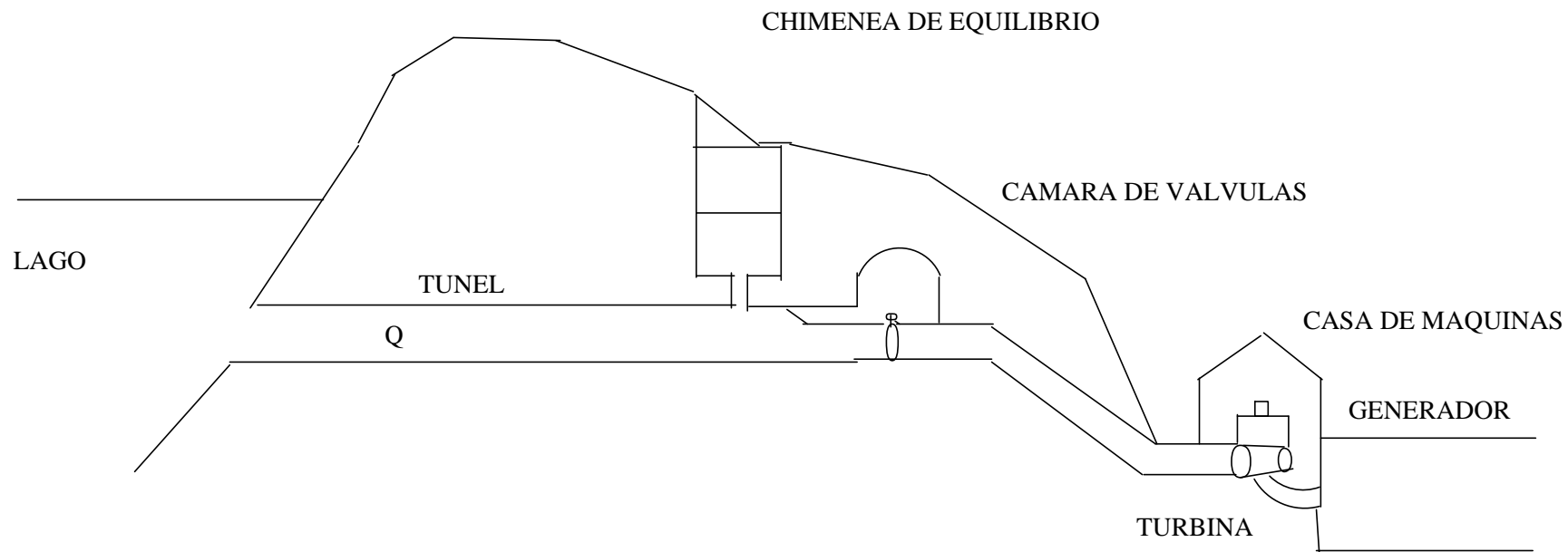
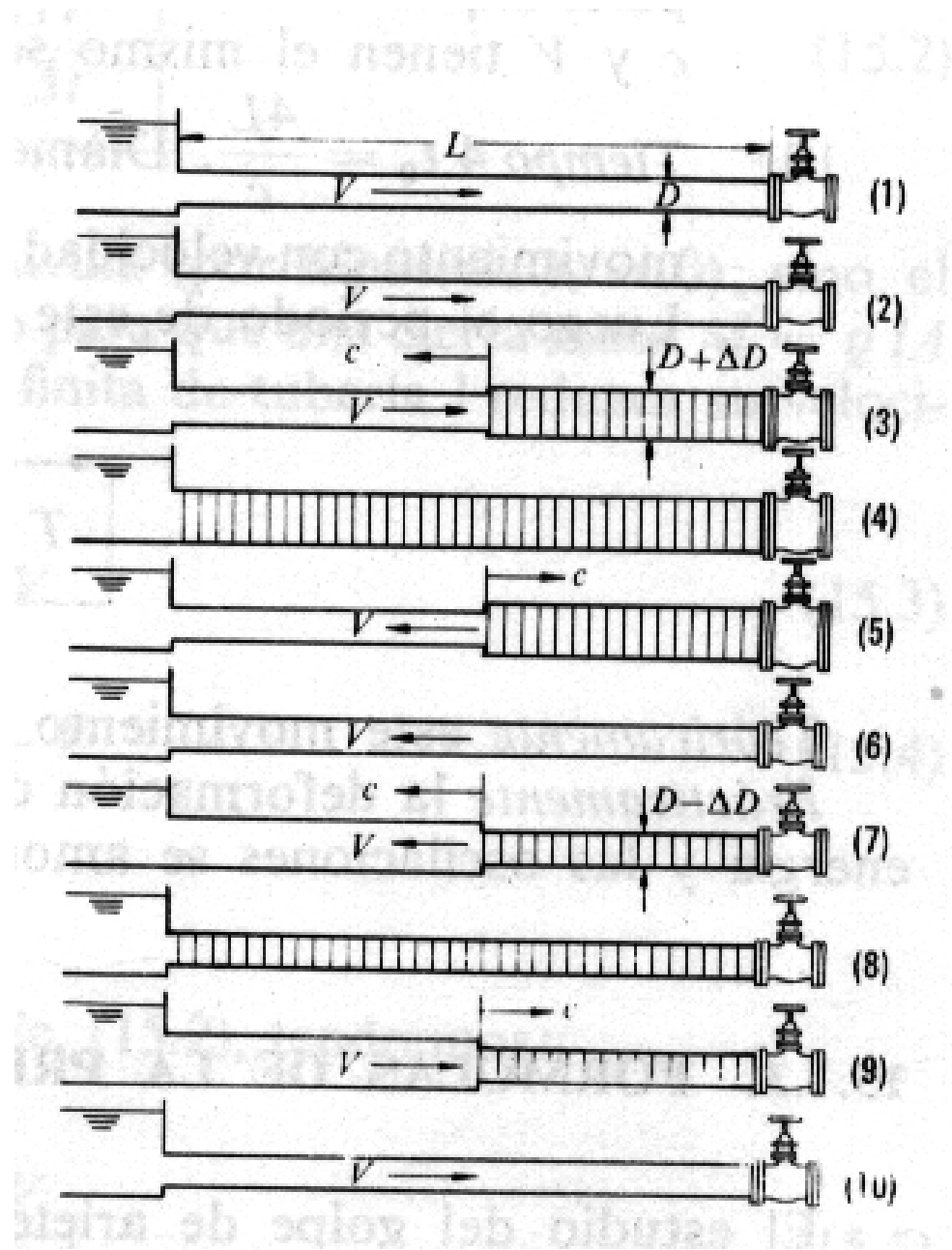


Fig 1. Updated Q-system tunnel and cavern design chart, based on NMT permanent reinforcement principles (Grimstad and Barton, 1993).

		<b>TUNEL DE ADUCCION</b>	
		<b>CENTRAL HIDROELECTRICA POTRERILLOS</b>	
<b>CATEGORIA GEOTECNICA NGI</b>		<b>TIPO DE SOSTENIMIENTO</b>	<b>CANTIDADES DE SOSTENIMIENTO (x 10 ml de túnel)</b>
<b>INDICE "Q"</b>	<b>CATEGORIA SIMPLIFICADA</b>		
> 40	I = Muy buena	* Acuñamiento acucioso.	* sin soporte
10 - 40	II = Buena	* Pernos de acero en el 20 % de la clave, 1 cada 1,5 m entre sí * Pernos de acero eventuales en las cajas.	* 16 - 18 pernos de acero (1).
1 - 10	III = Regular	* Pernos de acero en toda la clave, 1 cada 1,5 m entre sí * Pernos de acero en el 20 % de las cajas, 1 cada 1,5 m entre sí, colocados desde 1,5 m sobre el piso. * Shotcrete reforzado con fibras en toda la clave, espesor = 5 cm. Alternativamente se pueden colocar 7 cm de shotcrete no reforzado y malla soldada tipo Acma.	* 46 - 48 pernos de acero (1). * 4,7 m3 de shotcrete reforzado con fibras. Alternativamente se pueden colocar 6,6 m3 de shotcrete no reforzado y 94 m2 de malla soldada tipo Acma.
0,1 - 1	IV = Mala (4)	* Pernos de acero en toda la sección, 1 cada 1,3 m entre sí, colocados desde 1,0 m sobre el piso. * Shotcrete reforzado con fibras en toda la sección, espesor = 7 cm en la clave, y 5 cm en las cajas. Alternativamente se pueden colocar 8 cm de shotcrete no reforzado y malla soldada tipo Acma, en toda la sección.	* 87 - 89 pernos de acero (1). * 9,58 m3 de shotcrete reforzado con fibras. Alternativamente se pueden colocar 12,3 cm de shotcrete no reforzado y 154 m2 de malla soldada tipo Acma.
< 0,1	V = Muy mala (4)	* Marcos de acero, 1 cada 1 m entre sí * Marchi avanti en el 20 % de la sección * Shotcrete reforzado con fibras en el 50 % de la sección, espesor = 5 cm Alternativamente se pueden colocar 7 cm de shotcrete no reforzado y malla soldada tipo Acma, también en el 50% de la sección.	* 11 marcos de acero (2). * 154 - 156 marchi avanti (3). * 3,9 m3 de shotcrete reforzado con fibras. Alternativamente se pueden colocar 5,4 m3 de shotcrete no reforzado y 77 m2 de malla soldada tipo Acma.
(1) Pernos de acero de longitud = 3 m cada uno y diámetro = 22 mm, lechados o con resina en toda su extensión, con placa de 150x150x8 mm, golilla y tuerca.			
(2) Marcos de acero con sección "doble T" y de 40 kg de fierro por metro lineal de marco.			
(3) Marchi avanti de acero con sección en "U" de 1200x200x10 mm y con punta..			
(4) Se recomienda avanzar con disparo corto, de 1 a 1,5 m de longitud, en el 50 % de la roca con calidad mala (IV) y 100% de la roca muy mala (V).			



# GOLPE DE ARIETE PARA UN CIERRE INSTANTANEO



Si la longitud de la tubería es  $L$ , la velocidad de la onda es  $c$  y  $t_0$  el tiempo que tarda la onda en recorrer la tubería se tendrá:  $t_0 = L/c$

Consideremos los acontecimientos que se desarrollan en la tubería en un lapso de tiempo  $T=4L/c$ .

- 1) No hay perturbación. Régimen permanente. El agua se desplaza por la tubería desde el embalse hasta la válvula con velocidad  $V$ . El diámetro de la tubería es normal igual a  $D$ .
- 2) Tiempo  $0$ . La válvula se cierra instantáneamente. La velocidad se anula a partir de la válvula, no instantáneamente en toda la tubería.
- 3) Tiempo  $t_0/2 = L/2c$ . La onda de presión se propaga hacia el embalse y su frente llega hasta la mitad de la tubería. El agua tiene velocidad  $V$  en la mitad izquierda de la tubería y velocidad cero en la mitad derecha.
- 4) Tiempo  $t_0 = L/c$ . La onda llega al embalse. En toda la tubería el líquido está en reposo, la velocidad es cero, pero no está en equilibrio. Toda la tubería está dilatada. El agua empieza a moverse hacia el embalse.
- 5) Tiempo  $3/2t_0 = 3L/2c$ . La mitad izquierda de la tubería ha recuperado su diámetro normal. La onda se propaga hacia la válvula con velocidad  $c$ .
- 6) Tiempo  $2t_0 = 2L/c$ . Diámetro de toda la tubería normal. Toda el agua se mueve desde la tubería al embalse con velocidad  $V$ . Por la inercia, la tubería se sigue contrayendo.
- 7) Tiempo  $5/2t_0 = 5L/2c$ . La depresión alcanza la mitad de la tubería. La mitad derecha de la tubería contiene agua en reposo y una presión inferior a la normal.
- 8) Tiempo  $3t_0 = 3L/c$ . El agua en toda la tubería está en reposo, pero no en equilibrio y se inicia un movimiento desde el embalse hacia la válvula con velocidad  $V$ . Toda la tubería está deprimida.
- 9) Tiempo  $7/2t_0 = 7L/2c$ . En la mitad izquierda de la tubería el agua está en movimiento hacia la válvula con velocidad  $V$ . El diámetro de la parte izquierda de la tubería es normal, en cambio el lado derecho es inferior al normal. La onda y el agua se mueven en el mismo sentido.
- 10) Tiempo  $4t_0 = 4L/c$ . El diámetro de la tubería es normal. Toda el agua se mueve con velocidad  $V$  hacia la válvula. Todo está igual que en el tiempo  $0$ . Luego el período de este movimiento es:  $T=4t_0=4L/c$

## CALCULO SIMPLIFICADO DEL GOLPE DE ARIETE

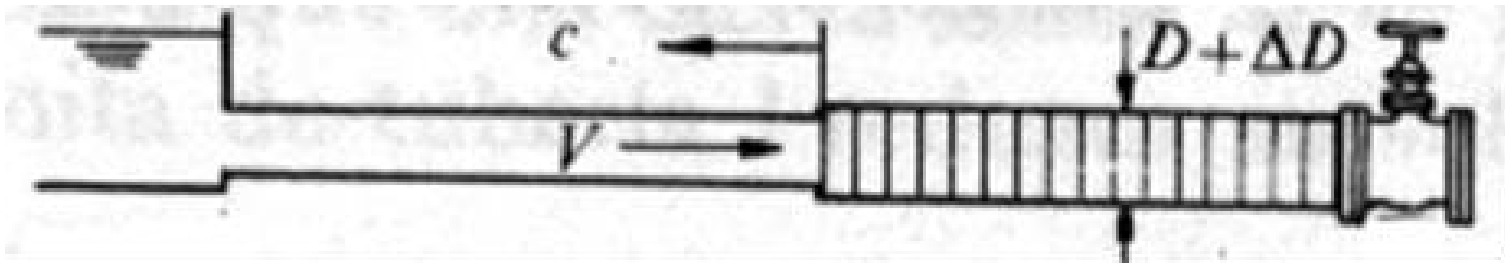
### TIPOS DE CIERRE

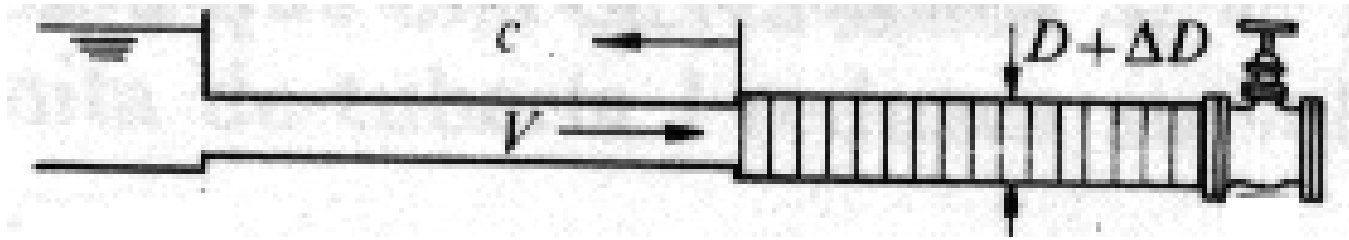
Si  $t_c$  es el tiempo de cierre de la válvula, se distinguen los siguientes tipos de cierre:

Cierre instantáneo:  $t_c = 0$   
Es un caso teórico. Imposible físicamente.

Cierre rápido:  $0 < t_c < 2L/c$  .  
La presión máxima es la misma que en el cierre instantáneo.

Cierre lento:  $t_c > 2L/c$   
La presión máxima es menor





## CALCULO DE LA SOBREPRESION

Sea el caso de la figura.

El fluido se decelera, lo que genera una fuerza de inercia

$$F_i = m \Delta V / \Delta t$$

en que  $\Delta t$  es el tiempo finito para que una masa  $m$  que ocupa una longitud finita  $l$  reduzca su velocidad un cierto valor finito  $\Delta V$ .

$m = \rho l A$ , en que  $A$  es el área de la tubería

En la tubería se generará una sobrepresión

$$\Delta p = F_i / A = \rho l \Delta V / \Delta t$$

Siendo  $l / \Delta t = c$

$$\Delta p = \rho c \Delta V$$

Si el cierre de la válvula es total:

$$\Delta V = V$$

Si el cierre de la válvula es parcial:

$$\Delta V = V - V'$$

( $V'$  velocidad final del agua)

Reemplazando los valores de  $\Delta V$  se tendrá:

Formulas de Joukowski Cierre total:

$$\Delta p = \rho c V$$

Cierre parcial:

$$\Delta p = \rho c (V - V')$$

## Para la celeridad de la onda

$$c = \frac{\sqrt{\frac{E_o}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{E_o D}{E \delta}}}$$

cierre lento

$$\Delta p = \frac{\rho l V}{t_c}$$

$$\frac{\rho}{g} = \frac{l V}{g t_c c}$$

<b>c</b>	<b>velocidad de la onda</b>
<b>E<sub>o</sub></b>	<b>módulo de elasticidad volumétrico del agua</b>
<b>E</b>	<b>módulo de elasticidad del acero</b>
	<b>densidad del agua</b>
<b>D</b>	<b>diámetro de la tubería</b>
<b>δ</b>	<b>espesor de la tubería</b>



## PÉRDIDAS DE CARGA SINGULARES EN TUBERÍAS

Valores aproximados de K

$$= K V^2/2g$$

Pieza y pérdida	K
Ampliación gradual	0,30*
Boquillas	2,75
Compuerta, abierta	1,00
Controlador de caudal	2,50
Codo de 90°	0,90
Codo de 45°	0,40
Rejilla	0,75
Curva de 90°	0,40
Curva de 45°	0,20
Curva de 22°30'	0,10
Entrada normal en tubo	0,50
Entrada de borda	1,00
Existencia de pequeña derivación	0,03
Confluencia	0,40
Medidor Venturi	2,50**
Reduccion gradual	0,15*
Válvula de ángulo, abierto	5,00
Válvula compuerta, abierto	0,20
Válvula tipo globo, abierto	1,00
Salida de tubo	1,00
T, pasaje directo	0,60
T, salida de lado	1,30
Válvula de pie	1,75
Válvula de retención	2,50

\*Con base en la velocidad mayor (sección menor) \*\*Relativa a la velocidad en la tubería

	CENTRAL ABANICO	CENTRAL EL TORO	CENTRAL ANTUCO
AÑO PUESTA EN SERVICIO	1948	1973	1981
POTENCIA INSTALADA MW	135	400	300
ENERGIA MEDIA ANUAL millones de kWh	347	1660	1800
CAUDAL MAXIMO m <sup>3</sup> /s	112	97	190
CAUDAL MEDIO m <sup>3</sup> /s	34,6	39,6	120
CAIDA BRUTA m	147	609	207
TURBINAS	6 FRANCIS	4 PELTON	2 FRANCIS
ADUCCION	CANAL 7.100 m	TUNEL 9.087 m	TUNELES 18.660 m CANALES 3.622 m
TUBERIAS m	6 372 c/u	2 1.446 c/u	2 500 c/u

**CHIMENEAS DE EQUILIBRIO**

**ORIFICIO RESTRINGIDO**

**JHONSON**

**CON CAMARAS DE EXPANSION**