

CLASE AUXILIAR N°4

Universidad de Chile
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL



CI-61B

PROYECTO DE AGUA POTABLE

**DISEÑO DE CONDUCCIONES GRAVITACIONALES Y
FORZADAS. ARRASTRE DE AIRE Y GOLPE DE ARIETE**



Credits:

Paolo Zúñiga C.

02-2393235 pzuniga@ifarfe.cl



TIPOS DE TUBERÍAS

- **Metálicas**

Fierro Fundido (poco uso, muy frágil, no se oxida, no es soldable, no se corroe, se incrusta, se usa en alcantarillado) VU 80 años.

Acero (se oxida, se protege con mortero, pintura epóxica, bitúmenes) VU 25 años enterradas a 1.5 m sino usar machón.

Hierro Ductil (He Fundido+Acero, no se puede soldar, mas resistente que el fundido) VU 100 años

Cobre (para uniones domiciliarias, se corroe, no se incrusta, uniones soldadas con estaño, para pequeños diámetros) VU 50 años

Tubos corrugados

- **No Metálicas**

Hormigón

Plásticas (PVC, HDPE)

Fibra de vidrio

Ductos canales

Albañilería de ladrillo o piedra

Credits:

Paolo Zúñiga C.

02-2393235 pzuniga@ifarfe.cl



DETERMINACIÓN DEL DIÁMETRO ECONÓMICO

$$\text{Costos Totales} = \text{Inversión} + \text{Costo de Operación}$$

$$\text{Inversión} = (\text{Cañería} + \text{equipos})_0 + (\text{equipos})_{10} + (\text{equipos})_{20}$$

$$\text{Costo de Operación} = C_{\text{mantención}} + C_{\text{personal}} + C_{\text{energía}}$$

CRITERIOS HIDRÁULICOS Y ECONÓMICOS



$$H_{\text{elev}} = H_g + JL + \sum \Lambda_s \quad (\text{Camin a Camax en estanques})$$

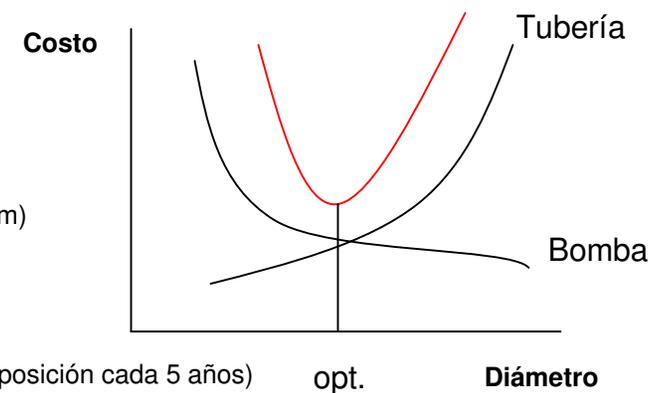
$$J = \frac{10.67 \cdot Q^{1.85}}{C^{1.85} \cdot D^{4.87}} \quad (Q \text{ m}^3/\text{s}, D \text{ m})$$

$$Pot = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{\eta} \quad (\eta \text{ eficiencia})$$

$$E = 0.004 \cdot M \cdot H \quad (M \text{ m}^3/\text{año}, E \text{ en HP}, H \text{ m})$$

Actualizaciones, a tasa i (7%)

$$P = \frac{CI}{(1+i)^n} \quad P = CE \cdot \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i \cdot (1+i)^n} \right] \quad (\text{Reposición cada 5 años})$$



Credits:

Paolo Zúñiga C.

02-2393235 pzuniga@ifarfe.cl



CONDUCCIONES

COSTOS DE INVERSIÓN

- Equipos

Cálculo de Potencia para D=0.8 m						
Año	Q [m3/s]	H elev [m]	Pot [HP]	Costo HP instalado	Costo Pot [\$]	Costo Año cero [\$]
2012	0.58	16.50	165.86	160000.00	26538255.07	26538255.07
2022	0.66	16.65	192.15	232323.70	44641234.81	20677529.26
2032	0.75	16.82	221.08	337339.39	74579978.19	16001000.63

se paga en año
se paga en año
se paga en año

- Tuberías

$$V = \frac{\pi}{4} [(D + e)^2 - (D)^2] * L$$

$$P = V * \gamma$$

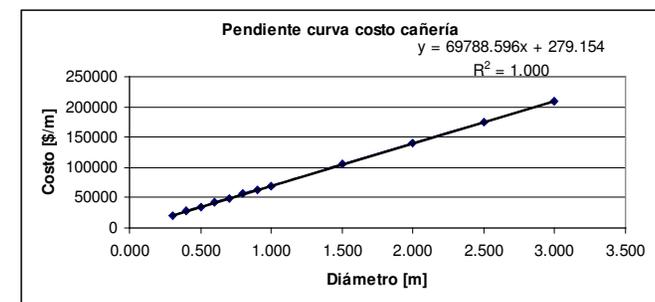
L: corresponde a la longitud de la tubería [m]
D: diámetro en [m]
E: espesor [m]
P: Peso Tubería (t)
V: Volumen tubería (m3)
j: Densidad de acero igual a 7.8 [T/m3]

$$e = \frac{P \cdot D}{2\sigma} \quad (\text{o bien } D/100)$$

Forma Alternativa en Impulsiones

$$D_e = 2,496 \cdot C^{-0,291} \cdot Q^{0,448} \cdot \left(\frac{T \cdot E}{\eta \cdot b \cdot r} \right)^{0,157}$$

D_e = diámetro económico
C = Constante de Hazen-Williams
Q = Caudal de extracción en m³/s
T = Horas de bombeo al año
E = Costo en \$/Kwh.
 η = Eficiencia de la bomba en %
b = Costo de 1 m de tubería por 1 metro de diámetro
r = Tasa de descuento anual



Credits:

Paolo Zúñiga C.

02-2393235 pzuniga@ifarfe.cl

CONDUCCIONES



COSTOS DE OPERACIÓN

- Energía

Año	M [m3/año]	H elev [m]	E [KWhr]	Costo E [US\$]	Costo E [\$]	Costo Año cero [\$]
2012	14986343.42	16.50	989099.70	49454.98	35211949.28	236275045.87
2022	17209374.25	16.65	1145856.78	57292.84	40792501.41	145680608.04
2032	19594361.28	16.82	1318393.43	65919.67	46934806.25	77638812.26
Costo Total						459594466.2

- Mantención (3 % Inversión)
- Personal



Credits:

Paolo Zúñiga C.

02-2393235 pzuniga@ifarfe.cl

AIRE EN LAS TUBERÍAS



Si no se consideran los dispositivos adecuados de evacuación de aire, este ocupará los puntos altos de la conducción reduciendo la sección de escurrimiento del agua, lo cual implica un aumento de la pérdida de carga y una disminución del gasto. Incluso se pueden formar verdaderos bolsones de aire que impidan el escurrimiento de gasto. El aire acumulado en la parte alta se comprimirá por efecto de la presión del agua y si es expulsado bruscamente, podrá producir sobrepresiones, que origine la rotura de los tuberías.

Luego, si los puntos altos no son ventilados en forma permanente se deberá esperar:

- Una disminución del gasto.
- Un aumento de las pérdidas de carga.
- Una sobrepresión producida por golpes de ariete y una posible rotura de tuberías.

Por estos motivos, se recomienda evitar estos inconvenientes colocando dispositivos (ventosas) que permitan la eliminación automática del aire que pueda introducirse accidentalmente, así como el que tiene el agua en disolución, cantidad que en muchos casos (no necesariamente en la aducciones que se analizan) puede ser superior al 2% del volumen.

UBICACIÓN



Credits:

Paolo Zúñiga C.

02-2393235 pzuniga@ifarfe.cl



AIRE EN LAS TUBERÍAS

- A cada punto alto geométrico para purgar correctamente la conducción y reducir la pérdida de carga.
- regularmente a lo largo de la conducción , a los 500 mts. mínimo, para evitar los golpes de ariete cosecuencia de los despazamientos incontrolables de bolsas de aire en presión.
- en cada cambio brusco de la pendiente decendiente para evitar el fenómeno de punto alto hidráulico. Debido al cambio de pendiente se producen presiones mayores que actúan como puntos altos geométricos que pueden inmovilizar un bolsa de aire.
- en cada punto alto principal para permitir un llenado rápido de las conducciones.
- regularmente a lo largo de la conducción como mínimo cada 1 kilómetro, para evitar el aprisionamiento de bolsas de aire en el proceso de llenado.
- antes o después de cada aparato de regulación, siguiendo la pendiente del terreno, para evitar que entre en depresión la canalización luego del cierre o apertura del equipo.
- luego de un sistema de bombeo, cuando el valor del golpe de ariete sobrepase la presión estática a la salida de la bomba. Para evitar que se propague la depresión causada por la parada de la bomba y disminuir el consiguiente golpe de ariete.

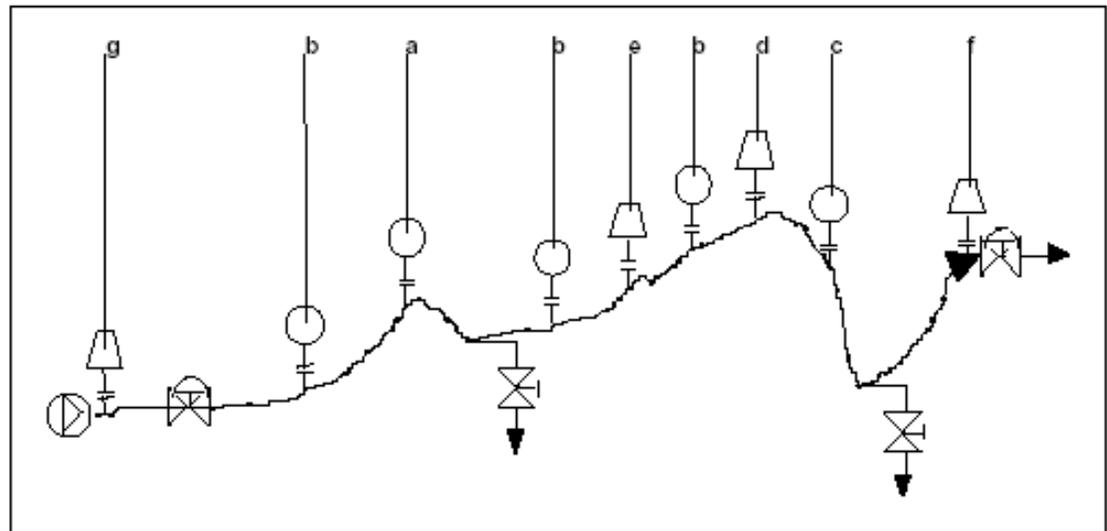


Diagrama criterios de instalación ventosas.

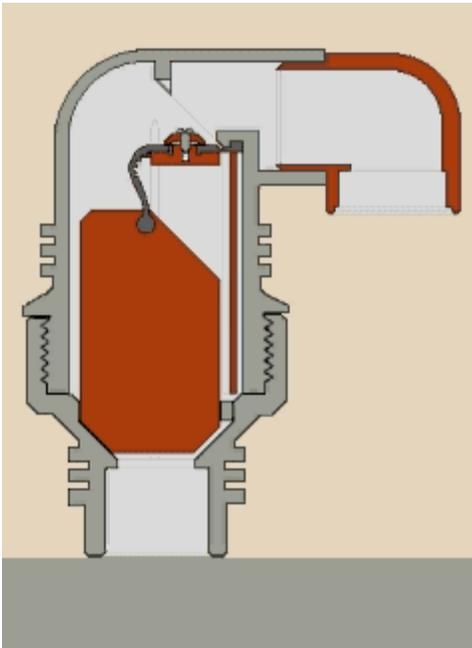
Credits:

Paolo Zúñiga C.

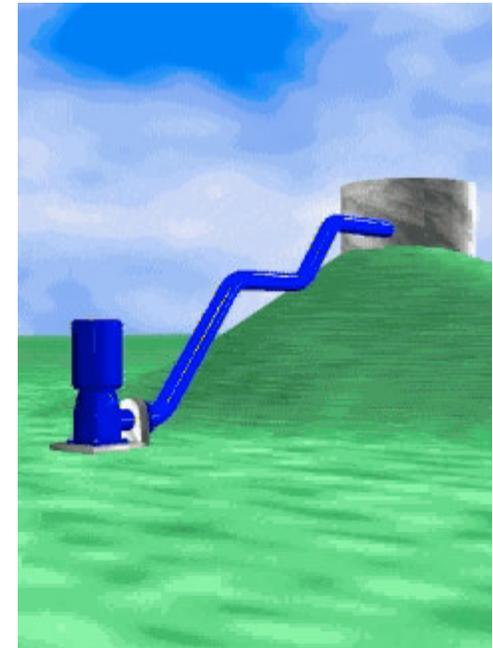
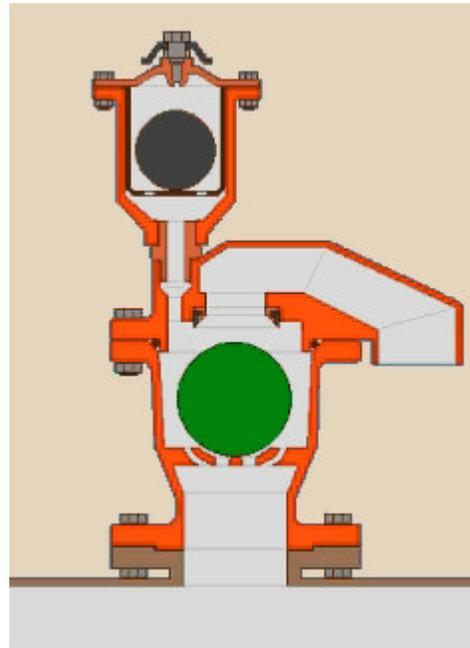
02-2393235 pzuniga@ifarle.cl



AIRE EN LAS TUBERÍAS



VIDEOS DEMOSTRATIVOS



Credits:

Paolo Zúñiga C.

02-2393235 pzuniga@ifarfe.cl



GOLPE DE ARIETE

Al efecto de propagación de ondas de presión en la tubería se denomina “golpe de ariete”. En las impulsiones si una bomba se detiene, la columna de agua en la cañería tiende a seguir moviéndose hacia delante, de modo que produce una presión negativa al lado de la bomba. La onda se propaga hasta el extremo de la impulsión, se refleja y oscila produciendo sobrepresiones y depresiones a lo largo de la cañería. El dispositivo más usado para solucionar este problema es el diseño de un estanque con aire.

Este se hará utilizando las fórmulas desarrolladas en “Waterhammer Analysis” Nueva York 1963 por el Ing. John Panmakian. El método se basa en considerar el fenómeno de compresión y expansión del volumen de aire como término medio entre un proceso adiabático y uno isotérmico. Luego, el golpe de ariete en una impulsión depende de los siguientes parámetros:

Volumen Estanque Antigolpe de ariete = $V_o * H / H_{min}$

H_{min} = la mínima presión adyacente a la bomba

$2e = a * V_o / 2gH_o$

$T = 2 * V_o * a / QL$

a = Velocidad de propagación de la onda.

v_o = Velocidad de escurrimiento

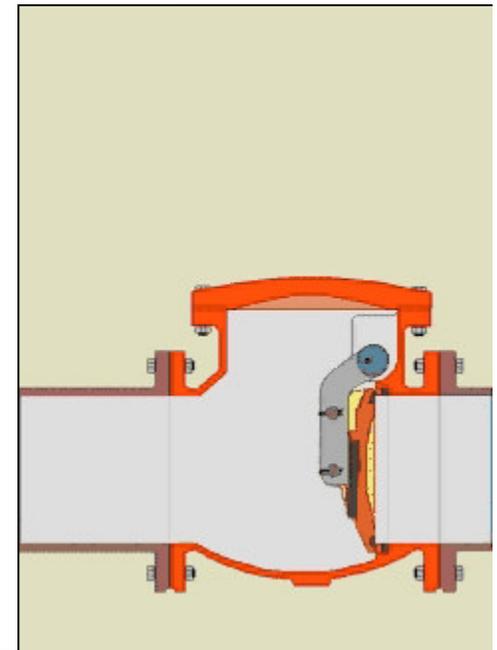
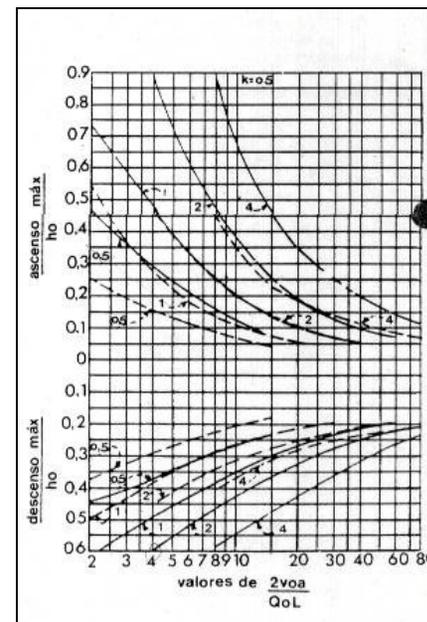
G = aceleración de gravedad

H_o = Presión absoluta de bombeo

V_o = Volumen de aire en estanque

Q = Caudal

L = Longitud de la impulsión



Credits:

Paolo Zúñiga C.

02-2393235 pzuniga@ifarfe.cl

GOLPE DE ARIETE



EJEMPLO

Características de la impulsión

1	Caudal	45	l/s
2	H	28.22	mm
3	D Tubería	200	mm

Condiciones de escurrimiento

1	Sección Impulsión		0.03	m ²
2	Velocidad de escurrimiento		1.43	m/s
3	Perdida de Carga Tubería	L	566	m
		JL	7.98	m
4	Presión Manométrica (H+perdidas)		36.20	m
5	Velocidad de Propagación de la onda		1.04	m/s
6	Valores Parámetros Parmakian			
		2e	3.27	
		T	40	
7	Volumen de aire en estanque amortiguador golpe de ariete		0.49	m ³
8	Volumen estanque amortiguador golpe de ariete		0.70	m ³
			700	lt

Credits:

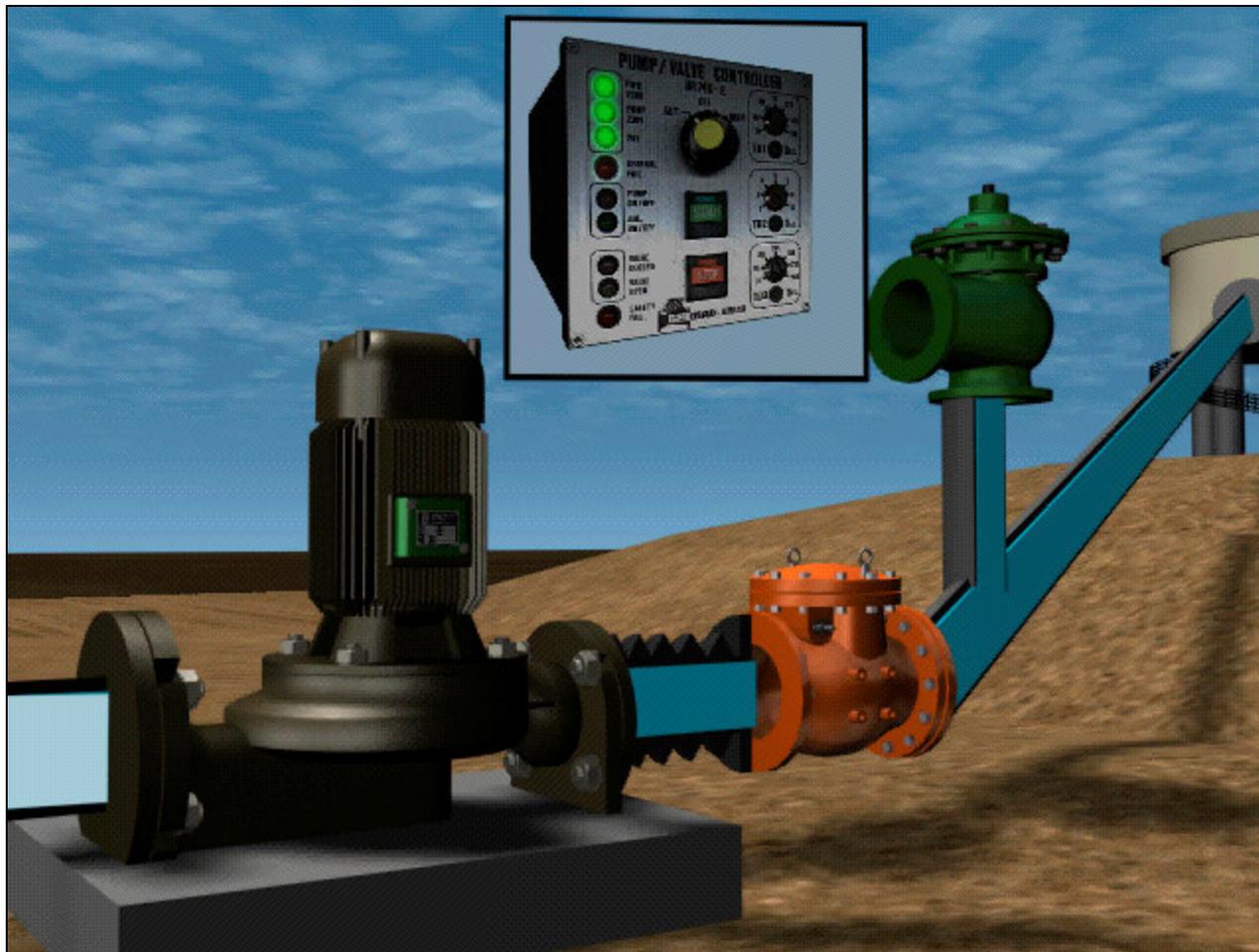
Paolo Zúñiga C.

02-2393235 pzuniga@ifarle.cl



GOLPE DE ARIETE

VIDEO
EJEMPLO



Credits:

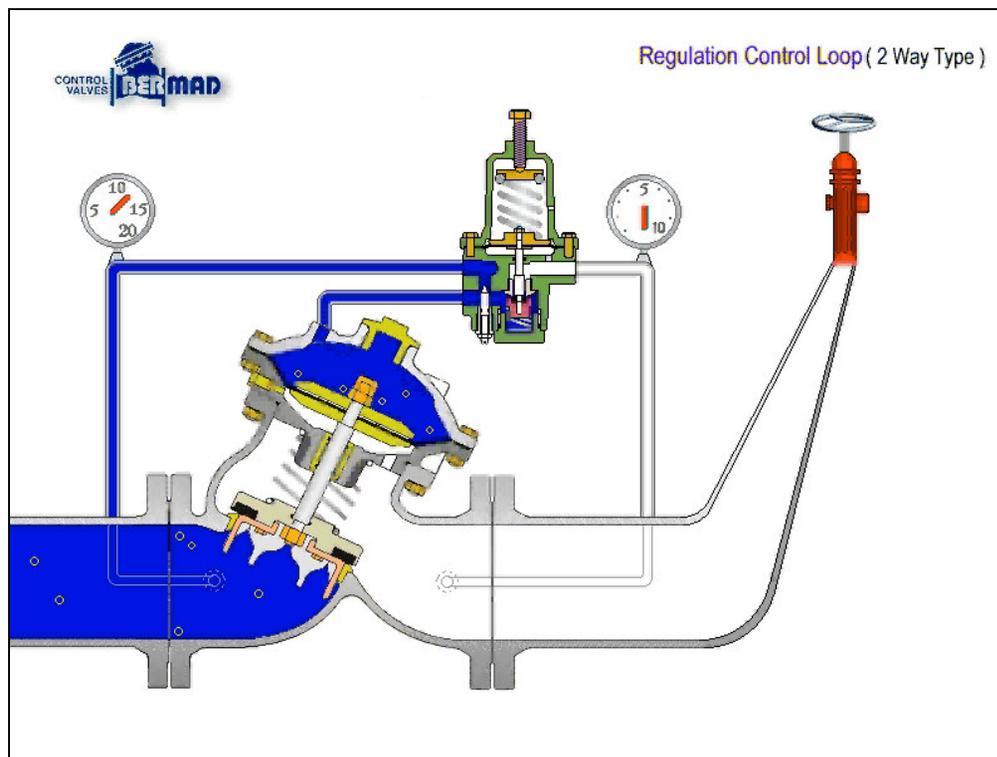
Paolo Zúñiga C.

02-2393235 pzuniga@ifarfe.cl



VÁLVULAS EN EL SISTEMA

VÁLVULAS REDUCTORAS DE PRESIÓN



VÁLVULAS COMPUERTA



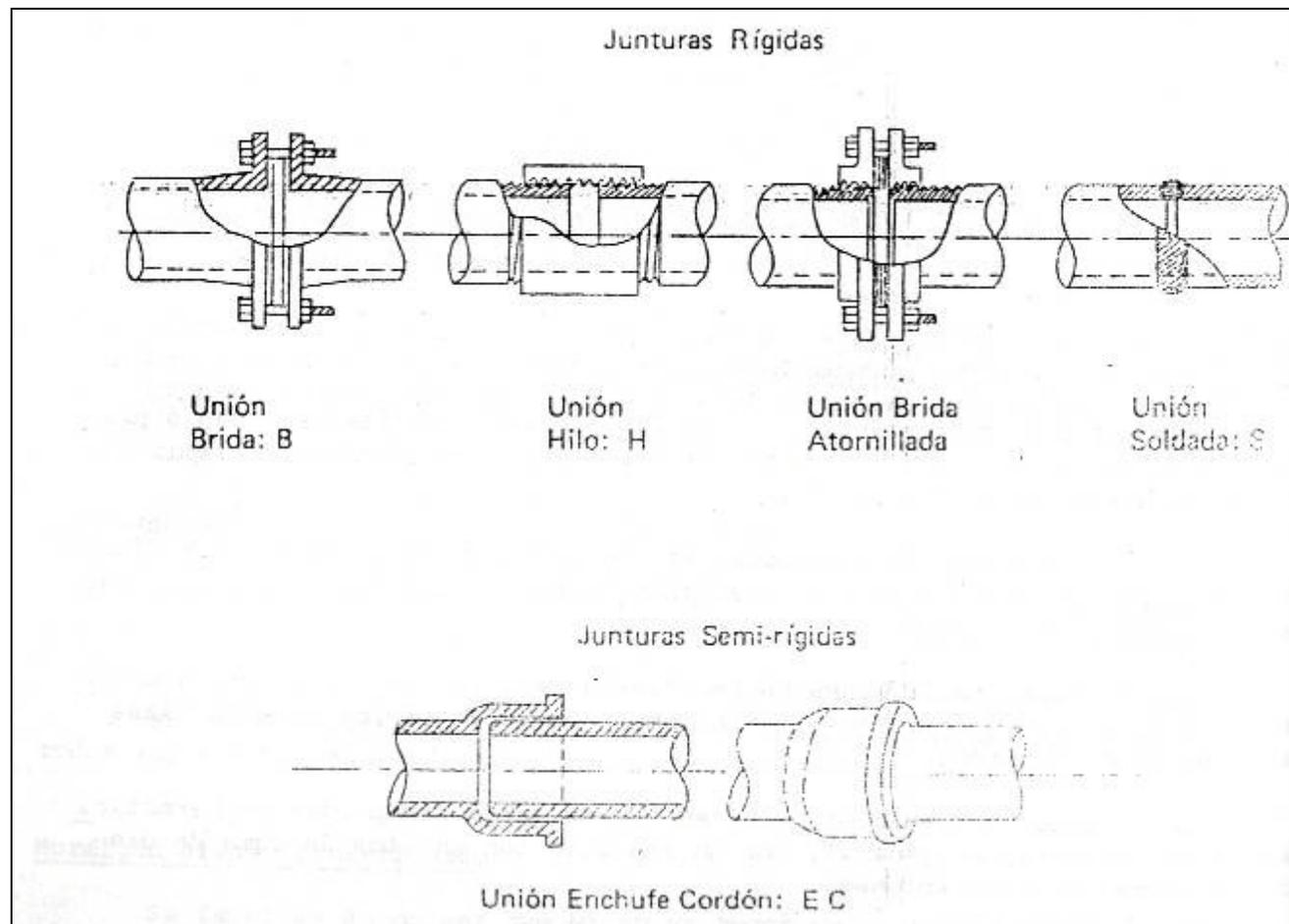
VÁLVULAS MARIPOSA

Credits:

Paolo Zúñiga C.

02-2393235 pzuniga@ifarfe.cl

JUNTURAS

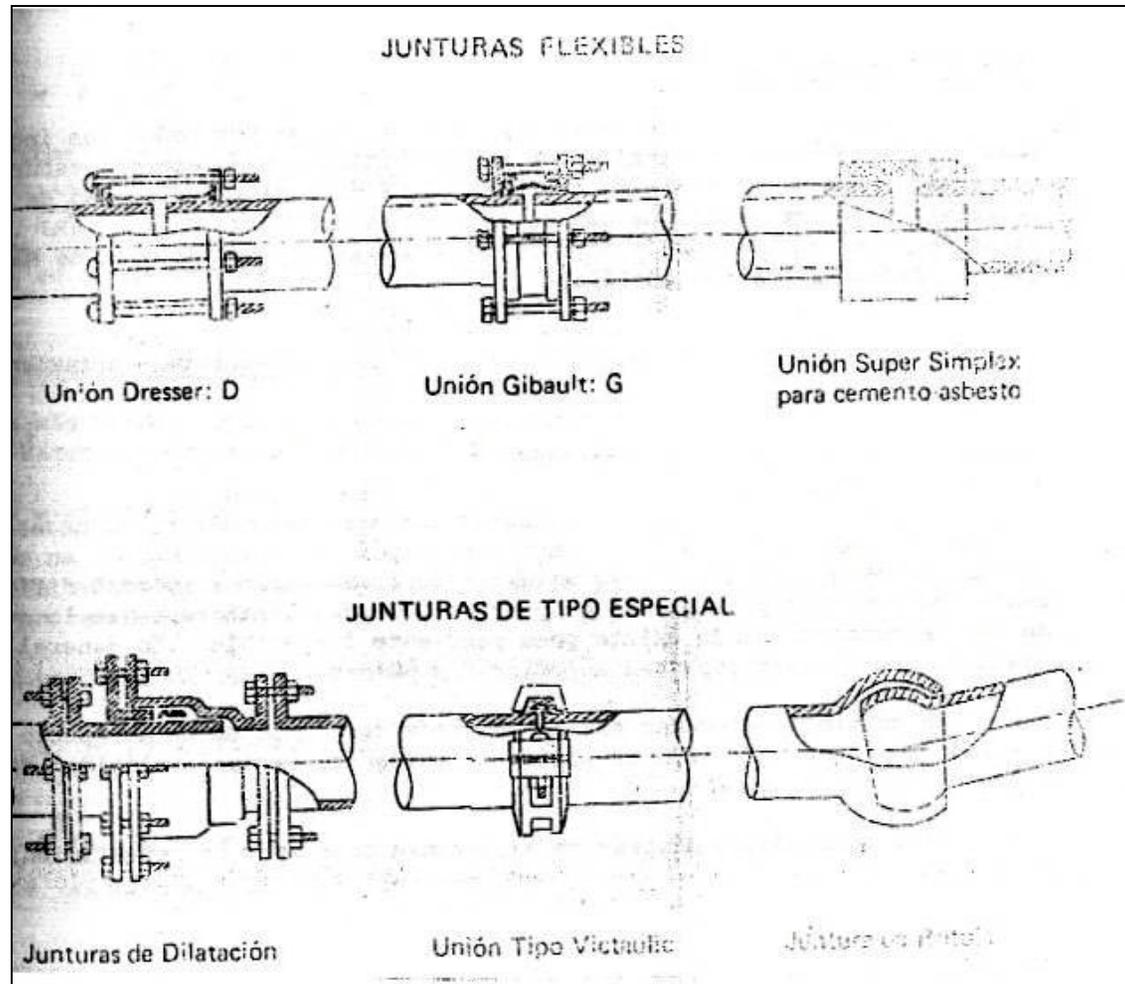


Credits:

Paolo Zúñiga C.

02-2393235 pzuniga@ifarfe.cl

JUNTURAS



Credits:

Paolo Zúñiga C.

02-2393235 pzuniga@ifarfe.cl