FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA

FACULTAD DE INGENIERÍA

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY

Transitorios Hidráulicos en Tuberías a Presión

Curso posgrado y educación permanente

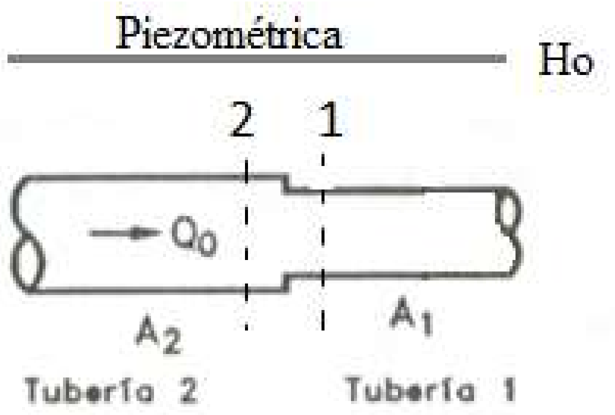
2023

Docentes: Dr. Ing. Rodolfo Pienika rpienika@fing.edu.uy
MSc. Ing. Laura Rovira lrovira@ose.com.uy

COEFICIENTES DE REFLEXIÓN Y TRANSMISIÓN DE ONDAS EN DISCONTINUIDADES

Transitorios Hidráulicos en Tuberías a Presión 2023

CASO 1: Conexión de 2 tuberías diferentes (D, e, material y/o f)



Se desprecia pérdidas de carga en el nudo, y la altura cinética.

Condición de borde:

Para todo t:

$$Q_{1p} = Q_{2p}$$
$$H_{1p} = H_{2p} = H_n$$

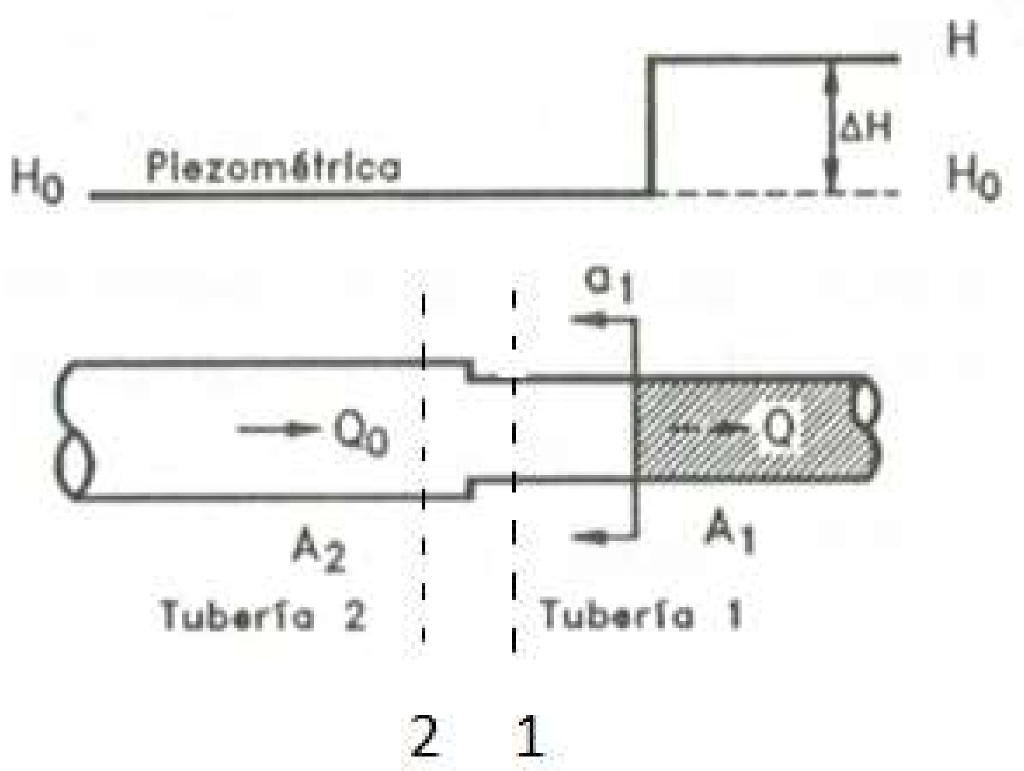
Condición inicial:

Para todo x en t=to:

$$Q_{10} = Q_{20} = Q_0$$
$$H_{1p} = H_{2p} = H_0$$

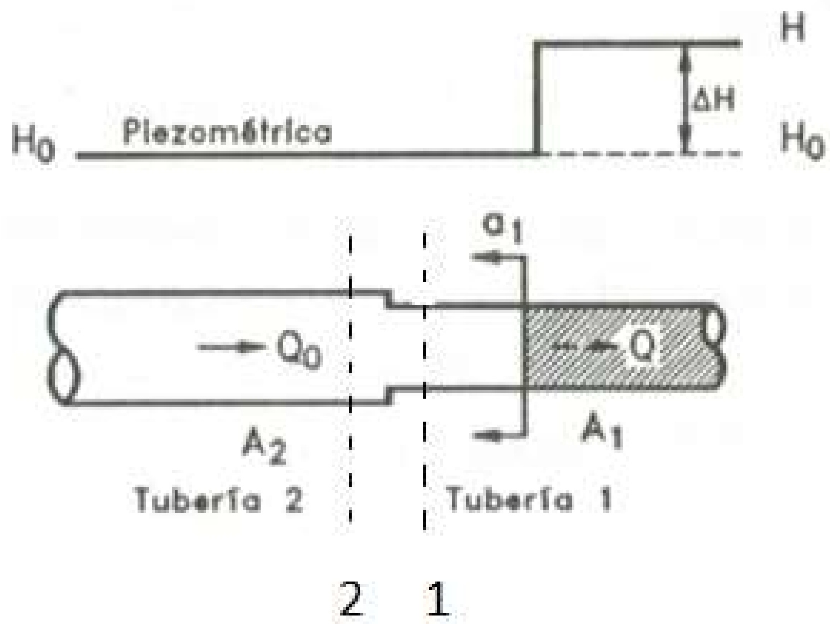
<u>CASO 1</u>: Conexión de 2 tuberías diferentes (D, e, material y/o f)

ONDA DE SOBREPRESIÓN CON CELERIDAD a_1 DESDE AGUAS ABAJO HACIA AGUAS ARRIBA

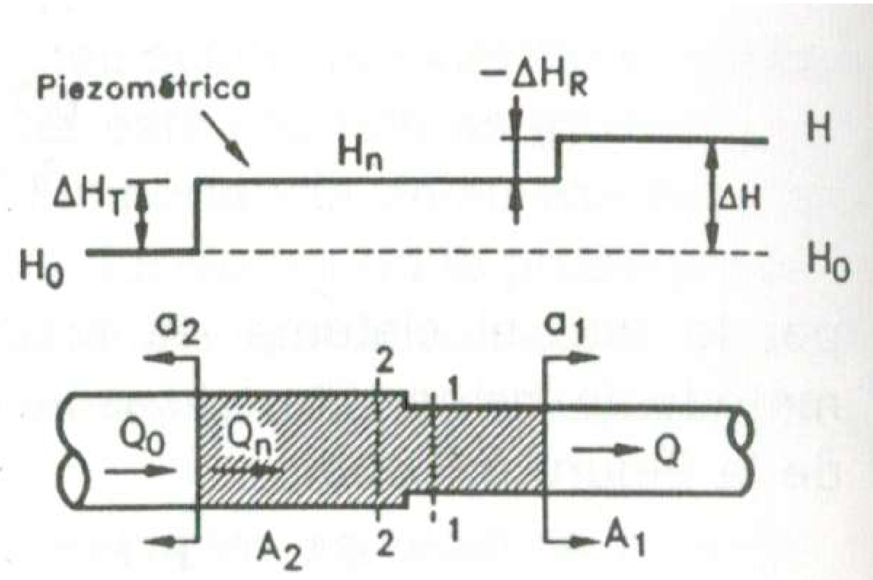


CASO 1: Conexión de 2 tuberías diferentes (D, e, material y/o f)

Antes:



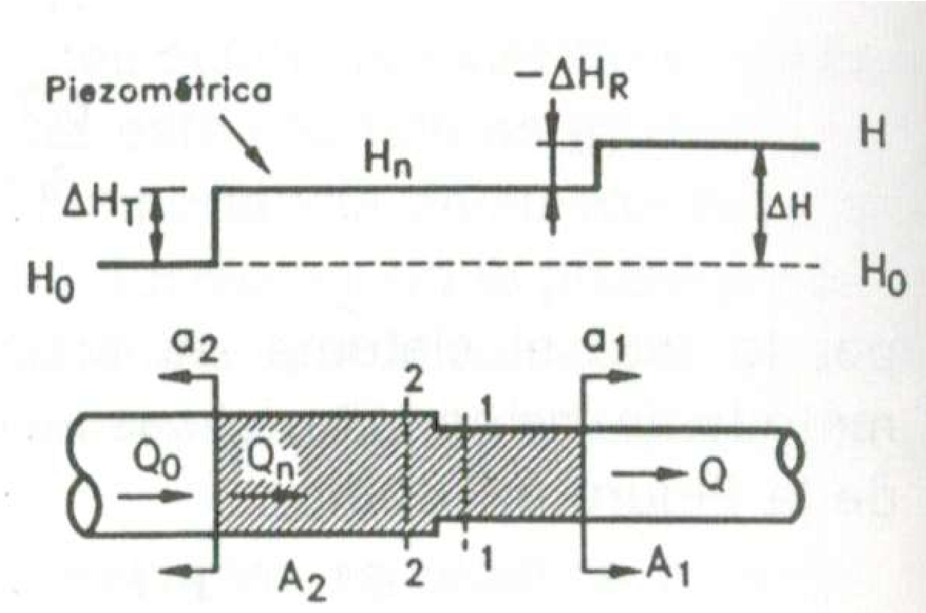
Después:



CASO 1: Conexión de 2 tuberías diferentes (D, e, material y/o f)

Después del paso de la onda:

- $H_{1p} = H_0 + \Delta H + \Delta H_R = H + \Delta H_R$
- $H_{2p} = H_0 + \Delta H_T$



Entonces

- $\Delta H_R = H_n - H$
- $\Delta H_T = H_n - H_0$

Restando las anteriores:

- $\Delta H_R = \Delta H_T - \Delta H$ (i)

CASO 1: Conexión de 2 tuberías diferentes (D, e, material y/o f)

- **Coeficiente de Reflexión**

$$\boxed{r = \frac{\Delta H_R}{\Delta H}}$$

Relación entre el incremento de presión reflejado y el incidente.

- **Coeficiente de Transmisión**

$$\boxed{s = \frac{\Delta H_T}{\Delta H}}$$

Relación entre el incremento de presión transmitido y el incidente.

De la ecuación (i) resulta que $\boxed{r = s - 1}$

CASO 1: Conexión de 2 tuberías diferentes (D, e, material y/o f)

- Entre t_0 y t entre

el punto de conexión y la sección 1-1:

$$C^+: H = H_0 - B_1(Q - Q_0)$$

- Entre t y t+Δt entre

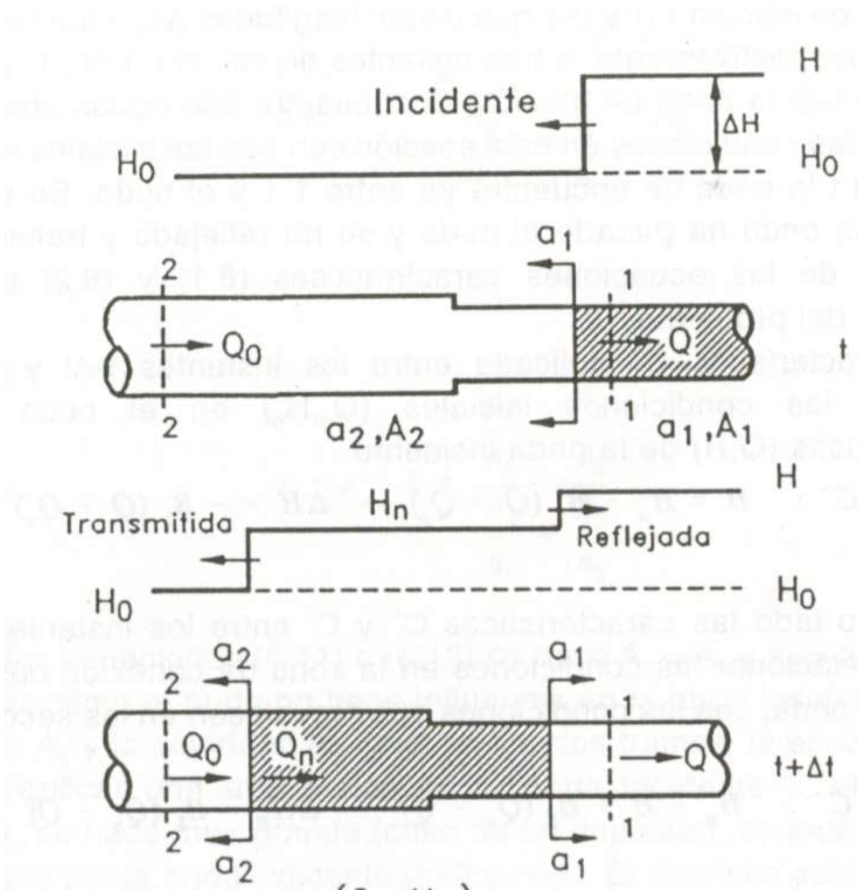
la sección1-1 y el punto de conexión:

$$C^-: H_n = H + B_1(Q_n - Q)$$

- Entre t y t+Δt entre

la sección 2-2 y el punto de conexión:

$$C^+: H_n = H_0 - B_2(Q_n - Q_0)$$

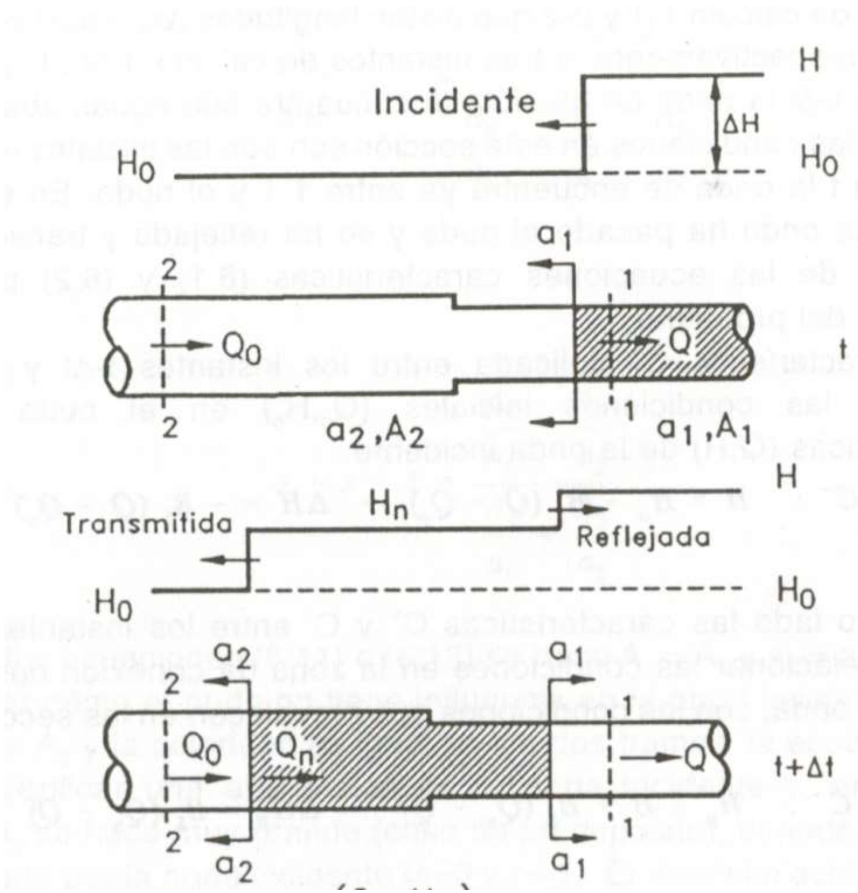


CASO 1: Conexión de 2 tuberías diferentes (D, e, material y/o f)

Agrupando las ecuaciones anteriores:

$$s = \frac{\Delta H_T}{\Delta H} = \frac{2\dfrac{gA_1}{a_1}}{\dfrac{gA_1}{a_1} + \dfrac{gA_2}{a_2}}$$

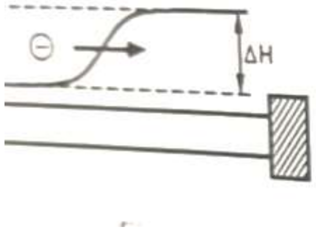
$$r = s - 1 = \frac{\dfrac{gA_1}{a_1} - \dfrac{gA_2}{a_2}}{\dfrac{gA_1}{a_1} + \dfrac{gA_2}{a_2}}$$

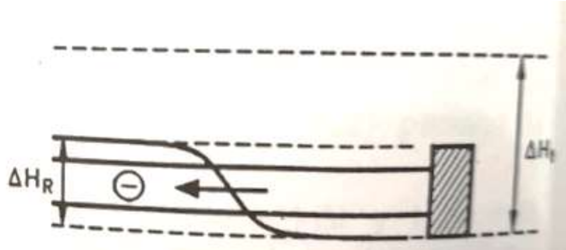


CASO 1: Conexión de 2 tuberías diferentes (D, e, material y/o f)

- Si $A_1=A_2$ y $a_1=a_2 \rightarrow$ $s=1$, $r=0 \rightarrow$ TUBERÍA CONTINUA
- Si $A_1<A_2$ y $a_1=a_2 \rightarrow$ $s<1$, $r<0 \rightarrow$ ATENUACIÓN ONDA
- Si $A_1<<A_2$ y $a_1=a_2 \rightarrow$ $s=0$, $r=-1 \rightarrow$ ONDA INCIDENTE SE REFLEJA COMPLETAMENTE Y CAMBIA SU SIGNO

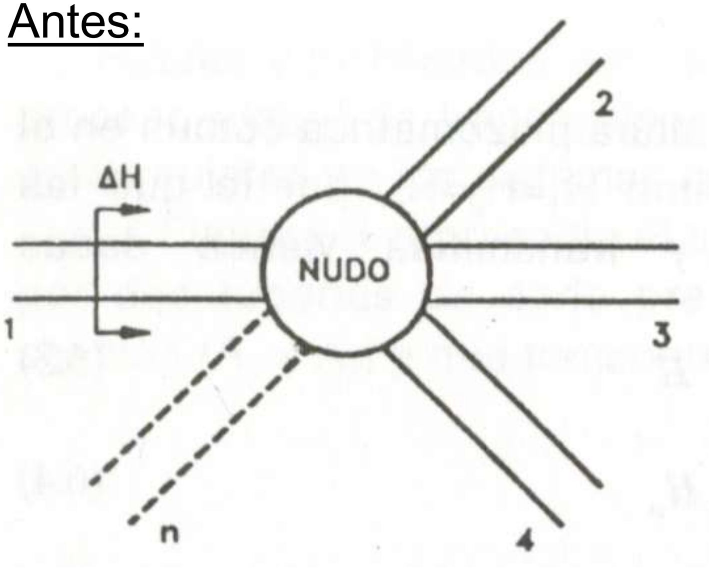
- Si $A_1>A_2$ y $a_1=a_2 \rightarrow$ $s>1$, $r>0 \rightarrow$ AMPLIFICACIÓN ONDA
- Si $A_1>>A_2$ y $a_1=a_2 \rightarrow$ $s=2$, $r=1 \rightarrow$



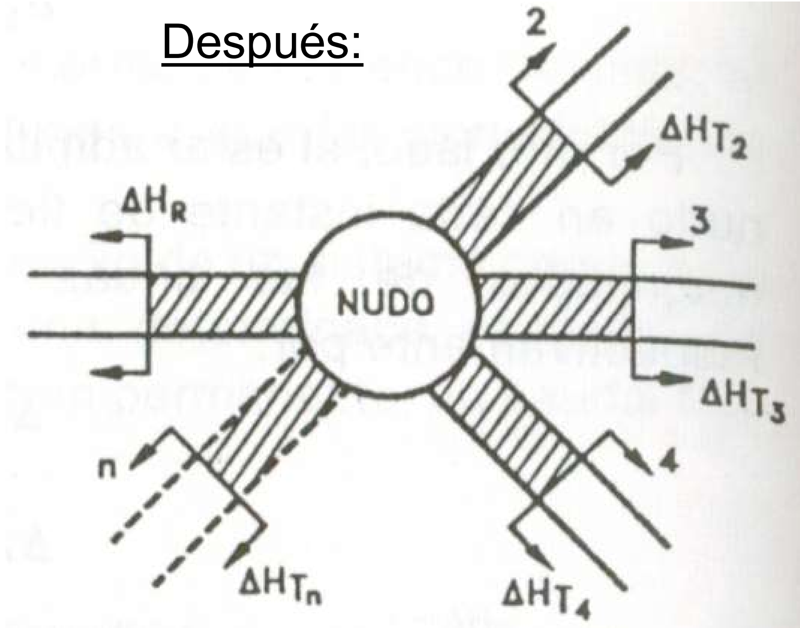


CASO 2: Unión de n tuberías

Antes:



Después:



Coef. de reflexión y transmisión:

$$r = \frac{\Delta H_R}{\Delta H}$$

$$s_i = \frac{\Delta H_{Ti}}{\Delta H} \qquad i = 2,3,\ldots\ldots,n$$

Condición de borde:

Para todo instante de tiempo t:

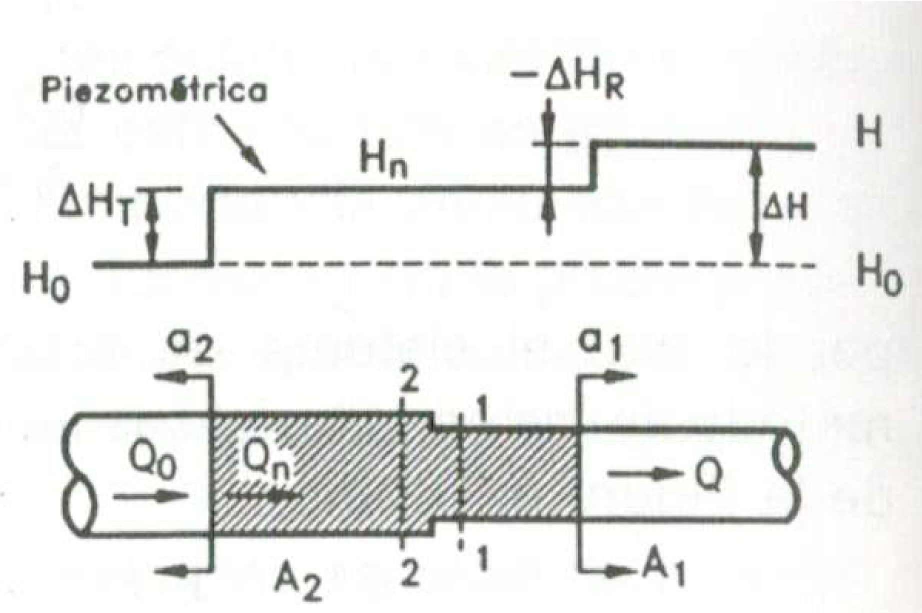
$$Q_{1p} = Q_{2p} + Q_{3p} + \cdots + Q_{np}$$

$$H_{1p} = H_{2p} = \cdots = H_n$$

CASO 2: Unión de n tuberías

Después del paso de la onda:

- $H_{1p} = H_0 + \Delta H + \Delta H_R = H + \Delta H_R$
- $H_{ip} = H_0 + \Delta H_{Ti} \quad i = 2,3, \ldots\ldots, n$



Entonces

- $\Delta H_R = H_n - H$
- $\Delta H_{Ti} = H_n - H_0 \quad i = 2,3, \ldots . n$

De la segunda ecuación anterior

$\Delta H_{T2} = \Delta H_{T3} = \cdots = \Delta H_{Tn} = H_n - H_0$

Por lo tanto:

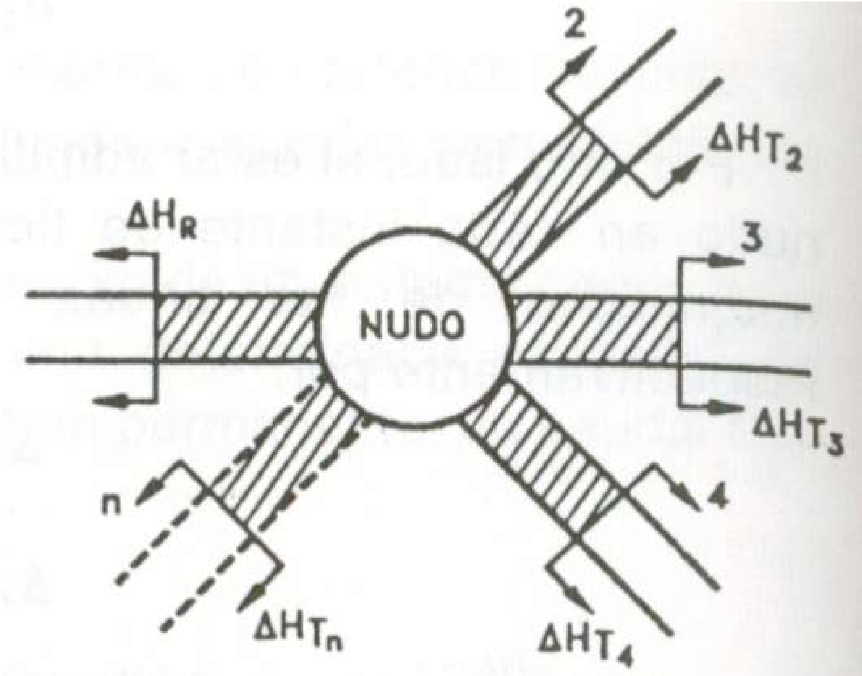
$s_2 = s_3 = \cdots = s_n$

CASO 2: Unión de n tuberías

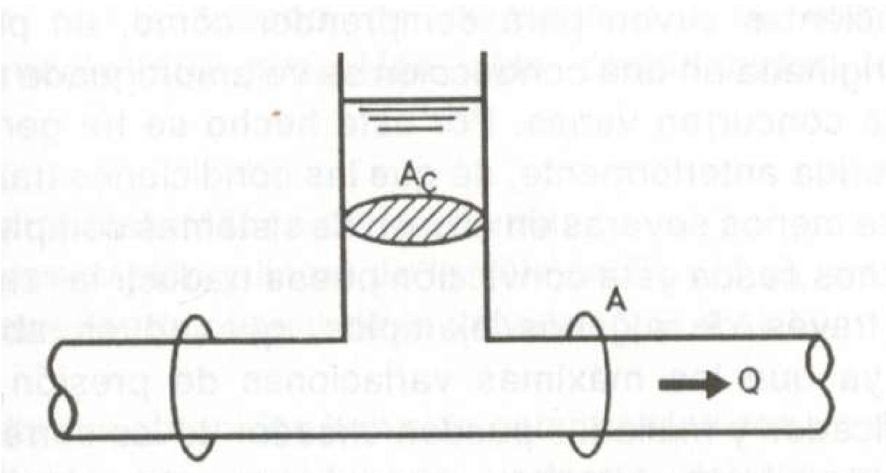
Planteando las ecuaciones características y reagrupándolas:

$$s = \frac{2\frac{A_1}{a_1}}{\frac{A_1}{a_1}+\frac{A_2}{a_2}+\cdots+\frac{A_n}{a_n}}$$

$$r = \frac{\frac{A_1}{a_1}-\frac{A_2}{a_2}-\cdots-\frac{A_n}{a_n}}{\frac{A_1}{a_1}+\frac{A_2}{a_2}+\cdots+\frac{A_n}{a_n}}$$



EJEMPLO 1: Chimenea de equilibrio



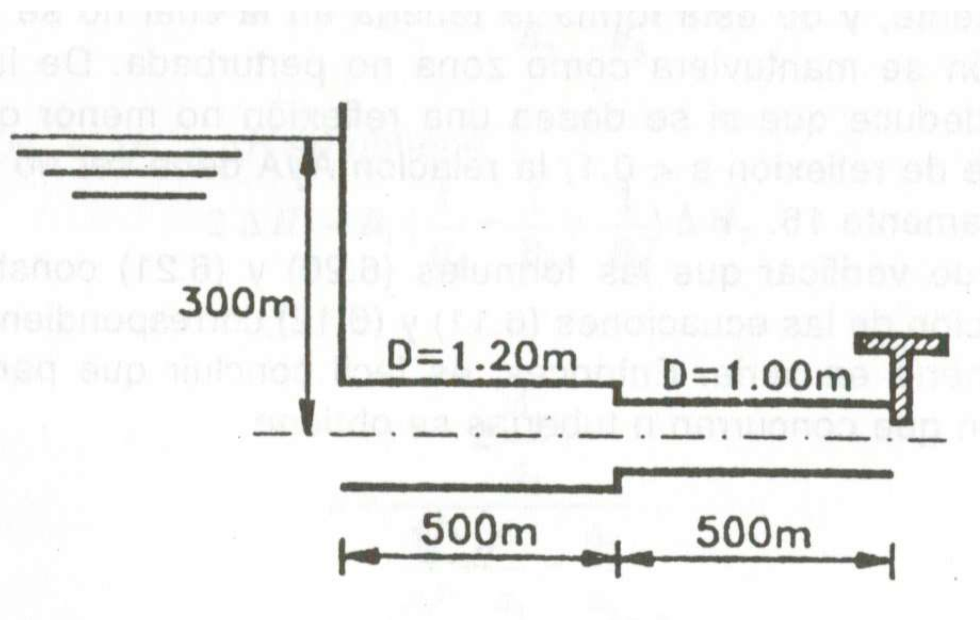
- Ac/A >>1, onda transmitida sea lo menor posible.
- Para que s<0.1 (onda transmitida del 10%), Ac/A>19

$$s = \frac{2\frac{A_1}{a_1}}{\frac{A_1}{a_1} + \frac{A_c}{a_1}} = \frac{2A_1}{A_1 + A_c} < 0{,}1 \rightarrow \frac{2}{0{,}1} < 1 + \frac{A_c}{A_1} \rightarrow \frac{A_c}{A_1} > \frac{2}{0{,}1} - 1 = 19$$

EJEMPLO 2: Tubería en serie con válvula de cierre

- $a_1 = a_2 = 1000$ m/s
- f = 0
- $Q_0 = 0.77$ m3/s

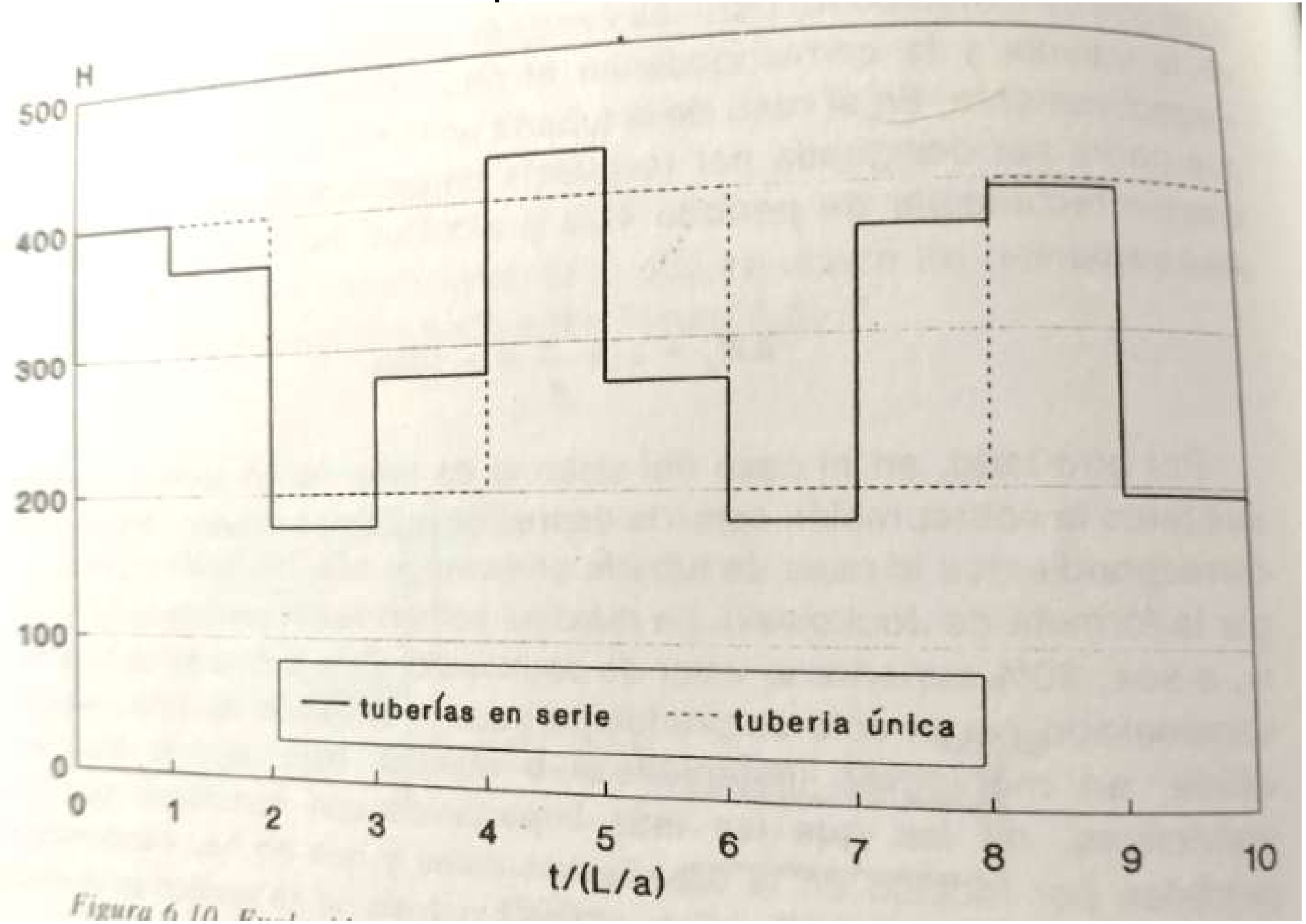
- $\boldsymbol{\Delta H = 100m}$
- **s = 0.82**



EJEMPLO 2: Tubería en serie con válvula de cierre

Caso a): Cierre instantáneo:

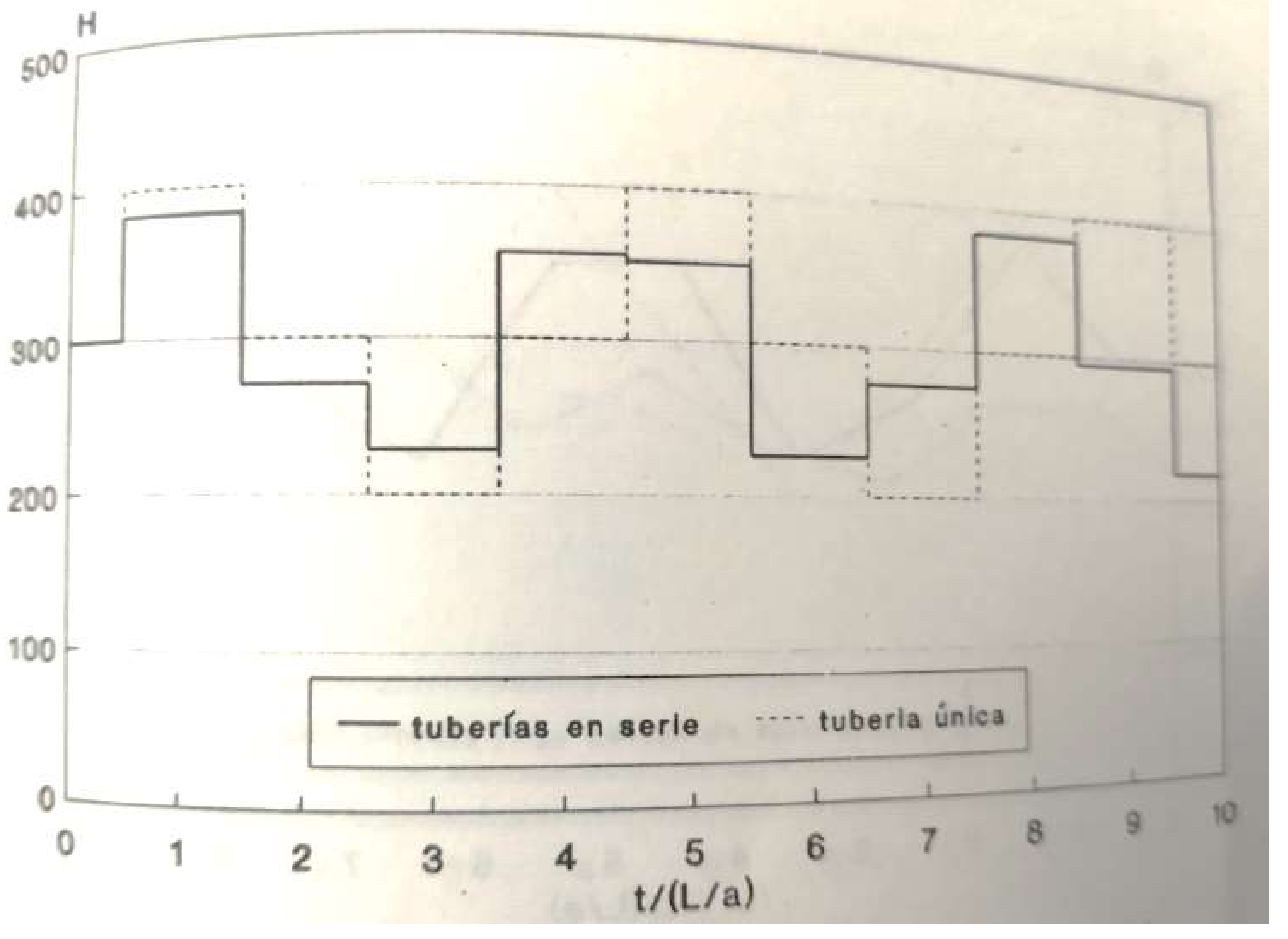
Carga piezométrica en función del tiempo en la válvula:



EJEMPLO 2: Tubería en serie con válvula de cierre

Caso a): Cierre instantáneo:

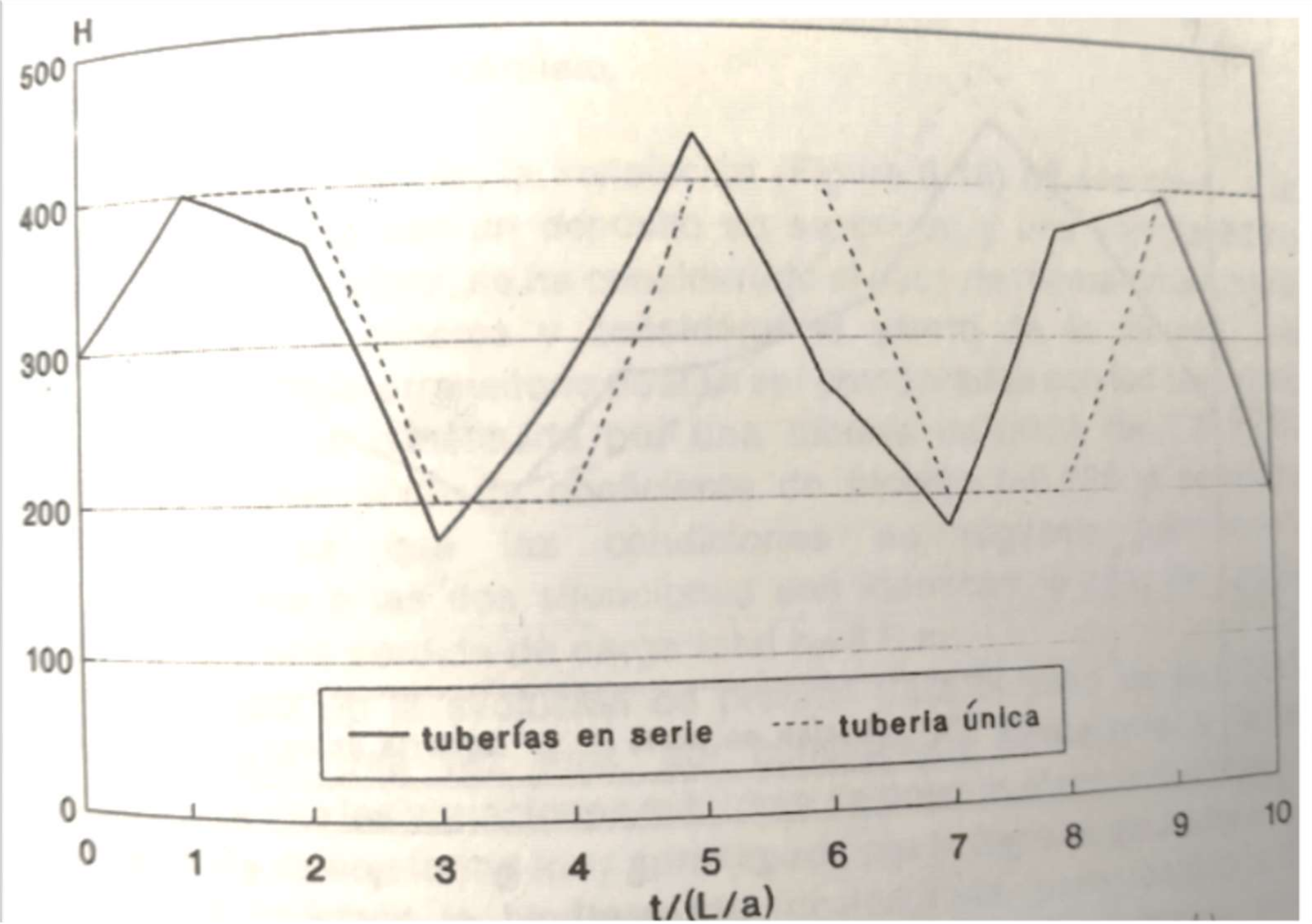
Carga piezométrica en función del tiempo en el nudo:



EJEMPLO 2: Tubería en serie con válvula de cierre

Caso b): Cierre rápido, lineal, Tc=1s

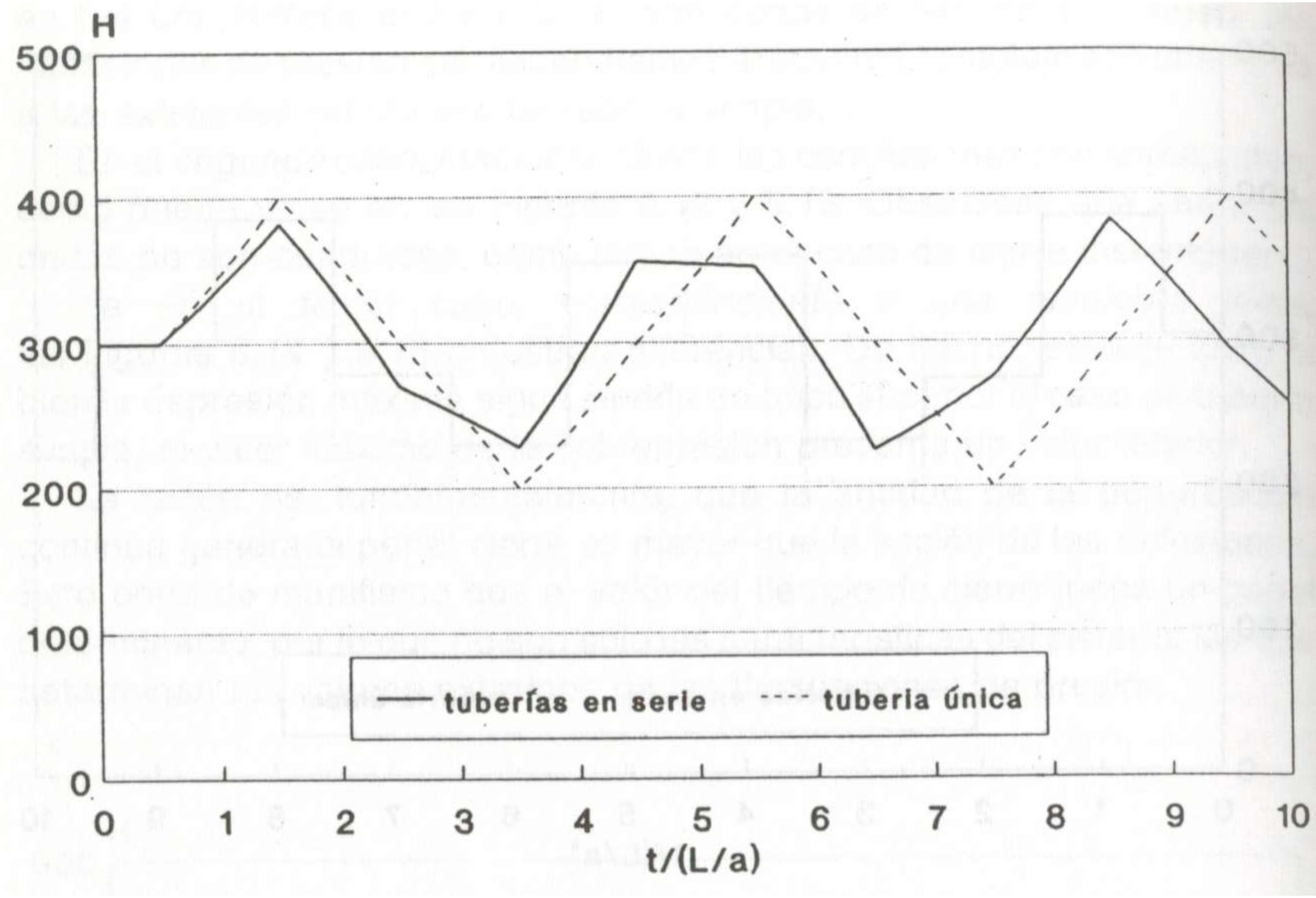
Carga piezométrica en función del tiempo en la válvula:



EJEMPLO 2: Tubería en serie con válvula de cierre

Caso b): Cierre rápido y lineal de la válvula Tc=1s

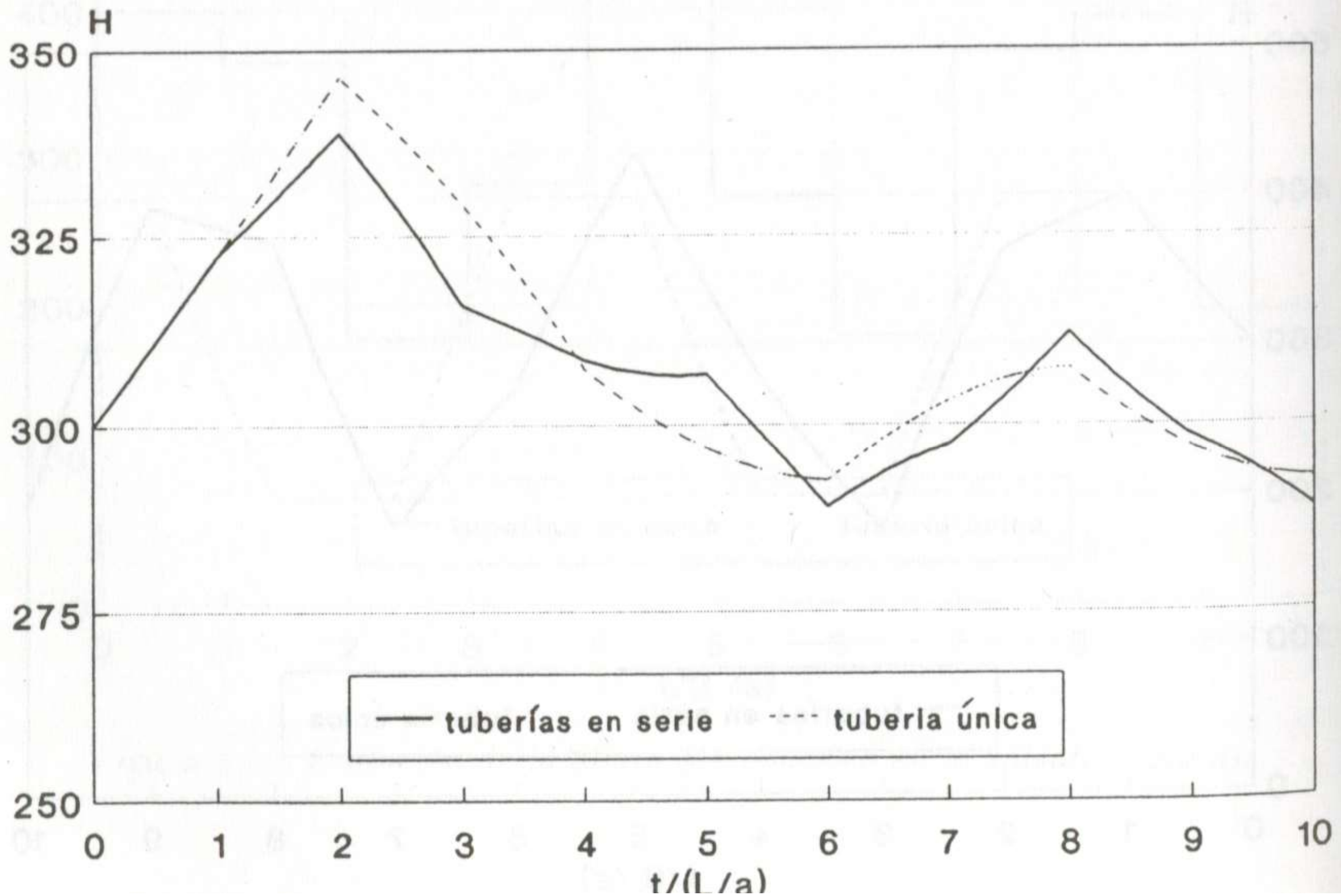
Carga piezométrica en función del tiempo en el nudo:



EJEMPLO 2: Tubería en serie con válvula de cierre

Caso c): Cierre lento y lineal de la válvula Tc=4s

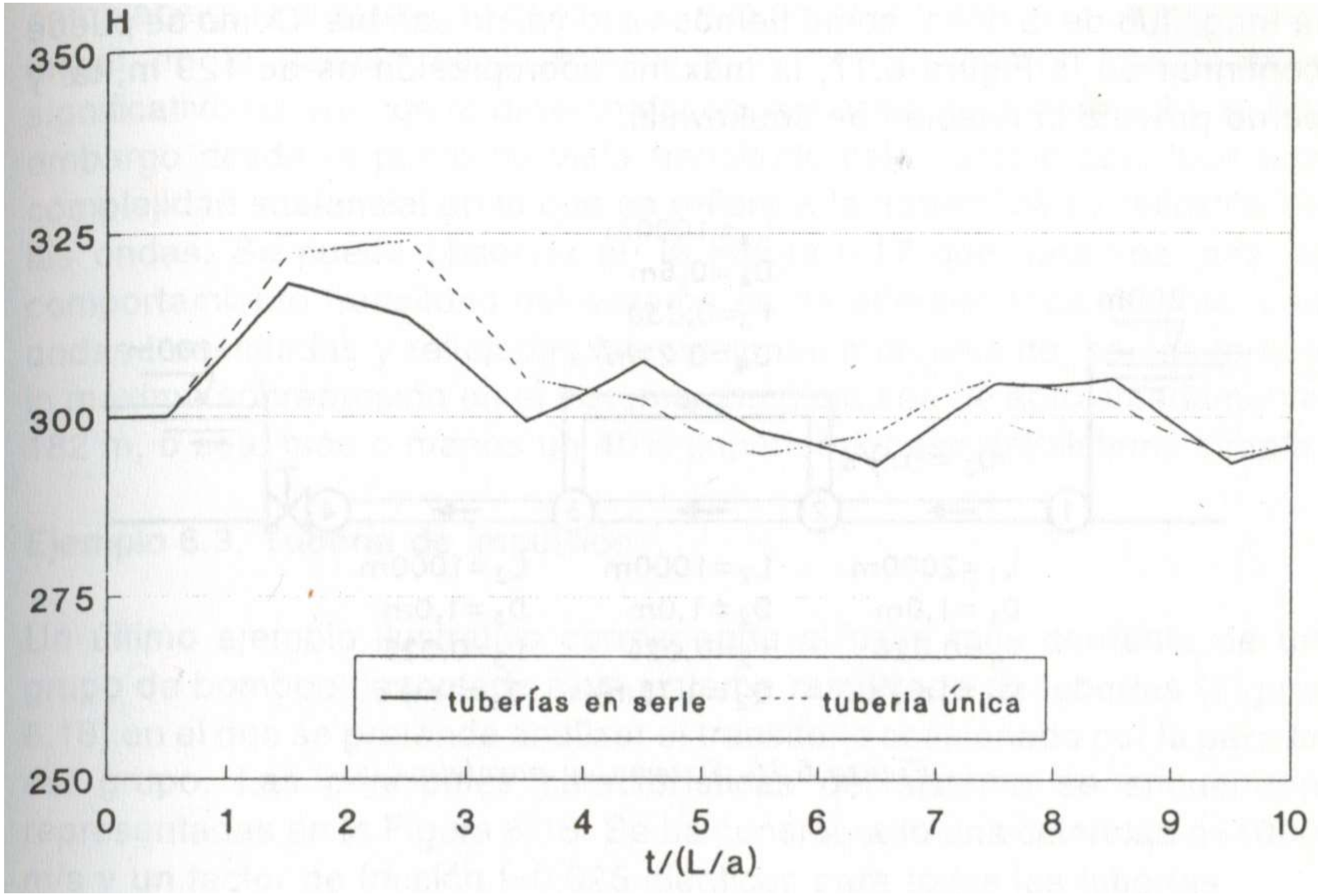
Carga piezométrica en función del tiempo en la válvula:



EJEMPLO 2: Tubería en serie con válvula de cierre

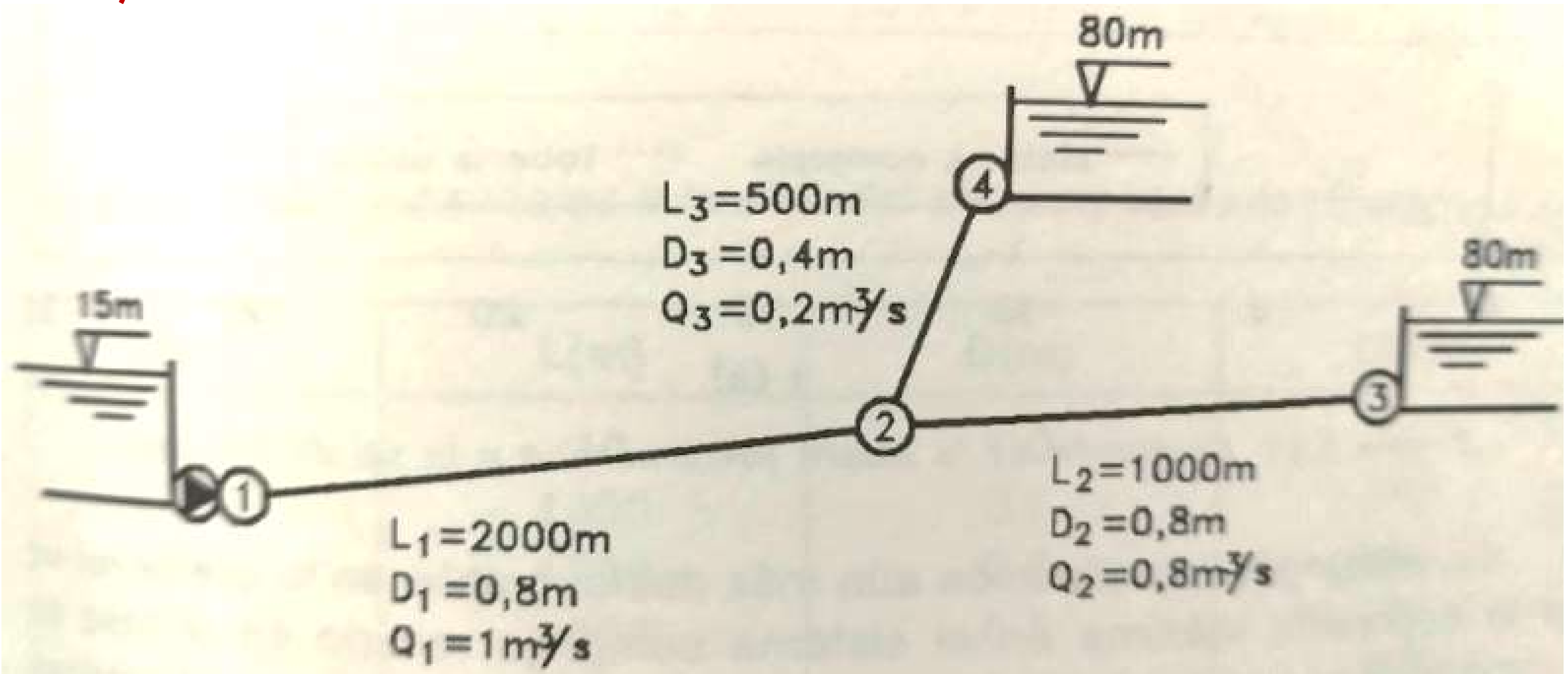
Caso c): Cierre lento y lineal de la válvula Tc=4s

Carga piezométrica en función del tiempo en el nudo:



EJEMPLO 3: Tubería de impulsión con bifurcación

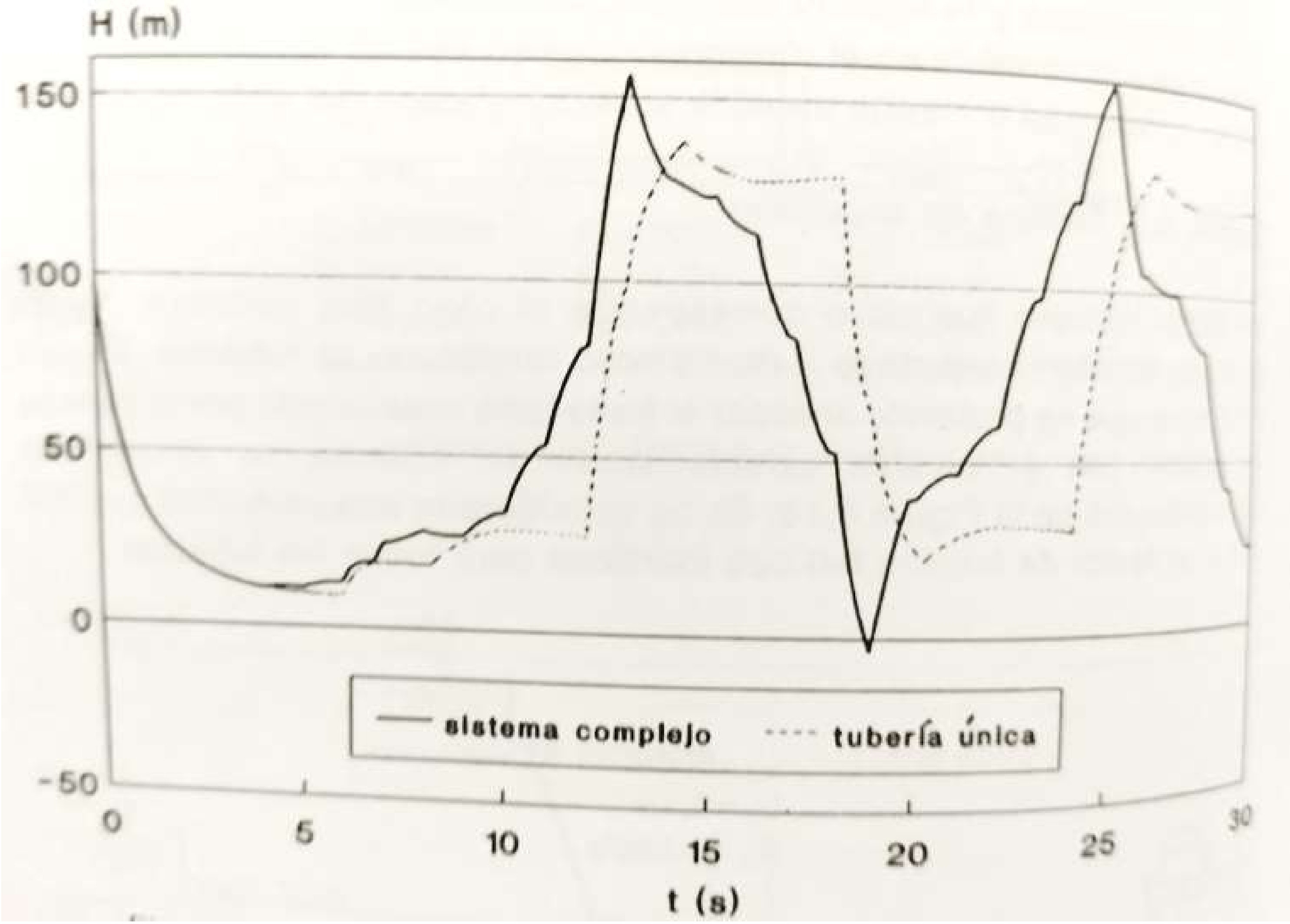
Caso a)



Se compara con un sistema sin bifurcación y diámetro constante igual a 0.8m

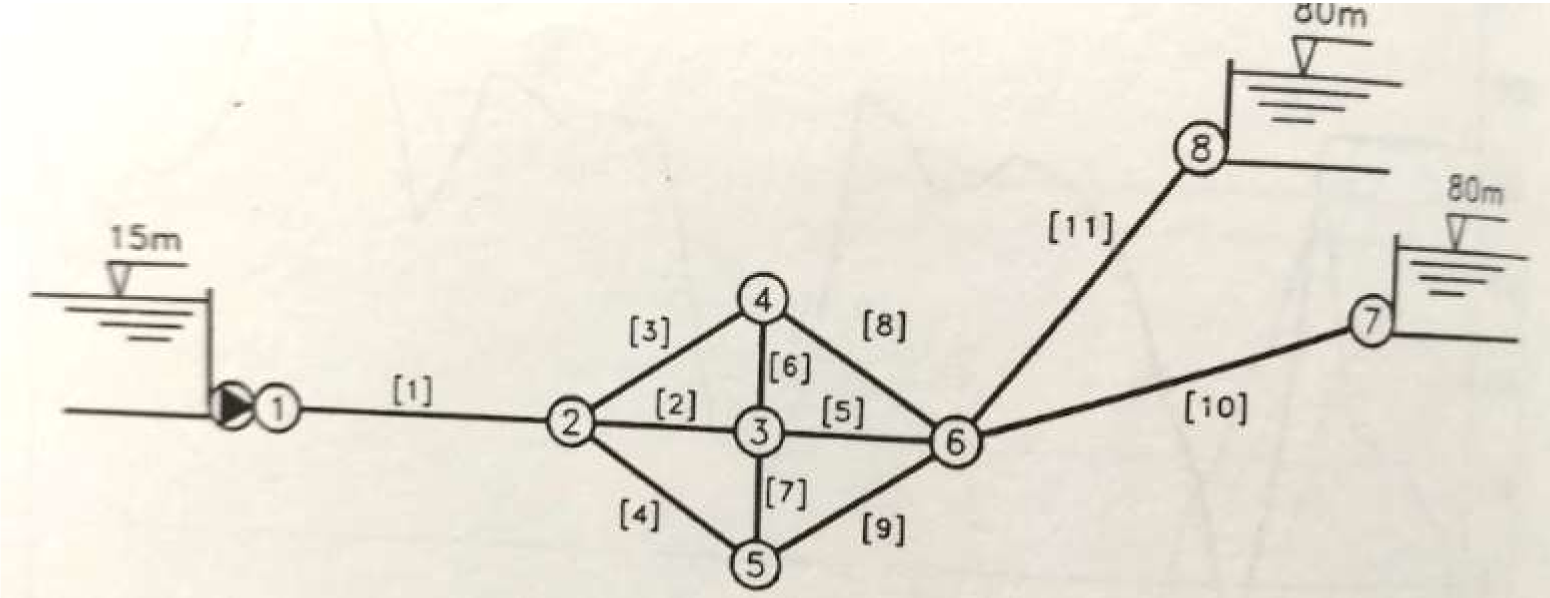
EJEMPLO 3: Tubería de impulsión con bifurcación

Caso a)



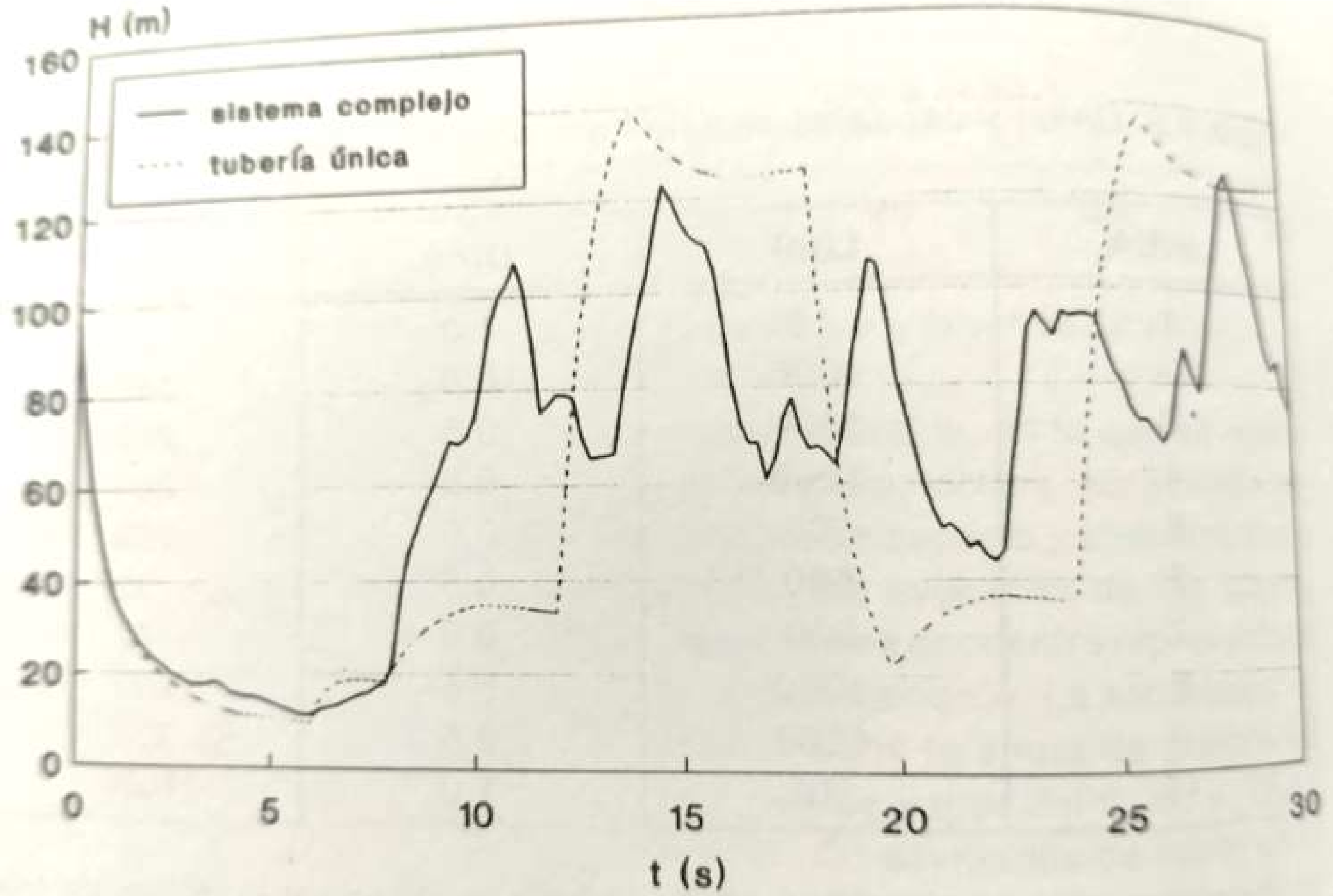
EJEMPLO 3: Tubería de impulsión con bifurcación

Caso b) iguales características al anterior, pero con varias tuberías intermedias



EJEMPLO 3: Tubería de impulsión con bifurcación

Caso b) iguales características al anterior, pero con varias tuberías intermedias



Coeficientes de reflexión y transmisión

- En general, sistema mas complejos amortiguan mas las condiciones transitorias.

- Sin embargo, aumentando un poco la complejidad de un sistema es posible que el transitorio resulte más severo.

- Cada caso debe ser analizado particularmente y bajo las diferentes condiciones de operación posibles.