

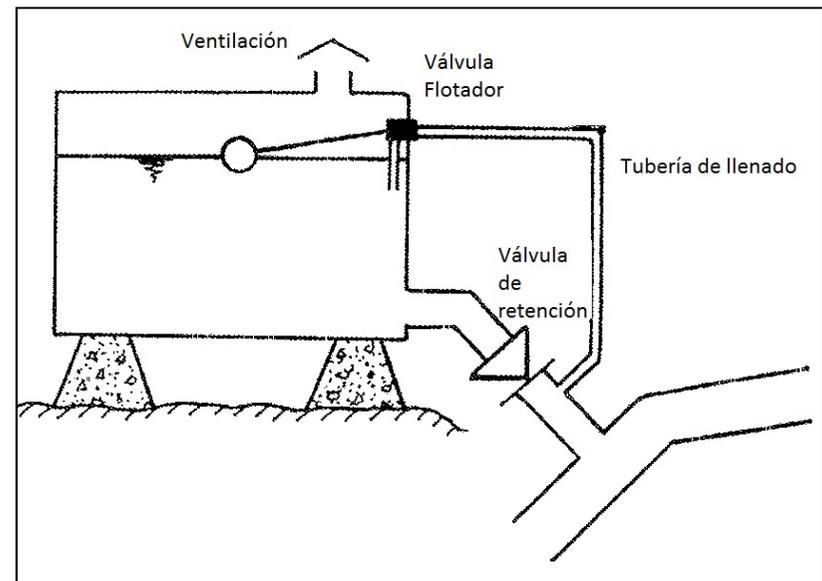
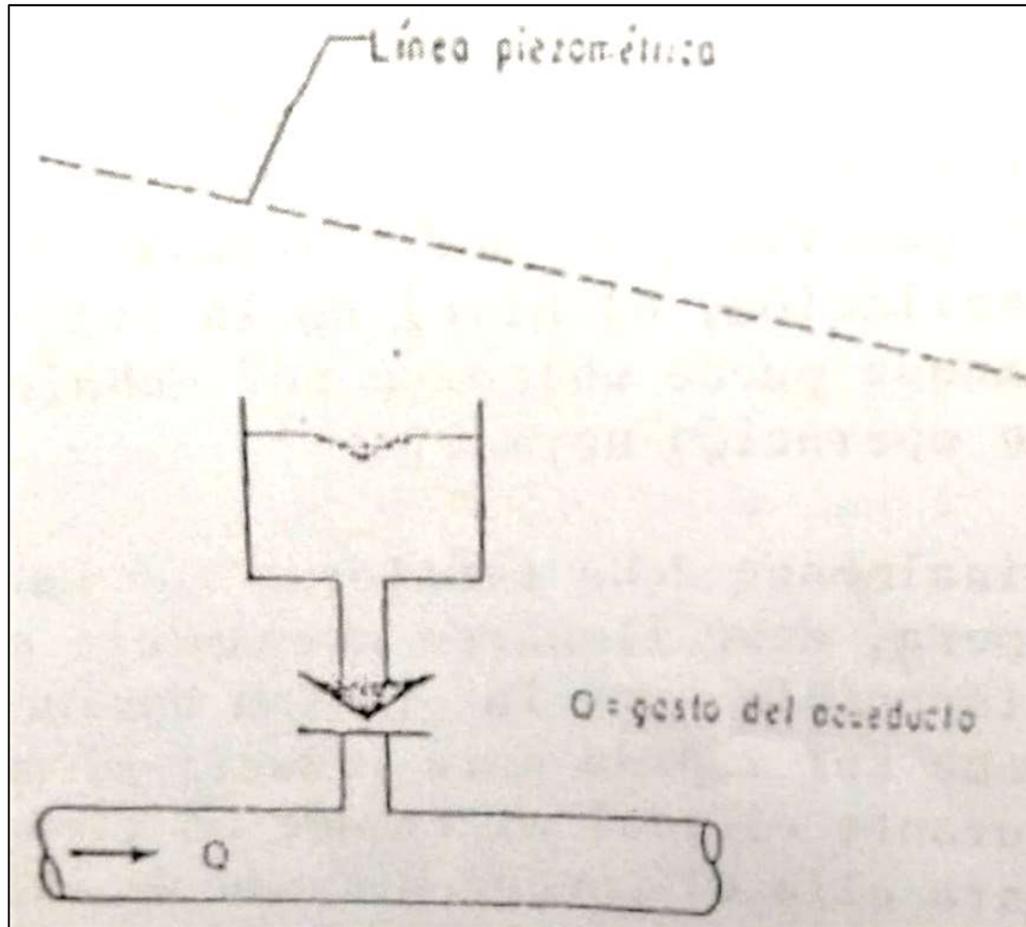
Transitorios Hidráulicos en Tuberías a Presión

Curso posgrado y educación permanente
2023

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

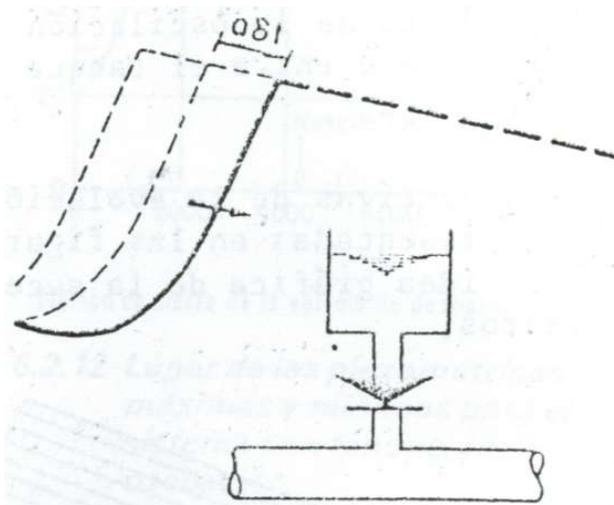
DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN - TANQUE UNIDIRECCIONAL

TANQUE UNIDIRECCIONAL

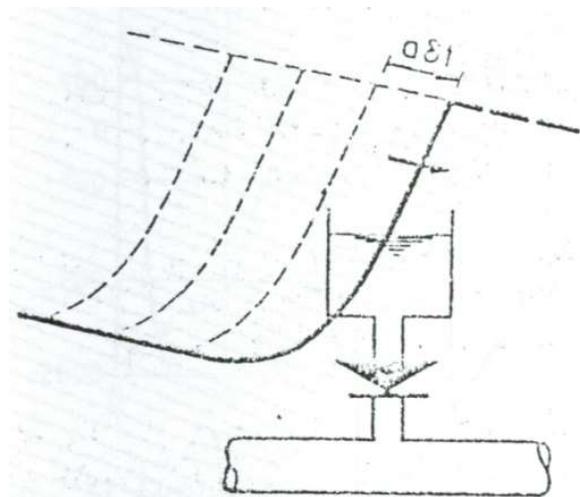


TANQUE UNIDIRECCIONAL

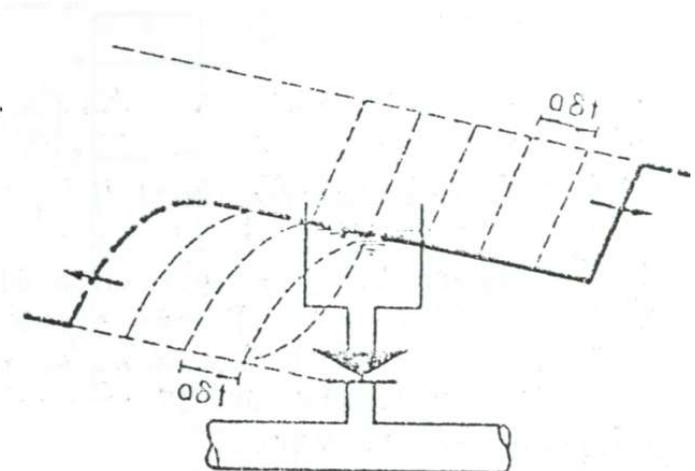
Operación idealizada de un Tanque Unidireccional ante una onda de depresión:



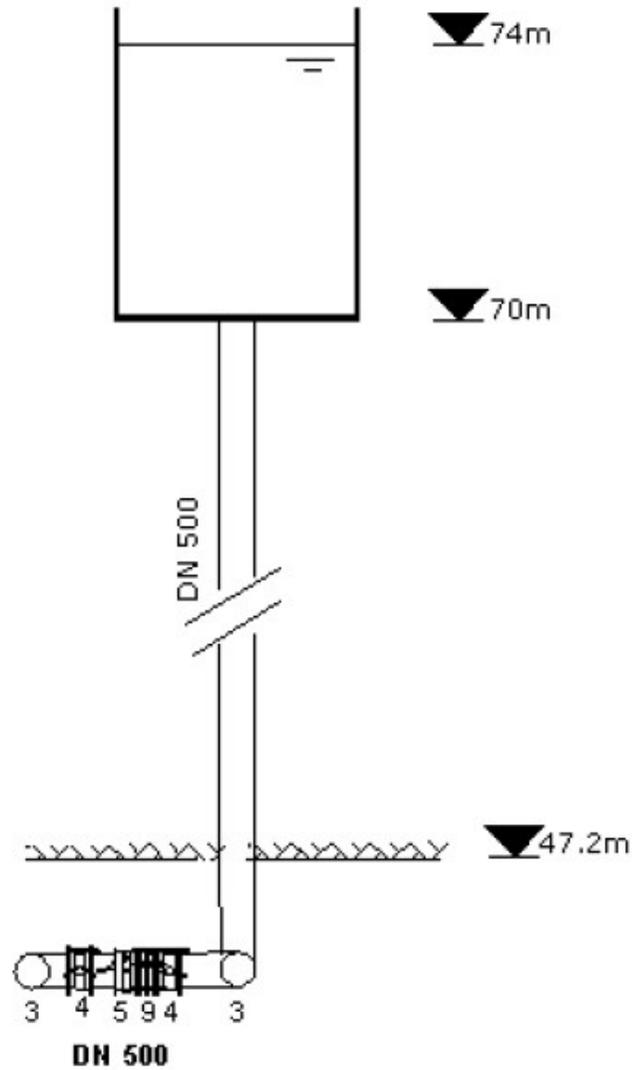
(a) Aproximación de la onda



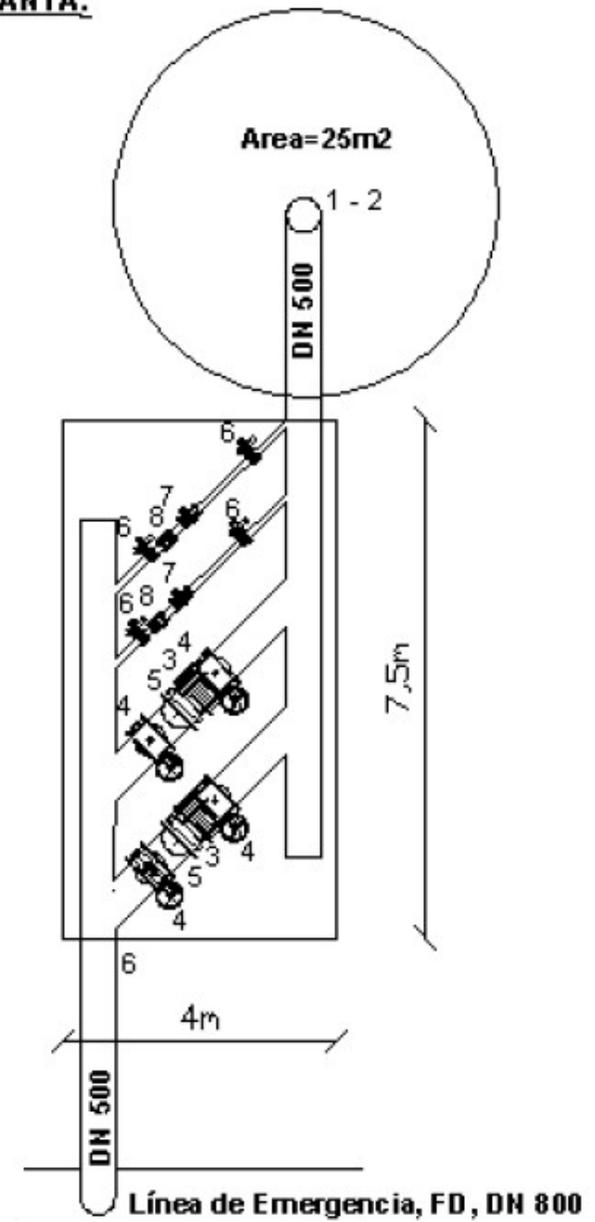
(b) Llegada de la onda



CORTE:

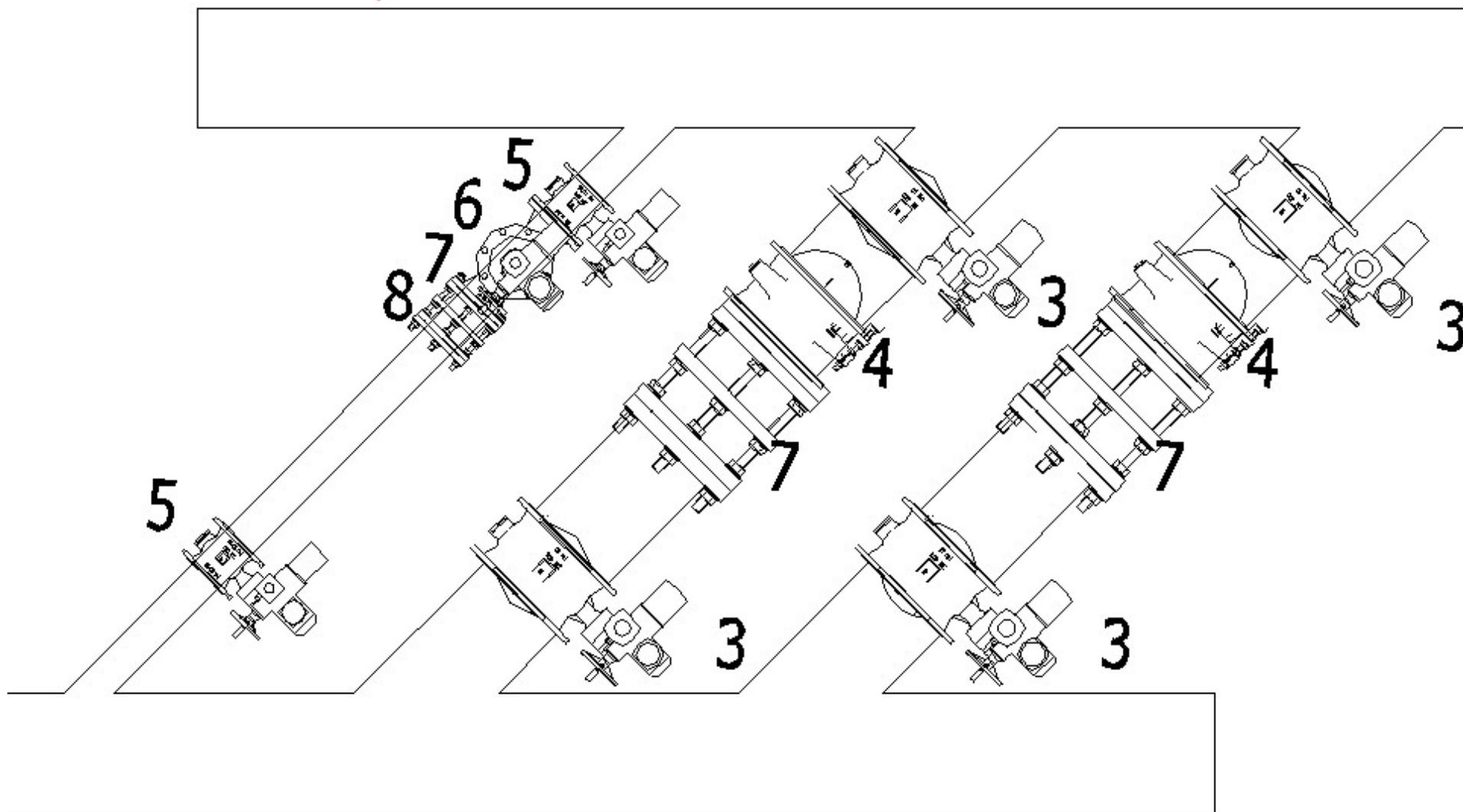


PLANTA:



REFERENCIAS

- 1 Em bocadura del tanque, ϕ 500mm.
- 2 Codo 90°, ϕ 500mm.
- 3 Junta de desmontaje, ϕ 500mm.
- 4 Válvula mariposa, ϕ 500mm.
- 5 Válvula de retención, ϕ 500mm.
- 6 Válvula mariposa, ϕ 4".
- 7 Válvula reguladora de nivel, ϕ 4".
- 8 Junta de desmontaje, ϕ 4".



3: Válvula mariposa vaciado
4: Válvula de retención vaciado
5: Válvula mariposa llenado
6: Válvula de reguladora llenado

7: Junta de desmontaje
8: Placa orificio

TANQUE UNIDIRECCIONAL



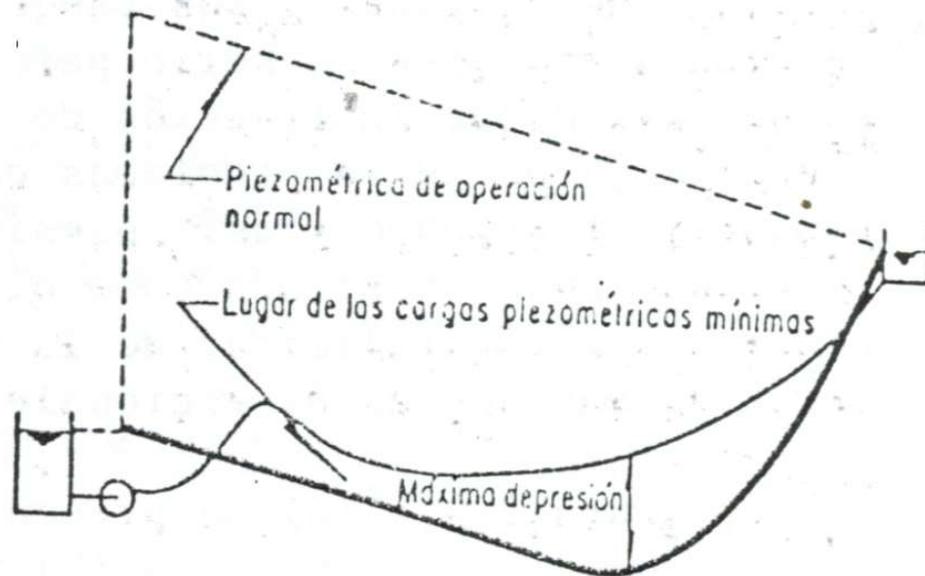
TANQUE UNIDIRECCIONAL



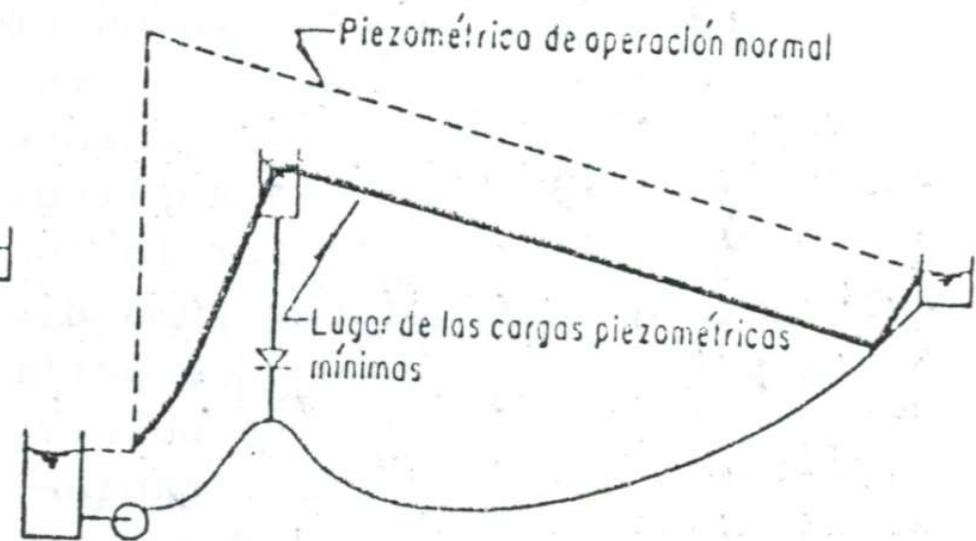
TANQUE UNIDIRECCIONAL

❑ Como controla un transitorio hidráulico el tanque unidireccional:

- Genera una onda transmitida de magnitud menor a la incidente.



(a) Sin dispositivo de control



(b) Con tanque unidireccional

TANQUE UNIDIRECCIONAL

❑ Ventajas frente a Chimenea de Equilibrio:

- Coronamiento debajo de piezométrica máxima: MENOR ALTURA .
- Onda reflejada parcialmente: MENORES VELOCIDADES DE REVERSA Y CHECK SLAM, MENORES SOBREPRESIONES EN TRAMO DE AGUAS ARRIBA.

❑ Desventajas:

- Para asegurar buen funcionamiento de válvulas de retención y de llenado: PUEDE REQUERIRSE MANTENIMIENTO MECÁNICO
- Onda transmitida mayor: PUEDE REQUERIR DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN ANTIARIETE ADICIONALES.

TANQUE UNIDIRECCIONAL

Parámetros de diseño

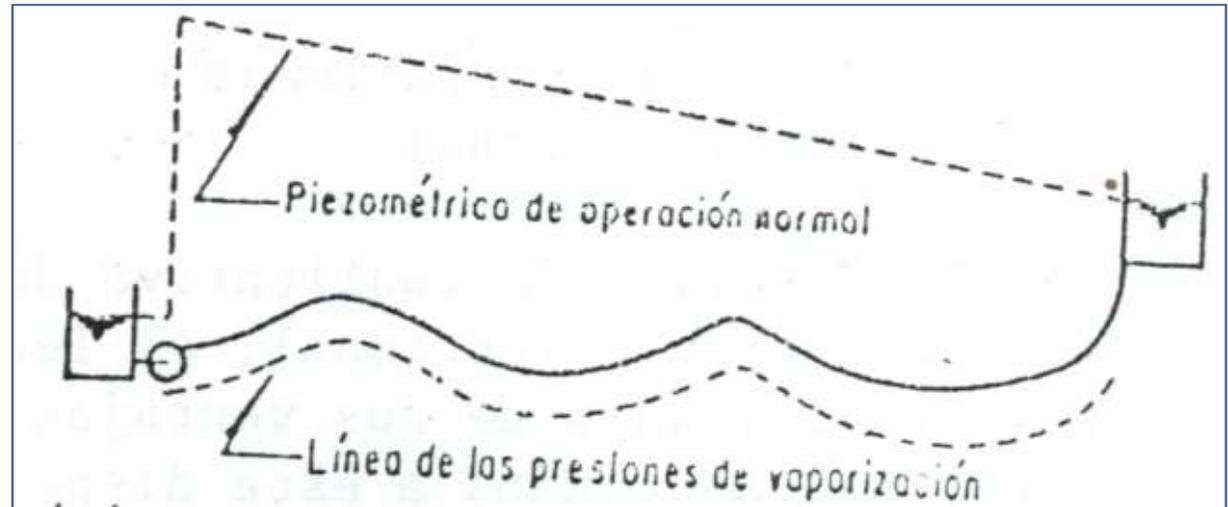
- Z_T : nivel de agua en el tanque, respecto al punto de conexión con el acueducto.
- V_T : volumen total de agua en el tanque.
- A_T : área de la base del tanque.
- L : longitud de la tubería de conexión entre el tanque y el acueducto.
- A : área de la tubería de conexión entre el tanque y el acueducto.
- K_{ll} : coeficiente de pérdida de la tubería de llenado.

TANQUE UNIDIRECCIONAL

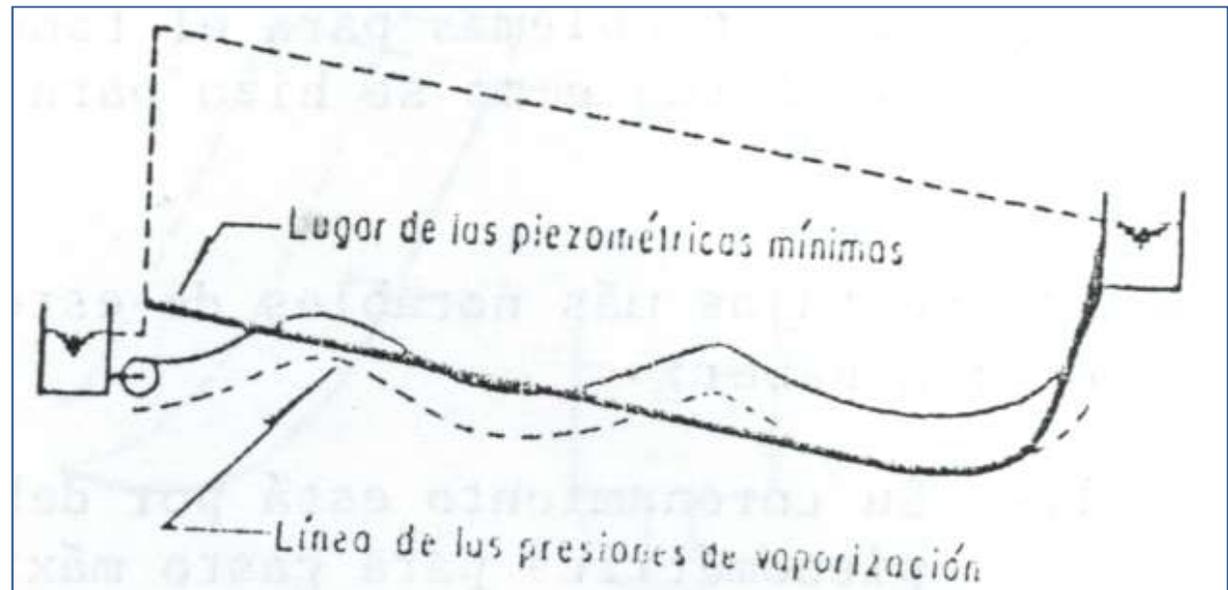
Parámetros de diseño

Altura del tanque Z_T :

1 - Acueducto en operación normal:



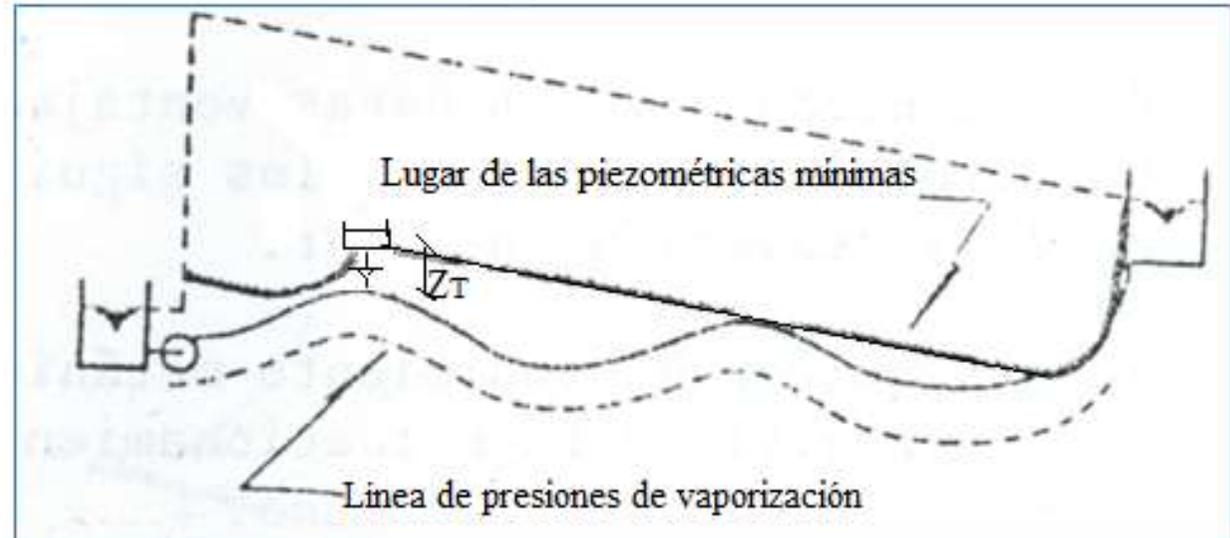
2 - Luego del paro de la planta de bombeo:



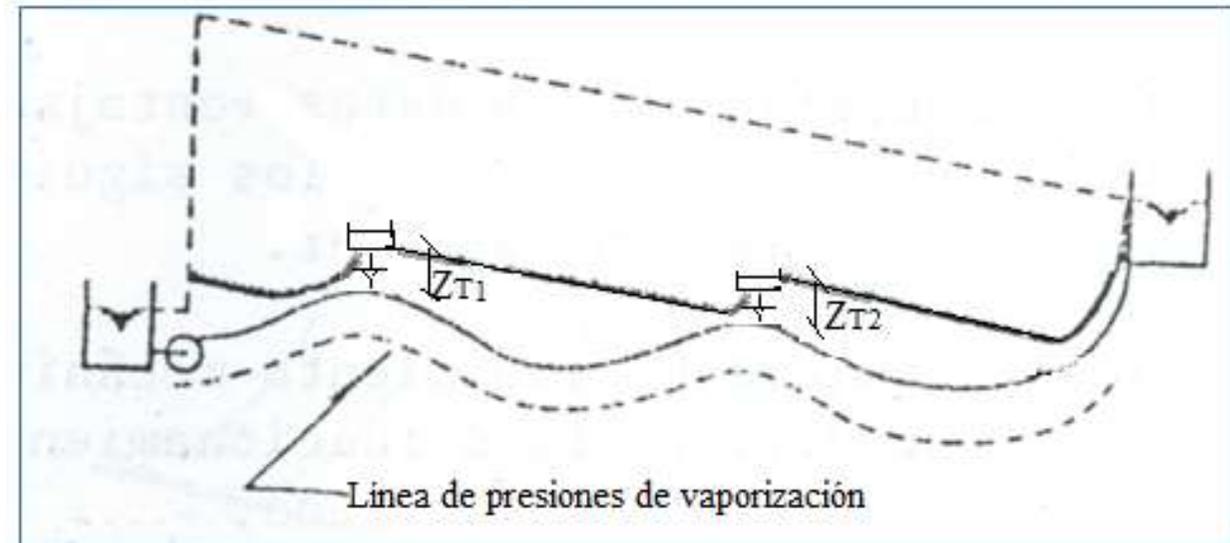
TANQUE UNIDIRECCIONAL

Parámetros de diseño

3 – Con un TU:



4 – Con dos TUs:



TANQUE UNIDIRECCIONAL

Parámetros de diseño

Capacidad del tanque V_T :

1. Se elije A_T exageradamente grande (p.e. $A_T = 10^6 \times A$), tal que el nivel de agua en el tanque no descienda.
2. Se realiza una simulación numérica con ese tanque de donde se obtiene el caudal que descarga en función del tiempo: $Q_T(t)$.
3. Se estima el volumen de agua descargado por el tanque como:

$$V = \int_{t_1}^{t_2} Q_T dt = \sum_{ti=t_1}^{t_2} \frac{Q_T(ti) + Q_T(ti + \Delta t)}{2} \Delta t$$

t_1 : instante en que comienza a trabajar el tanque

t_2 : instante en que finaliza su acción

4. Se elije $V_T \gg 2V$ ($= 10V$, por ejemplo), para que pueda operar de inmediato por lo menos una vez más.

TANQUE UNIDIRECCIONAL

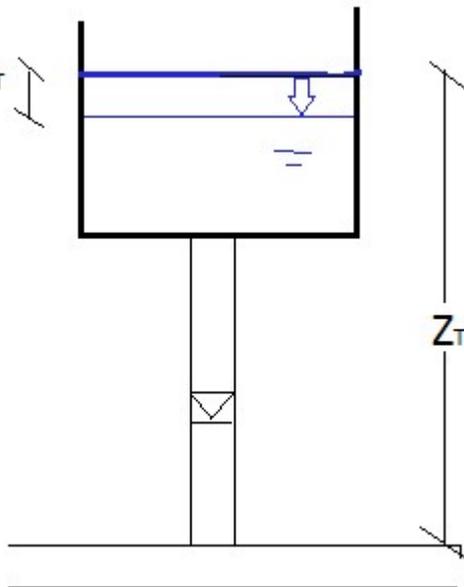
Parámetros de diseño

Area transversal del tanque A_T :

- Variaciones de la carga piezométrica relativamente pequeñas.

Descenso de nivel luego de actuar una vez:

$0.1Z_T$



$$A_T \approx \frac{V}{0.1Z_T}$$

$$\frac{A_T}{A} > 16$$

TANQUE UNIDIRECCIONAL

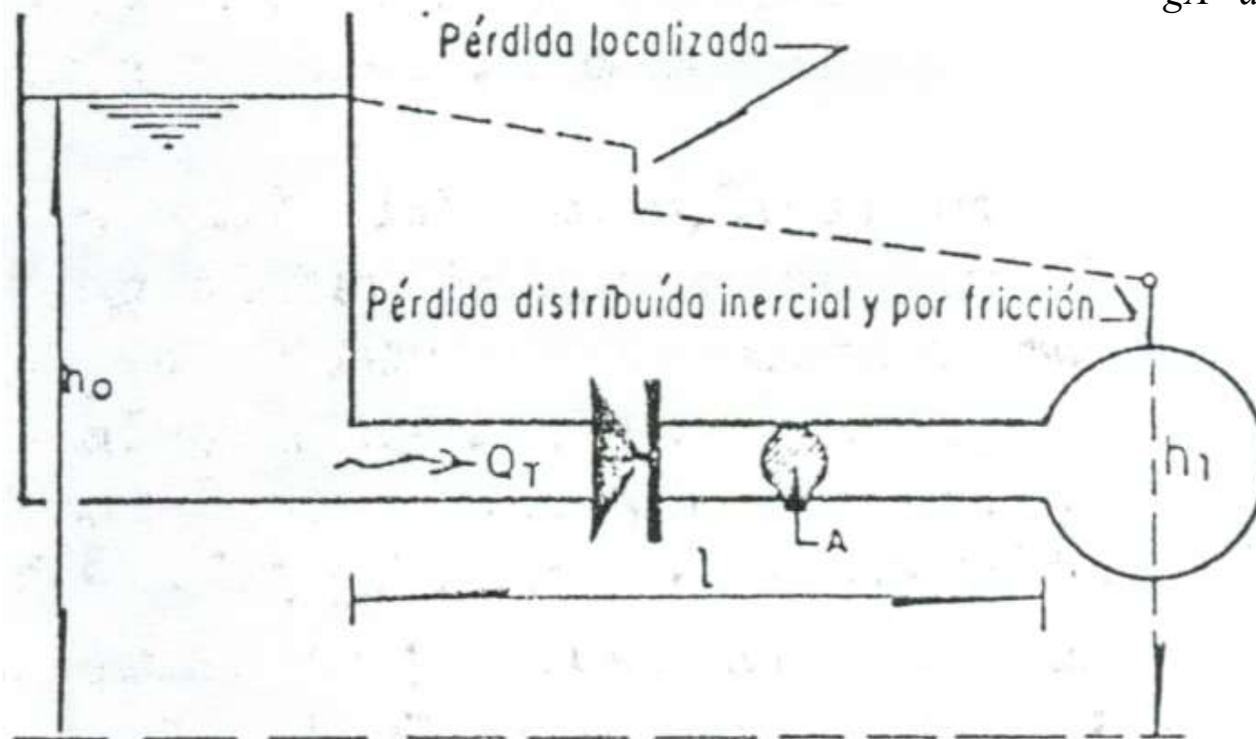
Parámetros de diseño

Conexión entre el tanque y el acueducto (L y A):

Hipótesis:

- La conexión entre el tanque y el acueducto es de paredes rígidas.
- El fluido en su interior es incompresible.

$$h_0 - h_1 = \frac{L}{gA} \frac{dQ_T}{dt} + f \frac{L}{D} \frac{Q_T |Q_T|}{2gA^2} + K_V Q_T |Q_T|$$



$$\text{máx}(h_0 - h_1) \leq 0.1Z_T$$

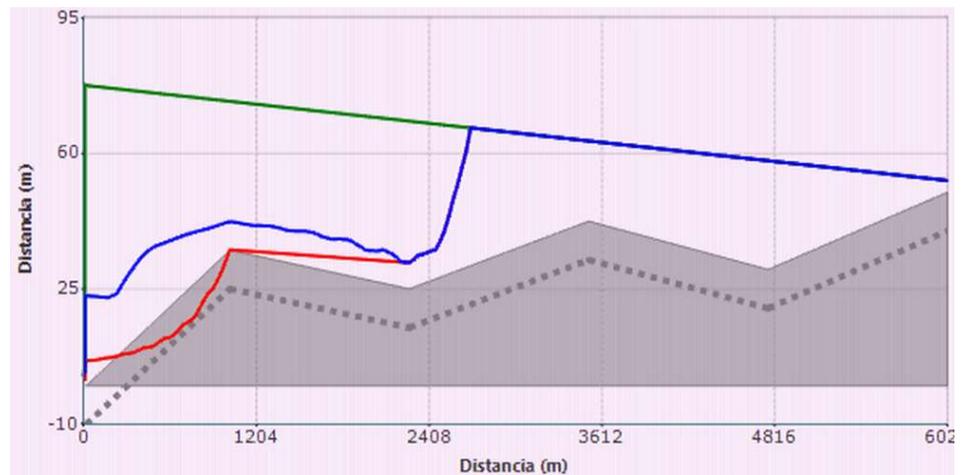
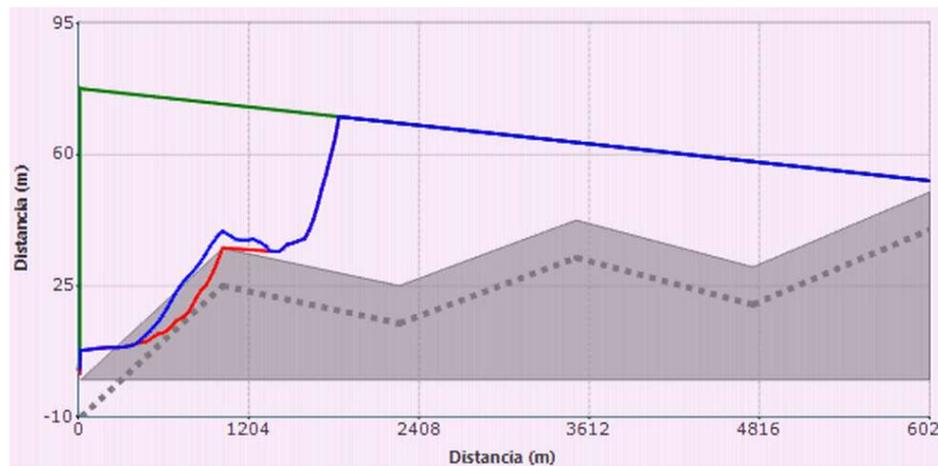
Tomar menor L posible e ir aumentando A.

TANQUE UNIDIRECCIONAL

Parámetros de diseño

Conexión entre el tanque y el acueducto (L, A)

Influencia de inercia de la conexión entre el tanque y el acueducto: $L1/A1$ GRANDE

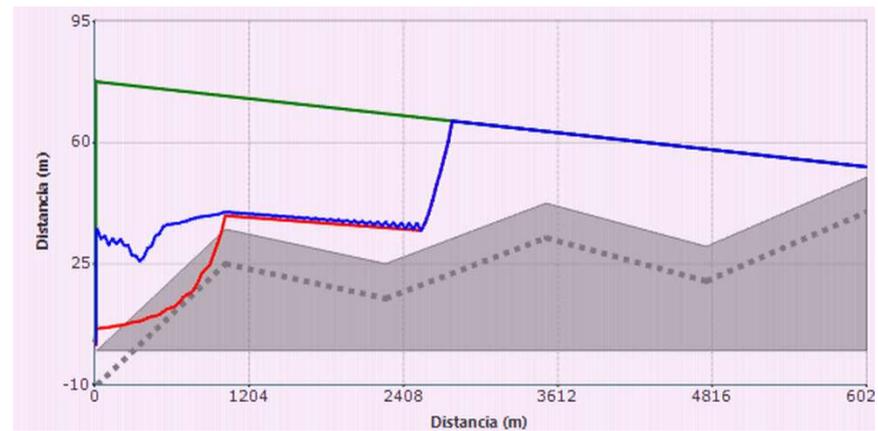
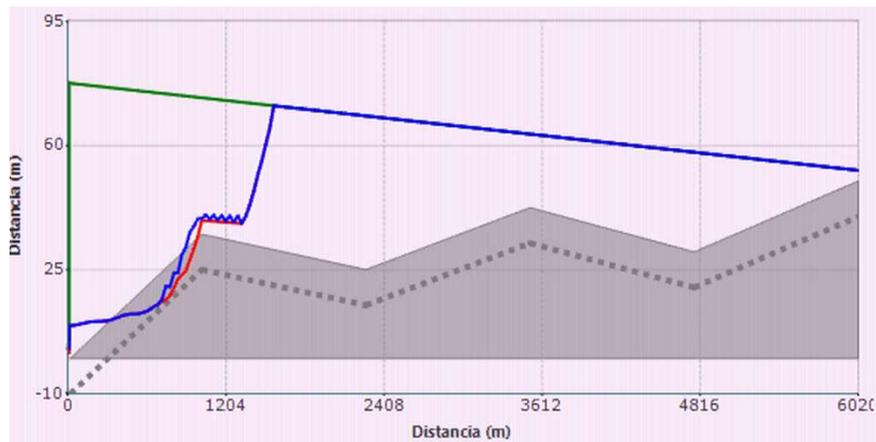


TANQUE UNIDIRECCIONAL

Parámetros de diseño

Conexión entre el tanque y el acueducto:

Para $L2/A2 \ll L1/A1$

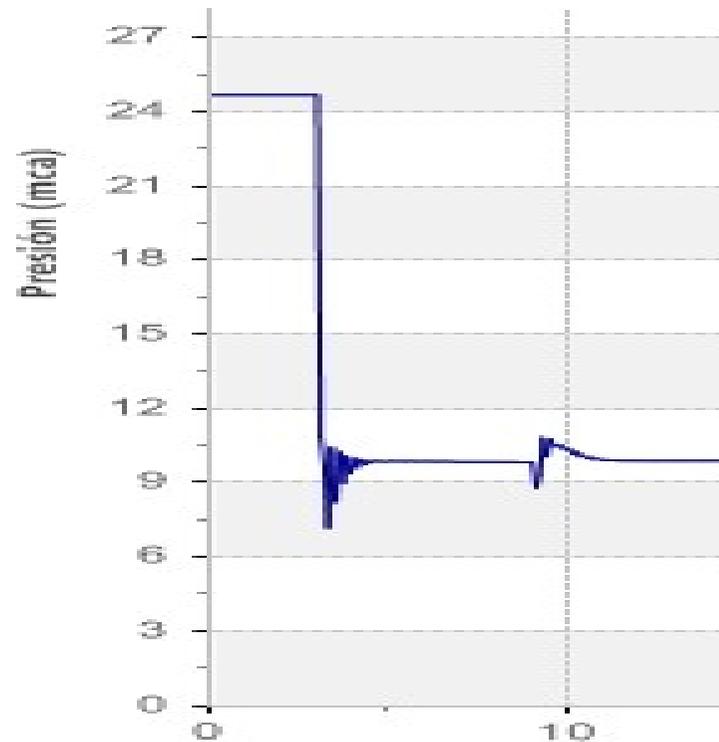


TANQUE UNIDIRECCIONAL

Parámetros de diseño

- Variación de la presión con el tiempo en el nudo de conexión del TU a la línea

$$Z_T = 10 \text{ m}$$



TANQUE UNIDIRECCIONAL

Ecuaciones

- En el nudo con el acueducto:

Conservación de la masa: $Q_1 + Q_T = Q_2$

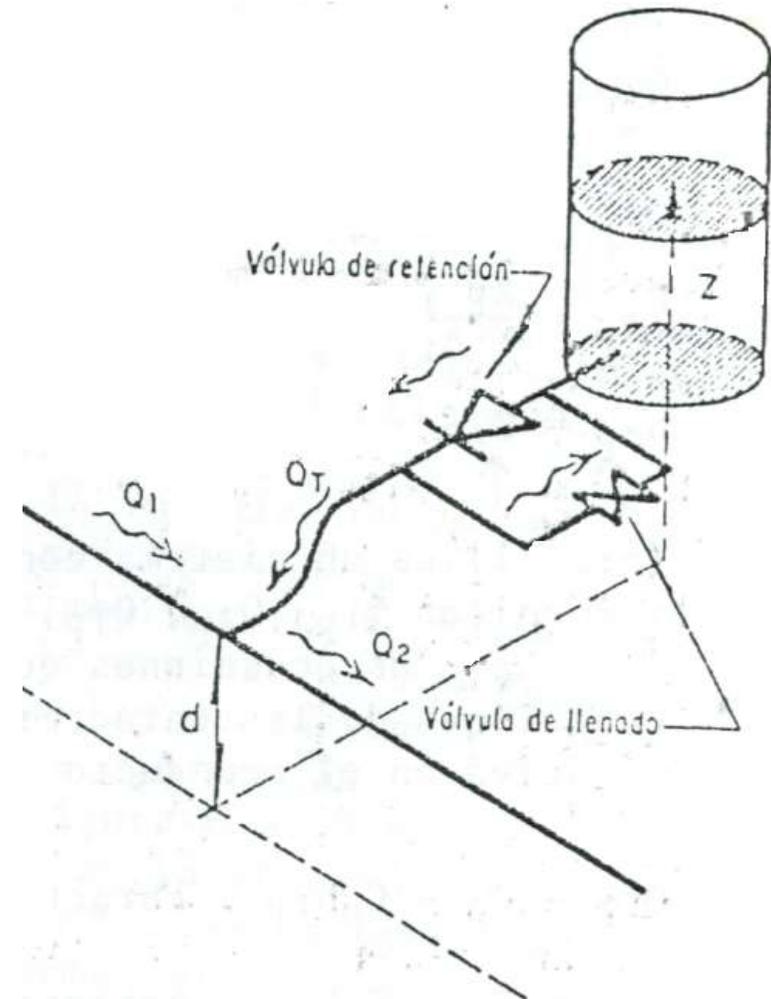
Ecuación Dinámica: $h_1 = h_2$

- En la tubería de conexión: $Q_T = Q_T(t)$

Dinámica: $h_0 - h_1 = \frac{L}{gA} \frac{dQ_T}{dt} + f \frac{L}{D} \frac{Q_T |Q_T|}{2gA^2} + K_V Q_T |Q_T|$

Siendo:

$$K_V \begin{cases} \text{Si } Q_T \geq 0 \rightarrow kv \text{ de la válvula de retención} \\ \text{Si } Q_T < 0 \rightarrow kv \text{ de la válvula de llenado} \end{cases}$$



TANQUE UNIDIRECCIONAL

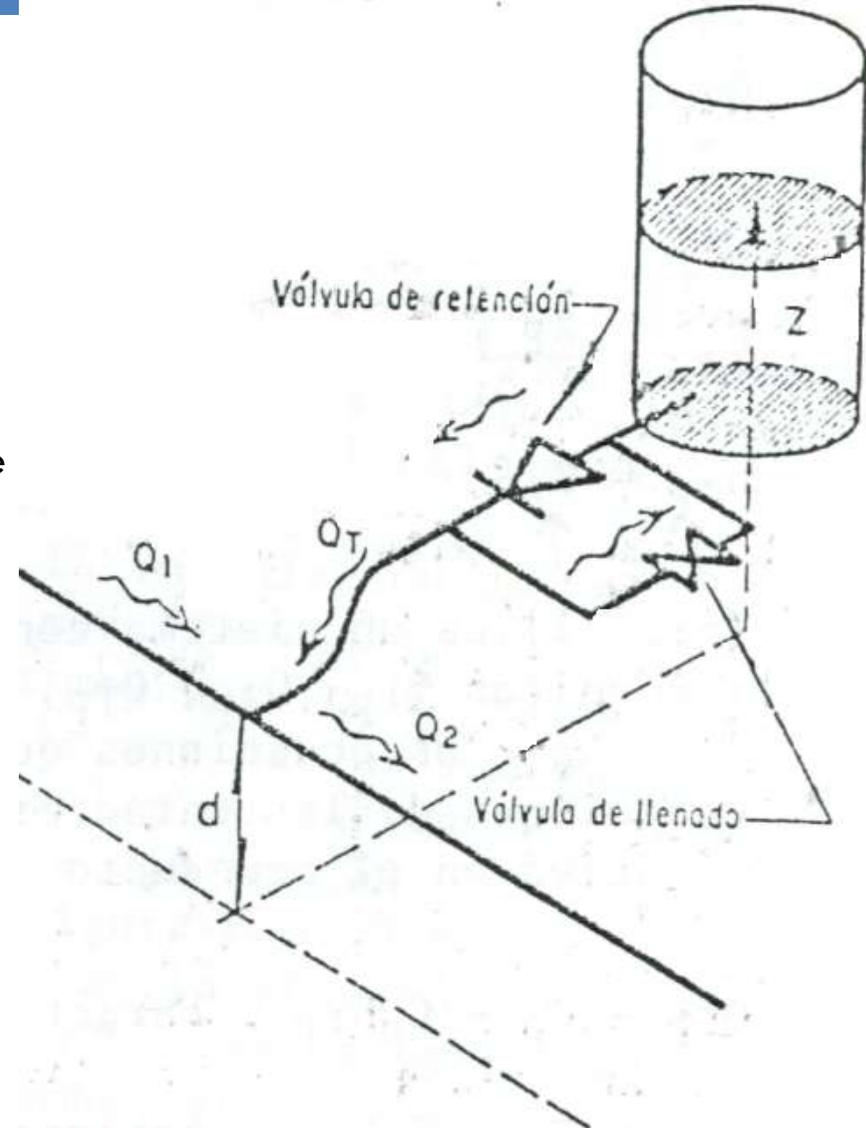
Ecuaciones

- Ecuaciones en el tanque:

Conservación de la masa: $Q_T = -A_T \frac{dZ}{dt}$

Ecuación Dinámica: $h_0 = Z(t)$

Donde $Z(t)$: evolución de la superficie libre del tanque respecto al nivel de referencia.



TANQUE UNIDIRECCIONAL

Ecuaciones en diferencias finitas, para su resolución numérica:

$$Q_{1P} + Q_{TP} = Q_{2P}$$

$$h_{1P} = h_{2P}$$

$$h_{0P} - h_{1P} = \frac{L}{gA} \dot{Q}_{TP} + \left(f \frac{L}{2gDA^2} + KV \right) Q_{TP} |Q_{TP}|$$

$$\dot{Q}_{TP} = \frac{Q_{TP} - Q_T}{\Delta t}$$

$$Q_{TP} = -A_T \dot{Z}_P$$

$$\dot{Z}_P = \frac{Z_P - Z}{\Delta t}$$

$$h_{0P} = Z_P$$

$$Q_{1P}, Q_{TP}, Q_{2P}, h_{1P}, h_{2P}, h_{0P}, \dot{Q}_{TP}, Z_P, \dot{Z}_P$$

7 ecuaciones; 9 Incógnitas:

TANQUE UNIDIRECCIONAL

- Ecuaciones de las características del acueducto:

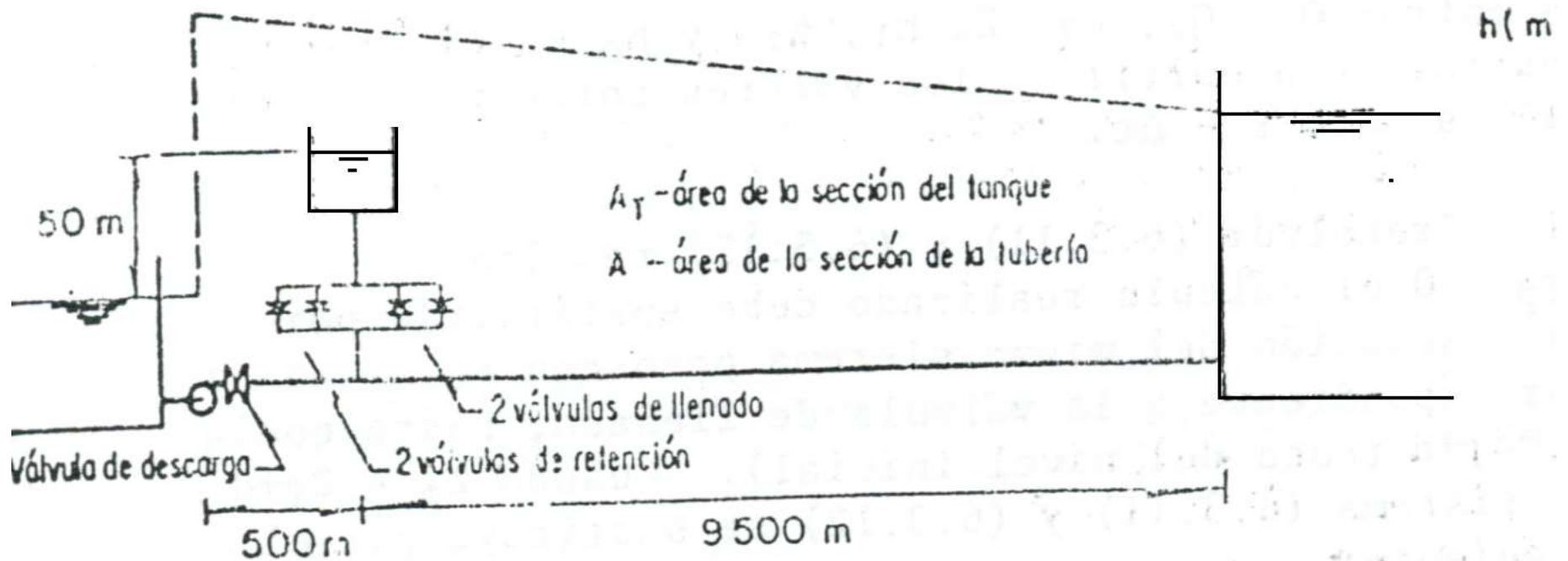
Característica positiva: $Q_{1P} = C_p - C_a h_{1P}$

Característica negativa: $Q_{2P} = C_n + C_a h_{2P}$

- Conociendo los valores de las incógnitas para un instante anterior t , se resuelve el sistema de ec. para un instante siguiente $t+\Delta t$.
- Sí resulta $Q_{TP} \leq 0$
- Sustituir K_v por K_v válvula de llenado.
- Recalcular

TANQUE UNIDIRECCIONAL

Ejemplo

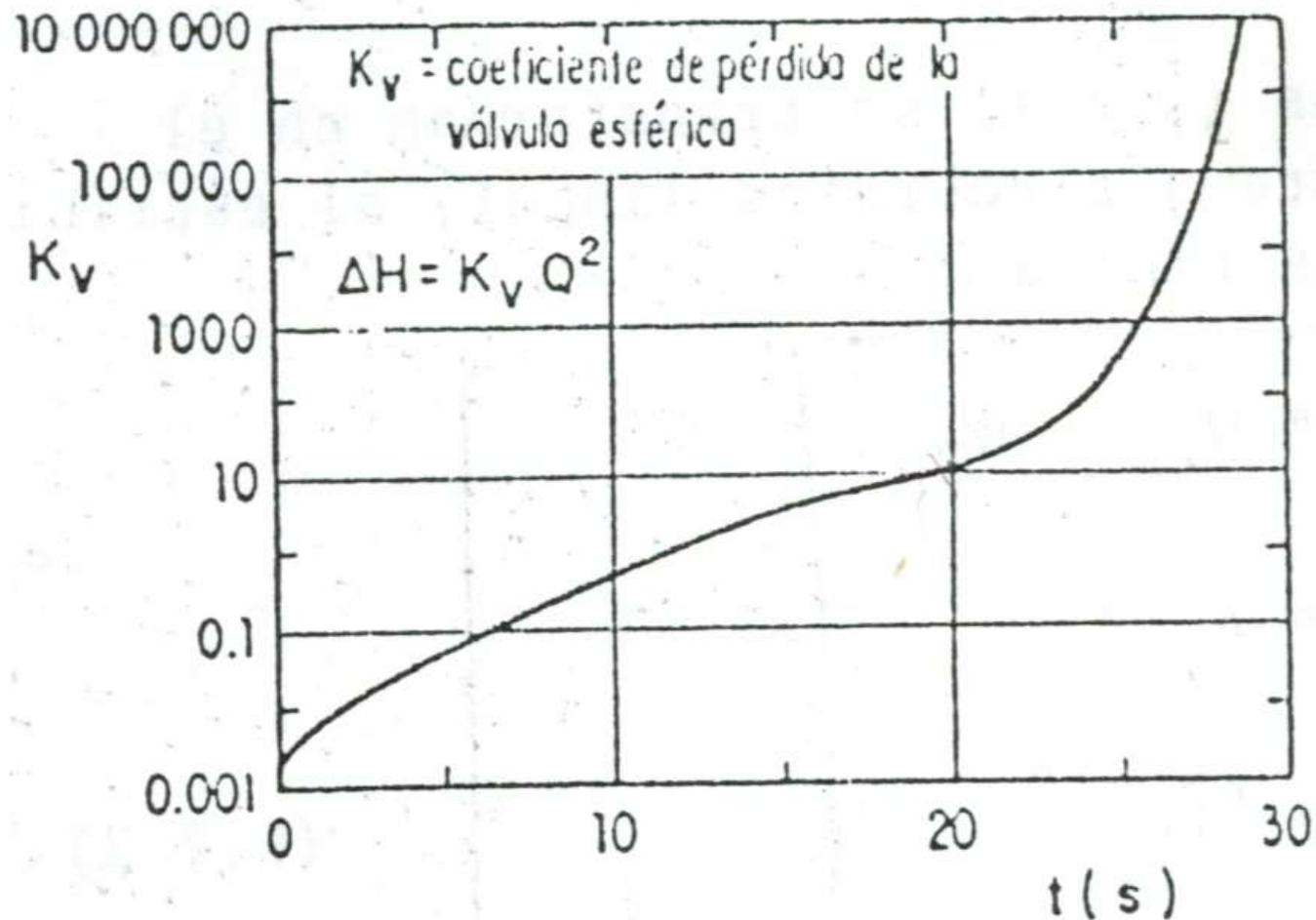


$$A_T/A = 25, Q_R = 2 \text{ m}^3/\text{s}, H_R = 80 \text{ mca}, N_S = 62.81, a = 1000 \text{ m/s}$$

TANQUE UNIDIRECCIONAL

Ejemplo

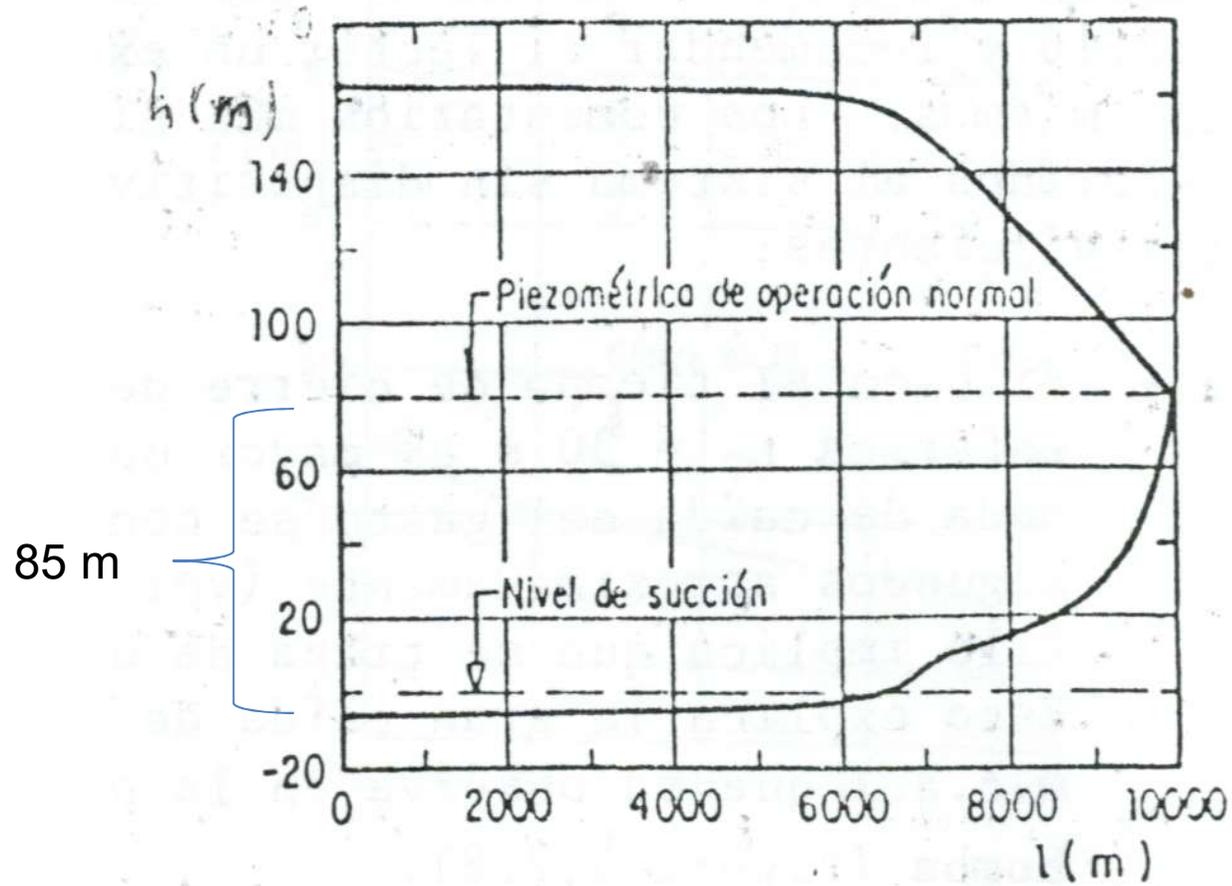
- Ley de cierre de la válvula:



TANQUE UNIDIRECCIONAL

Ejemplo

- Piezométricas extremas para el sistema sin protección

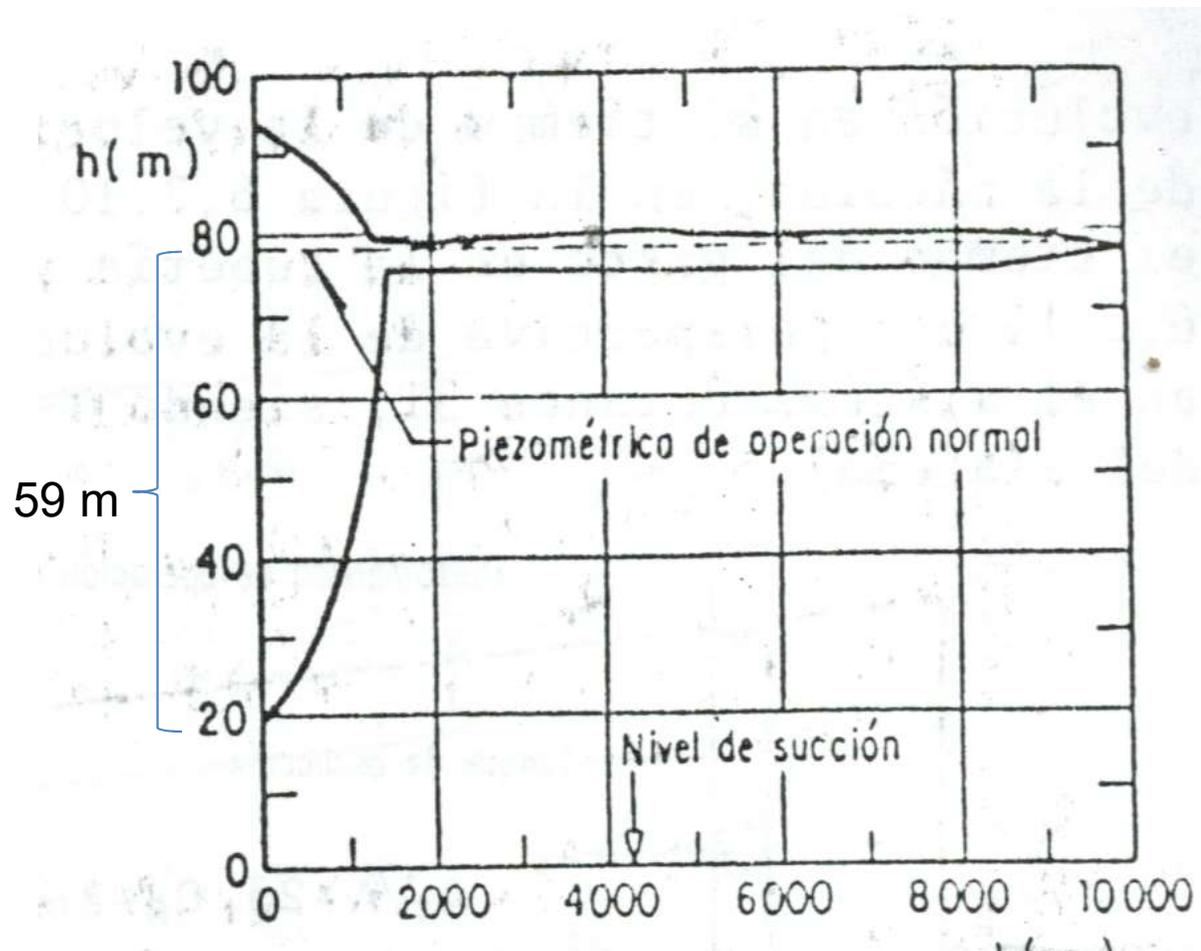


Tiempo de cierre de la válvula de descarga $t_c = 30$ s

TANQUE UNIDIRECCIONAL

Ejemplo

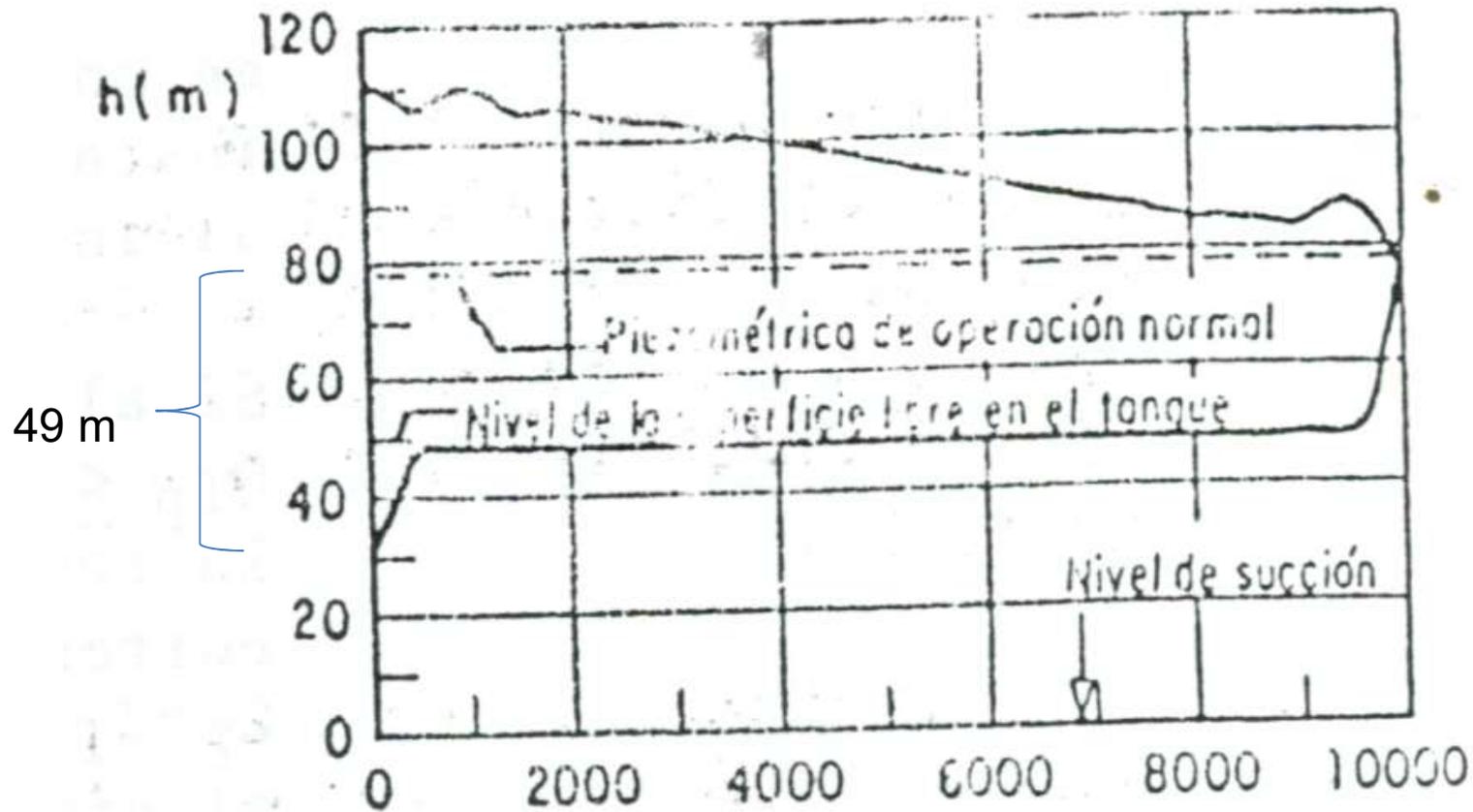
- Piezométricas extremas para el sistema CON TANQUE DE OSCILACIÓN



TANQUE UNIDIRECCIONAL

Ejemplo

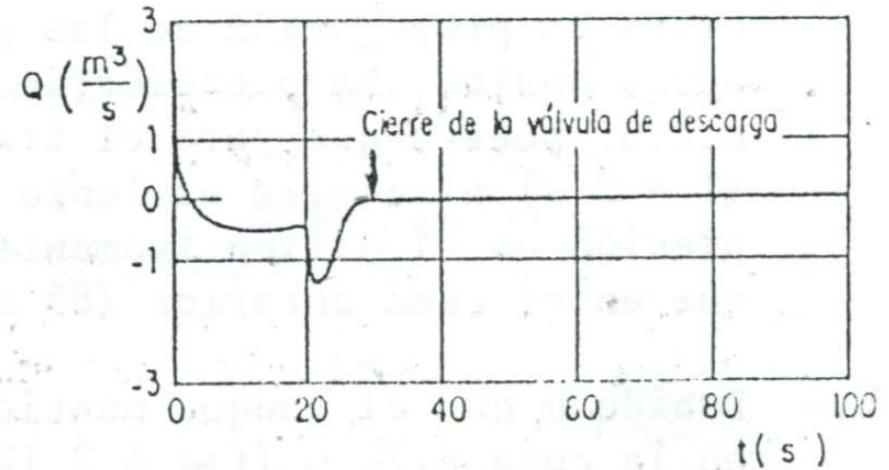
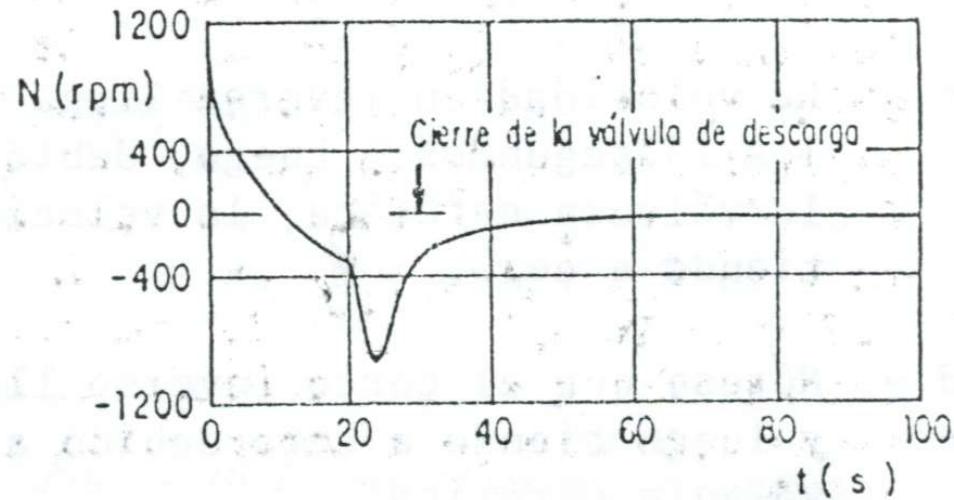
- Piezométricas extremas para el sistema CON TANQUE UNIDIRECCIONAL



TANQUE UNIDIRECCIONAL

Ejemplo

- Evolución de la velocidad de giro y del caudal para el sistema sin protección



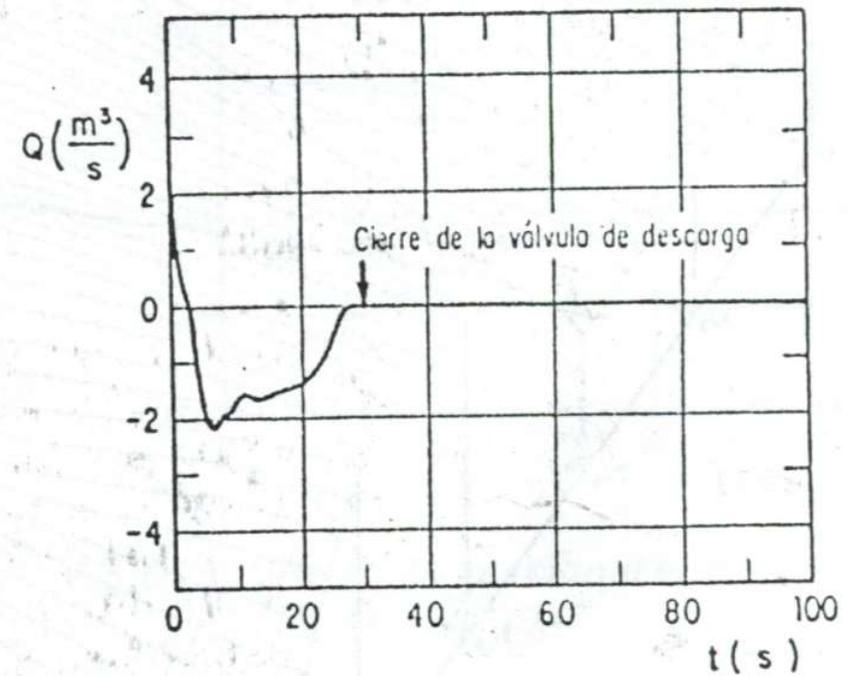
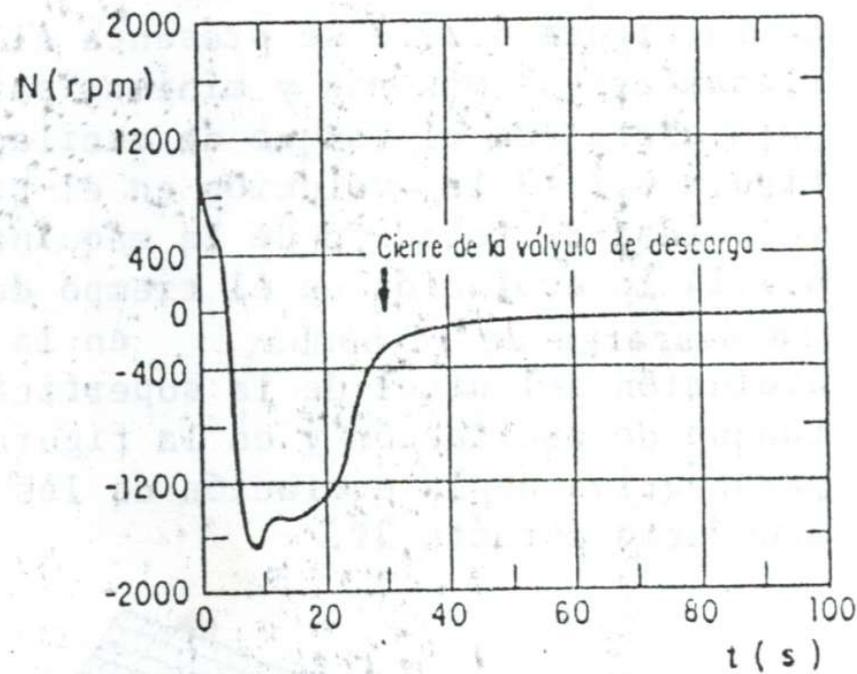
La onda de caída de gasto se conforma a los 10s aproximadamente, debido a la baja inercia de la bomba.

La velocidad de reversa llega a - 870rpm a los 23s.

TANQUE UNIDIRECCIONAL

Ejemplo

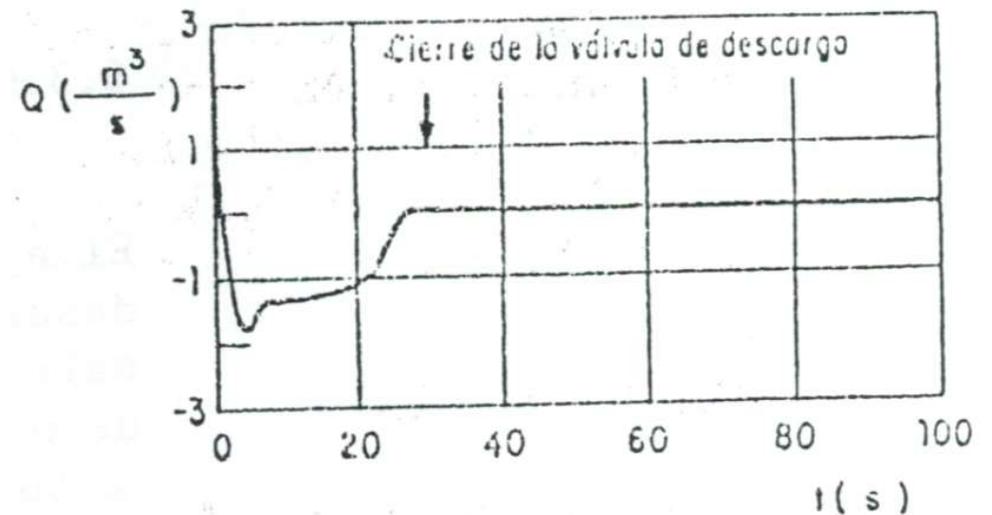
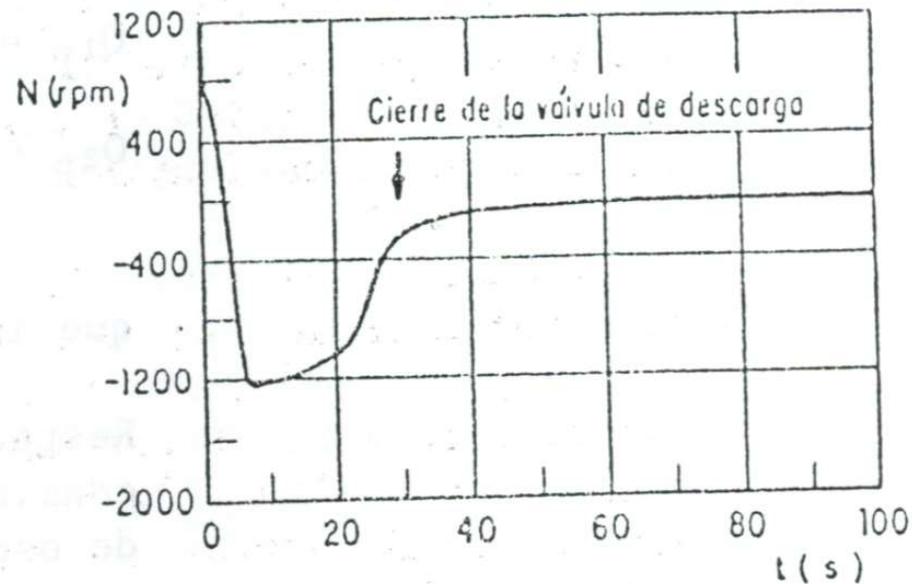
- Evolución de la velocidad de giro y del caudal para el sistema CON TANQUE DE OSCILACIÓN



TANQUE UNIDIRECCIONAL

Ejemplo

- Evolución de la velocidad de giro y del caudal para el sistema CON TANQUE DE UNIDIRECCIONAL

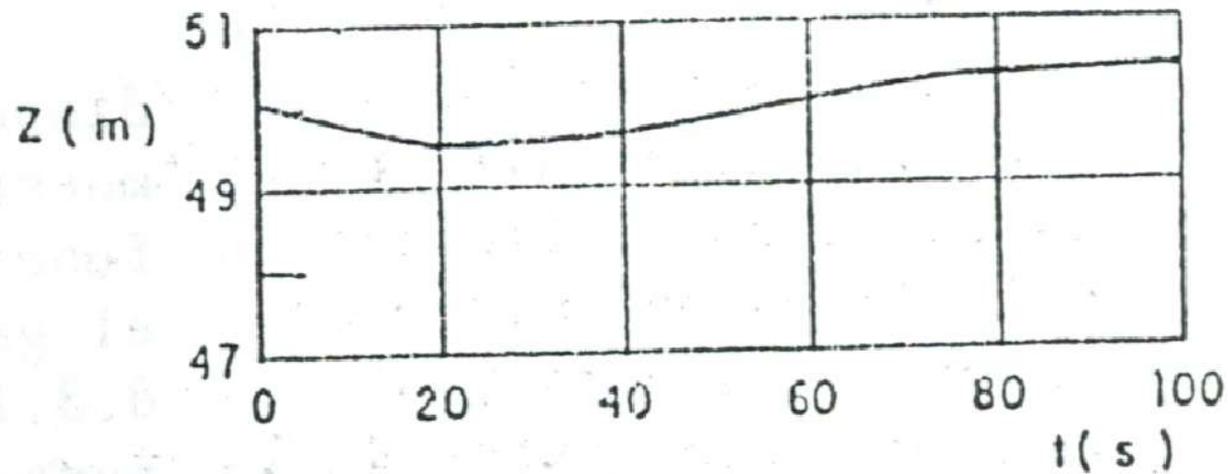


⇒ El tanque unidireccional castiga menos a la máquina que el tanque de oscilación.

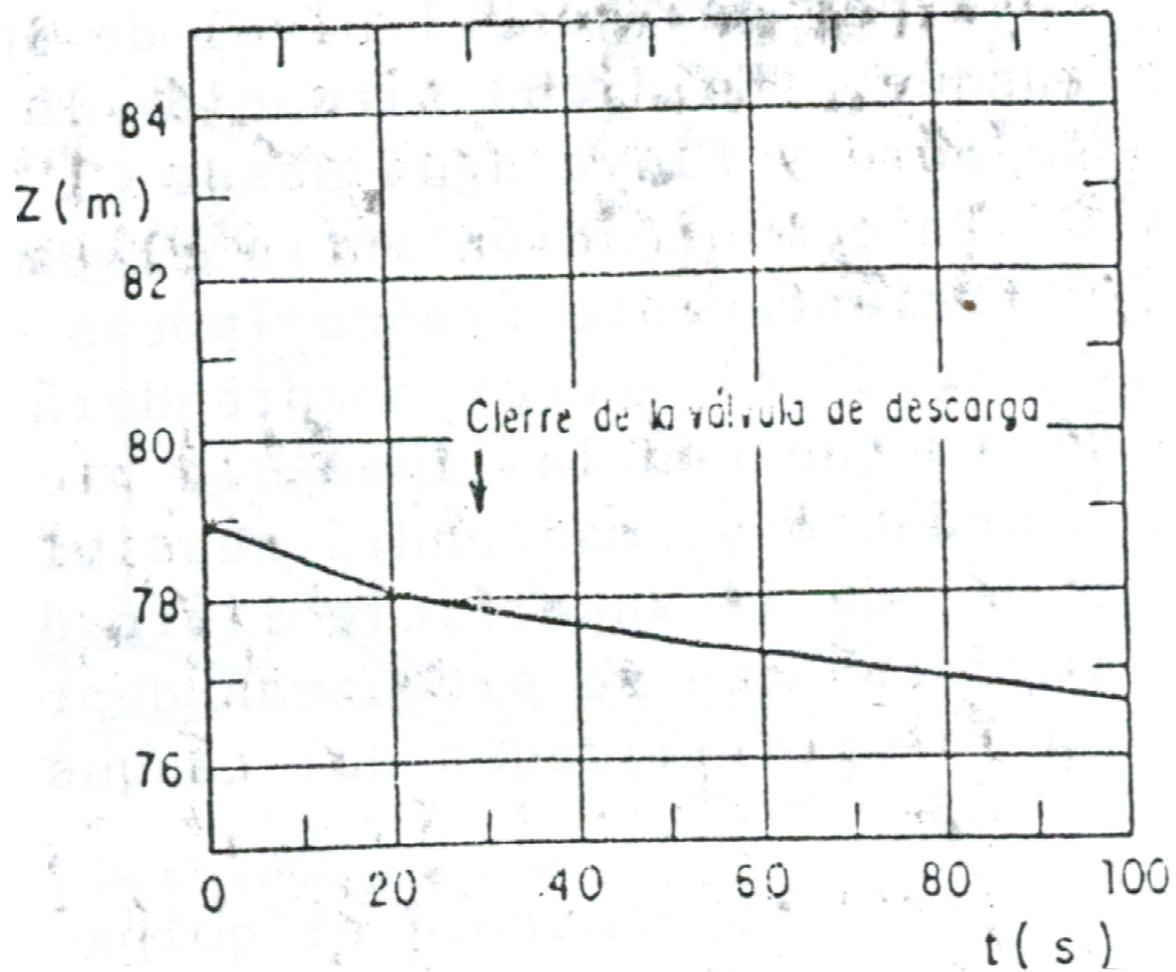
TANQUE UNIDIRECCIONAL

Ejemplo

- Evolución del nivel de la superficie libre en el TANQUE UNIDIRECCIONAL



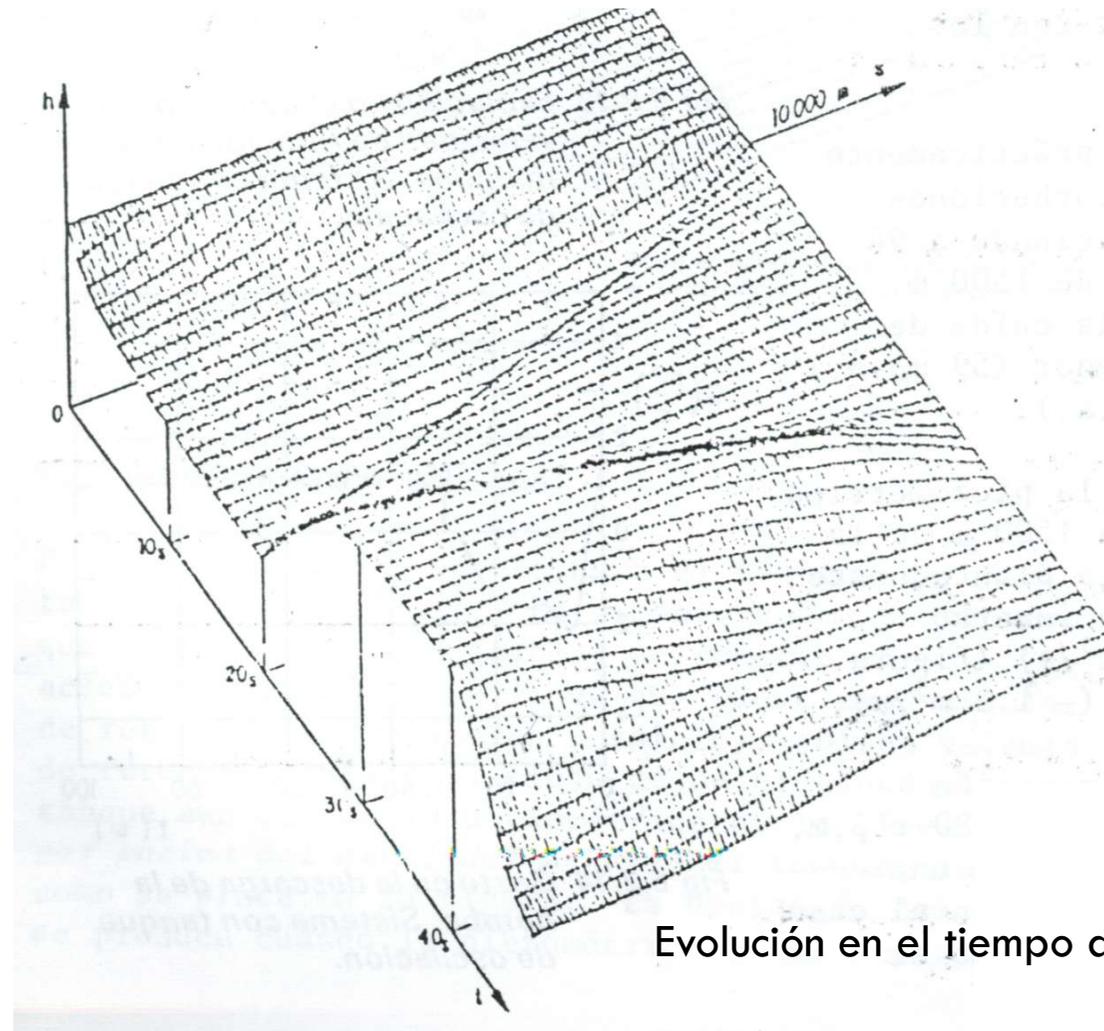
- Evolución en el tiempo del nivel del TANQUE DE OSCILACIÓN



TANQUE UNIDIRECCIONAL

Ejemplo

- Perspectiva de la evolución de la onda en el sistema durante $3T$, SIN PROTECCIÓN

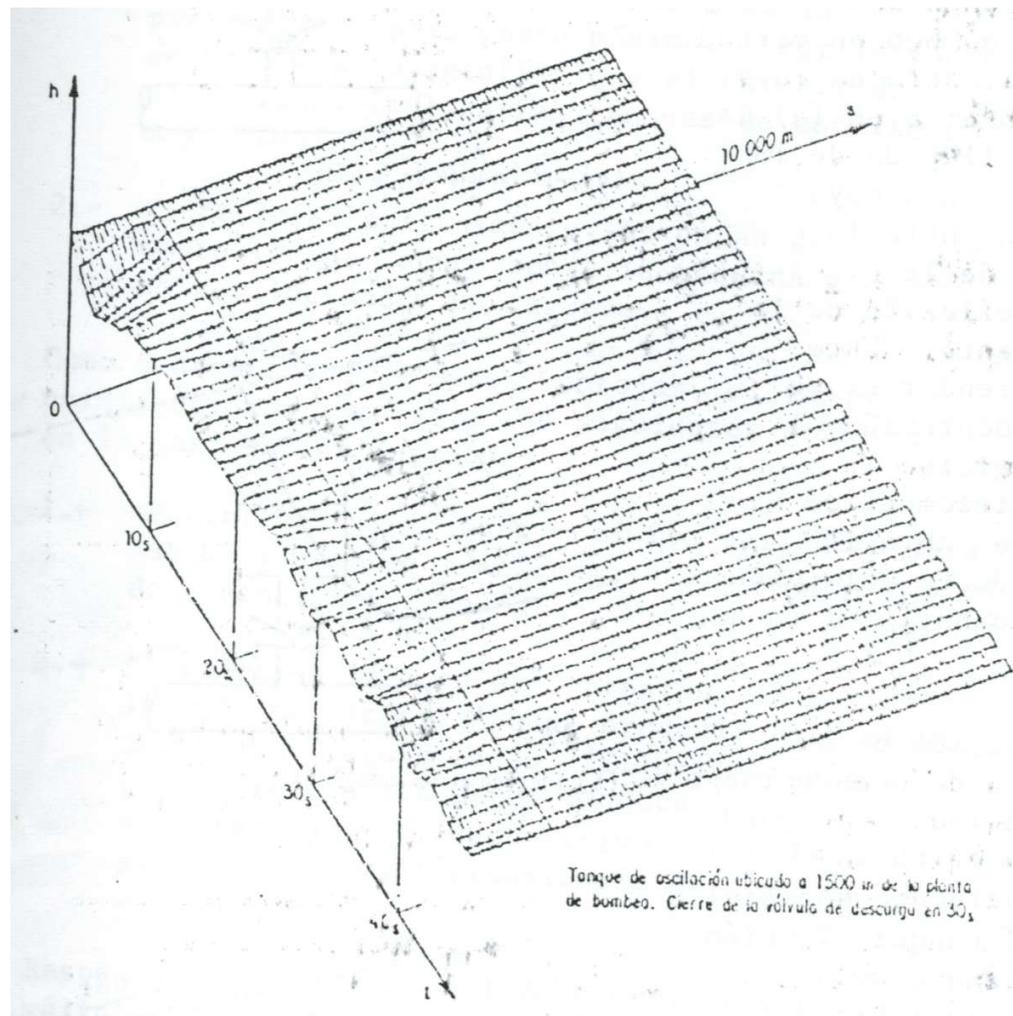


Evolución en el tiempo de la carga

TANQUE UNIDIRECCIONAL

Ejemplo

- Perspectiva de la evolución de la onda en el sistema CON TANQUE DE OSCILACIÓN



TANQUE UNIDIRECCIONAL

Ejemplo

- Perspectiva de la evolución de la onda en el sistema CON TANQUE UNIDIRECCIONAL

