

# Válvulas de alivio (3)



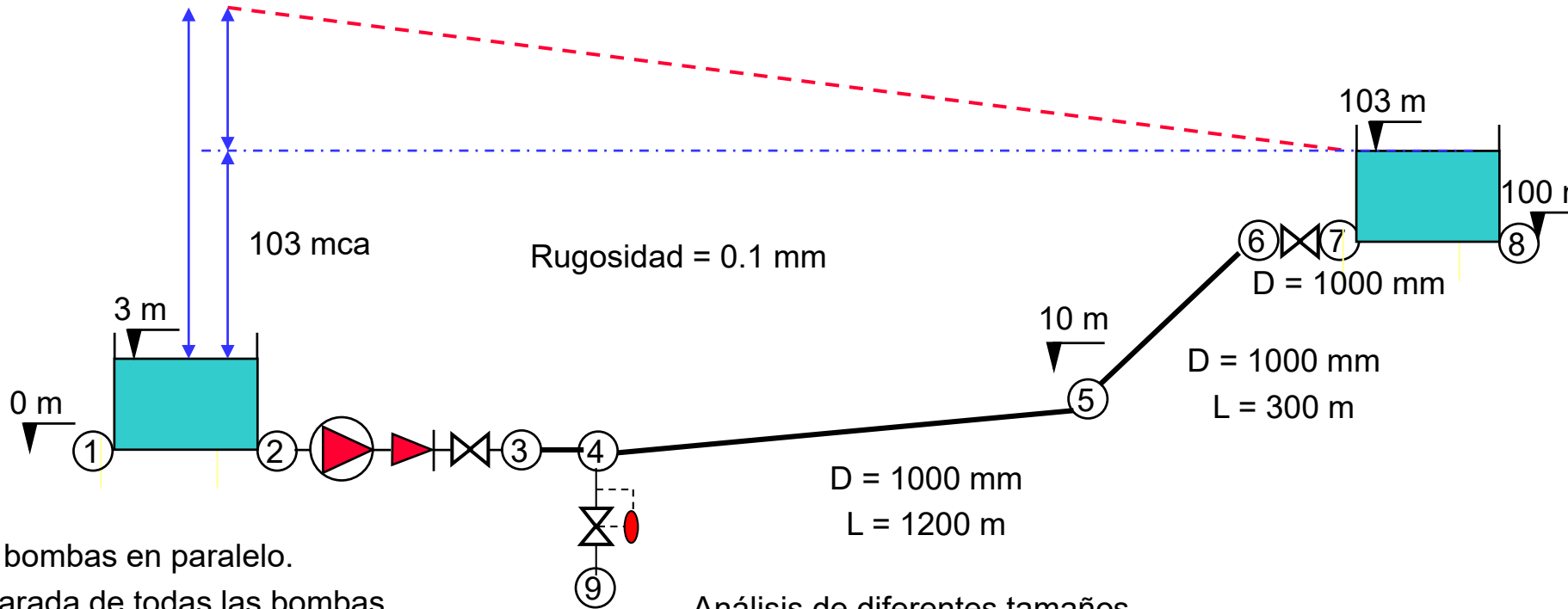
Cerrada  
( $P < P_{tarado}$ )



Abierta:  
( $P > P_{tarado}$ )

Las válvulas de Acción Directa empiezan a abrir a  $P_{tarado}$  y la presión es algo superior a esta cuando está completamente abierta (Sobrepresión), entre 1 bar y 3 bar dependiendo del muelle. 124

IMPULSIÓN PERFIL CÓNCAVO B.  
G.D.A. por parada de bomba  
V. alivio



4 bombas en paralelo.

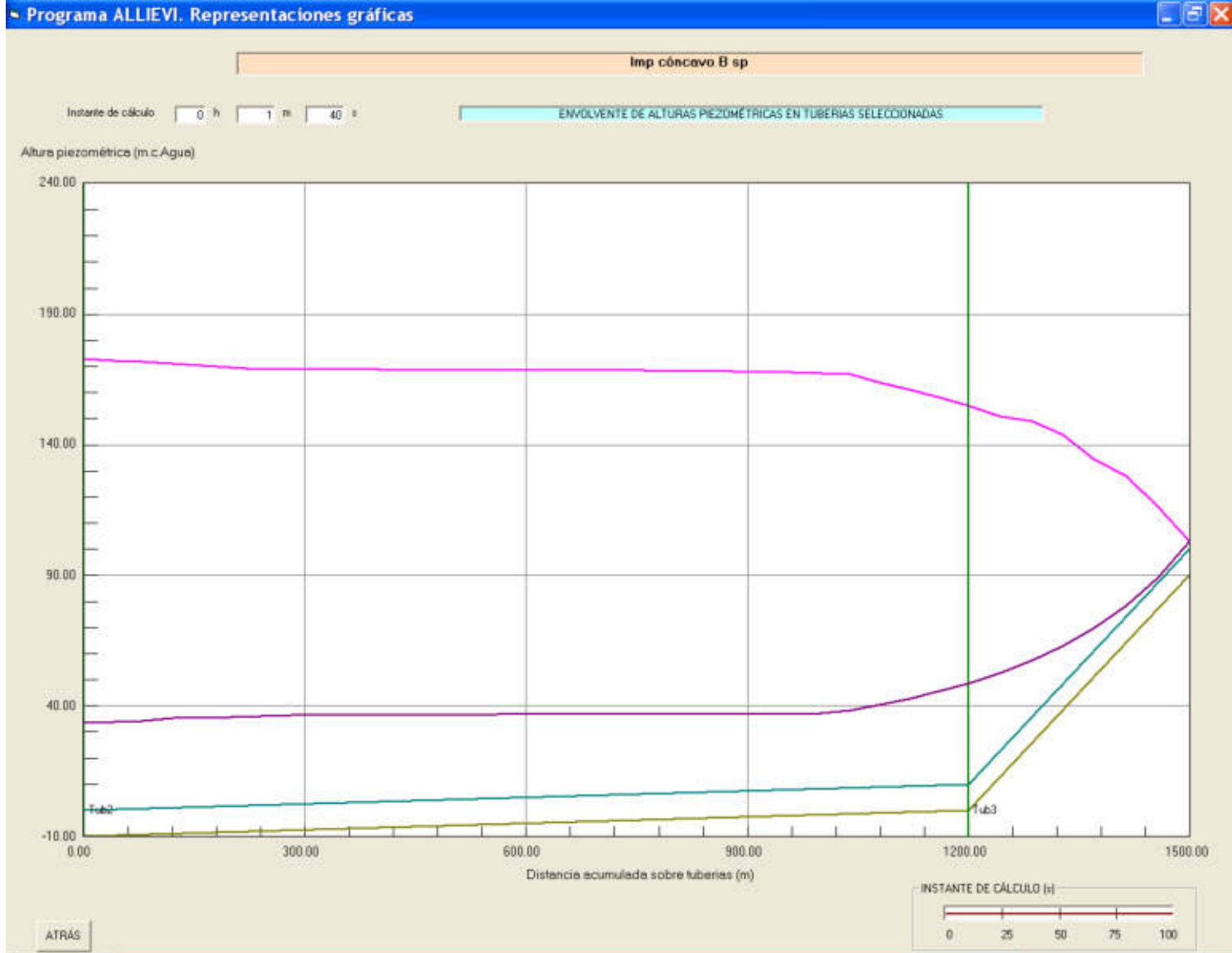
Parada de todas las bombas

Para cada bomba:

$I = 25 \text{ Kg.m}^2$   $H = 110 \text{ mca}$   $Q = 300 \text{ l/s}$

$P = 360 \text{ kw}$   $N = 1484 \text{ rpm}$

Análisis de diferentes tamaños  
y presiones de tarado. Diferentes V alivio  
y válvulas anticipadoras de onda



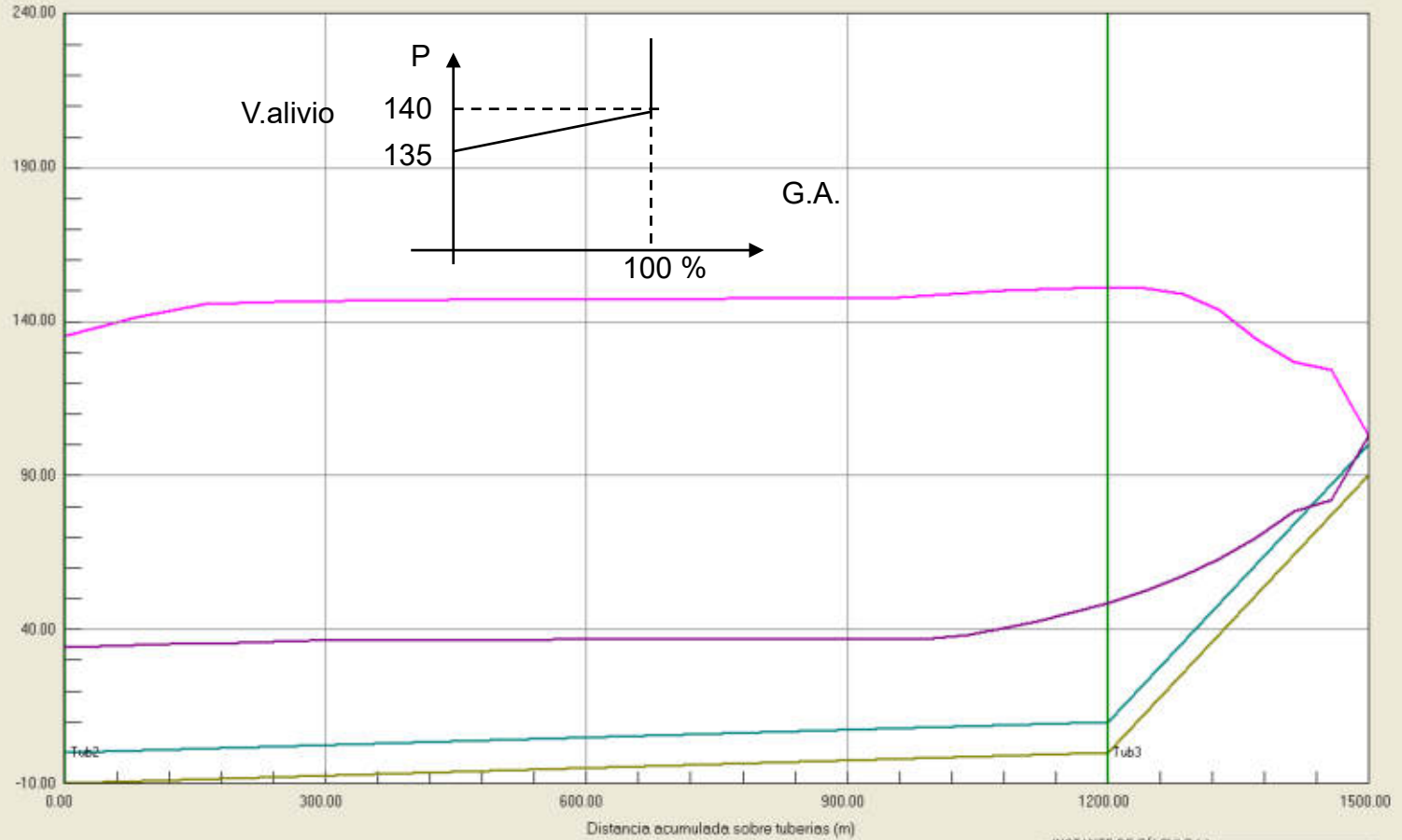
Programa ALLIEVI. Representaciones gráficas

Imp cóncavo B con v alivio a 140 m

Instante de cálculo 0 h 1 m 40 s

ENVOLVENTE DE ALTURAS PIEZOMÉTRICAS EN TUBERIAS SELECCIONADAS

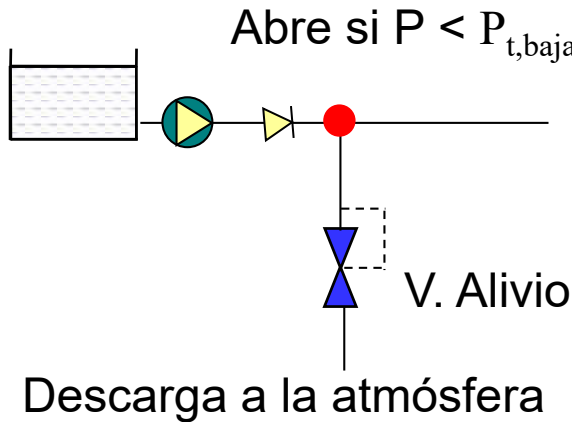
Altura piezométrica (m.c. Agua)



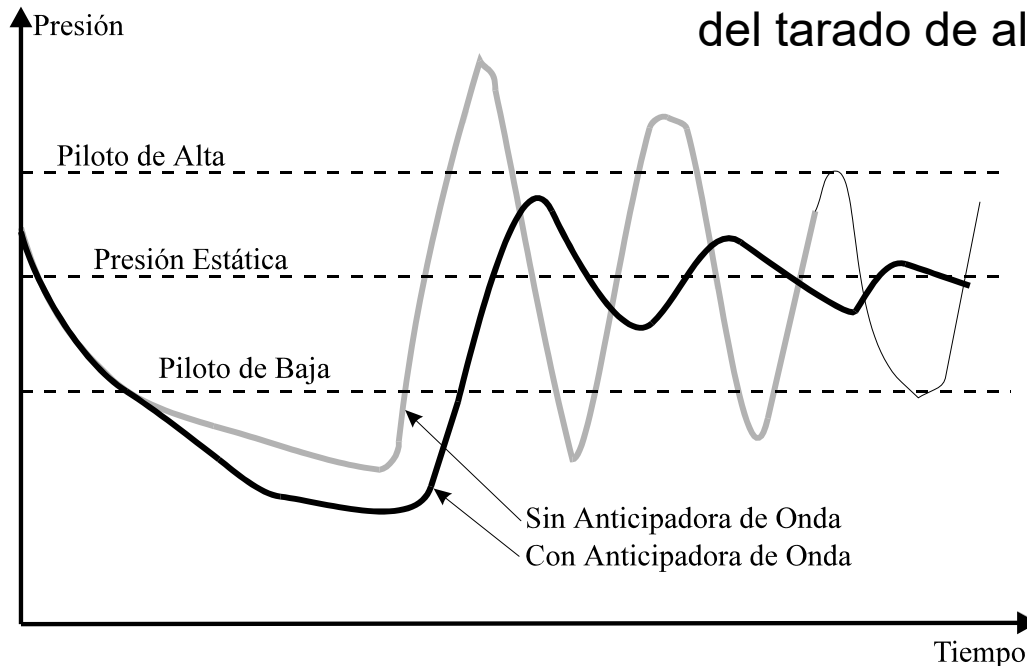
ATRÁS



## V. Anticipadora de onda (1)



Al contrario que las V. alivio, que abren cuando llega la onda de presión, la anticipadora abre en la fase depresiva (Presión inferior a la Presión de tarado de “baja”) y cuando llega la onda de sobrepresión la válvula ya está abierta. También abren si la Presión supera el vaor del tarado de alta.

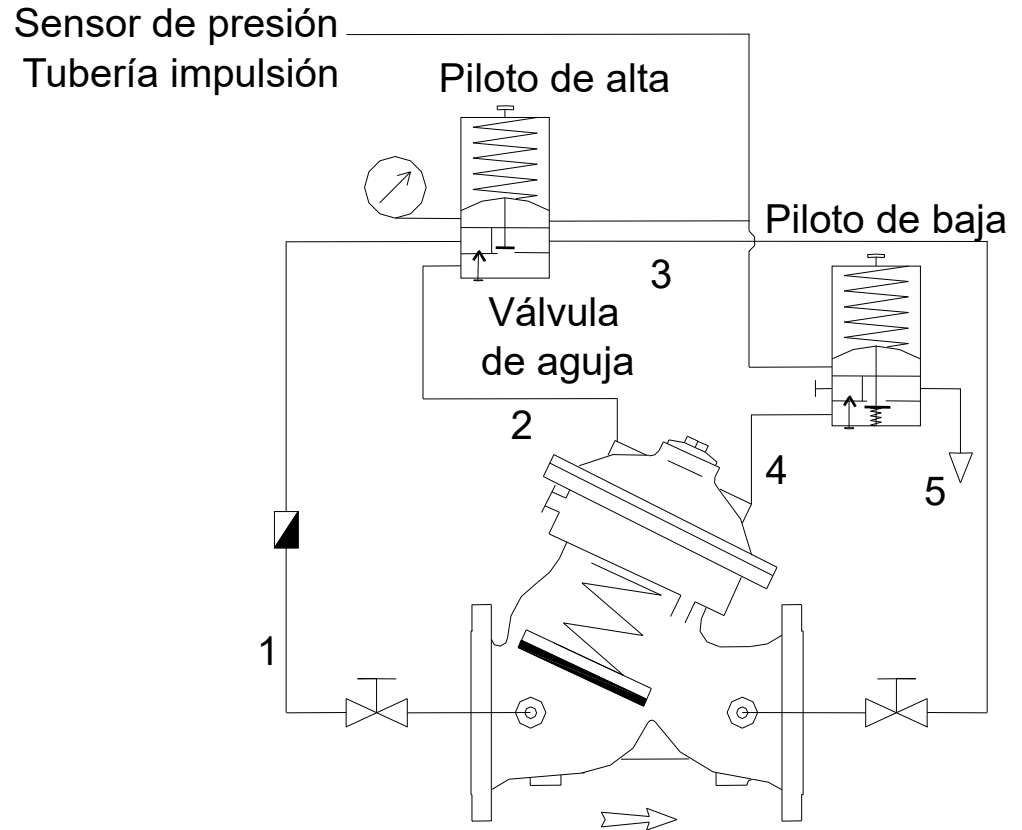


Al abrir en fase de depresión, **pueden provocar depresiones importantes.** Atención al perfil de la tubería.



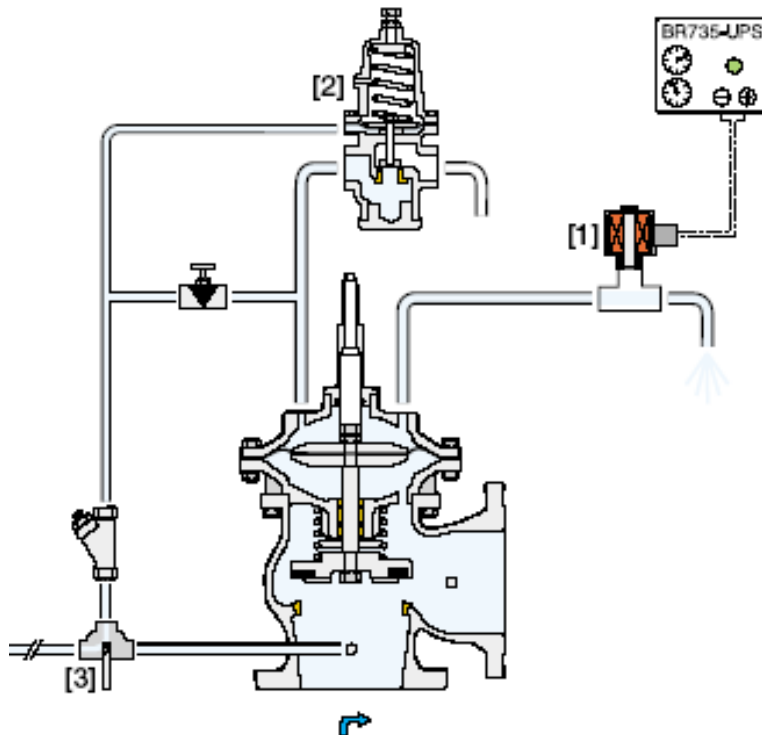
# V. Anticipadora de onda (2)

## Accionada por Pilotos Hidráulicos



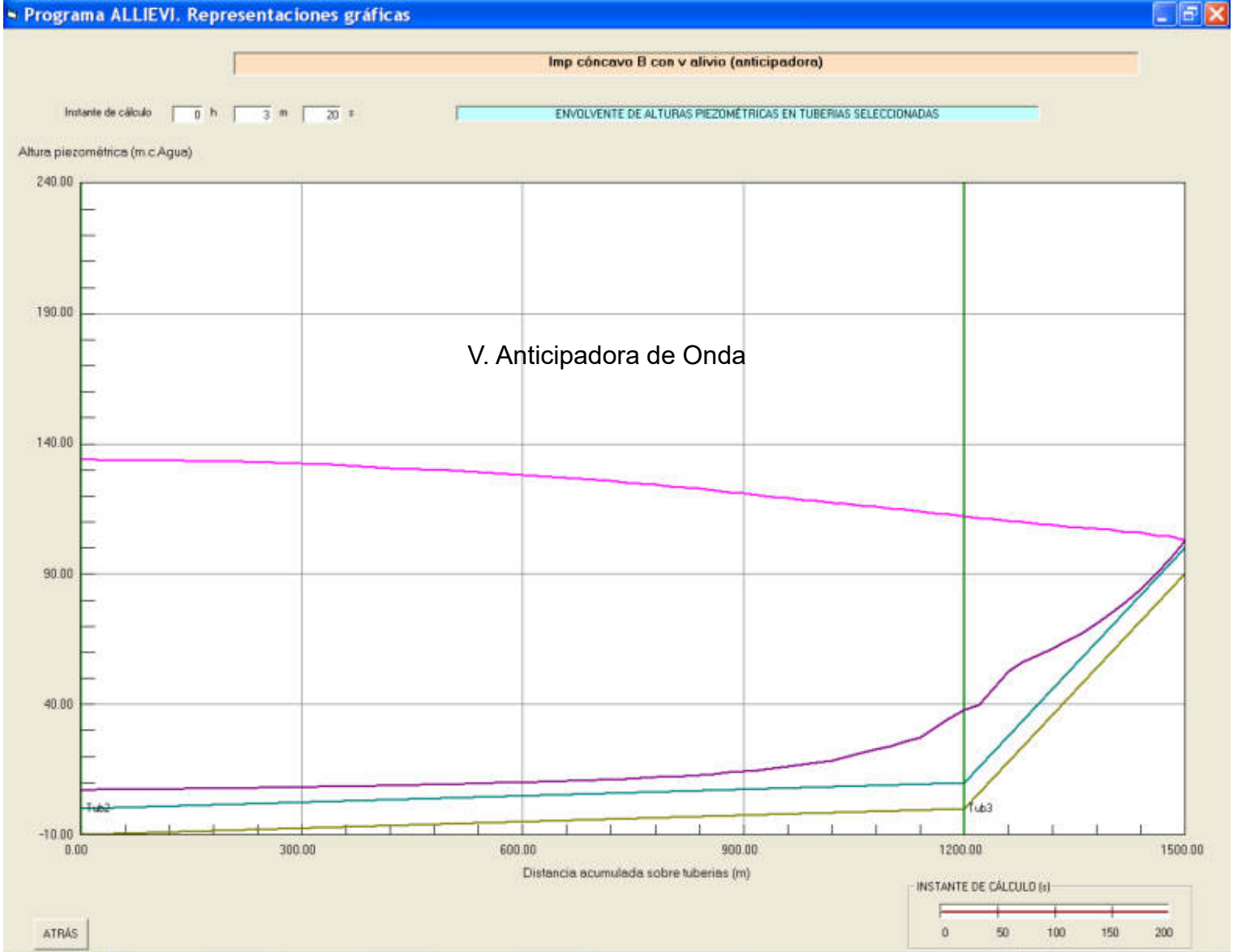
## V. Anticipadora de onda (3)

### Accionada por Solenoide



El solenoide (1) actúa, abriendo la válvula, nada más detecta una falta de alimentación eléctrica en la bomba. Abre incluso antes de que se inicie la depresión.

La válvula dispone también de un piloto (2) para abrir en caso de que se supere un valor máximo de presión

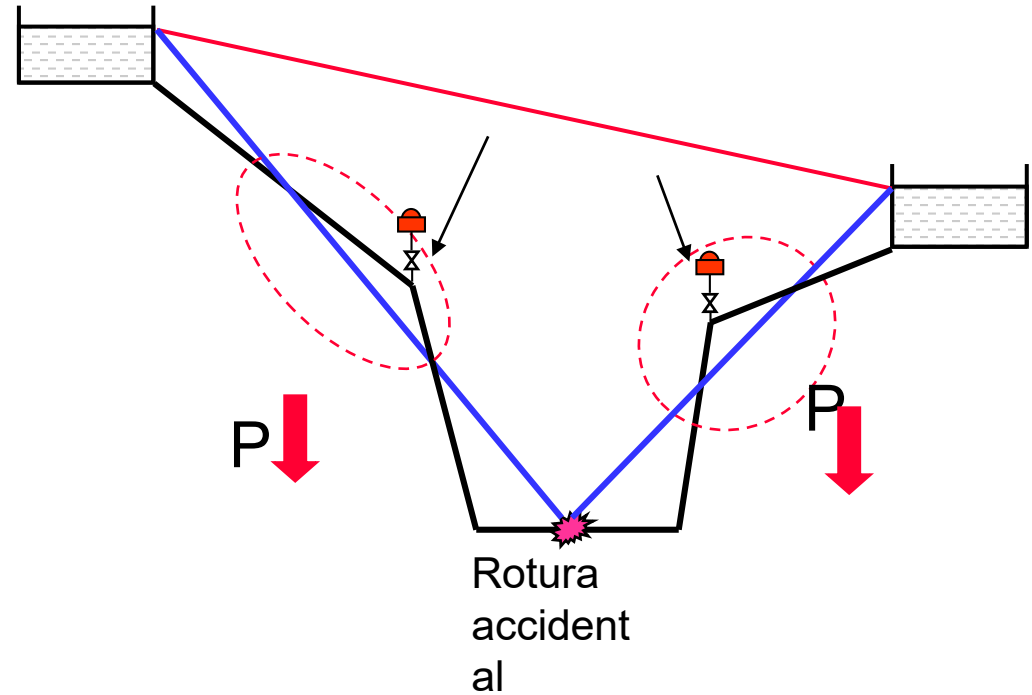
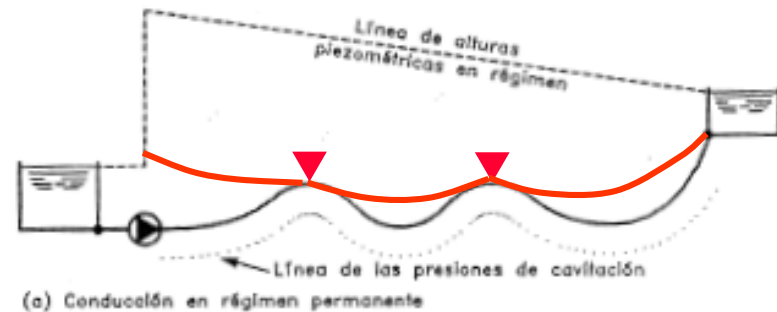
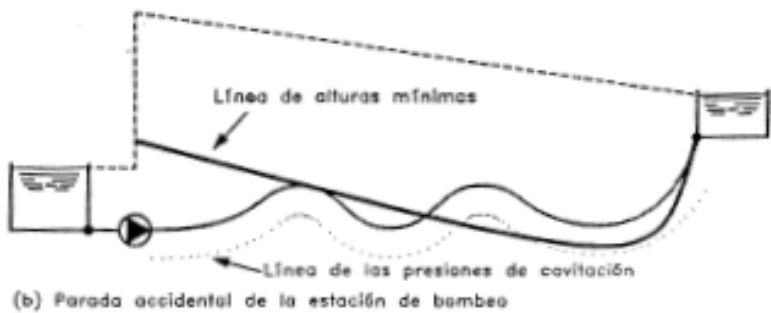


# Ventosas (1)

Las ventosas se deben de colocar para facilitar las operaciones de llenado y vaciado.

También para limitar los efectos de depresiones originadas por roturas.

Pero no como elementos de protección antiarriete.



Sin otro sistema de protección

## Ventosas (2)

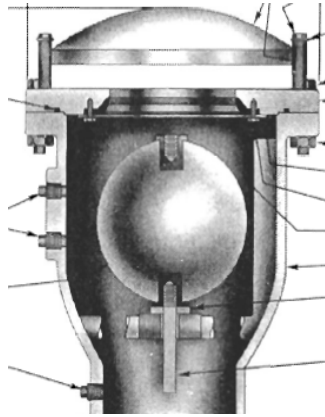
Lo que ocurre:

- Permiten entrada de aire a Presión atmosférica, limitando las depresiones.
- Generan un colchón de aire en la conducción, a modo de un calderín.
- Expulsan el aire que ha entrado.

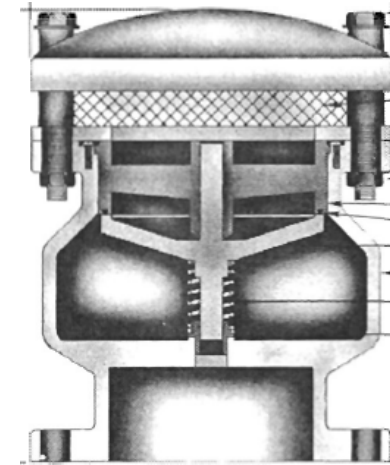
Problemas de las ventosas como elementos de protección antiarriete:

- Al expulsar el aire que ha entrado pueden producirse sobrepresiones por cierre de ventosas o por compresión de las bolsas de aire.
- Para ello, si se usan como elementos de protección deben ser de escape controlado (por ejemplo Non Slam (NS)).
- El problema de las NonSlam es que durante el llenado deben de mantener las presiones muy bajas para evitar el cierre del primer flotador, lo que ralentizaría el llenado.
- Hay que asegurarse de que al final no queda aire en la conducción.
- Los programas de cálculo no pueden representar fielmente el funcionamiento del sistema con bolsas de aire en su interior, por lo que los resultados no son del todo fiables (dificultad para poder simular el funcionamiento).

# Ventosas (3)



Ventosa Gran  
Orificio convencional.  
Entrada y salida de aire



Aductor: Solo entrada de aire

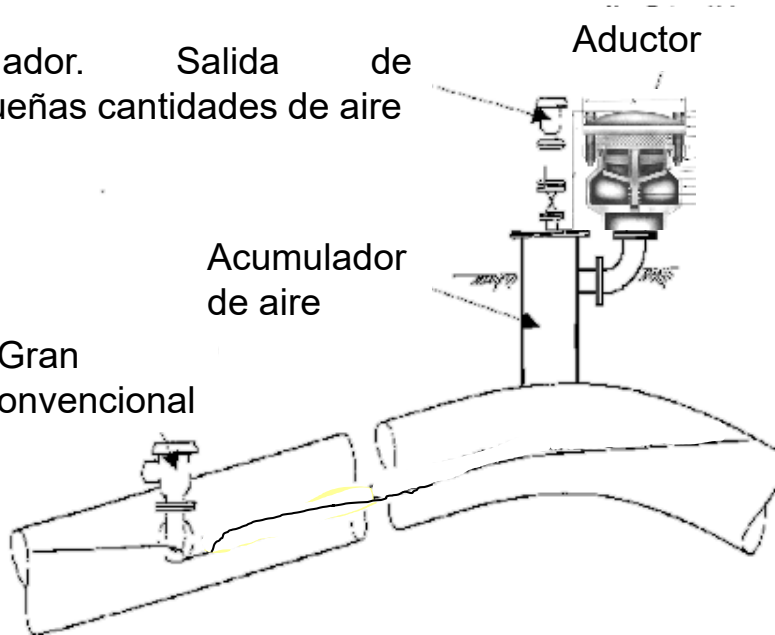
## Aductor con purgador

Purgador. Salida de pequeñas cantidades de aire

Aductor

Acumulador de aire

Ventosa Gran  
Orificio convencional



Nivel de agua cuando cierra la ventosa de gran orificio

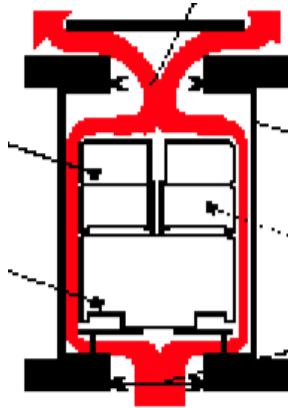
El volumen final de aire actúa de colchón debido a la contrapresión generada por el purgador (pequeña sección de salida)

# Ventosas (4)

## Ventosas de descarga controlada Non Slam (NS)

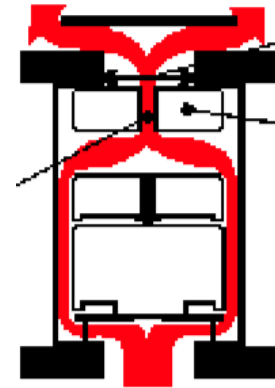
Restricción paso aire cuando  $V$  aire elevada  
Efecto colchón (disminuye la velocidad del agua en llenado)

Gran orificio

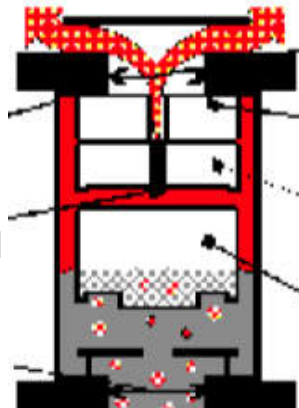


Expulsión gran caudal

Orificio más pequeño

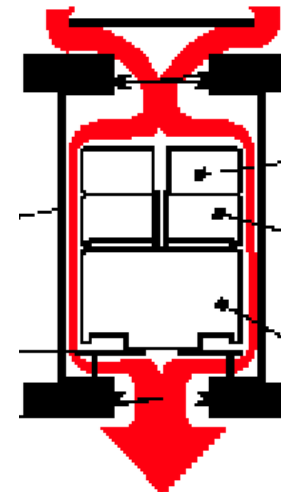


Orificio purgador



Flotador de cierre total cuando llega el agua

Gran capacidad de admisión



DISPOSITIVO	FINALIDAD	CONDICIONES USO	COMENTARIOS
Volantes de inercia	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Limitar sobrepresiones y depresiones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>X &lt; 5</math></li> <li>- Perfil preferentemente cóncavo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Economía y ausencia de mantenimiento.</li> <li>- Adecuado en grupos de eje horizontal.</li> <li>- Posibles dificultades en el arranque.</li> </ul>
Válvulas de retención	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Evitar velocidades de rotación inversas en el grupo.</li> <li>- Posibilidad de utilizar válvula compensadora de impulsos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Deben usarse sólo cuando la velocidad de retorno a través de la válvula <math>V_r</math> sea muy pequeña, y únicamente a la salida del grupo (salvo excepciones).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Necesidad de una caracterización dinámica. Necesitan complementarse con otros dispositivos de protección.</li> </ul>
Valve Stroking (válvula motorizada en serie).	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Limitar sobrepresiones</li> <li>- Protege el grupo elevador de un posible giro inverso.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Si el cierre es previo a la parada del grupo, este puede estar sometido a grandes esfuerzos lo que resulta inviable en grandes bombeos.</li> <li>- Posibilidad de complementarlo con otros dispositivos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Necesidad de un grupo electrógeno. Por tanto su uso sólo puede plantearse en instalaciones importantes.</li> </ul>
Calderines de aire	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Limitar sobrepresiones y depresiones.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Más eficaz en perfiles cóncavos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Muy importante el estudio de las condiciones de entrada/salida.</li> <li>- Muy eficaz pero con elevado costo.</li> <li>- Según tipo, exige mantenimiento.</li> </ul>



DISPOSITIVO	FINALIDAD	CONDICIONES USO	COMENTARIOS
Chimeneas de equilibrio	- Limitar sobrepresiones y depresiones.	- Proteger tuberías o tramos uniformes y de escasa pendiente. - Perfil uniforme o convexo	- En el punto de instalación la presión debe ser muy pequeña para una altura discreta en el tanque.
Tanques unidireccionales	- Limitar depresiones en puntos altos.	- Perfil convexo - $(a V_o / g h) > 1$ (h: altura de presión en la sección del tanque).	- Muy eficaces y sencillos en determinadas instalaciones. - Instalaciones de dispositivo de llenado
By-pass (conducciones en paralelo).	- Limitar depresiones - Paliar las limitaciones de válvulas de retención a lo largo de la conducción.	- $2 \rho >> 1$ - Perfil tubería cóncavo	- Exige que las bombas aspiren en carga. - Se complementa muy bien con válvulas de alivio.
Válvulas de alivio	- Limitar sobrepresiones (lo hacen de forma eficaz)	- Deben responder con una rápida apertura y un cierre lento. - Elevada altura de bombeo $H_o$ - Perfiles cóncavos	- Conllevan en ocasiones pérdida de agua. - Exigen mantenimiento. - Pueden también instalarse a lo largo de la conducción.
Ventosas	- Protegen puntos altos de la tubería de las depresiones.	- Se instalan en conductos de perfil muy irregular.	- Importante que funcionen correctamente - Exigen un mantenimiento - Necesidad de adecuada caracterización - A instalar junto a los máximos relativos de la conducción.