



ESTACIONES DE BOMBEO Y LÍNEAS DE PRESIÓN

UNIVERSIDAD DEL AZUAY
MAESTRÍA EN HIDROSANITARIA

MARCELO BARROS VANEGAS

TABLA DE CONTENIDO GENERAL

Maestría en
Hidrosanitaria

1. Repaso de mecánica de fluidos

- Hipótesis de medio continuo
- Hipótesis de Stokes y magnitudes características
- Clasificación de flujos y números característicos
- Energía potencial, elástica y cinemática

2. Flujos transitorios

- Tipos de flujos transitorios
- Ciclo de un transitorio y amplitud característica del sistema
- Velocidad de propagación de la onda y Pulso de Joukowsky
- Tipos de fallas asociadas a transitorios rápidos
- Ecuaciones de gobierno y suposiciones de trabajo

3. Estaciones de bombeo

- Tipos de estaciones de bombeo y bombas centrífugas
- Dimensionamiento potencia de bombas centrífugas
- Dimensionamiento de tuberías de succión e impulsión

4. Línea de presión

- Dimensionamiento de líneas de conducción a gravedad
 - Dimensionamiento de líneas de impulsión
 - Dimensionamiento y ubicación de válvulas de control
 - Dimensionamiento y ubicación de válvulas de aire
- Llenado y vaciado de líneas de presión

5. Transitorios rápidos en líneas de presión

- Transitorios rápidos en líneas de conducción por gravedad
- Transitorios rápidos en líneas de impulsión
- Cavitación en líneas de presión

6. Mecanismos de protección para transitorios rápidos

- Dimensionamiento de la sobrepresión y subpresión
- Torre de oscilación
- Hidroneumáticos
- Tanque unidireccional – bidireccional
- Válvulas de no retorno
- Válvulas de admisión y expulsión de aire
- Válvulas de alivio y anticipadoras del golpe de ariete

7. Sujeciones de accesorios de línea de presión

- Anclajes horizontales
- Anclajes verticales
- Anclajes en cámaras de válvulas y estaciones de bombeo

FORMA DE CALIFICACION

Maestría en
Hidrosanitaria

- 1.(2) evaluaciones orales → 10% (total 20%)**
- 2.(2) taller práctico → 15%(total 30%)**
- 3.(1) proyecto de clase → 50 %**

HIPÓTESIS DE MEDIO CONTINUO

1. Definición intuitiva

Un fluido cuyos campos escalares y vectoriales son funciones continuas en el tiempo y el espacio, ignorando su estructura molecular y las discontinuidades asociadas.

En este sentido, una partícula fluida es una porción muy pequeña de fluido cuyo tamaño es lo suficientemente pequeño frente a la distancia característica de variación de las magnitudes fluidas (velocidad, densidad, temperatura, etc.) y lo suficientemente grande como para contener un número muy elevado de moléculas ($\sim 10^5$ veces el tamaño atómico de 0.32 nm nanómetros).

Campos escalares o vectoriales

$$\rho = \rho(x, t)$$

$$v = v(x, t)$$

.

.

$$\psi = \psi(x, t)$$

2. Definición formal

El número de Knudsen (Kn) es un número adimensional definido como la proporción entre la longitud camino libre promedio molecular y una longitud característica.

$$Kn = \frac{\lambda}{L}$$

Camino libre promedio (λ) :

Distancia promedio entre dos colisiones sucesivas entre partículas

$$\lambda = 0.225 \frac{m}{\rho d^2}$$

m: Masa de una molécula de fluido (kg) (agua $\rightarrow 0.018$)

ρ : Densidad del fluido ($\frac{kg}{m^3}$) (agua $\rightarrow 1000$)

d: Diámetro de la molécula (m) (agua $\rightarrow 2.7e^{-10}$ o 0.27 nm)

Longitud característica (L) :

Dimensión que define la escala de un sistema físico

Condición para medio continuo:

$$Kn \ll 0$$

HIPOTESIS DE STOKES Y MAGNITUDES CARACTERÍSTICAS

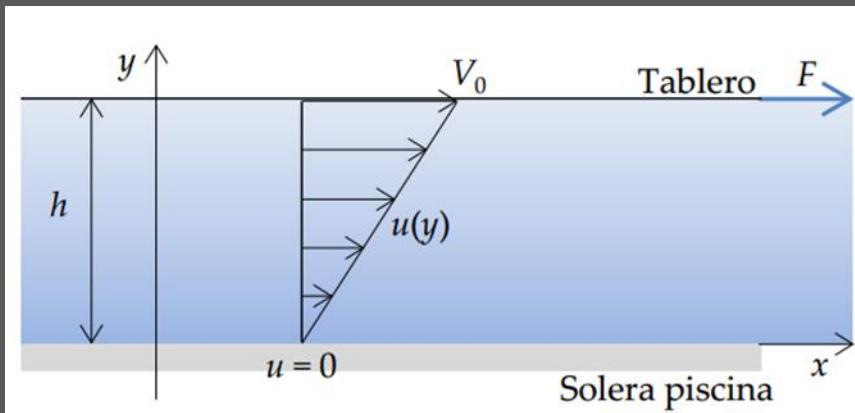
1. Definición intuitiva

Un fluido es un medio continuo con magnitudes características (viscosidad y modulo de elasticidad) uniformes y fácilmente deformable, que no puede soportar ningún esfuerzo cortante por pequeño que sea.

2. Esfuerzo cortante

La hipótesis de Stokes caracteriza el esfuerzo cortante aplicado sobre la lámina superior del agua es proporcional al gradiente lineal de velocidades generado. Además, que la viscosidad es el coeficiente de proporcionalidad

Flujo entre dos placas paralelas y horizontales en el que no existe un gradiente de presiones



La ecuación (1.1) detalla la relación lineal del esfuerzo cortante τ (cociente entre la fuerza F con que se tira de la cuerda y la superficie S del tablero), su velocidad V_0 , la viscosidad del agua μ y la profundidad del agua en la piscina h .

$$\text{Ec. 1.1} \quad \tau = \mu \frac{\delta V}{\delta y}$$

Se supone flujo laminar

3. Viscosidad dinámica

Es la propiedad de un fluido que relaciona esfuerzo y deformación.

Viscosidad dinámica

Resistencia a la deformación de un fluido que sometido a un esfuerzo cortante de 1 N/m^2 responde con un gradiente de velocidades de 1 m/s por metro

$$\text{Ec. 1.2} \quad [\mu] = \frac{[\tau]}{\left[\frac{V_0}{h} \right]} = \frac{MLT^{-2}}{LT^{-1}L^{-1}} = ML^{-1}T^{-1}$$

Poiseuille: $\text{Kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$

HIPOTESIS DE STOKES Y MAGNITUDES CARACTERÍSTICAS

1. Viscosidad cinemática

Cociente entre la viscosidad dinámica μ y la densidad ρ de un fluido se le llama viscosidad cinemática ($\nu = \frac{\mu}{\rho}$).

Entre sus dimensiones no figura la magnitud característica de la dinámica, la masa. Sólo incluye las dos específicas de la cinemática, es decir longitud y tiempo.

$$\text{Ec. 1.3} \quad [\nu] = \frac{[\mu]}{[\rho]} = \frac{ML^{-1}T^{-1}}{ML^{-3}} = L^2T^{-1}$$

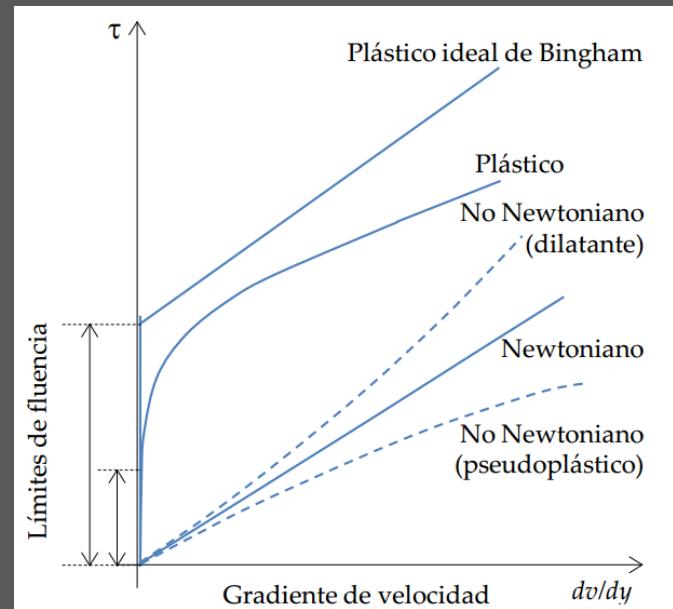
Unidad: $m^2 s^{-1}$ (agua $\rightarrow 10^{-6}$)

Si la relación de la ecuación 1.4 es lineal, con independencia del grado de deformación del fluido, la viscosidad es constante.

$$\text{Ec. 1.4} \quad v = \tau - \frac{\delta V}{\delta y}$$

En un fluido la representación de la expresión simplificada de Stokes (Ecuación 1.1) siempre pasará por el origen de coordenadas

Clases de fluidos atendiendo al comportamiento de la viscosidad



En segundo lugar, la recta que pasa por el origen de pendiente constante corresponde al fluido newtoniano que deja de serlo cuando la relación no es lineal

HIPOTESIS DE STOKES Y MAGNITUDES CARACTERÍSTICAS

1. Módulo de compresibilidad volumétrico

Cualidad de un fluido continuo de almacenar energía elástica. Al comprimir un fluido, éste almacena una energía elástica que al dejar de estar presionado devolverá.

La relación entre el aumento de presión (Δp) y la variación unitaria porcentual se expresa como K

Ec. 1.5

$$K = -\frac{\Delta p}{\frac{\Delta V}{V}} = \frac{F L^{-2}}{\frac{L^3}{L^3}}$$

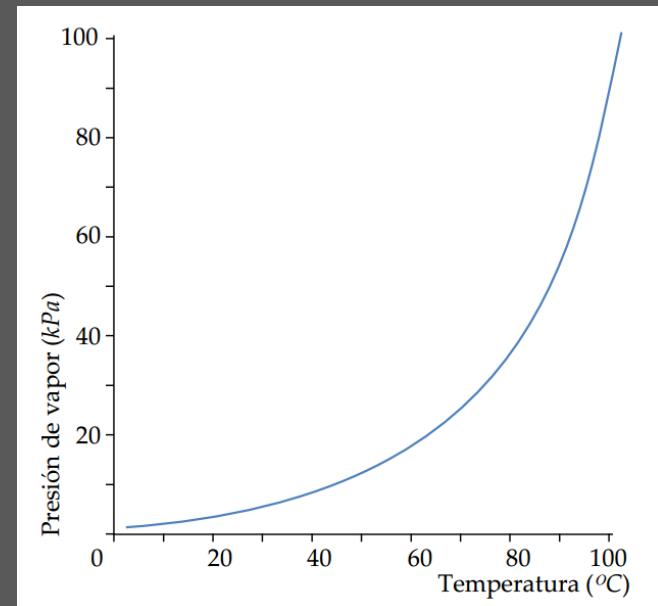
Unidades $\rightarrow F L^{-2}$ (agua $\rightarrow 2.2 \times 10^9 \frac{N}{m^2}$ o 22000 Bar)

El inverso del modulo elástico K, es el coeficiente de compresibilidad (α). El coeficiente de compresibilidad para el agua es ~ 0.000045 por lo que se puede considerar incompresible.

2. Presión de vapor

Es la presión que ejerce la fase gaseosa sobre la fase líquida en un sistema cerrado a una temperatura determinada

Presión de vapor del agua en función de la temperatura



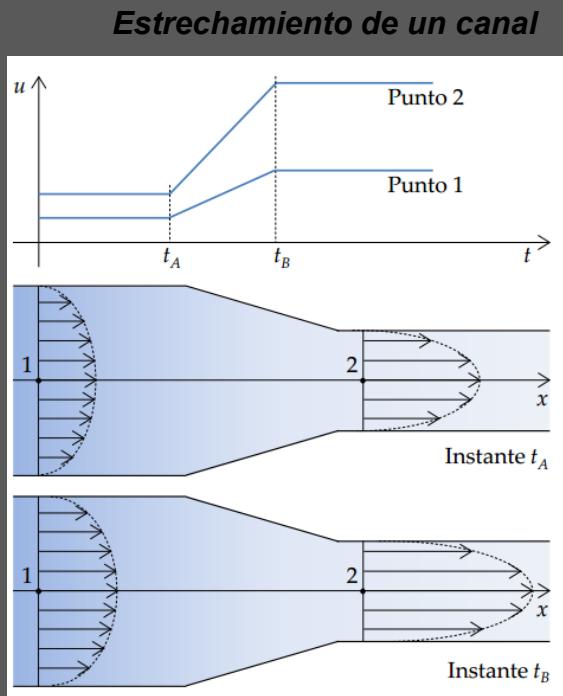
Conociendo la presión de vapor de un líquido a cierta temperatura, podemos conocer qué concentración de vapor obtendremos en aire en condiciones de saturación o equilibrio dinámico

CLASIFICACIÓN DE FLUJOS Y NÚMEROS CARACTERÍSTICOS

1. Enfoque Euleriano y Lagrangiano

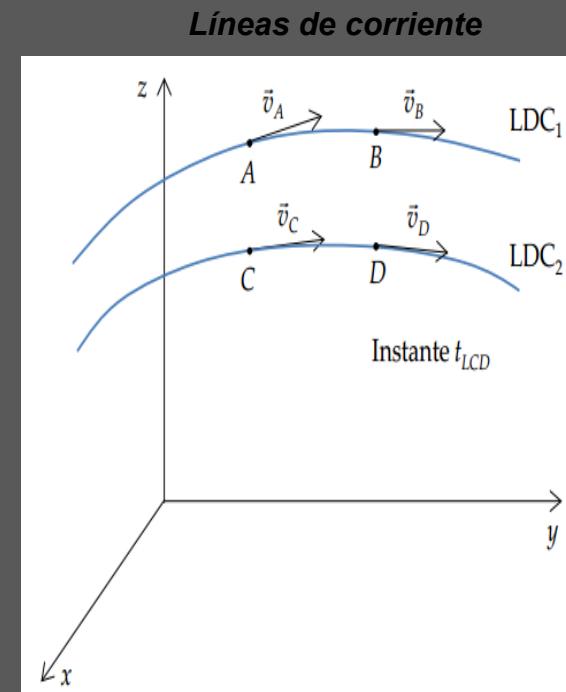
Euleriano

Describir campos de en un punto específico del espacio y un instante de tiempo en un sistema de referencia inercial



Lagrangiano

Trayectoria de una partícula de fluido es el lugar geométrico de los puntos del espacio que va ocupando sucesivamente la partícula en su desplazamiento. Sustituyendo los sucesivos valores de t en la ecuación



CLASIFICACIÓN DE FLUJOS Y NÚMEROS CARACTERÍSTICOS

1. Clasificación atendiendo al campo de velocidades y tiempo

La velocidad (\vec{V}) es una magnitud vectorial que tiene un modulo (u, v, w) y una dirección ($\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$) para un punto en el espacio (x, y, z) en un instante de tiempo t

En su forma cartesiana

$$\text{Ec. 1.6} \quad \vec{V} = u(x, y, z, t)\vec{i} + v(x, y, z, t)\vec{j} + w(x, y, z, t)\vec{k}$$

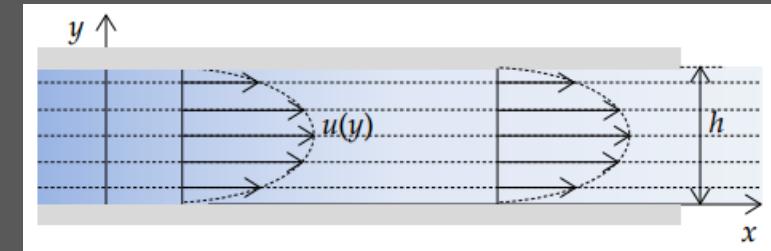
La **direccionalidad** de un flujo viene dada por el número de componentes de la velocidad no nulas. De uno a tres.

La **dimensionalidad** es el número de coordenadas espaciales de las que depende el campo de velocidades. Puede variar de 0 a 3

La **temporalidad** asocia valor con respecto a un instante del tiempo

2. Flujo uniforme y no uniforme

Flujo unidimensional, unidireccional y uniforme en una tubería



Uniforme

Variables de estado no cambian con respecto al espacio.

En el caso en que la **dimensionalidad** sea 0, al flujo se le denomina uniforme

$$\text{Ec. 1.7} \quad \frac{\delta u}{\delta x} = 0 \quad \frac{\delta \eta}{\delta x} = 0$$

No uniforme

Variables de estado cambian con respecto al espacio.

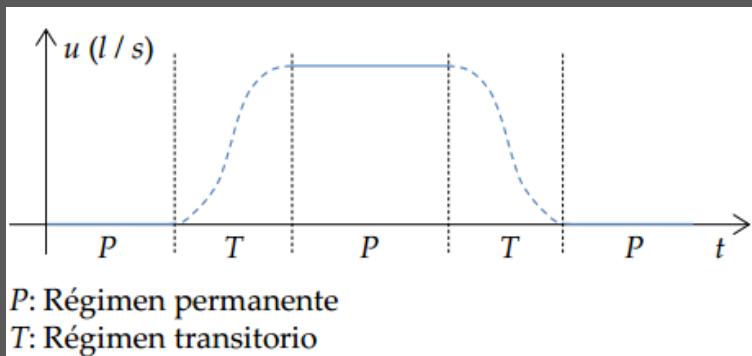
En el caso en que la **dimensionalidad** sea mayor a uno, al flujo se le denomina no uniforme

$$\text{Ec. 1.8} \quad \frac{\delta u}{\delta x} \neq 0 \quad \frac{\delta \eta}{\delta x} \neq 0$$

CLASIFICACIÓN DE FLUJOS Y NÚMEROS CARACTERÍSTICOS

1. Flujo estacionario y transitorio

Evolución de la velocidad en el centro de una tubería en función de t



No estacionario o transitorio

Cuando el campo de velocidades depende de la variable tiempo se dice que es no estacionario o transitorio.

Existe **temporalidad** asociada al flujo y el valor del modulo no es constante, se denomina no estacionario o transitorio.

Ec. 1.10

$$\frac{\delta u}{\delta t} \neq 0 \quad \frac{\delta \eta}{\delta t} \neq 0$$

Estacionario

Cuando el campo de velocidades no depende de la variable tiempo se dice que es estacionario o permanente.

Existe **temporalidad** asociada al flujo pero el modulo es constante, se denomina estacionario.

Ec. 1.9

$$\frac{\delta u}{\delta t} = 0 \quad \frac{\delta \eta}{\delta t} = 0$$

CLASIFICACIÓN DE FLUJOS Y NÚMEROS CARACTERÍSTICOS

1. Números característicos

Los números característicos de un flujo relaciona la inercia, la gravedad y la viscosidad

Inercia

Resistencia de un cuerpo en reposo al movimiento, o de un cuerpo en movimiento a la aceleración, al retardo en su desplazamiento o a un cambio de dirección del mismo.

Para fluidos el termino de inercia esta asociado a la parte adveciva del fenómeno

$$\text{Ec. 1.10} \quad \frac{\rho u^2}{L}$$

L Longitud característica del flujo (m)

ρ Densidad ($\frac{kg}{m^3}$), u Velocidad ($\frac{m}{s}$)

2. Número de Reynolds

Un parámetro adimensional que relaciona entre las fuerzas de inercia y las fuerzas viscosas

$$\text{Ec. 1.11} \quad Re = \frac{\rho v L}{\mu}$$

L Longitud característica del flujo (m)

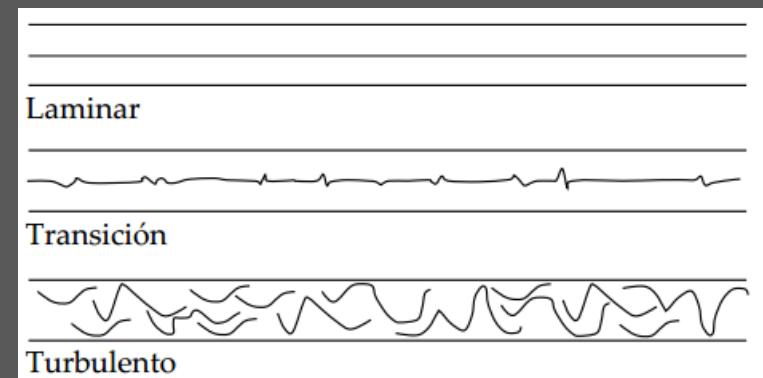
ρ Densidad ($\frac{kg}{m^3}$), u Velocidad ($\frac{m}{s}$), μ Viscosidad ($\frac{m^2}{s}$)

Laminar $\rightarrow Re < 2000$

Transición $\rightarrow 2000 < Re < 4000$

Turbulento $\rightarrow Re > 4000$

Experimento de Osborne Reynolds



ENERGÍA POTENCIAL, ELÁSTICA Y CINEMÁTICA

1. Ecuación de Bernoulli

Proviene de la conservación de la energía y la simplificación de la ecuación de Euler

Representa el balance energético del recorrido que hace una partícula de fluido entre dos puntos concretos, a lo largo de una línea de corriente, e inmersa en un flujo ideal, unidimensional, permanente e incompresible.

$$\text{Ec. 1.12} \quad \frac{P_1}{\rho g} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = cte$$

- $\frac{P_1}{\rho g}$ → Altura de presión (energía elástica)
- z_1 → Altura geométrica (energía potencial gravitatoria)
- $\frac{v_1^2}{2g}$ → Altura cinética (energía cinética)

Fuentes y sumideros de energía

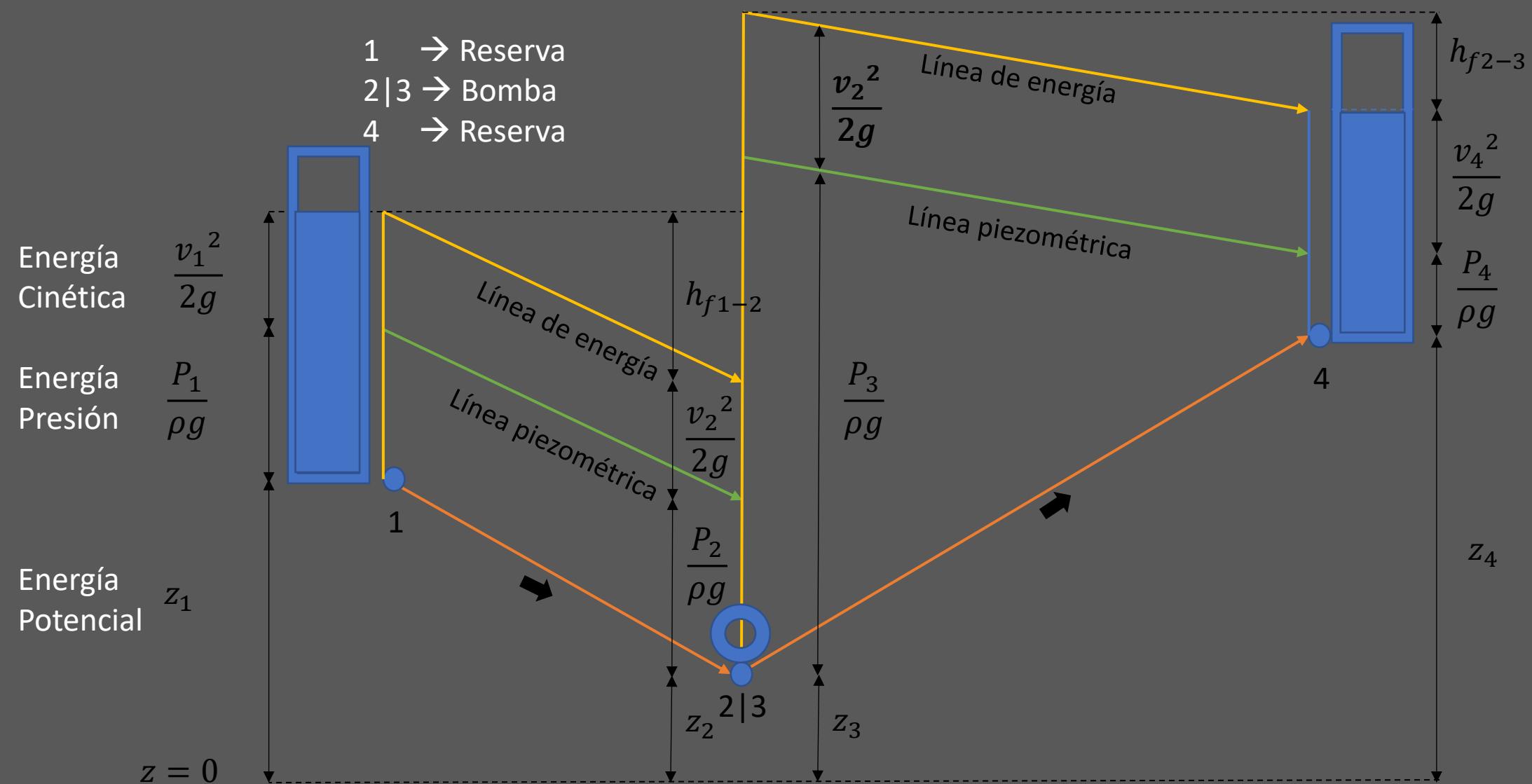
Considerando la adición o perdida de energía

$$\text{Ec. 1.13}$$

$$\frac{P_1}{\rho g} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \sum H_p - \sum H_f = \frac{P_4}{\rho g} + z_4 + \frac{v_4^2}{2g}$$

- $\frac{P_1}{\rho g}$ → Altura de presión (energía elástica)
- z_1 → Altura geométrica (energía potencial gravitatoria)
- $\frac{v_1^2}{2g}$ → Altura cinética (energía cinética)
- H_p → Adición de energía de presión (energía elástica)
- H_f → Perdida de energía

ENERGÍA POTENCIAL, ELÁSTICA Y CINEMÁTICA



TIPOS DE FLUJOS TRANSITORIOS

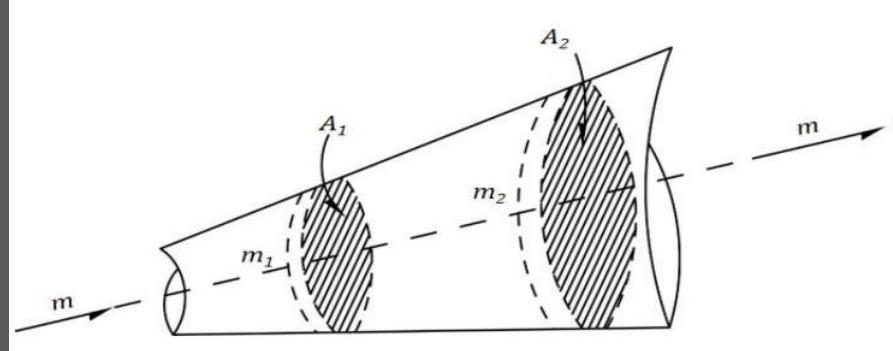
1. Tipo de flujos transitorios

Cuando las magnitudes características del flujo varían en el tiempo y espacio, denomina flujo no uniforme y transitorio.

Transitorio muy lento o cuási-estático

Magnitudes características del flujo varían de manera muy lenta en el tiempo con una escala temporal de horas a días

Volumen de control delimitado por una superficie de control

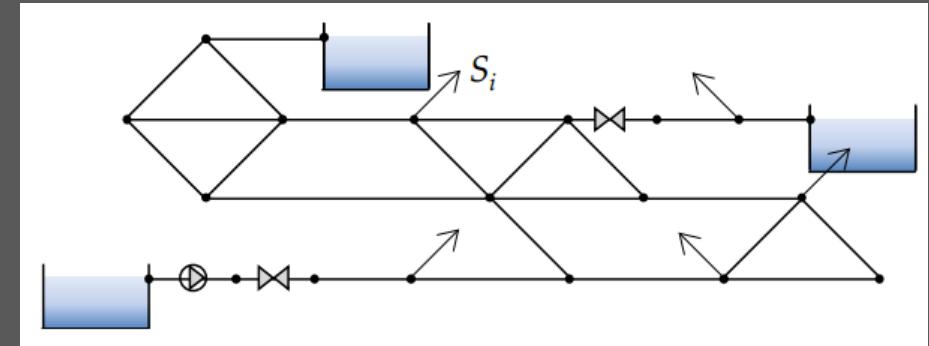


Utilizando la ley de conservación de masa

$$\text{Ec. 2.1} \quad \frac{m_1}{t} = \frac{m_2}{t}$$

$$\text{Ec. 2.2} \quad \frac{\rho u_1}{t} = \frac{\rho u_2}{t} \rightarrow u_1 A_1 = u_2 A_2$$

Esquema físico de un sistema de distribución de agua a presión



Suposiciones

- Términos de inercia y elasticidad despreciables
- Estado estacionario

$$\frac{\delta u}{\delta t} = 0$$

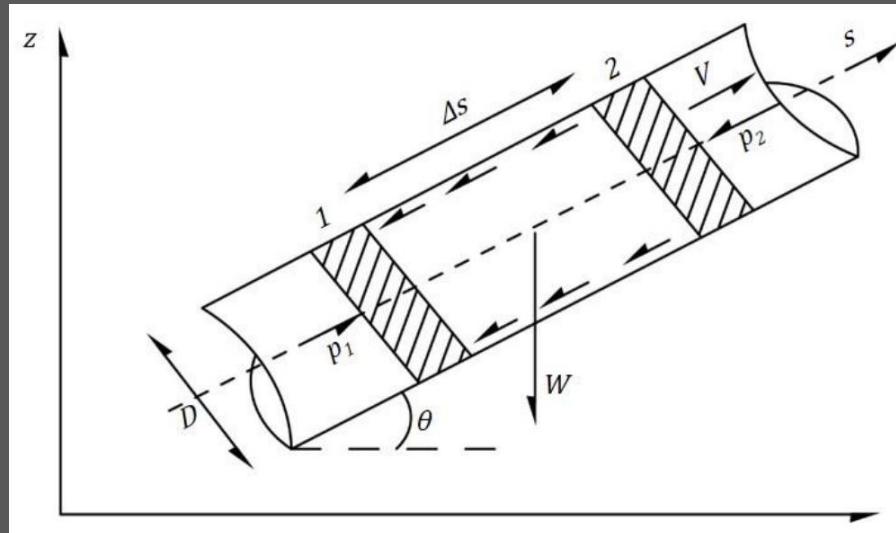
Uso

Modelar variaciones de presión en una red asociados a cambios de demanda de forma instantánea

TIPOS DE FLUJOS TRANSITORIOS

1. Transitorio lento u oscilación de masa

Magnitudes características del flujo varían en el tiempo con una escala temporal de minutos a horas. Intercambio de masa entre dos depósitos con niveles de energía diferentes



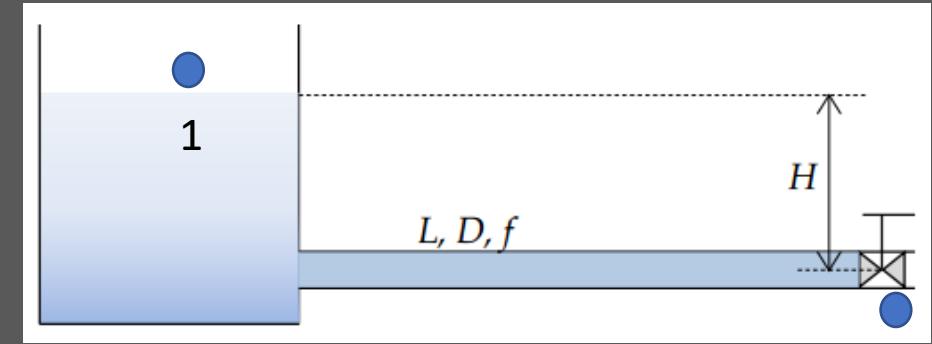
Utilizando la segunda ley de newton

$$\text{Ec. 2.3} \quad (p_1 - p_2)A - \tau\pi D\Delta_s - \rho\Delta_s A g \sin \theta = \rho\Delta_s A \frac{\delta u}{\delta t}$$

$$\text{Ec. 2.4} \quad H(x_o) - H(x_o + L) = \frac{L}{g} \frac{\delta u}{\delta t} + f \frac{L}{D} \frac{u|u|}{2g}$$

- $p_1, p_2 \rightarrow$ presiones en la sección 1 y 2 ($\frac{N}{m^2}$)
- $A \rightarrow$ área transversal de la sección (m^2)
- $D \rightarrow$ diámetro del conducto (m)
- $\Delta_s \rightarrow$ distancia entre sección 1 y 2
- $g \rightarrow$ aceleración de la gravedad ($\frac{m}{s^2}$)
- $\gamma \rightarrow$ peso específico del agua ($\frac{N}{m^3}$)
- $\tau \rightarrow$ esfuerzo tangencial ($\frac{kg}{m} s^2$)

Oscilación de masa vaciado de reservorio



Suposiciones

- Efectos elásticos son despreciables (forma rígida)

TIPOS DE FLUJOS TRANSITORIOS

1. Transitorio rápido o golpe de ariete

Magnitudes características del flujo varían en el tiempo con una escala temporal de segundos.

Es un repentino aumento de presión que se produce por la maniobra de un elemento de control cuando se detiene de forma severa el fluido que circula por este punto

Golpe de ariete asociado a detenimiento súbito de una bomba



2. Con secuencias de golpe de ariete

Sobrepresiones

Las altas presiones que se producen como resultado del golpe de ariete pueden llegar a ser superiores a la resistencia de la tubería y provocar su rotura

Depresiones

Si la tubería no es suficientemente rígida en su sección transversal, la diferencia de presiones puede hacer que la sección pierda su estabilidad y colapse la tubería

Fatiga del material

La acción repetida de cargas dinámicas fuertes durante un período de tiempo prolongado disminuye la resistencia del material

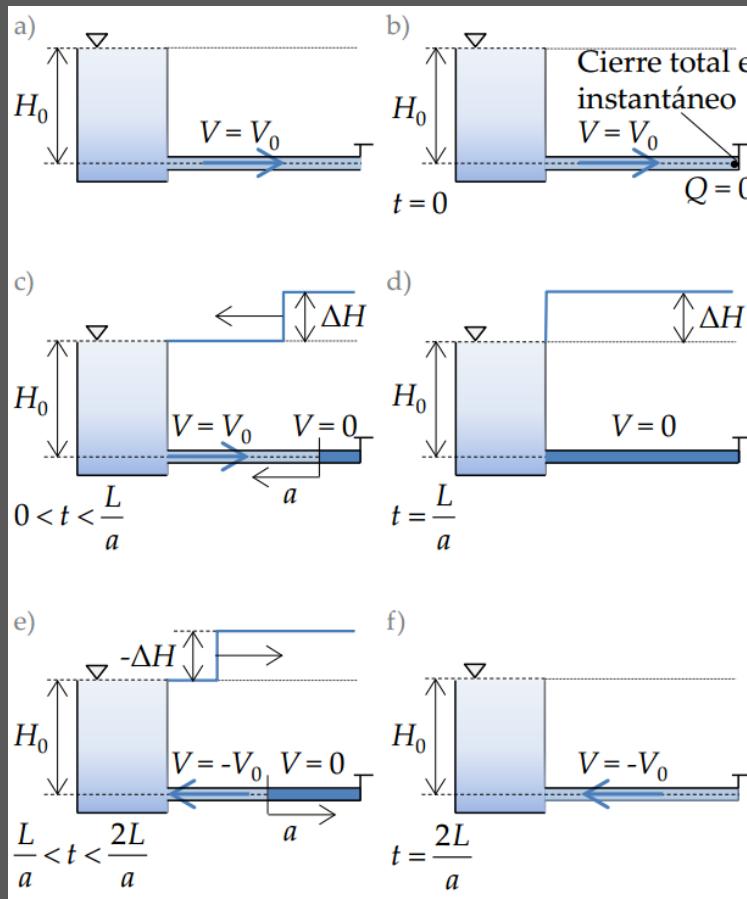
Sobrevelocidad en los equipos de bombeo

En caso de que se invierta el flujo y entre al equipo de bombeo, éste puede producir que las bombas giren a una mayor velocidad en sentido contrario de la especificada por el fabricante

CICLO DE UN TRANSITORIO Y AMPLITUD CARACTERÍSTICA DEL SISTEMA

1. Ciclo del fenomeno transitorio rapido o golpe de ariete

Golpe de ariete asociado a un cierre de válvula sin considerar viscosidad y perdida por fricción

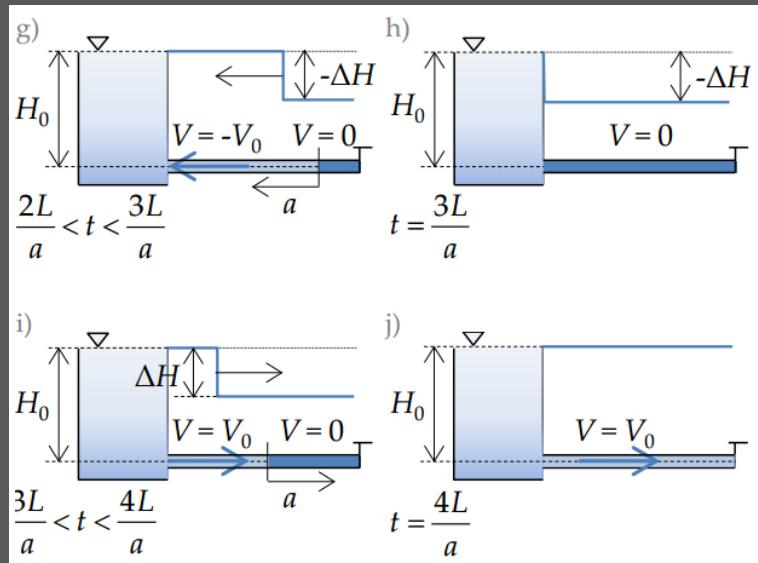


- Flujo inicialmente estacionario
- Velocidad en la sección de válvula de control es cero. Inicio de transformación de energía cinemática a elástica. Reducción de volumen de agua asociado y dilatación de la tubería asociado a la onda de presión.
- La onda de presión se desplaza hacia la reserva. El fluido que queda detrás del frente del pulso queda en reposo a una presión $H_0 + \Delta H$
- El frente de sobrepresión alcanza la reserva y todo el fluido en la tubería se encuentra en reposo, con una sobrepresión ΔH
- La onda se refleja en la condición de contorno expresada como la altura de energía máxima H_0 y una onda de descompresión avanza con dirección a la válvula de control con una velocidad a . Se inicia la transformación de energía de presión a cinemática y la velocidad en la tubería invierte su dirección
- Cuando la onda de descompresión llega a la válvula de control en un tiempo de fase o periodo de la tubería ($T_c = 2L/a$), la tubería tiene la velocidad inicial invertida en toda su longitud

CICLO DE UN TRANSITORIO Y AMPLITUD CARACTERÍSTICA DEL SISTEMA

1. Ciclo del fenomeno transitorio rapido o golpe de ariete

Golpe de ariete asociado a un cierre de válvula sin considerar viscosidad y perdida por fricción



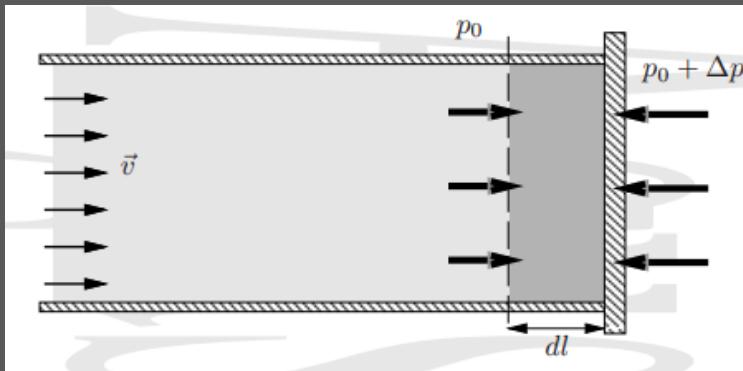
- g. Cuando la velocidad $-V_0$ desplaza el fluido directamente continuo a la válvula de control refleja una depresión $-\Delta_p$ con dirección hacia la reserva.
- h. La onda de depresión $-\Delta_p$ alcanza la reserva y la velocidad de la tubería disminuye hasta cero

- i. Se inicia un onda de presión que restituye la energía inicial con dirección hacia la válvula de control, con el fluido atrás del frente con una velocidad V_0 y posterior a la onda de presión con velocidad cero
- j. Un instante antes de que el frente de velocidad de fluido llegue a la válvula de control cerrada, se obtiene la condición inicial del flujo.

Esto se repite de forma indefinida al considerar que no existe viscosidad o perdida por fricción en este ejercicio imaginario, en la realidad con cada iteración se pierde energía y eventualmente el fluido llega a un estado estacionario de velocidad cero

Conceptos clave

- Golpe de ariete es un fenómeno cíclico
- El sistema tiene su amplitud y frecuencia característica $\frac{L}{a}$
- El fenómeno transitorio rápido genera presiones y depresiones
- La onda de sobrepresión o depresión se propaga con velocidad 'a' definida como celeridad
- La sobrepresión inicial se relaciona a la transformación de energía cinética (cantidad de movimiento) hacia energía elástica (presión)

1. Transformación de energía cinética - elástica**Líquido de la tubería se detiene súbitamente**

Considerando una transformación de energía cinemática (cantidad de movimiento) hacia energía elástica (impulso mecánico)

$$\text{Ec. 2.5} \quad \Delta_p A \delta t = \rho A \delta l u, \quad a = \frac{\delta l}{\delta t}$$

$$\text{Ec. 2.6} \quad \Delta_p = \rho a u$$

A → área transversal de la sección (m^2)

Δ_p → variación de presión en el instante δt (s)

δl → longitud infinitesimal (m)

a → velocidad de propagación o celeridad ($\frac{m}{s}$)

ρ → densidad ($\frac{kg}{m^3}$)

2. Tiempo crítico (T_c)

Las máximas sobrepresiones son producidas por maniobras de cierre menores al tiempo que tarda la onda en su viaje de ida y vuelta al elemento de control

$$\text{Ec. 2.7} \quad T_c = \frac{2L}{a}$$

T_c → tiempo crítico del sistema (s)

L → longitud del sistema (m)

a → velocidad de propagación o celeridad ($\frac{m}{s}$)

Cierre rápido → $0 < T_c < \frac{2L}{a}$

Cierre lento → $T_c > \frac{2L}{a}$

3. Longitud crítica (L_c)

Diferencia entre una conducción corta y una larga con relación a la duración de la maniobra del elemento de control (T)

$$\text{Ec. 2.8} \quad T_c = \frac{aT}{2}$$

T → tiempo de maniobra del elemento de control (s)

VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE LA ONDA Y PULSO DE JOUKOWSKY

1. Velocidad de propagación de onda o celeridad

El cambio repentino en las condiciones del flujo en una tubería de presión se transmite (propaga) por la tubería con una velocidad que depende de la elasticidad del fluido y de la pared de la tubería. Esta velocidad se señala con a y se denomina también celeridad, para distinguirla de la velocidad del flujo u .

$$\text{Ec. 2.7} \quad a = \sqrt{\frac{K}{\frac{\rho}{1 + \frac{KD}{E\delta}}}}$$

a → celeridad de la onda elástica ($\frac{m}{s}$)

K → modulo de elasticidad del fluido ($\frac{N}{m^2}$)

ρ → densidad del líquido ($\frac{kg}{m^3}$)

D → diámetro de la tubería (m)

E → modulo de elasticidad de tubería ($\frac{N}{m^2}$)

δ → espesor de la tubería (m)

Orden de magnitud de la celeridad en diferentes materiales

Material	E material $\frac{N}{m^2} 10^{-9}$	Magnitud 'a' m/s
Acero	200-212	1000 – 1250
Fibro Cemento	23.5	900 – 1200
Concreto	39	1050 – 1150
Hierro Dúctil	166	1000 – 1350
Polietileno alta densidad	0.59-1.67	230 – 430
PVC	2.4-2.75	300 – 500

1. Pulso de Joukowsky

Cambio de presión ΔH (sobrepresión o depresión) en una tubería, cuando el tiempo de cierre (variación del caudal) es 'instantáneo' o menor al periodo de la conducción ($T_c = 2L/a$)

$$\text{Ec. 2.8} \quad \Delta H = -\frac{a\Delta u}{g}$$

ΔH → variación de presión (m)

a → velocidad de propagación o celeridad ($\frac{m}{s}$)

Δu → variación de velocidad en el instante δt ($\frac{m}{s}$)

δl → longitud infinitesimal (m)

g → aceleración de gravedad ($\frac{m}{s^2}$)

2. Transitorio de Michaud

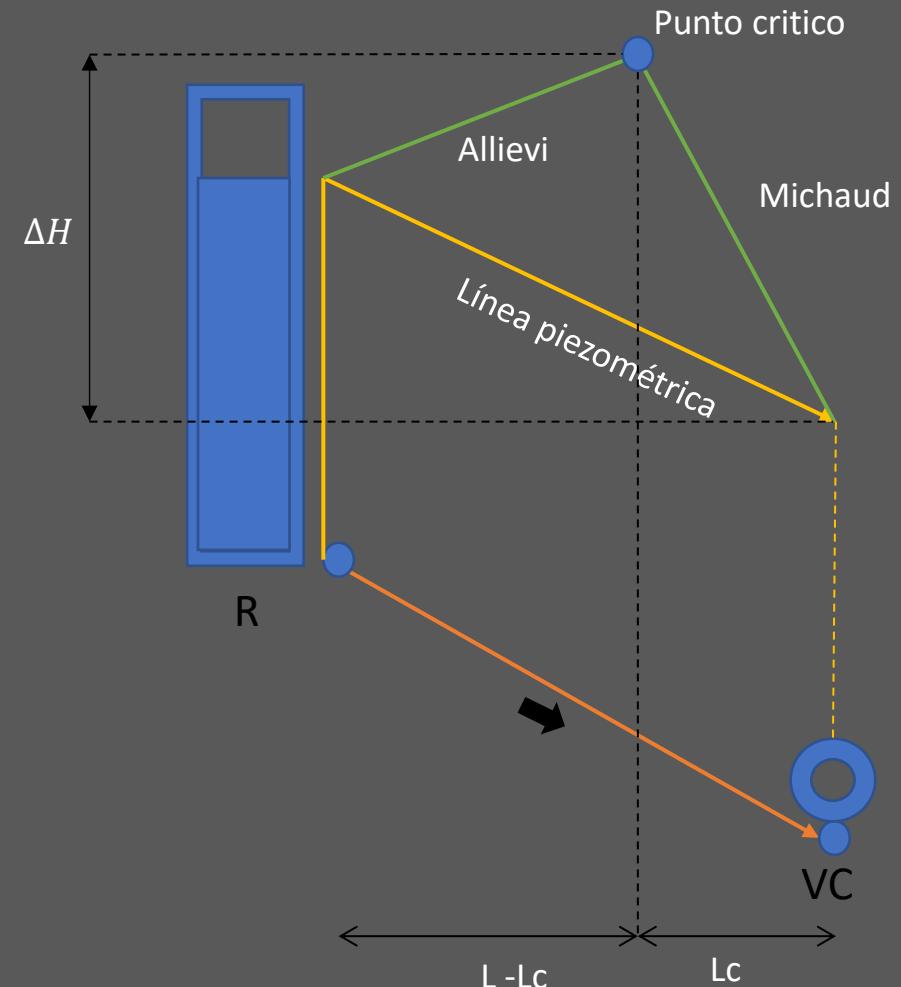
Sobrepresión en un sistema para un cierre lento ($T_c > 2L/a$)

$$\text{Ec. 2.9} \quad \Delta H = \frac{2Lu_0}{g T_e}$$

L → longitud de la conducción (m)

T_e → Tiempo de maniobra (s)

- Limitado a sistemas Reserva – Línea - Control



1. Transitorio en una conducción de bombeo generado por el paro de bombas

De los transitorios que se pueden presentar en una impulsión, el más desfavorable es el caso de una parada repentina de las bombas en operación, durante la interrupción el suministro de energía eléctrica.

Casos sin separación de columna líquida

- La sobrepresión máxima se produce al inicio de la tubería debido a la detención del flujo inverso ocasionada por las válvulas de no retorno cerradas.
- Mientras mayor sea el valor de las depresiones al detenerse las bombas, mayores serán las sobrepresiones que se producirán después.

Casos con separación de columna líquida

- Las sobrepresiones usualmente presentan valores considerablemente mayores
- La causa primaria para la sobrepresión máxima es el choque de las columnas en el momento de la reunificación de fluido

2. Transitorios en una conducción por gravedad

Un golpe de ariete sucede de forma general al maniobrar un elemento de control, en el caso de apertura o obturar una válvula de una línea de presión.

Apertura de una válvula de purga o hidrante

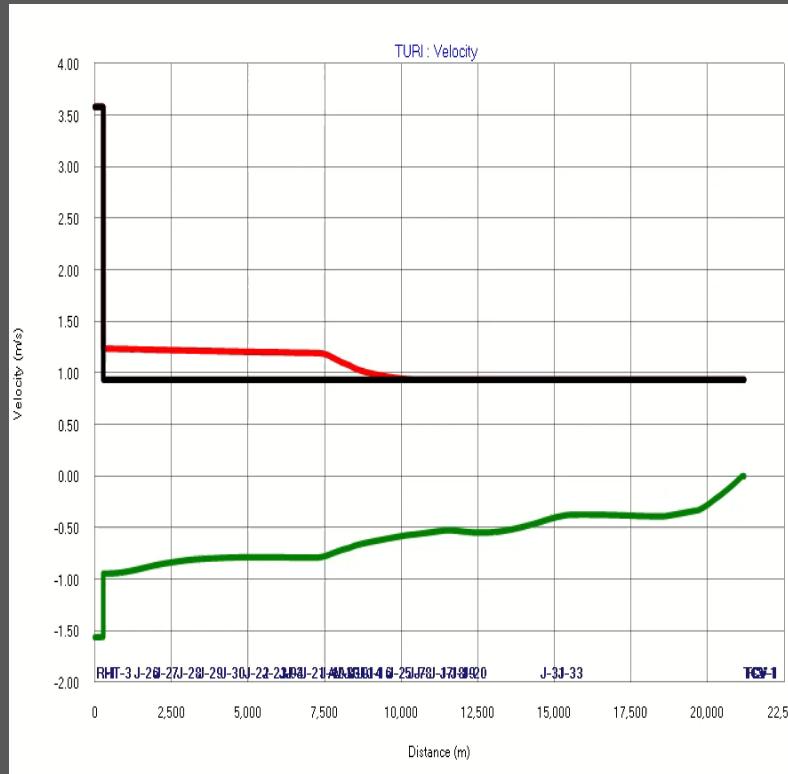
- La apertura de válvulas en general no genera sobrepresiones
- Debido al perfil topográfico de la tubería y la magnitud de las depresiones, la onda de depresión que genera la apertura puede causar vacíos y separaciones de la columna de agua

Cierre de una válvula

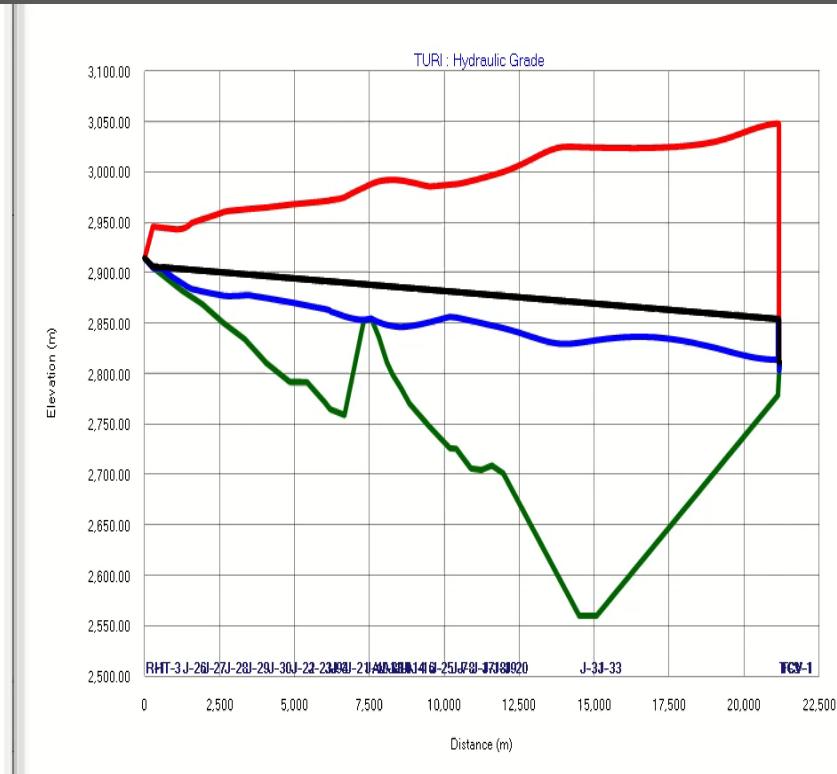
- Las depresiones y sobrepresiones que se producen con la apertura o el cierre de una válvula al final de la conducción dependen del tiempo de cierre y de la longitud de la conducción
- Ante formas de terreno desfavorables es posible que se produzcan separaciones de la columna

TIPOS DE FALLAS ASOCIADAS A TRANSITORIOS RAPIDOS

1. Golpe de ariete asociado a un cierre de válvula considerando viscosidad y perdidas por fricción



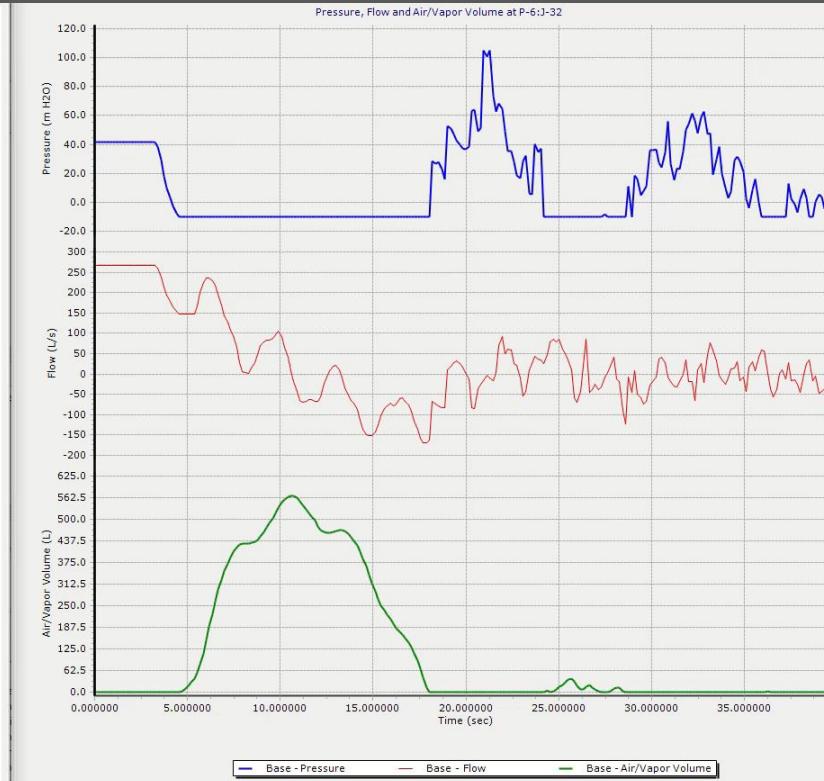
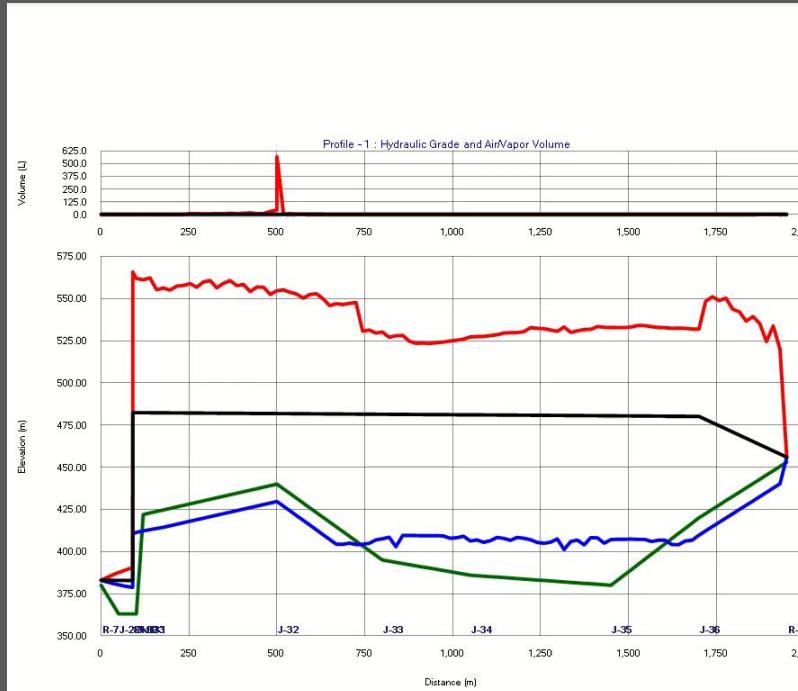
Condición inicial
Velocidad mínima
Velocidad máxima



Condición inicial
Presión mínima
Presión máxima
Altura geométrica

TIPOS DE FALLAS ASOCIADAS A TRANSITORIOS RAPIDOS

1. Separación de la columna líquida en transitorios



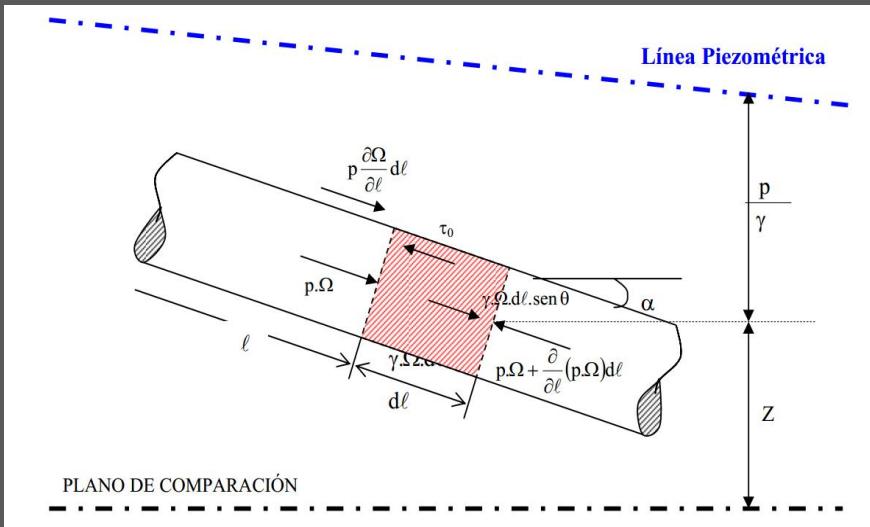
Condición inicial
Presión mínima
Presión máxima
Altura geométrica

Presión mínima
Presión
Caudal
Volumen de vapor o aire

ECUACIONES DE GOBIERNO Y SUPOSICIONES DE TRABAJO

1. Conservación de momento

Aplicación de balance de fuerza a una tubería de presión



Aplicando la segunda ley de Newton

$$\text{Ec. 2.10} \quad p\Omega - \left[p\Omega + \frac{\delta}{\delta l}(p\Omega)\delta l \right] + p \frac{\delta\Omega}{\delta l} \delta l + \rho g\Omega\delta l \sin \theta - \tau_0 \pi D \delta l = \rho\Omega\delta l \frac{\delta U}{\delta t}$$

Variación de la sección con respecto al espacio

Presión forzante fluido Presión reacción fluido Gravedad Fricción masa aceleración

Suponiendo que la sección Ω es permanente entonces $\frac{\delta\Omega}{\delta l} = 0$

Dividiendo todo por $\rho\Omega\delta l$ (masa)

$$\text{Ec. 2.11} \quad -\frac{1}{\rho} \frac{\delta p}{\delta l} + g \sin \theta - \frac{4\tau_0}{\rho D} = \frac{\delta U}{\delta t}$$

Luego de dividir para g y recordando que el concepto de derivada total se obtiene

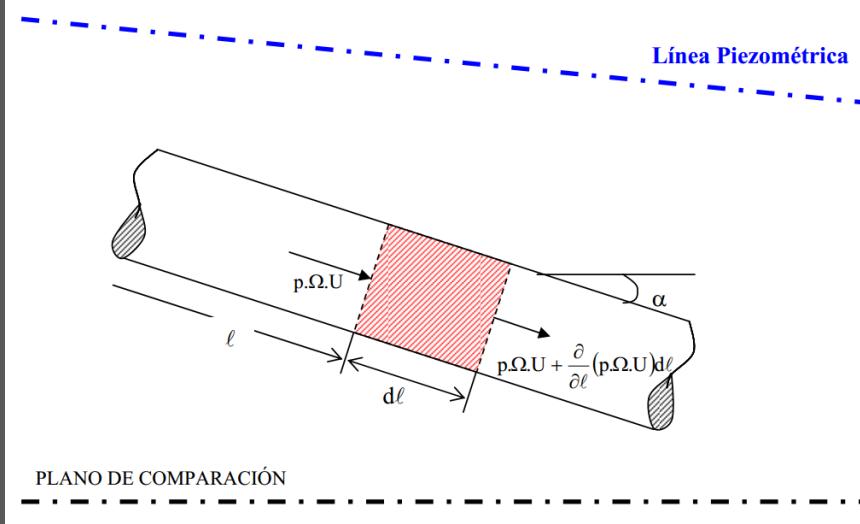
$$\text{Ec. 2.12} \quad \frac{\delta}{\delta l} \left[z + \frac{p}{\gamma} + \frac{u^2}{2g} \right] = -\frac{1}{g} \frac{\delta u}{\delta t} - \frac{4\tau_0}{\rho D}$$

Aproximando las perdidas por tensión de corte, $\tau_0 = \rho f \frac{u^2}{2g}$

$$\text{Ec. 2.13} \quad \frac{\delta}{\delta l} \left[z + \frac{p}{\gamma} + \frac{u^2}{2g} \right] = -\frac{1}{g} \frac{\delta u}{\delta t} - f \frac{u|u|}{2gD}$$

1. Conservación de masa

Aplicación de conservación de masa a una tubería de sección constante



Considerando la conservación de la masa en el volumen de control

Ec. 2.10

$$\rho u \Omega - \left[\rho u \Omega + \frac{\delta(\rho u \Omega) \delta l}{\delta l l} \right] = \frac{\delta}{\delta t} (\rho \Omega \delta l)$$

↑ Caudal masico entrada ↑ Caudal masico salida ↗ Variación de masa en el volumen de control

Ec. 2.11

$$\frac{dH}{dt} + V \frac{dH}{\delta x} + \frac{aa^2}{g} \frac{dV}{dt} = 0$$

Suposiciones

El flujo del líquido es de una dimensión y las magnitudes características son promediadas en la sección , siendo flujos no uniformes y transitorios

El líquido y la tubería tiene una deformación elástica bajo presión

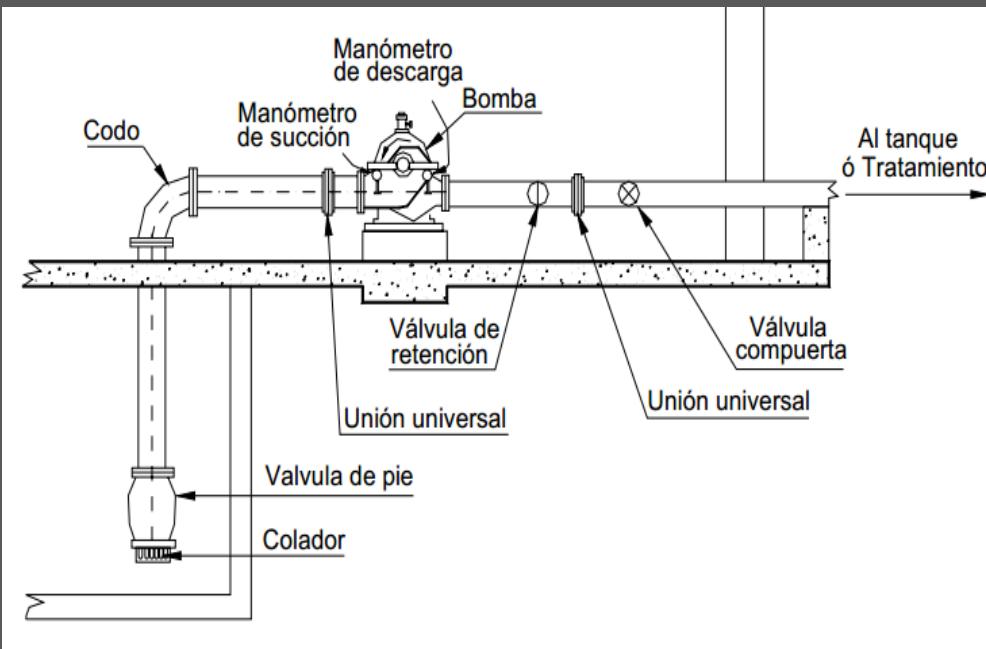
TIPOS DE ESTACIONES DE BOMBEO

1. Estaciones de bombeo

Son un conjunto de estructuras civiles, dispositivos, tuberías, accesorios, motores y bombas que permiten elevar el agua de un nivel inferior a otro superior. Pueden ser de carácter móvil o fijo y de una o varias etapas.

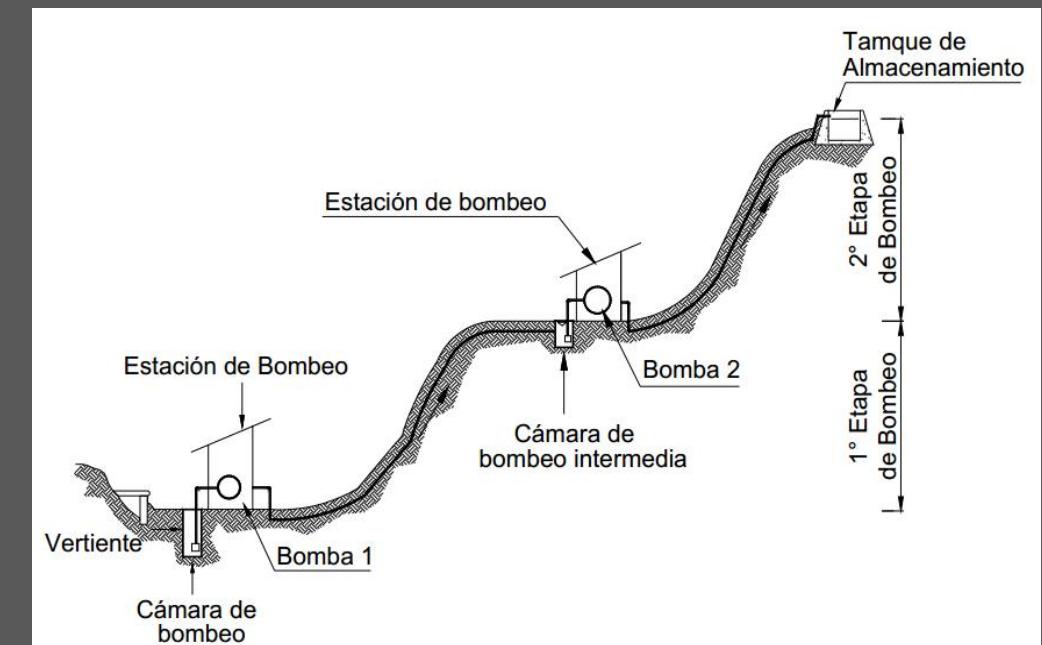
Estaciones de bombeo de una etapa fija

Estación de bombeo fija de superficie



Estaciones de bombeo de una etapa fija

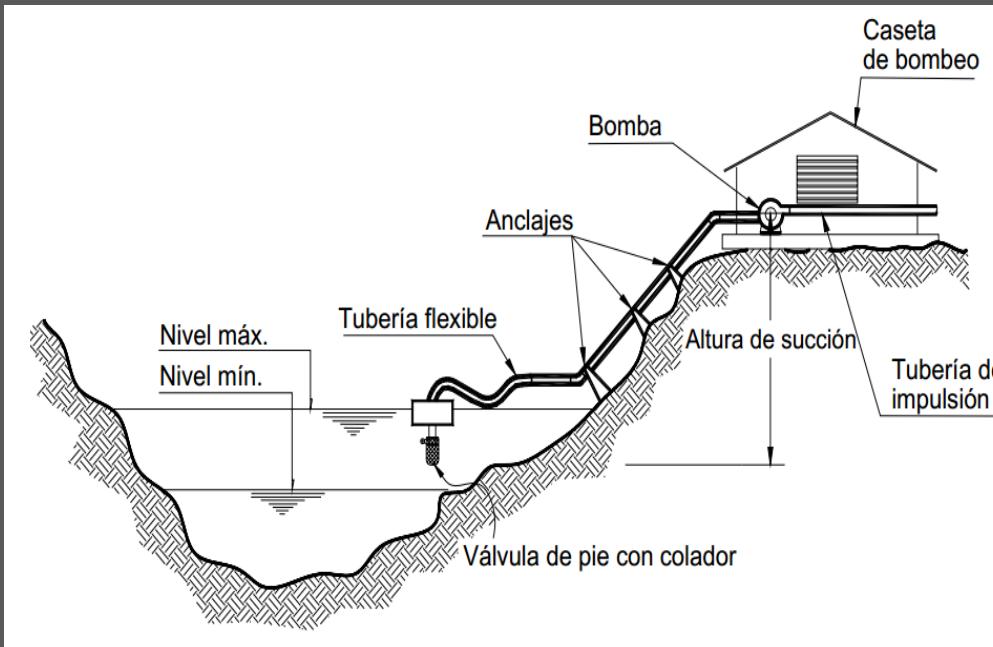
Estación de bombeo fija de 2 etapas



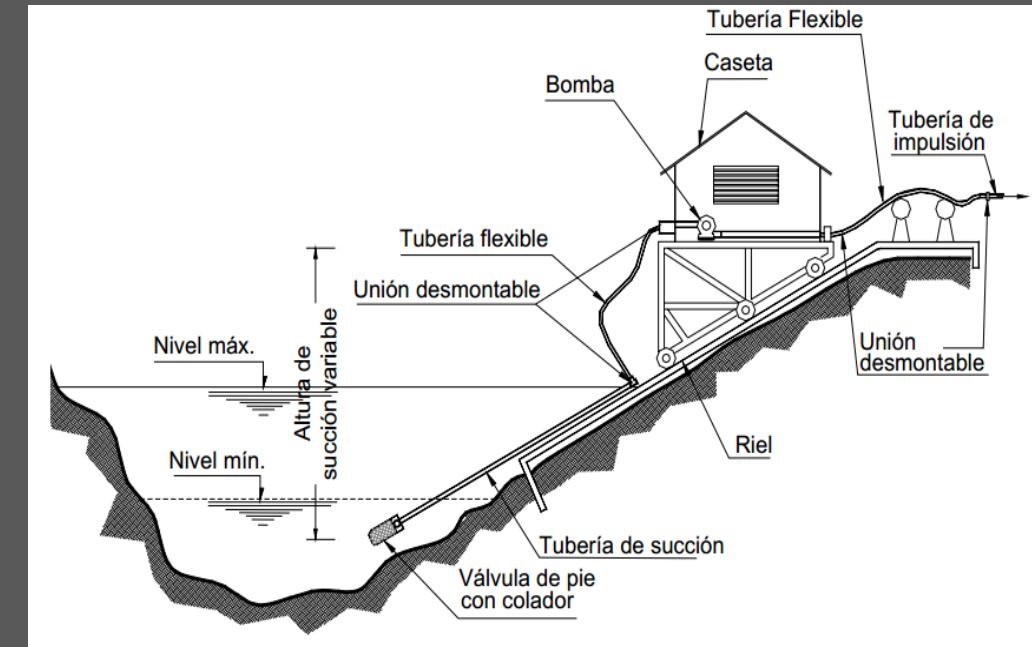
TIPOS DE ESTACIONES DE BOMBEO

1. Estaciones de bombeo móviles o flotantes

Estación de bombeo flotante



Estación de bombeo móvil



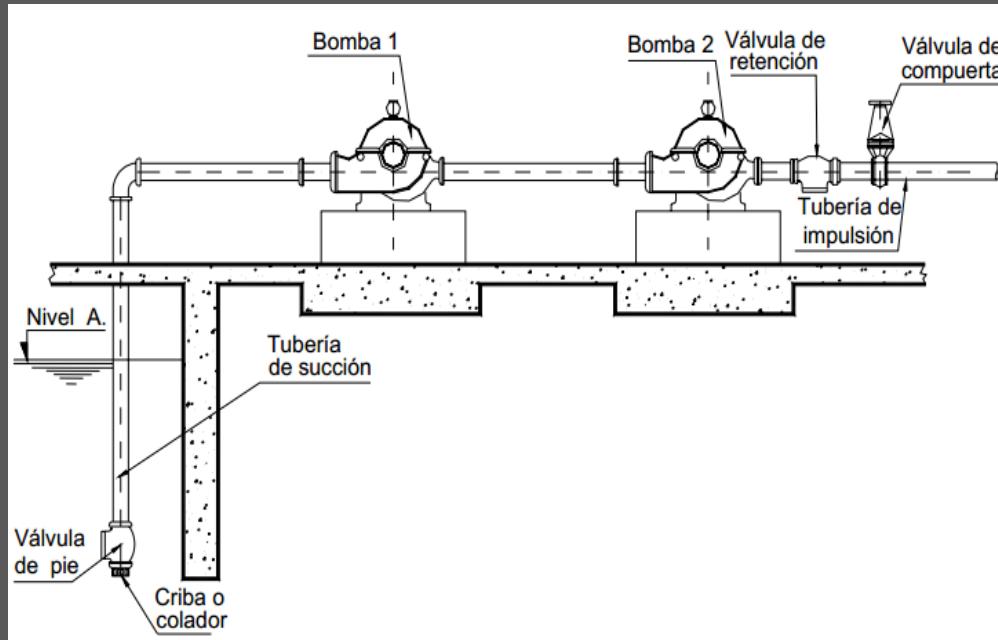
Flotantes, cuando los elementos de bombeo se localizan sobre una plataforma flotante. Se emplea sobre cuerpos de agua que sufren cambios significativos de nivel.

Móviles, cuando las bombas son localizadas sobre soportes o plataformas que permiten su cambio de posición accionadas por elementos motrices

TIPOS DE ESTACIONES DE BOMBEO

1. Estaciones de bombeo móviles o flotantes

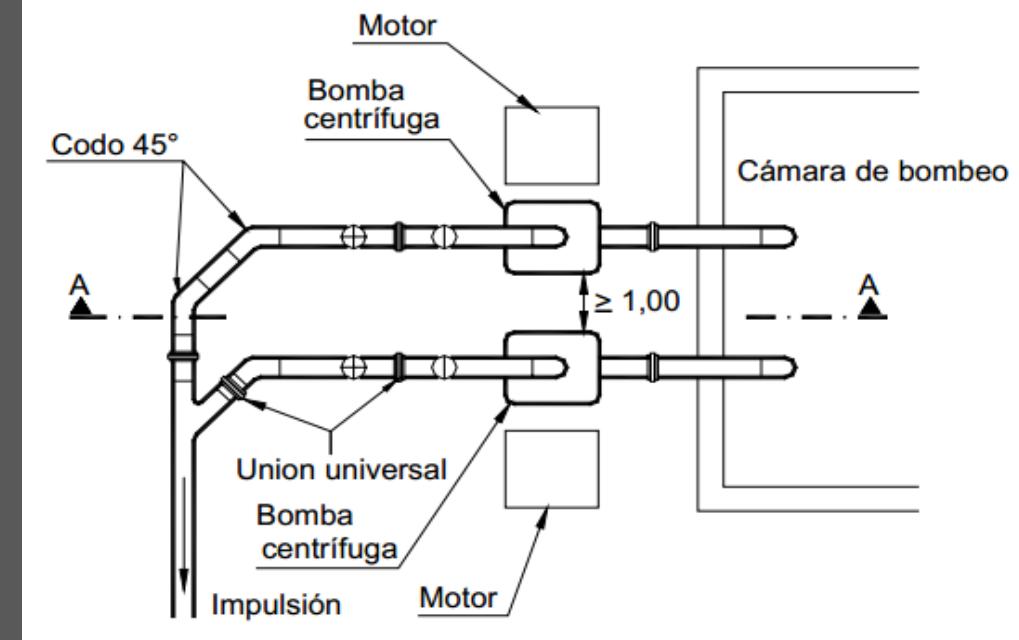
Estación en serie de superficie



Es la acción de impulsar el agua con dos o más bombas instaladas sobre la misma línea de impulsión

$$\sum H_p = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n$$

Estación de bombeo en paralelo en superficie



Es la acción de impulsar el agua instalando más de una línea de impulsión con su respectiva bomba

$$\sum Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n$$

BOMBAS CENTRIFUGAS

1. Bombas

Un equipo de bombeo consiste de dos elementos, una bomba y su accionador. El accionador entrega energía mecánica y la bomba la convierte en energía cinética que un fluido se transforma energía de presión o elástica

Tipos de bombas

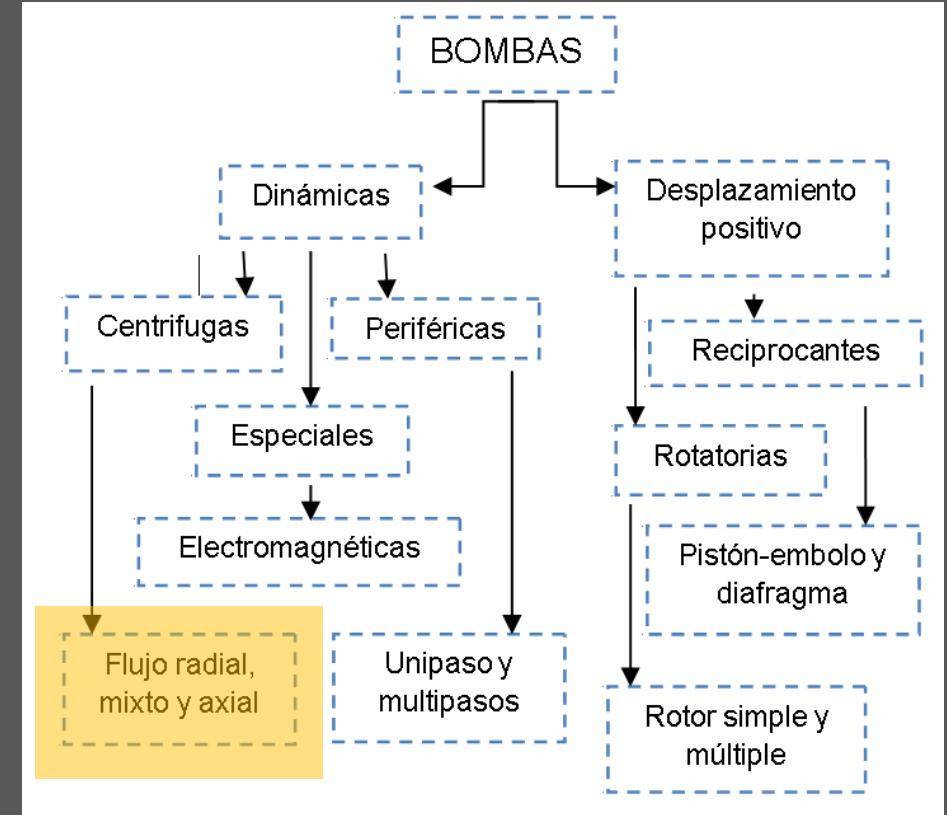
Dinámicas

Agregan energía mediante una rotación de alta velocidad de impulsores

Desplazamiento positivo

Agregan energía al fluido atrapándolo en un espacio confinado y moviéndolo con fuerza externa.

Tipo de bombas



1. Bombas centrífugas (dinámicas)

Existe diferentes clases de bombas centrífuga, su característica principal es la transformación de energía, esto depende del elemento móvil llamado impulsor, turbina o rodamiento el mismo que gira dentro del elemento estático conocido como cuerpo o carcasa de la bomba

Carcasa

Es la parte exterior protectora de la bomba y cumple la función de convertir la energía de velocidad impartida al líquido por el impulsor en energía de presión.

Impulsor

Recibe el líquido y le imparte una velocidad de la cual depende la carga producida por la bomba.

Eje o Flecha

Es el eje de todos los elementos que giran en la bomba centrífuga, transmitiendo además el movimiento que imparte la flecha del motor.

Motor

Fuente de energía mecánica

Funcionamiento de un bomba centrífuga



Clasificación de la bombas centrífugas

- Flujo radial - Se utilizan para cargas altas y caudales pequeños
- Flujo axial -Se utilizan para cargas pequeñas y grandes caudales
- Mixta - Se utilizan para cargas y caudales intermedios.

1. Clasificación de bombas centrífugas

Según la posición del eje

Bombas horizontales

Son aquellas cuya posición del eje, normalmente es horizontal.

Bomba centrífuga de eje horizontal



- Succión positiva necesaria o negativa restringida
- Mayor espacio de instalación
- Motor a mismo nivel de suelo susceptible a inundaciones
- Costo ($Q \ll$ Menor costo) – ($Q \gg$ Mayor costo)

Bombas verticales

Son aquellas cuya posición del eje, normalmente es vertical

Bomba centrífuga de eje vertical



- Menor necesidad de espacio
- Desmontaje de la bomba requiere mover el motor
- Puede cambiarse de impulsores y agregarse etapas
- Costo ($Q \gg$ Menor costo) – ($Q \ll$ Mayor costo)

1. Clasificación de bombas centrífugas

Según su número de pasos o etapas

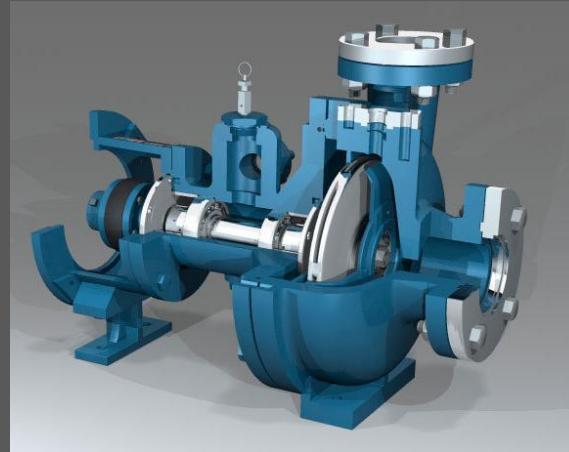
Bombas de un solo paso o etapa

Son aquellas en las cuales la carga dinámica total es desarrollada por un solo impulsor

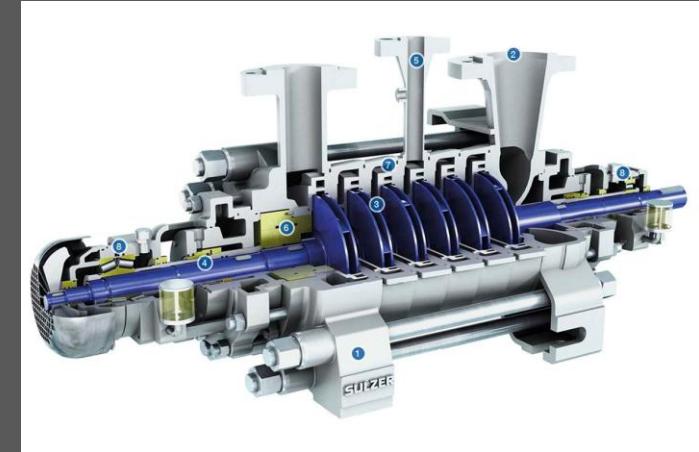
Bombas de varios pasos o etapas

Son aquellas en las cuales la carga dinámica total es desarrollada por más de un impulsor

Bomba centrífuga de una etapa



Bomba centrífuga de varias etapas



- Alturas menores → menor numero de etapas
- Generalmente son horizontales

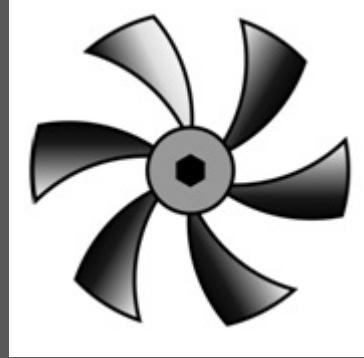
- Alturas mayores → mayor numero de etapas
- Generalmente son verticales
- mayor rendimiento motor más pequeño y menos energía

1. Clasificación de bombas centrífugas

Según su tipo de impulsor

Impulsor abierto

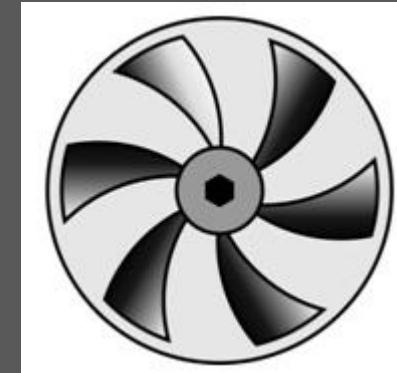
Impulsor abierto



- Los impulsores abiertos tienen las paletas libres en ambos lados.
- Los impulsores abiertos son estructuralmente débiles.
- Se usan en bombas de pequeño diámetro y de bajo costo y bombas que manejan sólidos suspendidos

Impulsor semi abierto

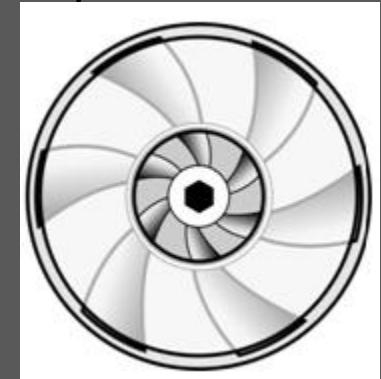
Impulsor semi abierto



- Los álabes son libres por un lado y cerrados por el otro
- La cubierta agrega resistencia mecánica.
- Mayores eficiencias que los impulsores abiertos.
- Se pueden usar en bombas de diámetro medio y con líquidos que contienen pequeñas cantidades de sólidos en suspensión

Impulsor cerrado

Impulsor cerrado



- Las paletas se encuentran entre los dos discos
- Se utilizan en bombas grandes con altas eficiencias
- Succión positivo neto requerido
- Las bombas centrífugas con impulsor cerrado son las bombas más utilizadas para el manejo de líquidos transparentes.
- Mas costoso

1. Clasificación de bombas centrífugas

Según su carcasa

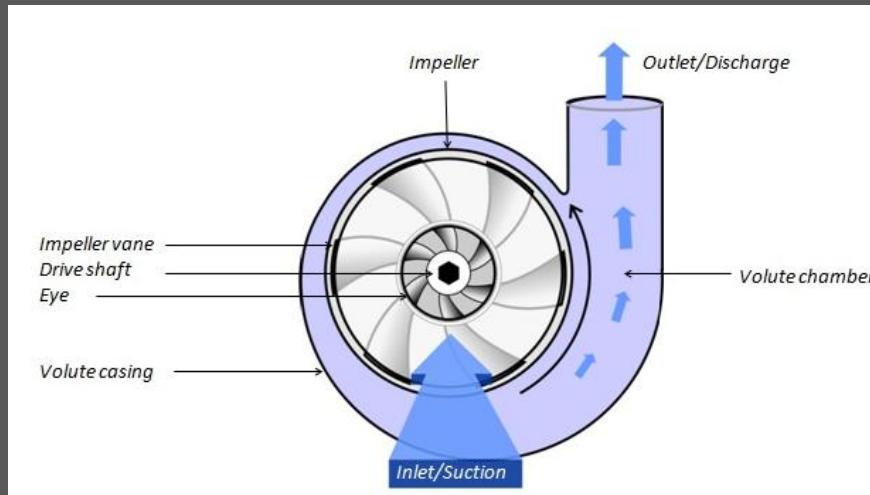
De Voluto

De Carcasa parecida a un caracol

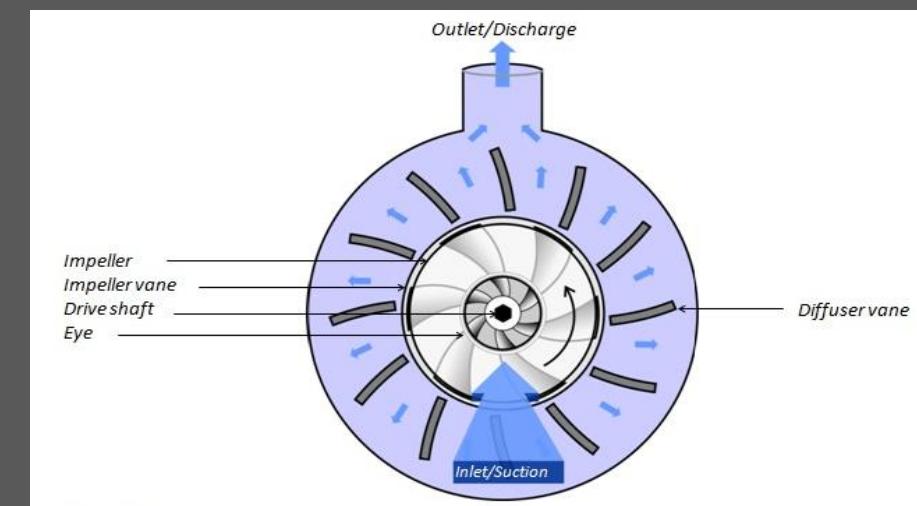
De Difusor

Son aquellas en las cuales la carga dinámica total es desarrollada por más de un impulsor

Carcasa de Voluto

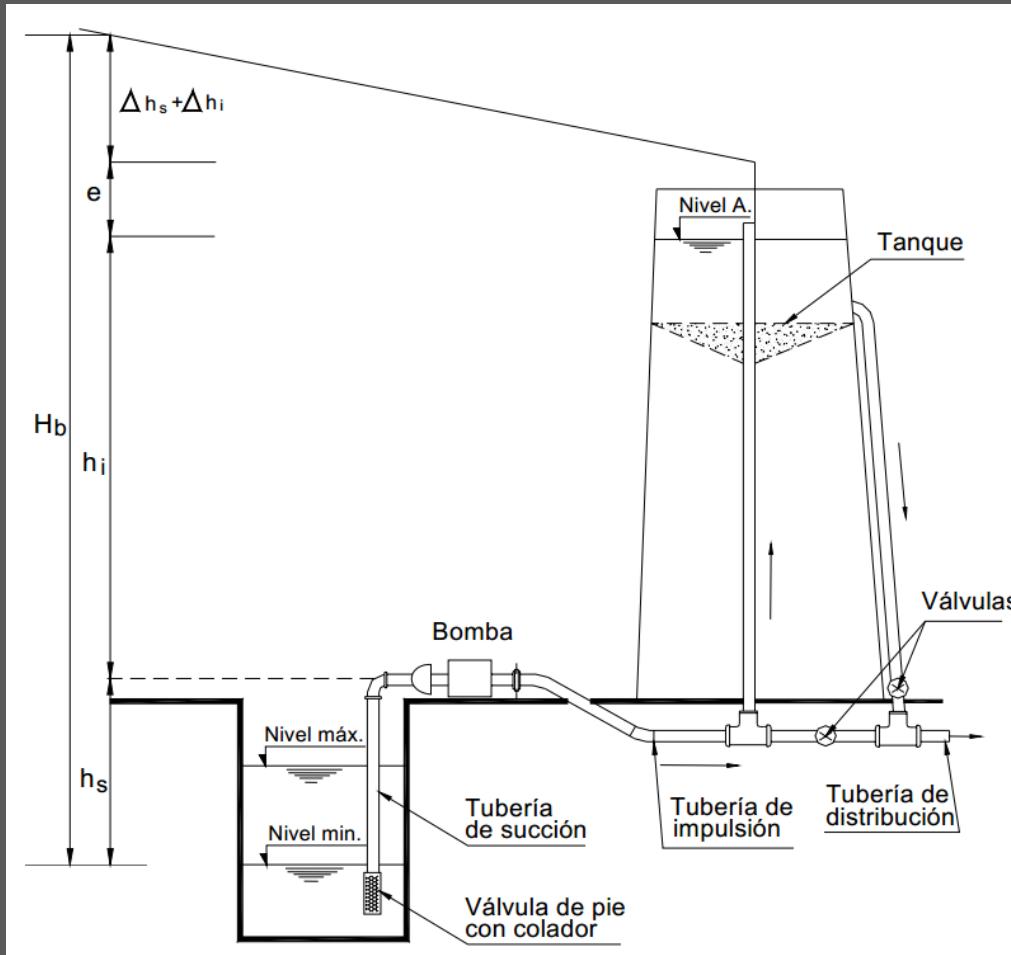


Carcasa de difusor



DIMENSIONAMIENTO POTENCIA DE BOMBAS CENTRIFUGAS

1. Altura manométrica bomba de superficie

Alturas manométricas de bomba superficie

Energía de bombeo necesaria

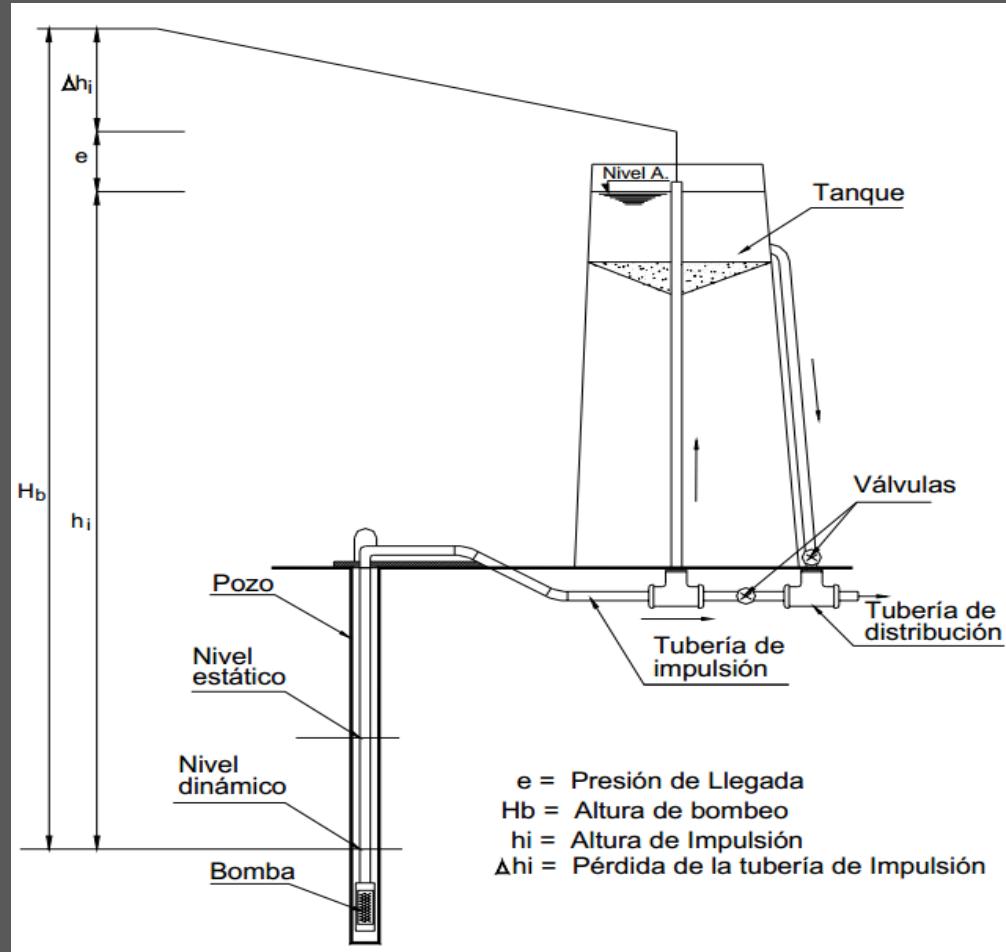
Ec. 3.1

$$H_b = \pm h_s + h_i + \Delta h_s + \Delta h_i + e$$

- e → Presión de Llegada(mínimo 10 m.c.a.)
Hb → Altura manométrica de bombeo
hs → Altura geométrica de Succión
hi → Altura geométrica de Impulsión
 Δh_s → Pérdida de la tubería de Succión
 Δh_i → Pérdida de la tubería de Impulsión

DIMENSIONAMIENTO POTENCIA DE BOMBAS CENTRIFUGAS

1. Altura manométrica bomba sumergida

Alturas manométricas bomba sumergida

Energía de bombeo necesaria

Ec. 3.2

$$H_b = h_i + \Delta h_i + e$$

- e → Presión de Llegada(mínimo 10 m.c.a.)
Hb → Altura manométrica de bombeo
hi → Altura geométrica de Impulsión
 Δh_i → Pérdida de la tubería de Impulsión

DIMENSIONAMIENTO POTENCIA DE BOMBAS CENTRIFUGAS

1. Perdida de carga por fricción

Fórmula De Hazen - Williams (1903)

$$\text{Ec. 3.3 } j = 10.665 \left(\frac{Q}{C} \right)^{1.852} \frac{L}{D^{4.87}}$$

j Pérdida de carga unitaria m/m

C Coeficiente de H-W

Q Caudal en m³/s

D Diámetro en m.

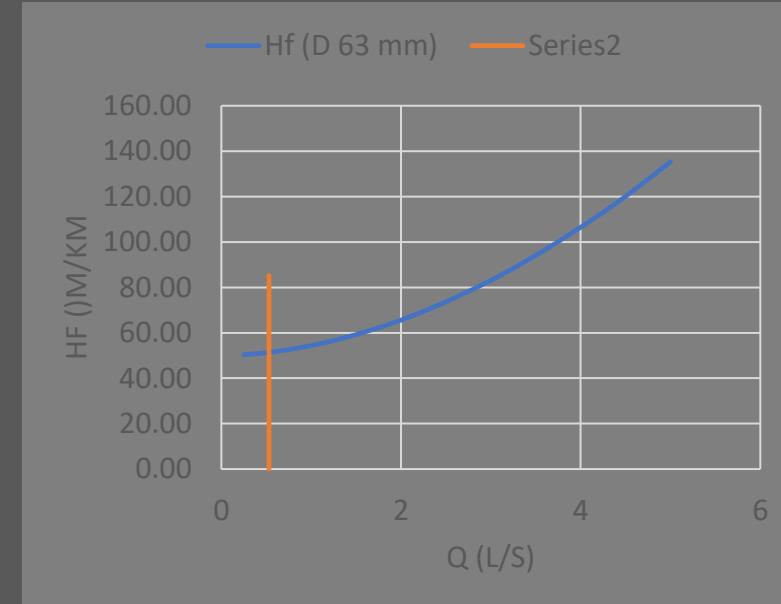
Régimen en transición o turbulento.

Valores típicos de C

C	Material
135 a 150	Fundición nodular
152	Acero
150	Hormigón pretensado
140 a 155	Fibrocemento
150	Plástico o fibra de vidrio
148	Fundición laminar
150	PVC y PE

Curva típica de perdida de carga D=63mm

Q (L/s) - Perdida de Carga (m/Km)



Perdida de carga D=63mm

Q (L/s)	hf/Km	V (m/s)
0.25	0.33	0.09
0.5	1.20	0.19
0.75	2.54	0.28
1	4.33	0.38
1.25	6.54	0.47
1.5	9.17	0.56
1.75	12.20	0.66
2	15.63	0.75
2.25	19.44	0.85
2.5	23.62	0.94
2.75	28.18	1.03
3	33.11	1.13
3.25	38.40	1.22
3.5	44.05	1.32
3.75	50.06	1.41
4	56.41	1.50
4.25	63.11	1.60
4.5	70.16	1.69
4.75	77.55	1.79
5	85.28	1.88

Formula de Mougnie

$$\text{Ec. 3.4} \quad V = 1.5\sqrt{D} + 0.05$$

V Velocidad optima en m/s

D Diámetro en m

DIMENSIONAMIENTO POTENCIA DE BOMBAS CENTRIFUGAS

1. Perdida de carga por accesorios

Darcy-Weisbach

$$\text{Ec. 3.5} \quad \sum H_{lf} = \sum K \frac{v^2}{2g}$$

H_{lf} Pérdida por accesorios

K Resistencia cinemática

v Velocidad media de la sección m/s

Valores típicos K de accesorios

Singularidad	Tipo	K
45° Codo	Standard (R/D = 1)	0.35
	Long Radius (R/D = 1.5)	0.20
90° Codo Curved	Standard (R/D = 1)	0.75
	Long Radius (R/D = 1.5)	0.45
Tee	Pasando	1.00
Tee	Girando	1.50
Tee	Dividiendo	2.00
Union		0.69
Y		0.88

Valores típicos de K

Singularidad	Tipo	K
Compuerta Valvula	Completamente Abierto	0.17
	3/4 Abierto	0.90
	1/2 Abierto	4.50
	1/4 Abierto	24.00
Globo Valvula	Completamente Abierto	6.00
	1/2 Abierto	9.50
Globe Valvula, asiento completo	Completamente Abierto	6.00
	1/2 Abierto	8.50
Valvula Mariposa	θ= 5°	0.24
	θ= 10°	0.52
	θ= 20°	1.54
	θ= 40°	10.80
	θ= 60°	118.00
Disco de taponamiento	Completamente Abierto	9.00
	3/4 Abierto	13.00
	1/2 Abierto	36.00
	1/4 Abierto	112.00
Valvula de Angulo	Completamente Abierto	2.00
Valvula Check	Resorte	2.00
	Disco	10.00
	Bola	70.00
Valvula de pie		15.00
Medidor de Caudal	Disco	7.00
	Piston	15.00
	Rotacional	10.00
	Turbina	6.00

DIMENSIONAMIENTO POTENCIA DE BOMBAS CENTRIFUGAS

1. Dimensionamiento de la potencia de la bomba

Potencia de la bomba

$$\text{Ec. 3.6} \quad P_b = \frac{Q_b H_b}{75\eta}$$

P_b Potencia en CV (1 CV = 0.986 HP)

Q_b Caudal de bombeo (L/s)

H_b Altura manométrica (m)

η Eficiencia de grupo de bombeo (motor + bomba)

Curva H-Q de bomba

Relación entre altura dinámica y caudal de la bomba

$$\text{Ec. 3.8}$$

$$H = -aQ^2 + Hi$$

H Altura dinámica en función al caudal (m)

Hi Altura inicial estática (m)

Q Caudal impulsada por la bomba (L/s)

Curva del sistema

Relación entre la perdida de carga y variación del caudal del sistema $H = aQ^2 + bQ + c$

$$\text{Ec. 3.7} \quad H_p = (z_2 - z_1) - \frac{P_1}{\rho g} - \frac{v_1^2}{2g} + \frac{v_4^2}{2g} + \sum H_f$$

$\frac{P_1}{\rho g}$ → Altura de presión (energía elástica)

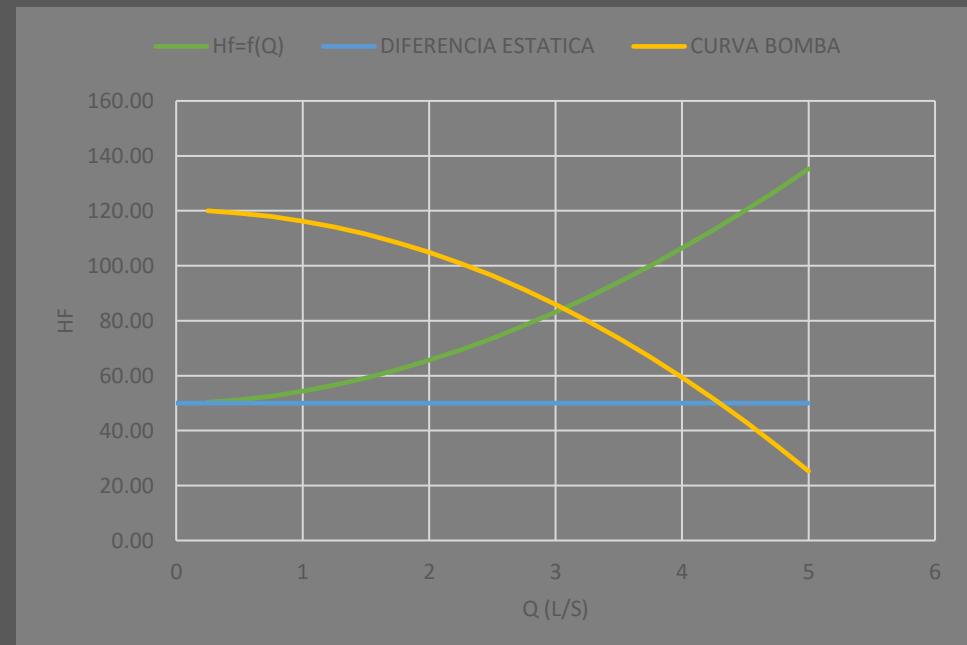
z_1 → Altura geométrica (energía potencial gravitatoria)

$\frac{v_1^2}{2g}$ → Altura cinética (energía cinética)

H_p → Adición de energía de presión (energía elástica)

H_f → Perdida de energía

Curva del sistema – Curva de la bomba

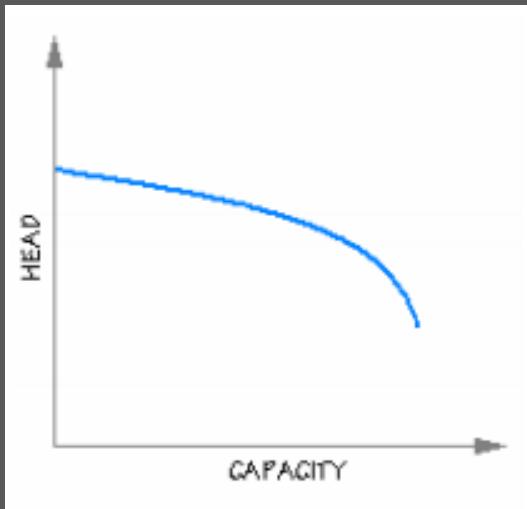


DIMENSIONAMIENTO POTENCIA DE BOMBAS CENTRIFUGAS

1. Tipos de curvas de bombas

Curva característica con máxima carga
a flujo diferente de cero

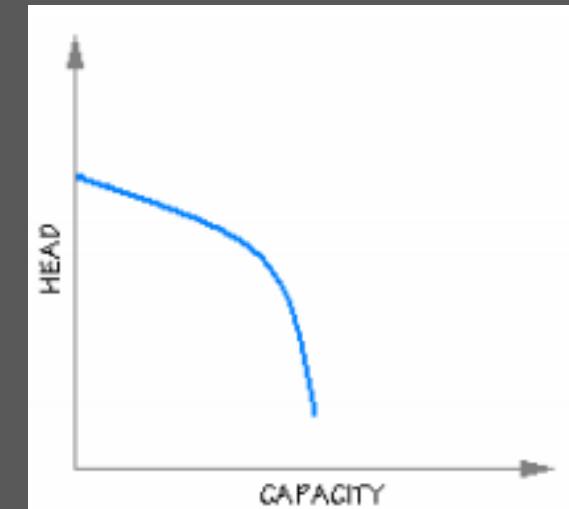
Curva decaimiento lento H-Q



- Es la mas común dentro de las bombas centrífugas
- La operación mas eficiente ocurre a un 80% de su altura total
- Operación de impulsión mas estable

Curva característica creciente de gran
pendiente

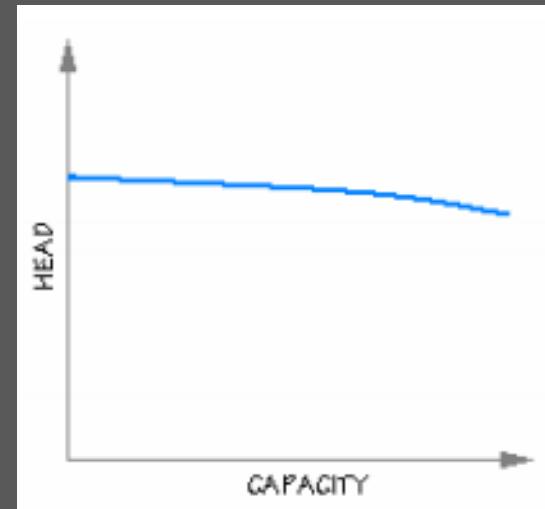
Curva decaimiento rápido H-Q



- Gran variación de presión manteniendo un variación marginal en el caudal de la bomba
- Usos en sistemas contra incendios

Curva característica de poca pendiente
o plana

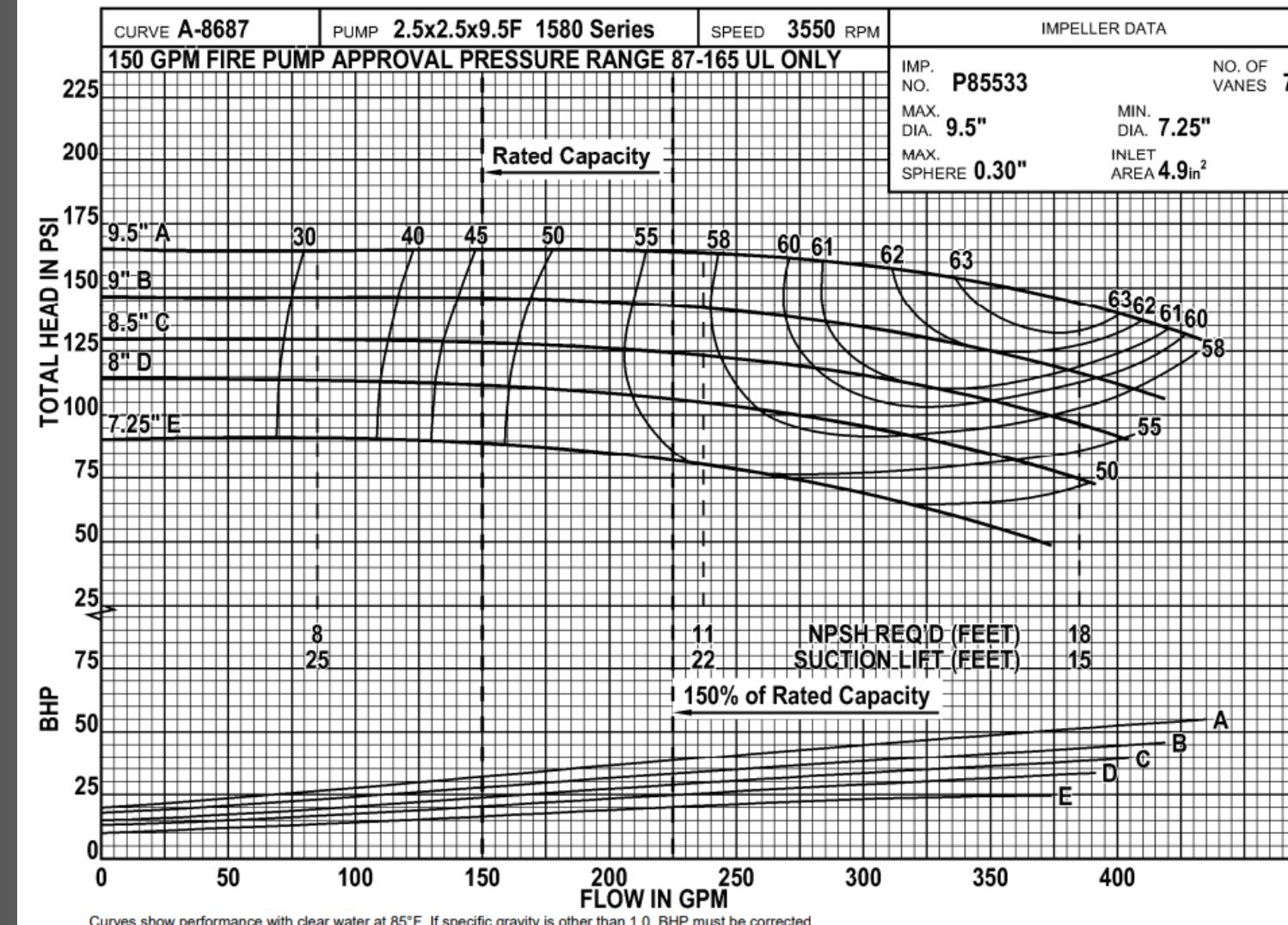
Curva decaimiento plano H-Q



- Variación marginal de la presión con cambios grandes de caudal

DIMENSIONAMIENTO POTENCIA DE BOMBAS CENTRIFUGAS

1. Curva de bomba



DIMENSIONAMIENTO POTENCIA DE BOMBAS CENTRIFUGAS

1. Leyes de afinidad de las bombas centrífugas

Son relaciones que permiten predecir las características de funcionamiento de una bomba centrífuga con un diámetro y velocidad de impulsor conocidos.

Variación de velocidad o frecuencia

Cuando una bomba opera a una velocidad diferente a la velocidad de diseño se pueden determinar los efectos del cambio de velocidad en los parámetros de caudal, carga y potencia de la bomba. Se supone que la eficiencia y el diámetro del impulsor permanecen constantes.

Ec. 3.9

$$\frac{Q}{Qi} = \frac{n}{ni}$$

Ec. 3.10

$$\frac{H}{Hi} = \left(\frac{n}{ni}\right)^2$$

Ec. 3.11

$$\frac{W}{Wi} = \left(\frac{n}{ni}\right)^3$$

Q Gasto

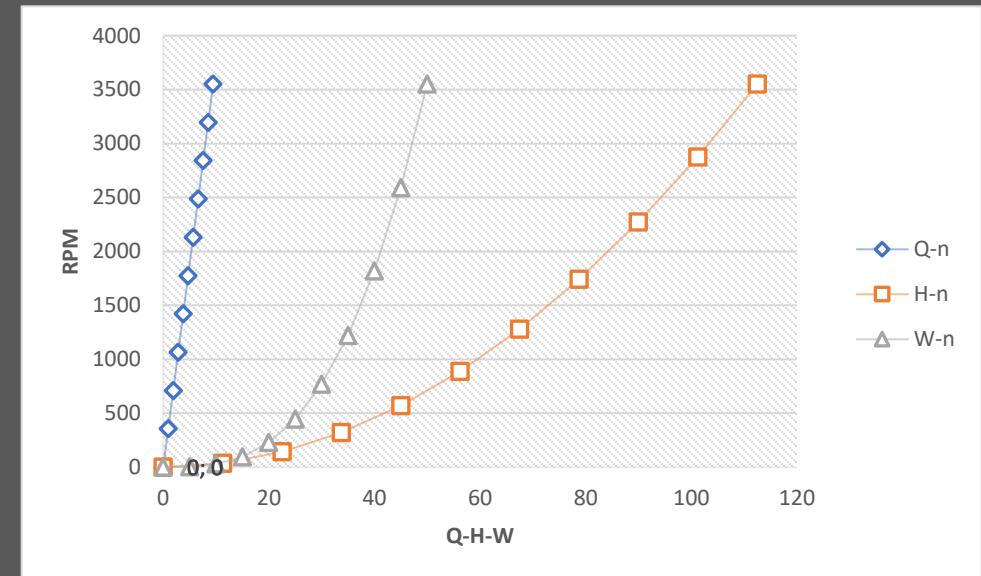
H Carga total de bombeo.

W Potencia.

n Velocidad de la bomba

Variador de frecuencia

Q-n		H-n		W-n	
Q (L/s)	rpm	H (m)	rpm	W (hp)	rpm
9.46	3550	112.5	3550	50	3550
8.514	3195	101.25	2875.5	45	2587.95
7.568	2840	90	2272	40	1817.6
6.622	2485	78.75	1739.5	35	1217.65
5.676	2130	67.5	1278	30	766.8
4.73	1775	56.25	887.5	25	443.75
3.784	1420	45	568	20	227.2
2.838	1065	33.75	319.5	15	95.85
1.892	710	22.5	142	10	28.4
0.946	355	11.25	35.5	5	3.55
0	0	0	0	0	0



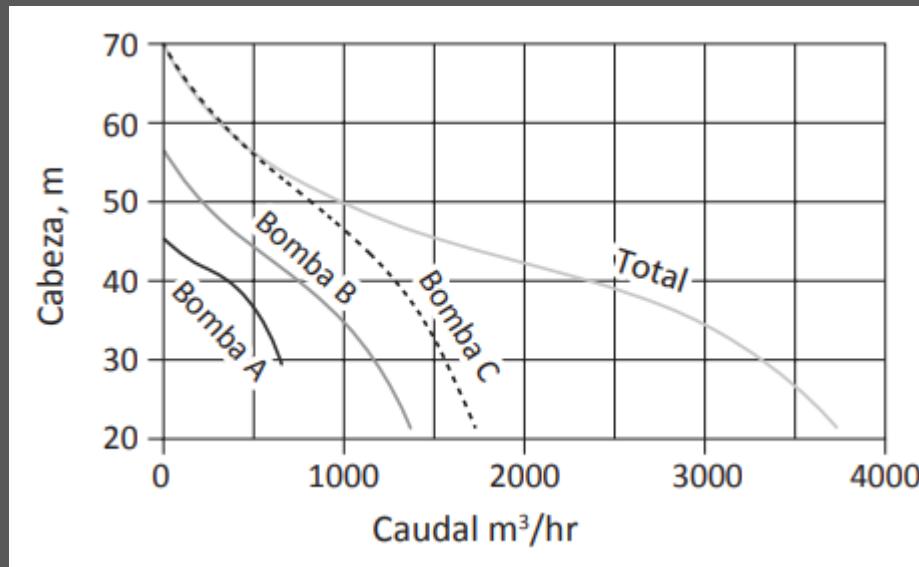
DIMENSIONAMIENTO POTENCIA DE BOMBAS CENTRIFUGAS

1. Curvas de bombas simultaneas

Bombas en paralelo

La curva de comportamiento del arreglo se obtiene sumando las capacidades de cada bomba para iguales condiciones de carga

Bombas en paralelo

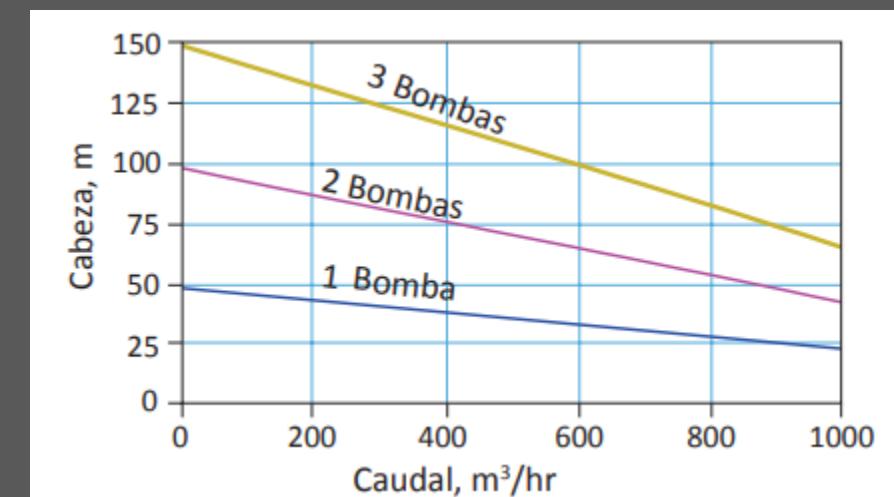


$$H_t = H_1 = H_2 = H_n, \quad Q_t = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n,$$

Bombas en paralelo

El gasto que proporcionan las bombas es el mismo para las dos y la carga combinada es igual a la suma de las cargas individuales de cada unidad, para un gasto determinado.

Bombas en serie



$$Q_t = Q_1 = Q_2 = Q_n, \quad H_2 + \dots + H_n,$$

DIMENSIONAMIENTO POTENCIA DE BOMBAS CENTRIFUGAS

1. Eficiente de la bomba

Velocidad específica (N_s)

Los valores usuales de N_s oscilan entre 10 y 300. Describen la capacidad de la bomba en transportar menores caudales a mayor altura ($N_s <<$) y caudales mayores a menores alturas ($N_s >>$)

Ec 3.12.

$$N_s = \frac{NQ^{\frac{1}{2}}}{H^{\frac{3}{4}}} r^2$$

N_s velocidad específica de la bomba

N velocidad de giro de la bomba (rmp)

Q capacidad de la bomba (m³/s)

H carga de la bomba (m)

Recomendaciones de selección

Zona 1: una etapa, 3500rev/min

Zona 2: una etapa, 1750rev/min o menos

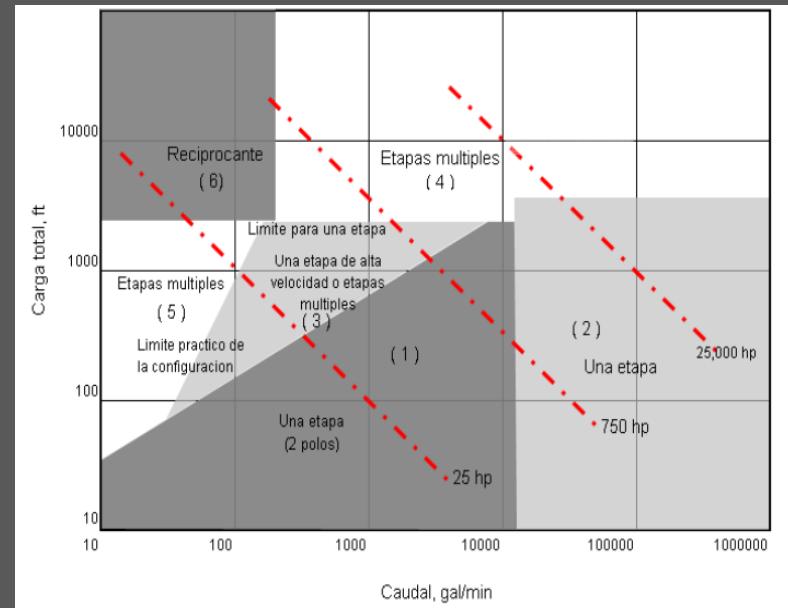
Zona 3: una etapa, más de 3500rev/min o etapas múltiples, 3500rev/min

Zona 4: Etapas múltiples

Zona 5: Etapas múltiples

Zona 6: Reciprocante

Selección según eficiencias de bombas



Tipo de fuente	Tipo de bomba recomendado
Pozo profundo	Bomba centrífuga vertical, sumergible (cilíndrica, angosta) Bomba axial vertical sumergible (cilíndrica, angosta) Bomba neumática o jet
Pozo excavado y cámara de bombeo	Bomba centrífuga vertical sumergible Bomba axial vertical sumergible Si $h_s < 4$ m (h_s = altura de succión) - Bomba centrífuga horizontal, no sumergible - Bomba centrífuga vertical, no sumergible
Cuerpo de agua superficial	Bomba centrífuga vertical, sumergible (cuerpo chato) Bomba centrífuga horizontal (sobre plataforma flotante o móvil) Bomba axial horizontal (sobre plataforma flotante o móvil)

DIMENSIONAMIENTO POTENCIA DE BOMBAS CENTRIFUGAS

1. Caudal de bombeo y numero de horas de funcionamiento

Caudal de bombeo

El caudal de bombeo esta en función del numero de horas de bombeo de la estación.

Ec 3.13

$$Q_b = Q_{max} \frac{24}{N} \pi r^2$$

Q_b

Q_{max}

N

Caudal de bombeo (L/s)

Caudal máximo diario (L/s)

Horas de bombeo al día

Alternativas de caudal de bombeo

Bombeo a un tanque de almacenamiento

El equipo de bombeo y tubería de impulsión deben ser calculadas con base en el caudal máximo diario y el número de horas de bombeo

Bombeo directo a la red de distribución

Cuando el bombeo se realiza directamente a la red de distribución, el caudal de bombeo será igual al caudal máximo horario. El sistema de bombeo debe ser regulado por un sistema automático de las presiones máximas y mínimas para evitar roturas de en la red y/o áreas de subpresión.

Recomendaciones de tiempo y numero de ciclos máximo

KW	2 polos		4 polos		6 polos	
	Arranques máx/ hora	Tiempo mín apag (s)	Arranques máx/ hora	Tiempo mín apag (s)	Arranques máx/ hora	Tiempo mín apag (s)
1	15	75	30	38	34	33
5	8.1	83	16.3	42	18.4	37
10	6.2	92	12.5	46	14.2	41
15	5.4	100	10.7	46	12.1	44
20	4.8	100	9.6	55	10.9	48
50	3.4	145	6.8	72	7.7	64
75	2.9	180	5.8	90	6.6	79
100	2.6	220	5.2	110	5.9	97
200	2	600	4	300	4.8	268
250	1.8	1000	3.7	500	4.2	440

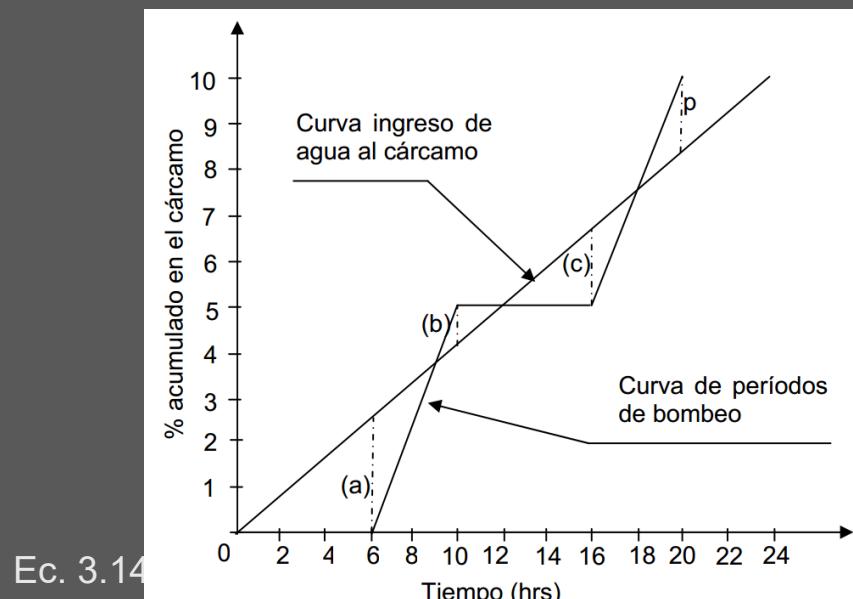
DIMENSIONAMIENTO POTENCIA DE BOMBAS CENTRIFUGAS

1. Volumen de reservas

Diagrama de masa

Se realiza un balance de masa entre la curva de consumo de la reserva y caudal de bombeo

Recomendaciones de tiempo y numero de ciclos máximo



$$\text{Ec. 3.15} \quad \sum Q_b t = Vc$$

Diámetro de la tubería de impulsión

Fórmula de Bresse

$$\text{Ec. 3.17} \quad d = 1.3 N^{\frac{1}{4}} \sqrt{Q}$$

D Diámetro tubería de impulsión (m)

N Horas de bombeo / 24

Q Caudal de bombeo (m³/s)

La velocidad de impulsión deberá encontrarse entre 1.2 m/s a 1.5 m/s

Diámetro de tubería de succión

$$\text{Ec. 3.16} \quad d = 1.1284 \sqrt{\frac{Q}{V}}$$

d Diámetro de la tubería de succión (m)

Q caudal de bombeo (m³/s)

V velocidad media de la succión (m/s)

La velocidad en la tubería de succión debe estar entre 0,60 y 0,90 m/s. La Tubería de succión deberá tener un diámetro comercial igual o superior al diámetro calculado para la tubería de impulsión

DIMENSIONAMIENTO POTENCIA DE BOMBAS CENTRIFUGAS

1. Volumen del hidro neumático

Para dimensionar el volumen del hidroneumático del sistema de presión de agua potable, se estima una cantidad de ciclos con relación a la potencia de la bomba con relación a la siguiente tabla

Recomendaciones de tiempo y numero de ciclos máximo

POTENCIA (HP)	MAX. # CICLO	TIEMPO (min)
HASTA 10	20	3
DE 10 A 20	15	4
DE 20 A 30	12	5
DE 30 A 50	10	6
MAS DE 50	6	10

El volumen del tanque hidroneumático

$$\text{Ec. 3.14} \quad W_{thn} = \frac{19 R_{aire} Q_b (P_{off} + 10.33)}{N_{bombas} N_{ciclos} (P_{off} - P_{on})}$$

- W_{thn} volumen total del tanque hidroneumático (L)
Q_b caudal de bombeo (L/min)
N bombas numero de bombas en funcionamiento
N ciclos numero de ciclos por hora
P_{on}, P_{off} presión de arranque presión de apagado
R aire coeficiente para el tipo de renovación de aire

1. *Esquema de instalación*



Planning The Installation

CAVITACION

1. Sumergencia mínima

Cuando se emplean bombas centrífugas de eje horizontal se debe verificar la sumergencia, esto es el desnivel entre el nivel mínimo de agua en el cárcamo y la parte superior del colador o criba.

Impedir el ingreso de aire

$$\text{Ec. 3.18} \quad S = 2.5D + 0.1$$

Condición hidráulica

$$\text{Ec. 3.19} \quad S = 2.5 \left(\frac{v^2}{2g} \right) + 0.2$$

Se deberá considerar un mayor mínimo de 0.7 cm para condiciones de velocidad de succión entre 0.6 y 0.9 y diámetros menores de 250 mm

2. Carga neta positiva de succión (NPSH)

La NPSH necesaria y al disponible son parámetros de control de la cavitación en los impulsores de las bombas.

NPSH disponible está en función del diseño del bombeo y representa la diferencia entre la carga absoluta y la presión de valor líquido a temperatura constante

$$\text{Ec. 3.20} \quad NPSH_{disponible} = H_{atm} - (P_v + H_s + \Delta H_s)$$

$NPSH_{disponible}$

H_{atm}

P_v

H_s

ΔH_s

Carga neta positiva de succión disponible (m)

Presión atmosférica (m)

Presión vapor (m)

Altura estática de succión (m)

Perdida de presión por fricción (m)

La NPSH necesaria

Es la carga exigida por la bomba entre la presión de succión y presión de vapor del líquido para que la bomba no cavitie

$$\text{Ec. 3.21} \quad NPSH_{disponible} \geq NPSH_{necesaria} + 0.5$$

1. Valores de presión absoluta y presión atmosférica**Presión atmosférica según altura sobre nivel del mar**

Altura sobre el nivel del mar (m)	Presión atmosférica (m.c.a.)
0	10,3
500	9,7
1 000	9,1
1 500	8,6
2 000	8,1
2 500	7,6
3 000	7,1
3 500	6,7
4 000	6,3
4 500	5,9
5 000	5,5
5 500	5,2
6 000	4,9

Presión absoluta de vapor de agua

Temperatura (°C)	Densidad (kg/m³)	Presión de vapor H_{vap} (m)
0	999,90	0,06
5	1000,00	0,09
10	999,70	0,12
15	999,10	0,17
20	999,20	0,25
25	999,10	0,33
30	995,70	0,44
35	994,10	0,58
40	992,20	0,76
45	990,20	0,98
50	988,10	1,25
55	985,70	1,61
60	983,20	2,03
65	980,60	2,56
70	977,80	3,20
75	974,90	3,96
80	971,80	4,85
85	968,60	5,93
90	965,30	7,18
95	961,90	8,62
100	958,40	10,33

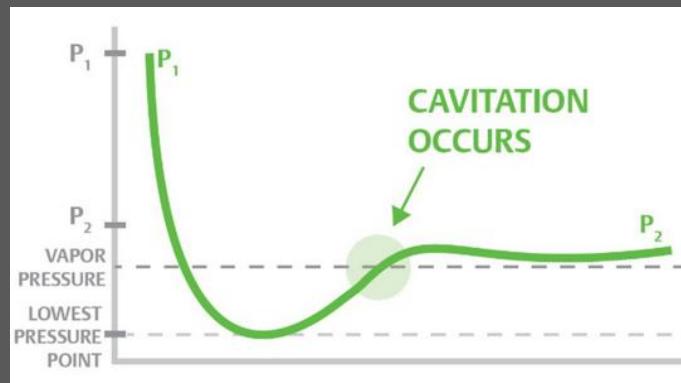
CAVITACION

1. Cavitación

La cavitación es la formación y el colapso de las burbujas de vapor (cavidades) en las corrientes de caudal líquido ocasionadas por cambios en la presión y la velocidad

La cavitación en las válvulas de control ocurre únicamente en los flujos de líquido; los gases no pueden cavitar.

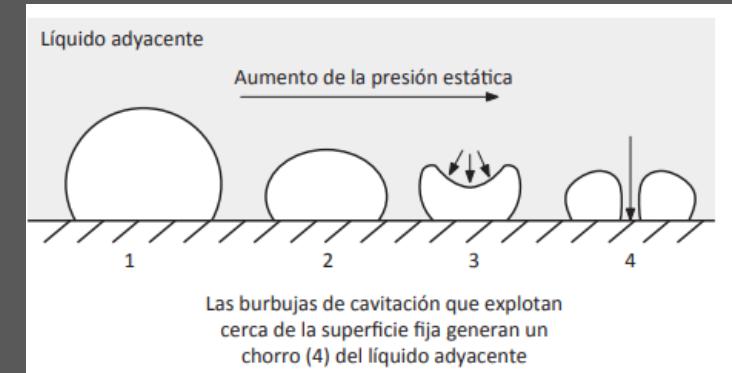
Punto en el que un líquido cava



Las burbujas de vapor se forman si la presión del líquido cae cerca de la presión de vapor a medida que el líquido pasa a través de la válvula de control o de los impulsores de una bomba.

Las burbujas pueden colapsar o implosionar repentinamente conforme la presión aumenta la línea descendente, lo que produce la cavitación.

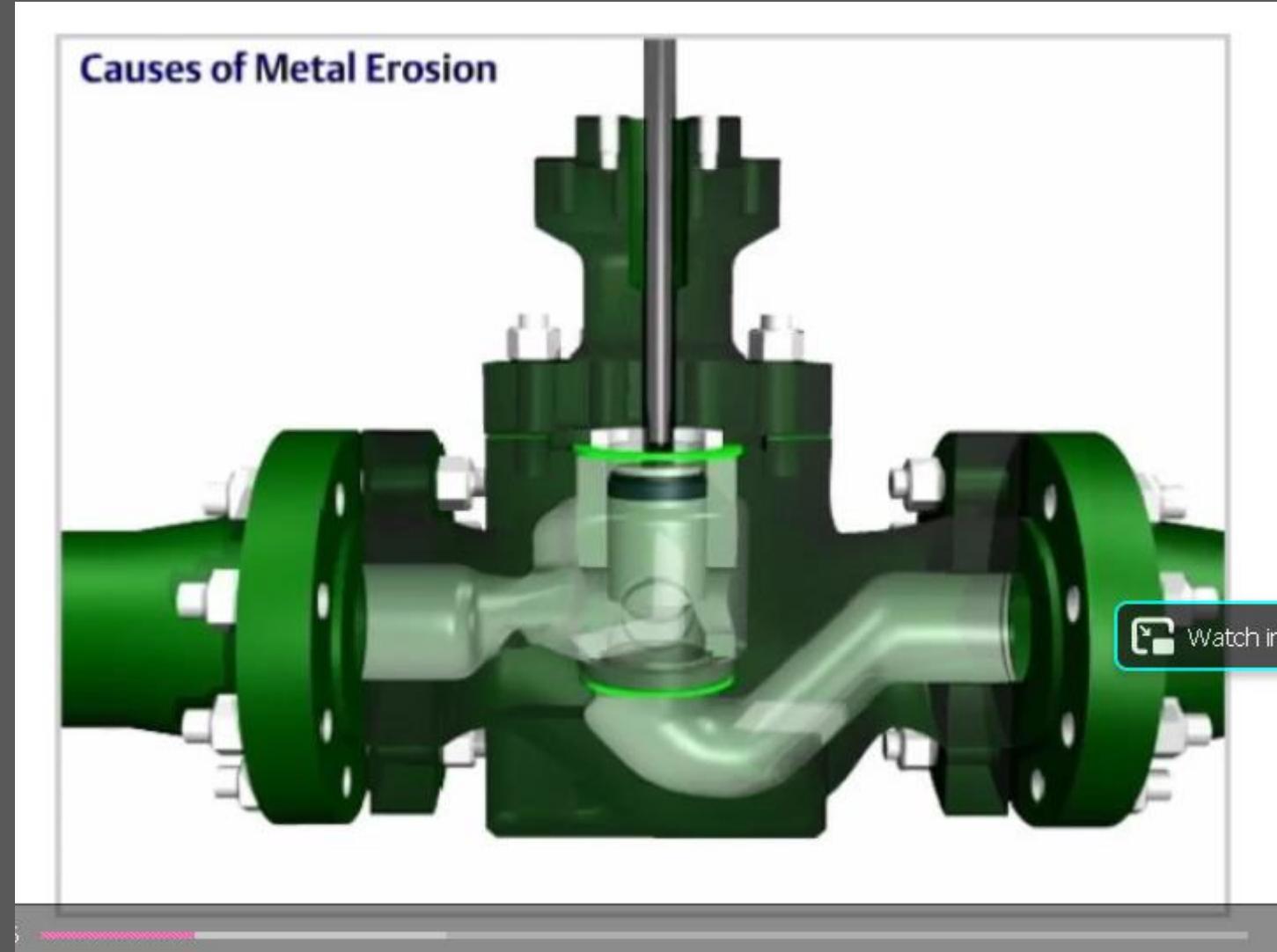
Implosión de burbuja de vapor



Daños por cavitación



1. Cavitación



VALVULAS DE CONTROL

1. Válvulas de control

Instrumento mecánico con el cual se puede iniciar, detener o regular la circulación (paso) de líquidos o gases mediante una pieza móvil que abre, cierra u obstruye en forma parcial uno o más orificios o conductos

Funciones de una válvula

- Permitir o detener un flujo
- Regular la presión y caudal volumétrico de un flujo
- Regular la dirección de un flujo
- Aliviar presión
- Ingresar o sacar aire del sistema de tuberías

Partes de una válvula de control

Actuador y cuerpo

Actuador

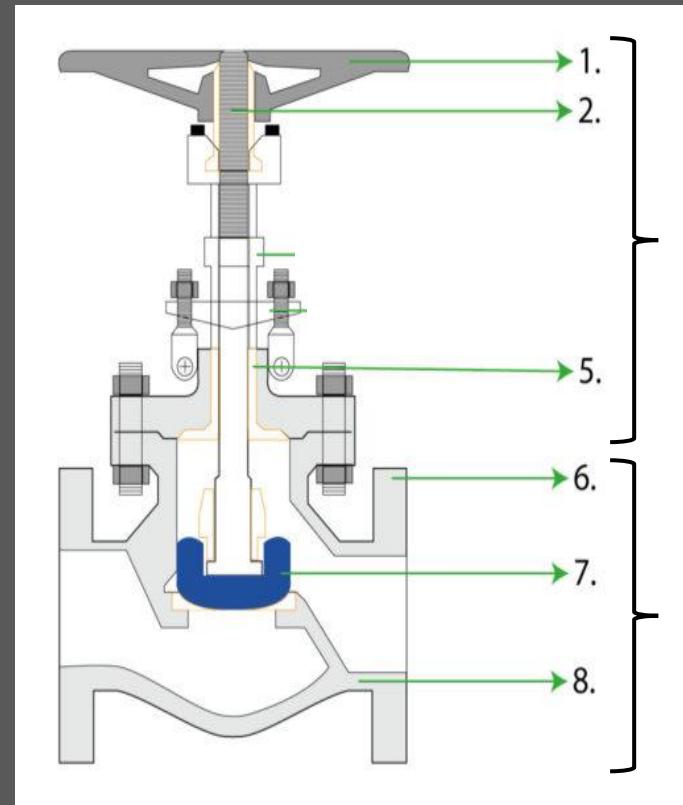
Un actuador es un dispositivo capaz de transformar energía mecánica, hidráulica, neumática o eléctrica para operar la válvula de control y son manuales, automáticos o actuados.

Cuerpo

Donde residen las partes de la válvula que están en contacto con el fluido que son el obturador, la tapa y el asiento

#	Parte
1	Volante
2	Vástago
5	Tapa
6	Conex ion
7	Obturador
8	Cuerpo

Partes de una válvula de control (Globo)



Actuador

Cuerpo

ELEMENTOS VALVULAS DE CONTROL

1. Cuerpo

El cuerpo de la válvula sirve como elemento principal del ensamble de una válvula dado que es el marco que mantiene juntas todas las partes.

El cuerpo, el primer contenedor de presión de una válvula, resiste las cargas de presión del fluido. Recibe tuberías de entrada y salida a través de juntas roscadas, atornilladas, soldadas o bridadas.

Cuerpo y tapa de una válvula



2. Tapa o bonete

La cubierta para la abertura en el cuerpo es el bonete o tapa

Un bonete actúa como una tapa en el cuerpo de la válvula, está fundido o forjado del mismo material que el cuerpo. Comúnmente está conectado al cuerpo por una unión roscada, atornillada o soldada.

Durante la fabricación de la válvula, los componentes internos, como el vástagos, el disco, etc., se colocan en el cuerpo y luego se une el bonete para mantener todas las partes juntas en el interior.

En todos los casos, la fijación del bonete al cuerpo se considera un límite de presión. Esto significa que la junta de soldadura o los tornillos que conectan el bonete al cuerpo son piezas que retienen la presión

Propenso a fugas

CLASIFICACION DE OBTURADORES

1. Disco o obturador

Válvulas con obturador de movimiento lineal:

Las válvulas de movimiento lineal, en las que el obturador se mueve en la dirección de su propio eje.

Válvula con obturador de movimiento rotativo:

Las válvulas en las que el obturador tiene un movimiento rotativo.

Clasificación de válvulas según su movimiento de obturación

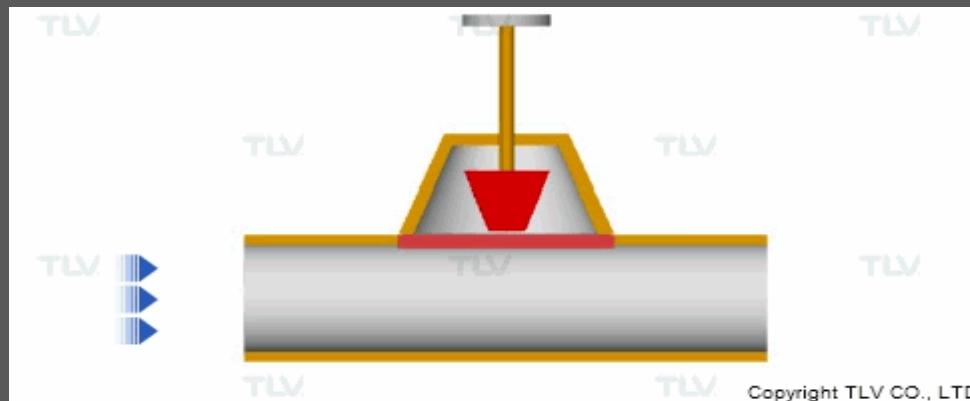


TIPOS DE OBTURADORES

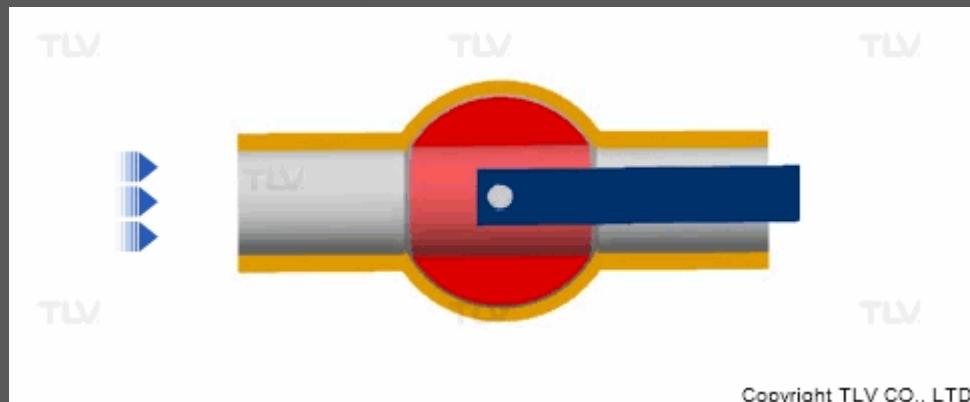
1. Disco o obturador

El disco es la parte que permite, estrangula o detiene el flujo, dependiendo de su posición. Es un contenedor de presión

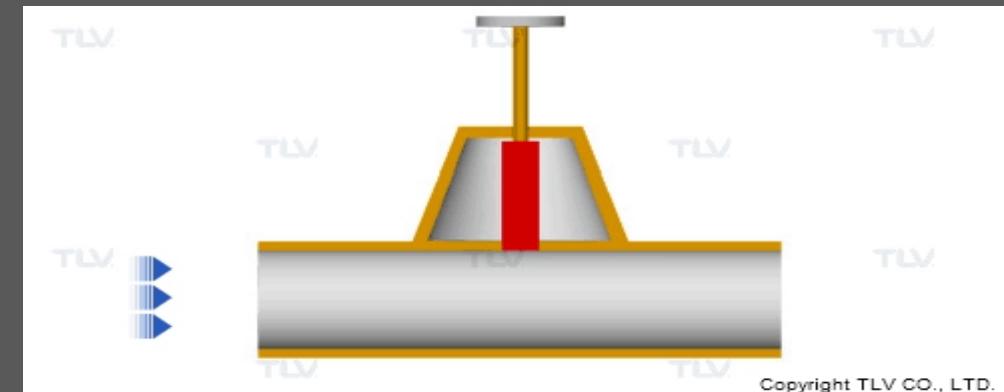
Obturador tipo diafragma (Lineal)



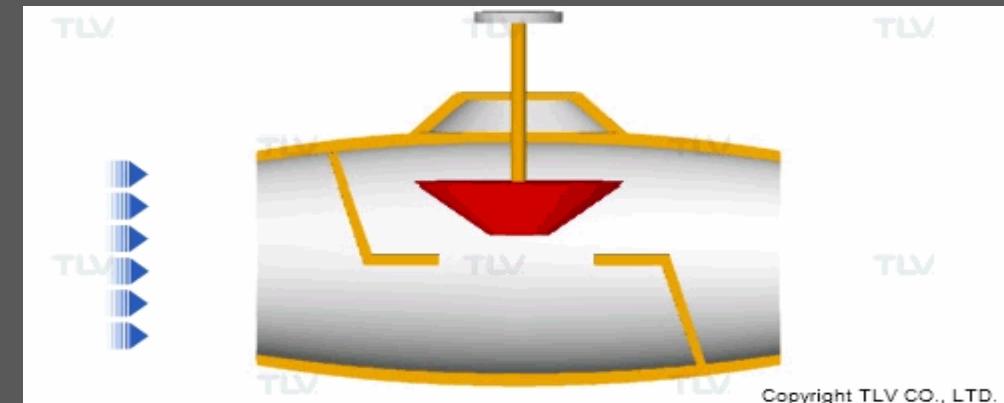
Obturador tipo mariposa o bola (rotacional)



Obturador tipo compuerta (Lineal)



Obturador tipo globo (Lineal)



Tipos movimiento de obturación
Lineal o rotacional

VALVULAS DE CONTROL

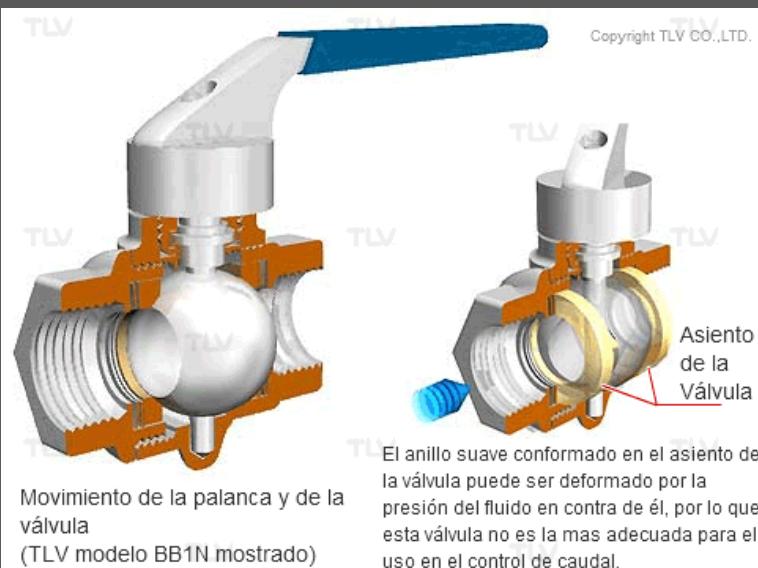
1. Asiento, vástago y volante

Asiento

El asiento o anillos de sellado proporcionan la superficie de sello para el disco o obturador. Una válvula puede tener uno o más asientos.

En el caso de un globo generalmente tiene un asiento, en el caso de válvula de compuerta hay dos asientos (aguas arriba y aguas abajo)

Sello de una válvula de bola

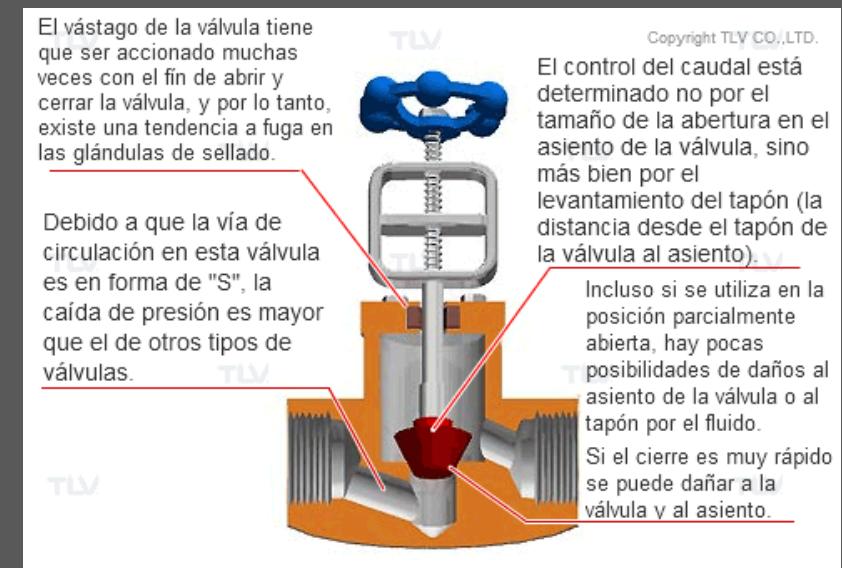


Vástago y volante

El vástago de la válvula proporciona el movimiento necesario al disco o obturador para abrir o cerrar la válvula. Está conectado al volante de la válvula, el actuador o la palanca en un extremo y en el otro lado al disco o obturador de la válvula.

En las válvulas de compuerta o globo, se necesita un movimiento lineal del disco para abrir o cerrar la válvula, mientras que en las válvulas de tapón, bola y mariposa, el disco gira para abrir o cerrar la válvula

Sello de una válvula de globo



MATERIAL DE UNA VALVULA

1. Material de una válvula

El obturador y los asientos se fabrican, normalmente, en acero inoxidable porque este material es muy resistente a la corrosión y a la erosión del fluido.

Cuando la velocidad del fluido o presión es baja, pueden utilizarse PVC, fluoro carbonos y otros materiales blandos, solos o reforzados con fibras de vidrio o grafito.

Materiales típicos

- Hierro Fundido
- Hierro Dúctil
- Acero Fundido
- Acero Inoxidable
- Bronce
- Bronce Marino
- Poliamida
- PVC
- Titanio (apto para ácidos y líquidos corrosivos)

Presión >>>

Hierro Dúctil

Presión >>

Hierro fundido

Presión >

PVC

Válvula de bola de PVC y compuerta de hierro fundido



Válvula de globo de bronce y compuerta de hierro dúctil



ACTUADORES DE UNA VALVULA

1. *Métodos de actuación y tipos de actuadores*

Actuador también llamado accionador o servomotor, es un dispositivo capaz de transformar energía hidráulica, neumática o eléctrica en maniobras de una válvula

Válvulas Manuales: accionadas manualmente por medio de aplicación de fuerza mecánica

Válvulas con actuador: actuador puede ser neumático, eléctrico, hidráulico

Válvulas automáticas: bajo determinado condición de presión o flujo se abren o cierran

Válvula de mariposa con actuador electromecánico



Válvula de mariposa con actuador neumático



Válvula de mariposa manual



TIPOS DE VALVULA

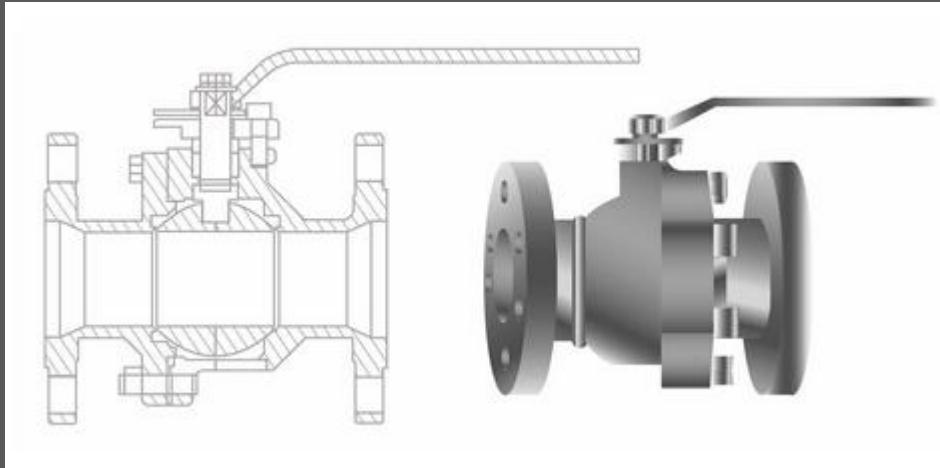
1. Válvulas obturador rotativo

Válvula de bola

el cuerpo tiene una cavidad interna esférica que alberga un obturador en forma de esfera o de bola.

La bola tiene un corte adecuado que fija la curva característica de la válvula, y se gira transversalmente accionada por un servomotor exterior. En posición de apertura total, la válvula equivale aproximadamente al 75% del tamaño de la tubería. La válvula de bola se emplea principalmente en el control de caudal de fluidos negros, o bien en fluidos con gran porcentaje de sólidos en suspensión.

Válvula de bola

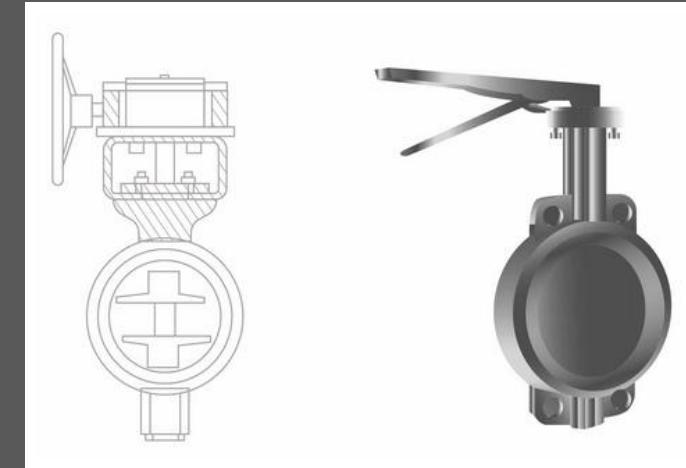


Válvula de mariposa

Su cuerpo está formado por un anillo cilíndrico dentro del cual gira transversalmente un disco circular. La válvula puede cerrar herméticamente mediante un anillo de goma嵌入在身体中。当它旋转时，一个环形的橡胶密封圈会紧密地贴合在阀体的内壁上，从而实现密封。

Se necesita una fuerza grande del actuador para accionar la válvula. Las válvulas de mariposa se emplean para el control de grandes caudales de fluidos a baja presión o de gran presión con triple excentricidad.

Válvula de mariposa



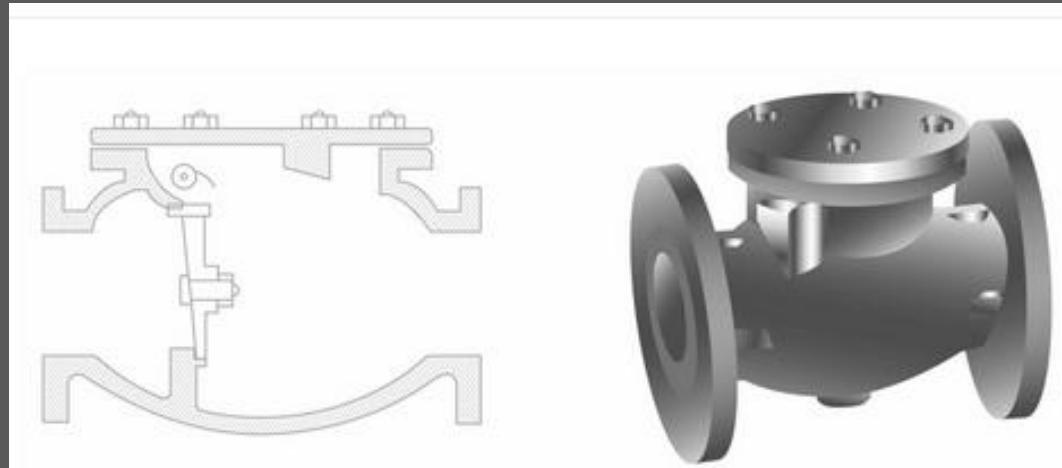
TIPOS DE VALVULA

1. Válvulas obturador rotativo

Válvula de anti retorno

Tienen por objetivo cerrar por completo el paso de un fluido en circulación en un sentido y dejar paso libre en el contrario.

Válvula de anti retorno

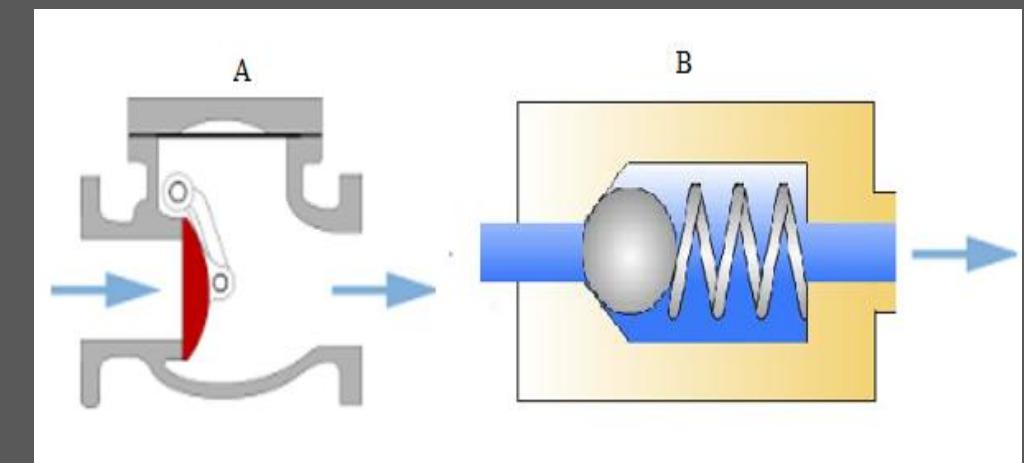


Tipos de válvulas anti retorno

Válvula de clapeta oscilante: una clapeta oscilante funciona como obturador y cierra el paso, por gravedad, cuando el fluido circula en dirección no deseada. Funcionan por gravedad, por lo que deben colocarse en una posición determinada.

Válvula de muelle: Su funcionamiento depende de un muelle instalado a cierta presión, el cual sostiene un obturador sobre un anillo de cierre (B); la presión del agua vence la resistencia del muelle dejando pasar el fluido, pero el muelle cierra el paso cuando el fluido circula en sentido contrario.

Mecanismos de válvulas anti retorno



TIPOS DE VALVULA

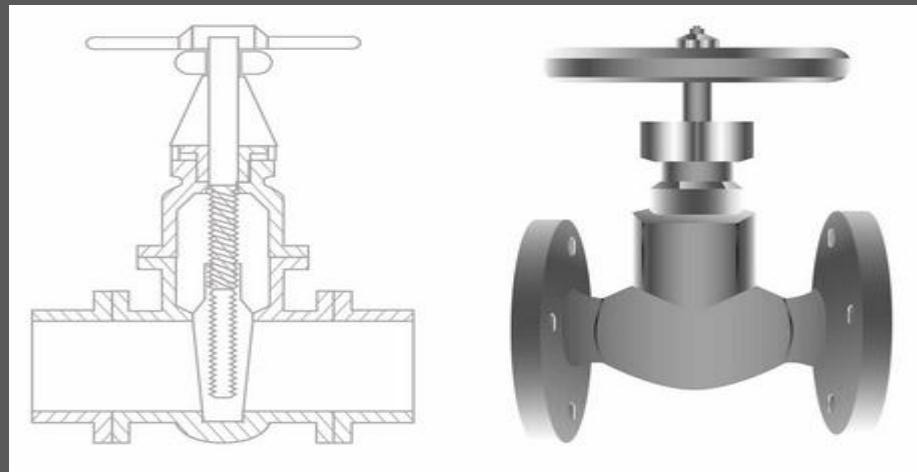
1. Válvulas obturador lineal

Válvula de compuerta

Efectúa su cierre con un disco vertical plano, o de forma especial, y que se mueve verticalmente al flujo del fluido.

Este tipo de válvula no es recomendable para regulación o estrangulamiento ya que el disco podría resultar erosionado y parcialmente abierta puede sufrir vibraciones. Tiene la ventaja de presentar muy poca resistencia al flujo de fluido cuando está en la posición de apertura total.

Válvula de compuerta

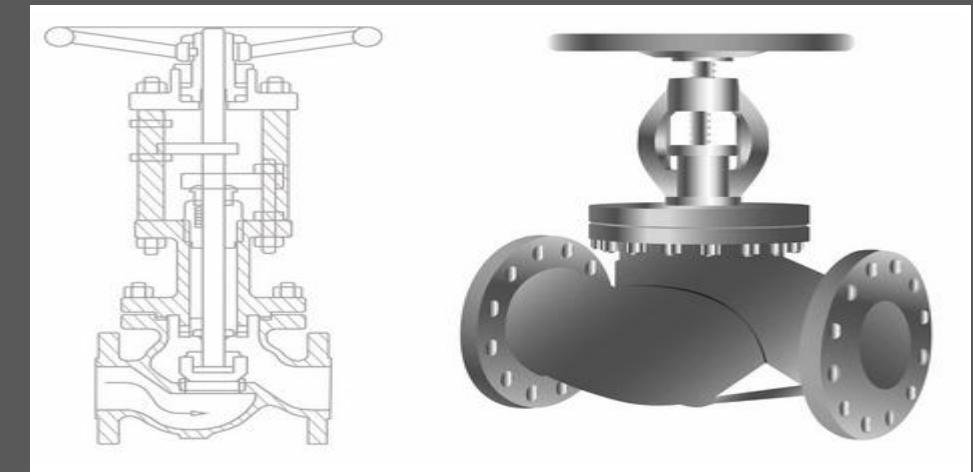


Válvula de globo

se caracteriza porque el flujo de entrada o salida es perpendicular al eje del obturador.

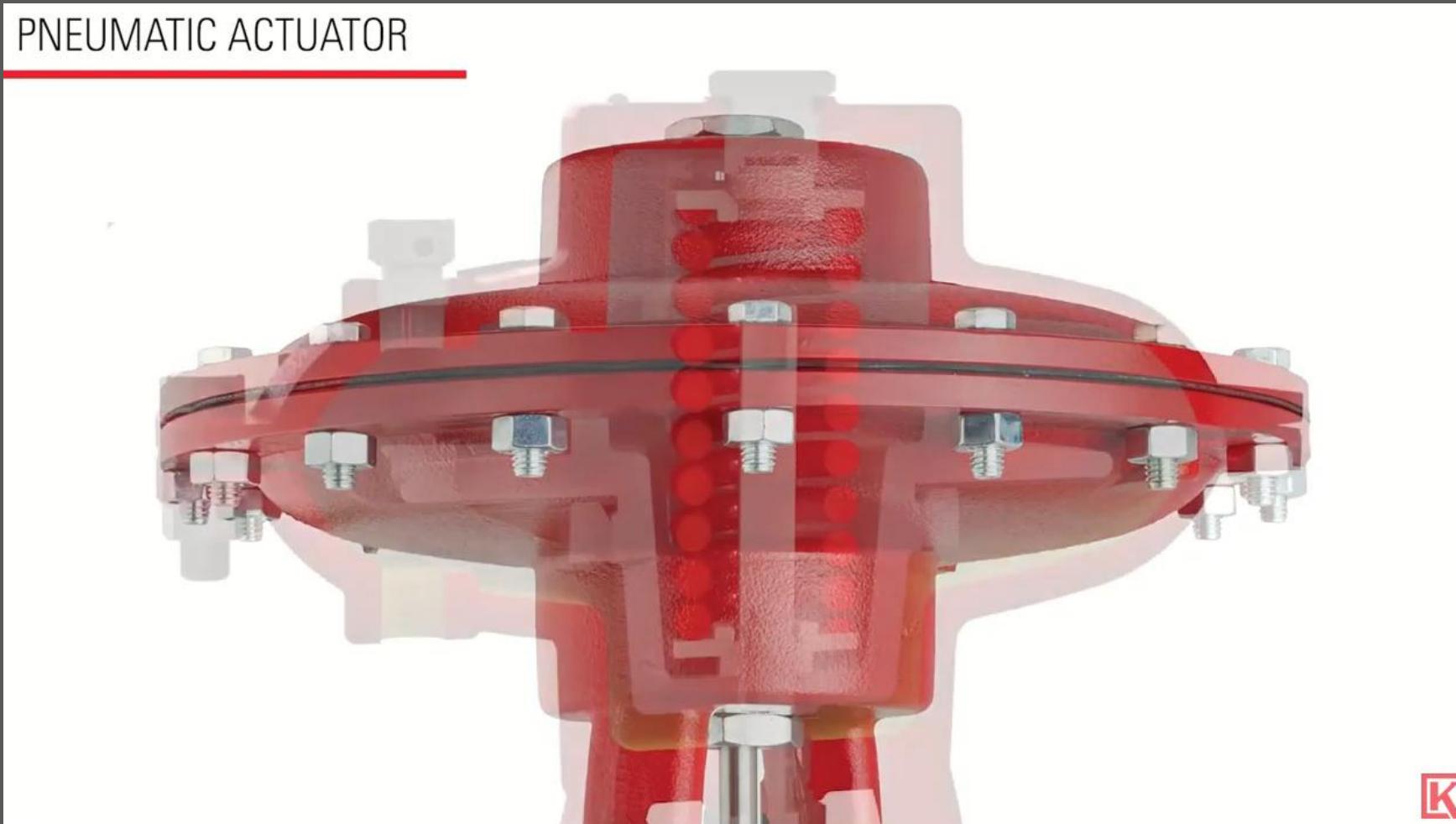
Pueden ser de simple asiento, doble asiento y de obturador equilibrado.

Válvula de globo



VÁLVULAS CON DIAFRAGMA

1. Válvula de diafragma con actuador neumático



1. Válvulas automáticas (piloto y diafragma)

Pilotos

Es un sistema que tiene tuberías de pequeño diámetro que conectan diferentes partes del cuerpo de la válvula con un control de diafragma y se utiliza controlar parámetros de velocidad, presión y caudal en una válvula automática.

Tipos de pilotos

Control de presión

- Válvulas anticipadores de golpe de ariete
- Válvulas reductoras de presión
- Válvulas sostenedoras

Control de nivel

- Válvulas flotadora

Control de caudal

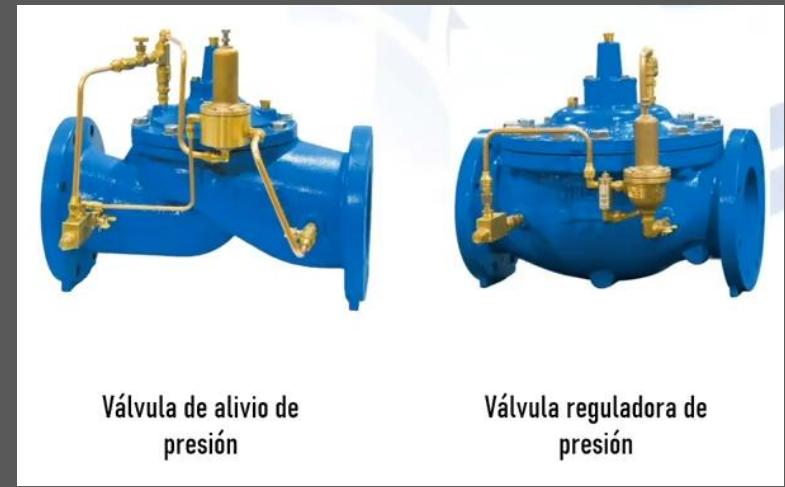
- Válvulas de control de caudal
- Válvulas de seguridad

Esquema de una válvula de diafragma con pilotos diferentes



Válvula de flotador
modulante

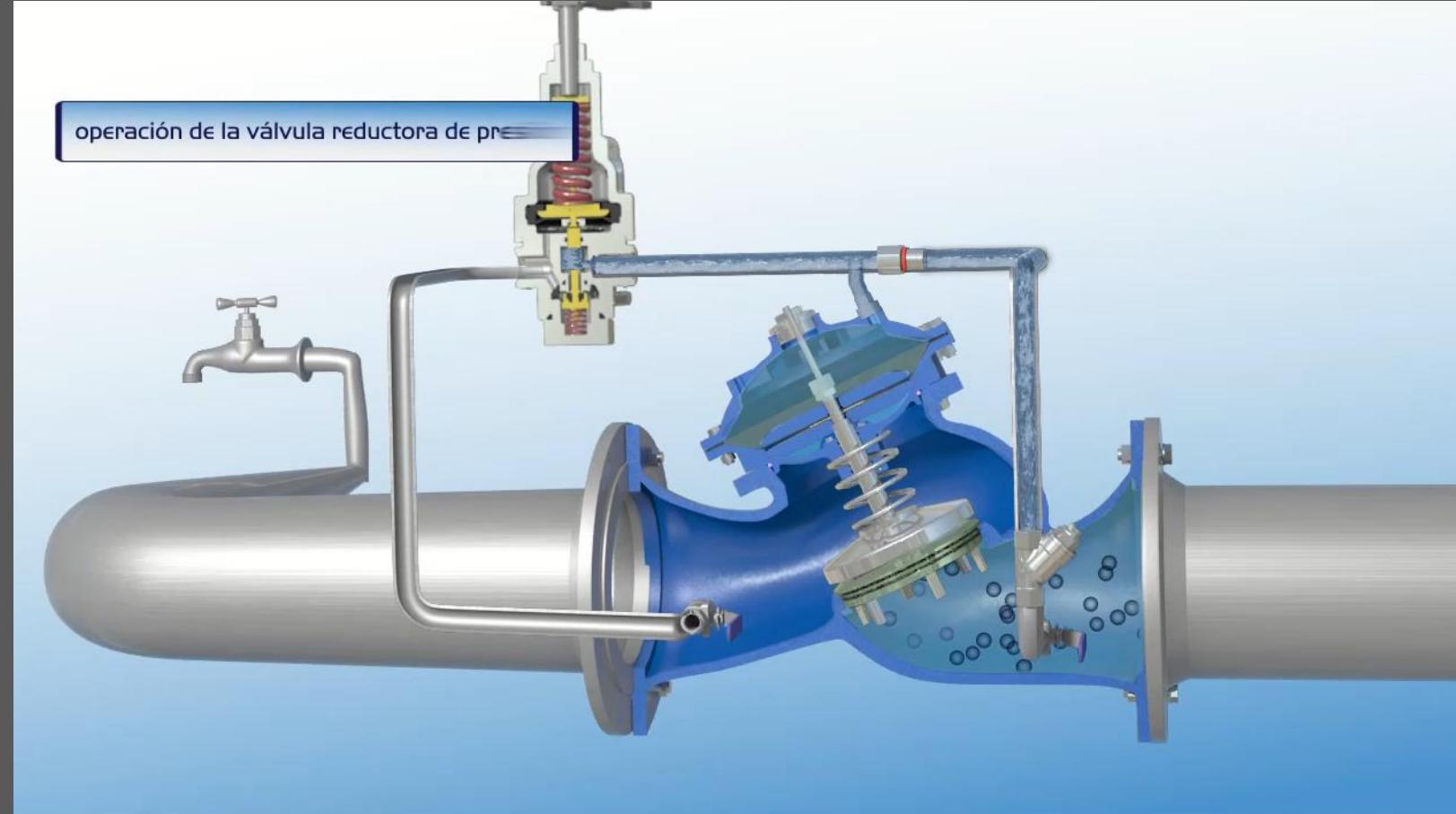
Válvula limitadora de
caudal



Válvula de alivio de
presión

Válvula reguladora de
presión

1. Válvula autoamática (Piloto Reductor)



ACTUADORES DE UNA VALVULA

1. Válvula automática (Piloto flotador - nivel)



COEFICIENTE DE CAUDAL

1. Coeficiente de caudal (K_v)

Las válvulas de control son conceptualmente orificios de área variable. Se las puede considerar simplemente como una restricción que cambia su tamaño de acuerdo a un pedido por parte del actuador.

El coeficiente de caudal es la relación de diferencia de altura (Δh) o presión (ΔP) entre la entrada y salida de la válvula con el caudal (Q).

Ec. 3.21

$$K_v = Q \sqrt{\frac{\rho}{1000 \Delta p}}$$

K_v Coeficiente de flujo (m³/h)

Q Caudal volumétrico (m³/h)

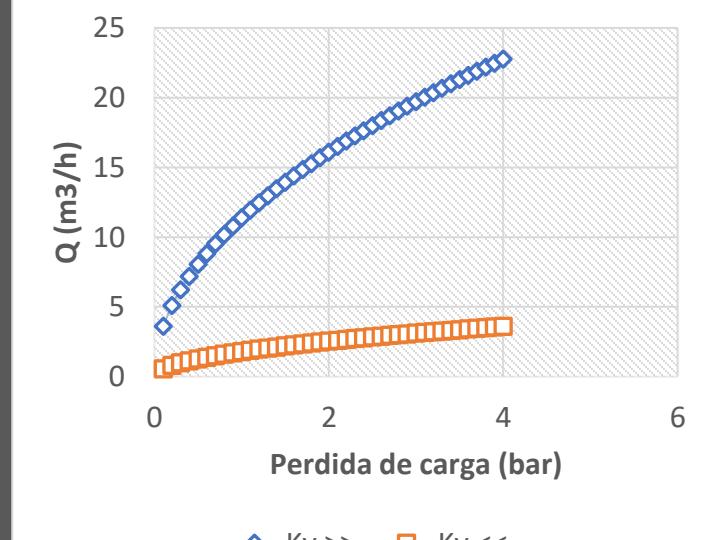
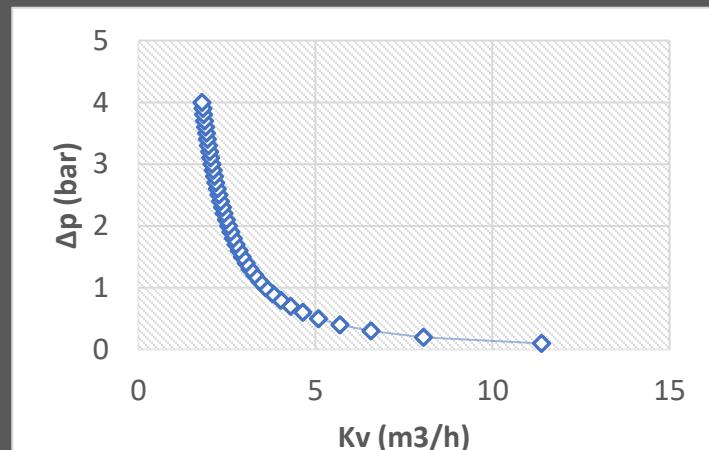
ρ Densidad (kg/m³)

P_1 Presión de entrada (bar)

P_2 presión de salida (bar)

Δp Diferencia de presión (p_1-p_2) (bar)

Variación del K_v con relación a la perdida de carga en la válvula.



COEFICIENTE DE DESCARGA

1. Coeficiente de descarga (C)

El coeficiente de descarga es un factor adimensional característico de la válvula, que permite calcular el caudal (Q) con el que desembalsa una válvula en función del nivel del fluido en el embalse o reserva (Δh).

Ec. 3.21

$$Q = C \sqrt{2g\Delta h} D^2 \frac{\pi}{4}$$

Q Caudal

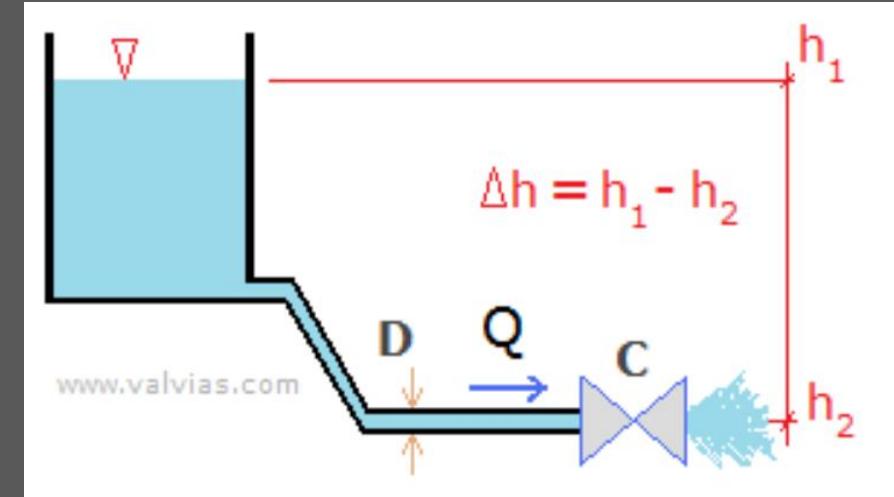
Δh Diferencia de altura

D Diámetro tubería

C Coeficiente de descarga (adimensional)

g gravedad

Esquema del coeficiente es descarga de una válvula con apertura del 100%



INDICE DE CAVITACION

1. Índice de cavitación

Indica la intensidad de la cavitación que ocurre en la válvula.

Ec. 3.22

$$\vartheta = \frac{P_2 - P_v}{P_1 - P_2}$$

ϑ índice de cavitación

P_v presión de vapor (mca)

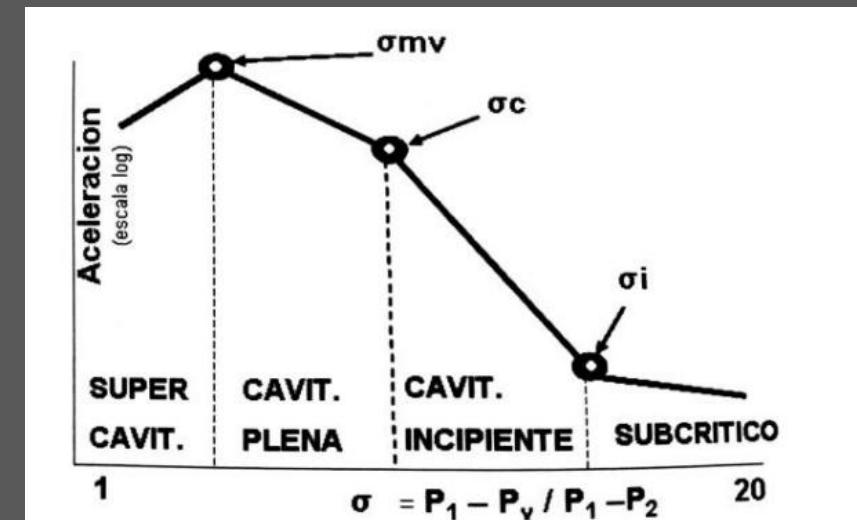
P_1 Presión de entrada (mca)

P_2 presión de salida (mca)

Sigma < 0.5 Zona de daño por cavitación

Sigma < 0.8 Zona de ruido por cavitación

Índice de cavitación



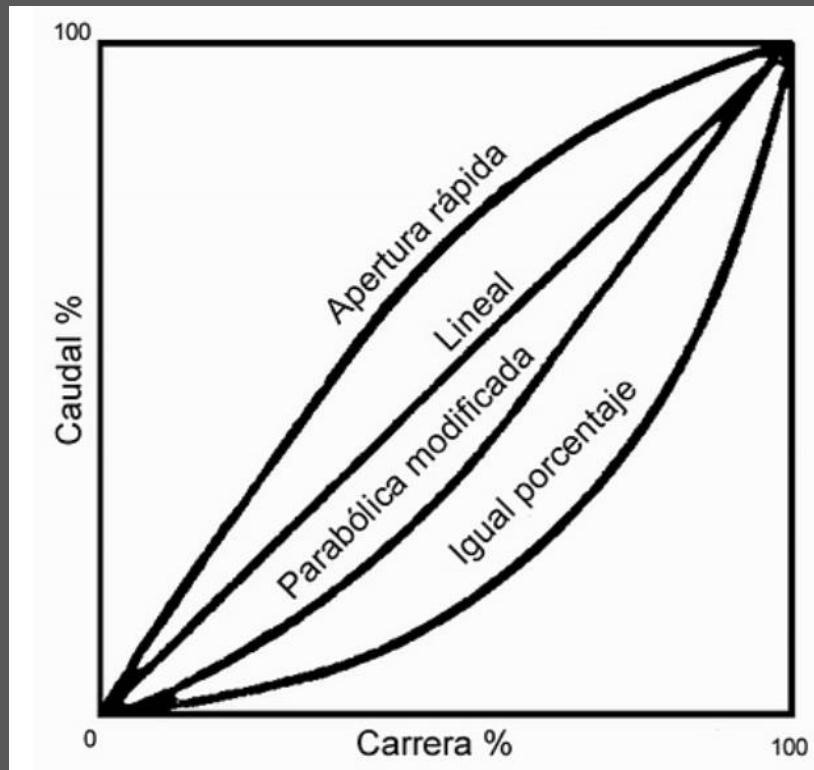
$\sigma \geq 2.0$	No cavitation
$1.7 < \sigma < 2.0$	Hardened trim provides sufficient protection
$1.5 < \sigma < 1.7$	Some cavitation, single-stage trim may work
$1.0 < \sigma < 1.5$	Potential for severe cavitation, multi-stage pressure drop trim required
$\sigma < 1.0$	Flashing

CARRERA DE LA VALVULA

1. Caudal inherente

Flujo con presión diferencial constante a través de una válvula, se denomina característica de caudal inherente y se representa usualmente considerando como abscisas la carrera del obturador y como ordenadas el porcentaje de caudal máximo bajo una presión diferencial constante

Carreras de válvulas



Lineal

- Es la característica en la cual iguales incrementos de carrera determinan iguales variaciones de caudal
- Produce una ganancia constante en toda la carrera de la válvula.
- Es por lo tanto el caudal mas aconsejable para aplicaciones en control modulado

Isoporcentual

- Es la característica en la cual iguales incrementos de carrera determinan variaciones de caudal que mantienen siempre el mismo porcentaje del caudal existente.
- Su ganancia es baja al comienzo de la apertura de la válvula y va aumentando a medida que aumenta la apertura de la válvula.

Apertura rápida

- Ganancia decreciente , según aumenta el caudal.
- Es inadecuada para su utilización en aplicaciones en las cuales sea necesario un control del tipo modulado.
- Este caudal se destina solo para aplicaciones en control de tipo donde la válvula solo toma dos posiciones

CARRERA DE LA VALVULA

1. Tipos de carrera de una válvula

Puede existir un tipo de cierre con desaceleración incremental o desaceleración decreciente

Deceleración incremental – si el ritmo de cambio del área abierta al flujo se incrementa al final del periodo de maniobra de la válvula (Compuerta y Aguja)

$$\text{Ec. 3.23} \quad \frac{A}{A_0} = 1 - \left(\frac{T}{T_c}\right)^{-S}$$

Desaceleración decreciente - si el ritmo de cambio del área abierta al flujo decrece al final del periodo de maniobra de la válvula (Bola y Mariposa)

$$\text{Ec. 3.24} \quad \frac{A}{A_0} = \left(1 - \frac{T}{T_c}\right)^{-S}$$

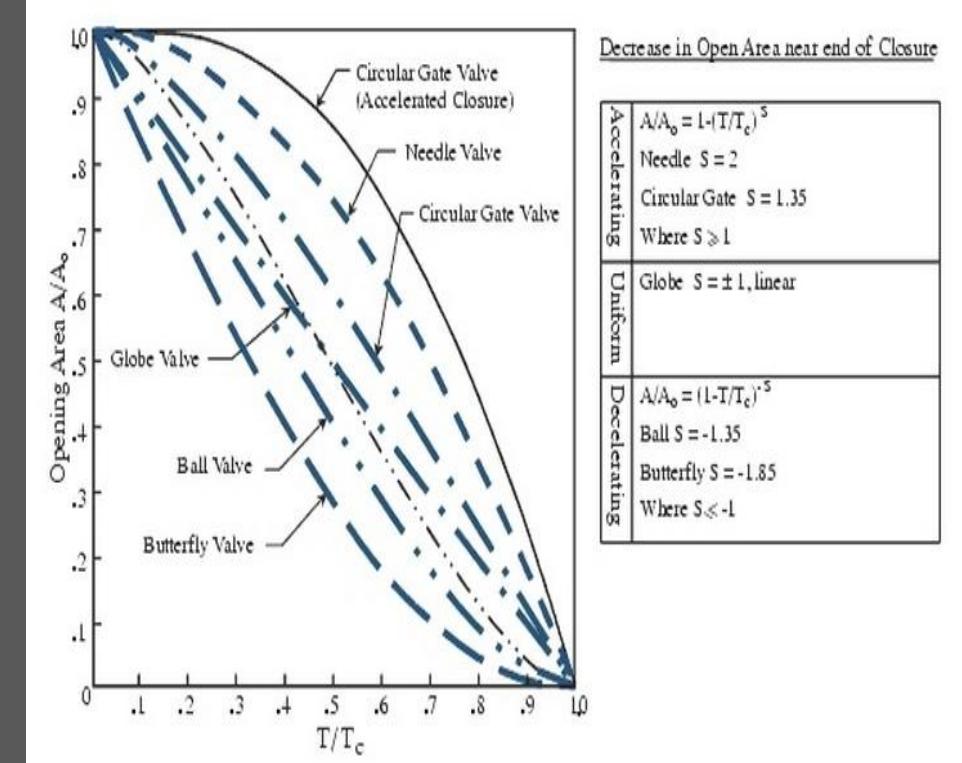
A/A₀ fracción del área de la válvula que se encuentra abierta

T/T_c fracción del tiempo total de operación de la válvula

S valor empírico relacionado al tipo de válvula en operación

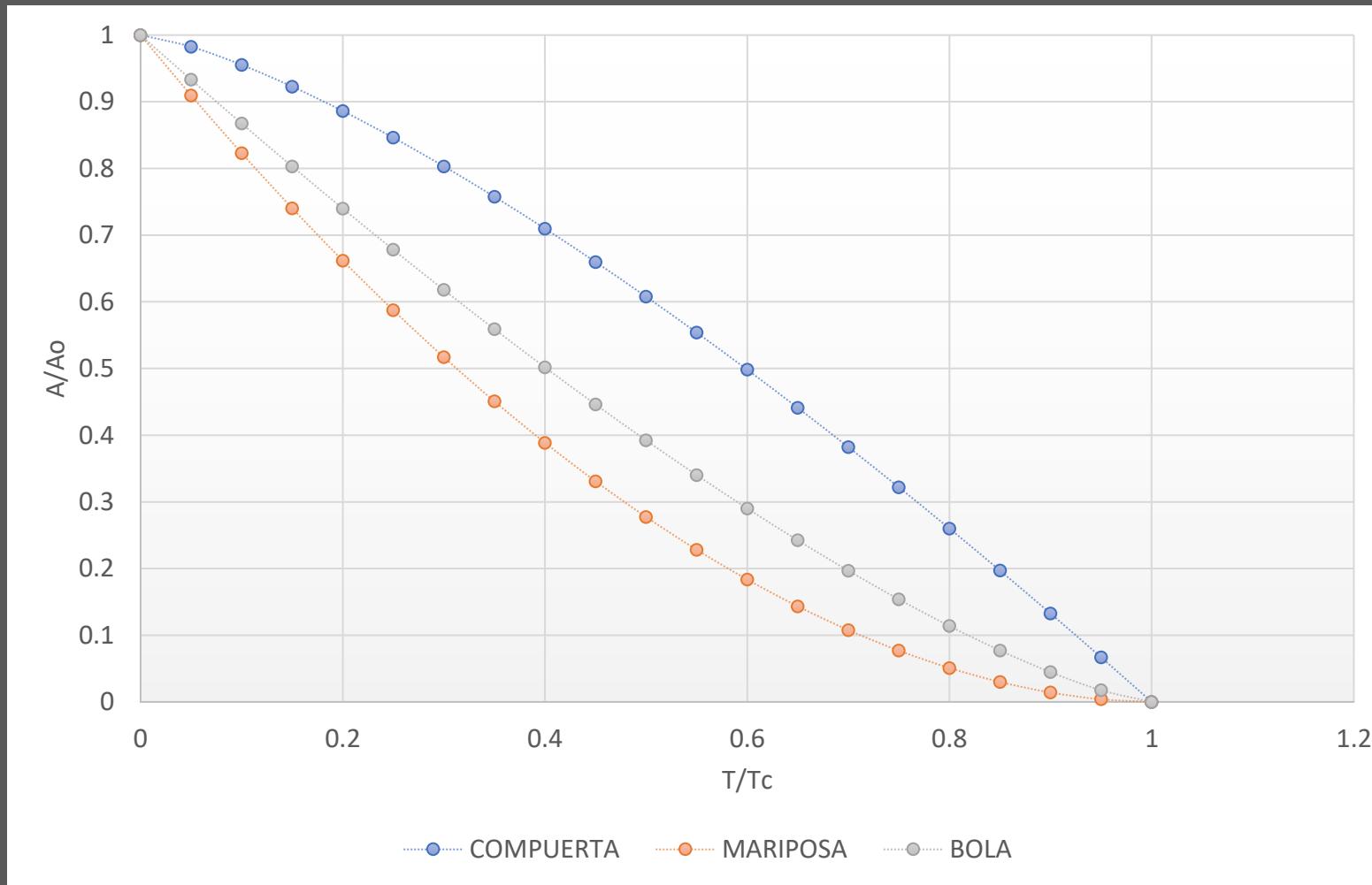
Coeficiente de forma de las válvulas según el tipo de obturador

TIPO DE VALVULA	S
Mariposa	-1.85
Bola	-1.35
Globo	1
Compuerta Circular	1.35
Aguja	2



CARRERA DE LA VALVULA

1. Tiempo de carrera de una válvula



1. Fuentes de aire en línea de presión

Llenado de tubería

Durante la operación de llenado de la tubería, la línea de presión esta inicialmente esta vacía o llena de aire, al momento de llenado de tubería la mayoría de aire es eliminado por accesorios en la línea, pero hay aire que se queda atrapado en los puntos altos.

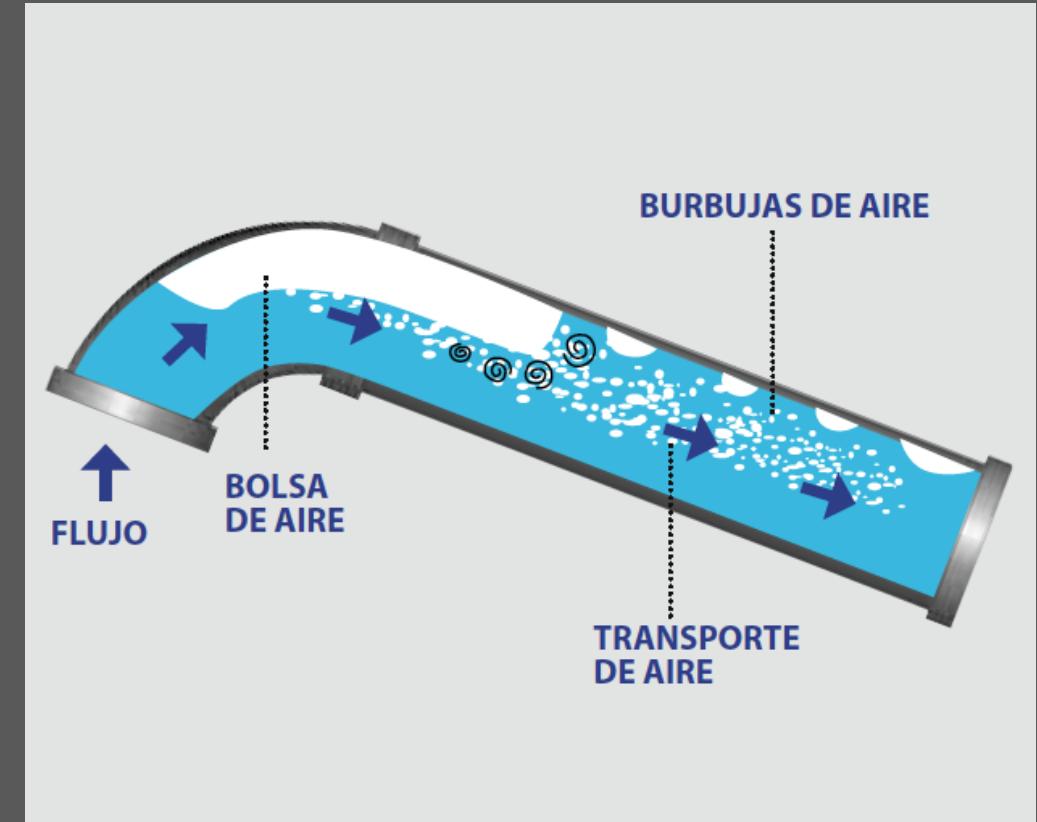
Agua

El agua contiene alrededor de 2% de agua por volumen

Bombas y válvulas

En lugares donde se tiene presiones de succión el aire se adiciona la sistema de presión por medio de filtraciones e imperfecciones de los componentes de la línea.

Aire de puntos altos de la tubería



PROBLEMAS REALACIONADOS CON EL AIRE

1. Llenado y vaciado de tubería

Problemas de exceso de aire

- Reducción de la sección efectiva
- Pérdidas de energía
- Suministro inadecuado debido a la obstrucción del flujo

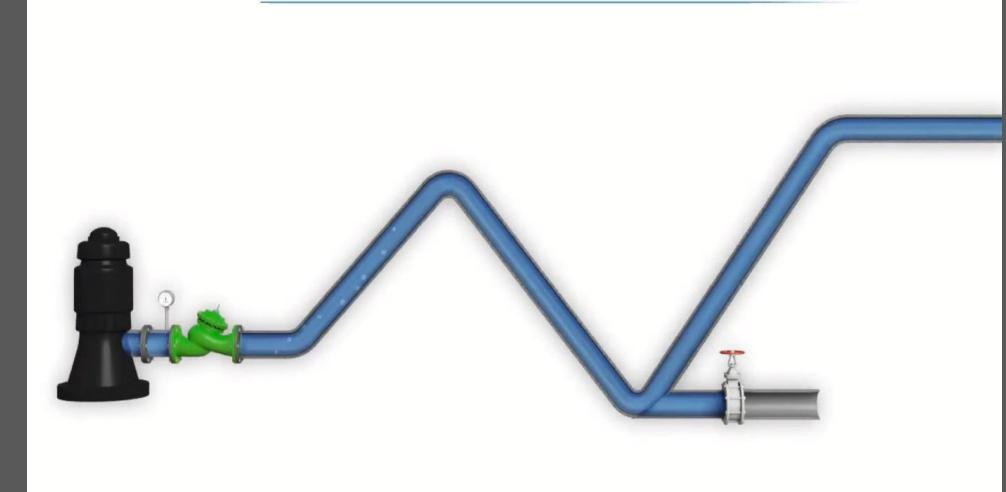
Problemas ausencia de aire

- colapso de tuberías por depresión o presiones negativas
- colapso por sobre presiones transitorias
- succión de barro y suciedad en las conexiones, succión de sellos, empaques.

Perdidas de carga por aire en tuberías



Colapso de tubería durante vaciado



1. Tipos de válvulas de aire

Funciones de una válvula de aire

- Dejar salir el aire en el momento del llenado
- Permitir la entrada de aire en el momento del vaciado de la conducción
- Purgar el aire que se genera en el interior de la conducción con los movimientos del agua.

Automática de purga o de pequeño orificio

Permite evacuar o purgar pequeños caudales de aire durante el funcionamiento en régimen de la conducción

Válvula de aire cinética, de doble efecto o de orificio grande

Protege la instalación de las depresiones durante el vaciado de la tubería, evitando roturas y el eventual colapso por aplastamiento. Permite el egreso de aire durante el llenado eliminando las bolsas de aire que perturban el flujo de agua

Funcionamiento de válvulas de aire



Dimensionamiento de válvulas de aire

1. Dimensionamiento de válvulas de expulsión de aire

Cuando el purgador funcione en zona sónica (diferencia de presión es superior a 0.9 bar)

$$Q = 0.007912 * D^2 * Pt$$

Q Caudal de Aire (m³/min)

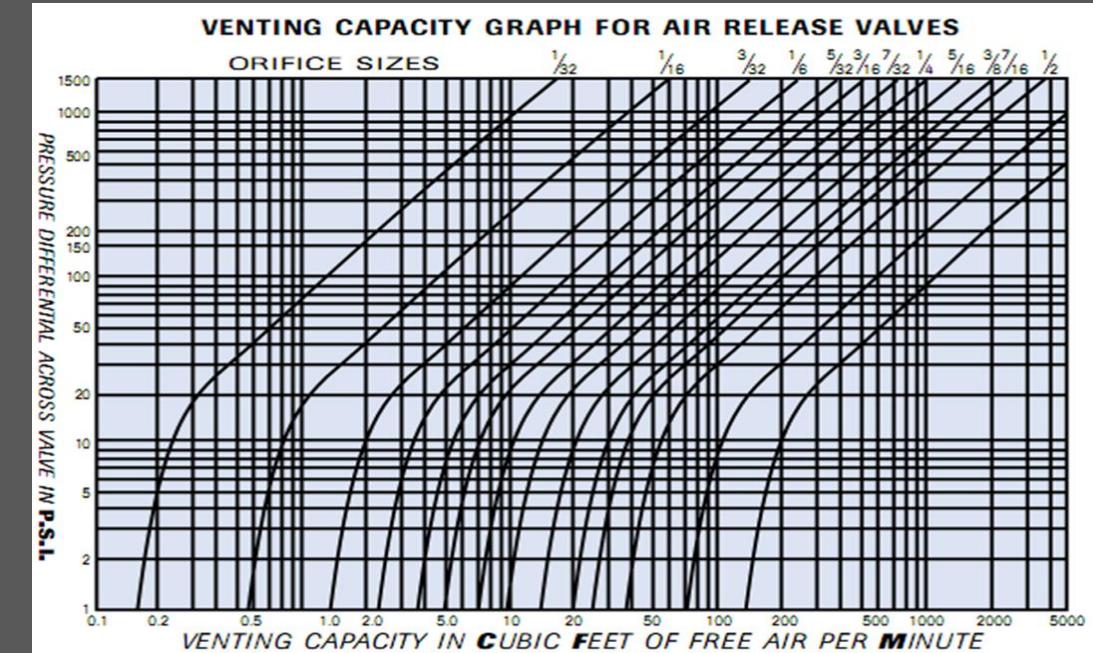
D Diámetro del orificio (mm)

Pt Presión absoluta en el interior de la tubería (bar)

Cantidad aproximada de aire para expulsión

CAUDAL, Tubería	Q Purgador
0 < Q < 75 L/s	6% Q
75 < Q < 150 L/s	5% Q
150 < Q < 350 L/s	2% Q
350 < Q < 3500 L/s	1,5% Q
3500 < Q	1,2% Q

Dimensionamiento gráfico de ventosas de expulsión de aire



MODEL	INLET SIZE	MAXIMUM ORIFICE SIZES WHICH CAN BE USED WITH THE FOLLOWING PRESSURES											
		10	25	50	75	100	125	150	200	250	300	500	800
50	1/8, 1"	3/32	3/32	3/32	3/32	3/32	3/32	3/32	1/16	1/16	1/16	x	x
55	1/2"	3/32	3/32	3/32	3/32	3/32	3/32	3/32	x	x	x	x	x
65	3/4"	7/32	7/32	7/32	7/32	1/8	1/8	1/8	x	x	x	x	x
200A	1", 2"	5/16	5/16	5/16	1/4	3/16	3/16	3/16	5/32	5/32	5/32	x	x
200	2"	1/2	1/2	1/2	1/2	3/8	3/8	3/8	7/32	7/32	7/32	x	x
205	2"	x	x	x	x	1/2	3/8	3/8	7/32	7/32	7/32	7/32	1/8
206	2"	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	3/32
207	6"	1	1	1	1	1	1	1	3/4	3/4	3/4	x	x
400	2", 3", 4"	5/16	5/16	5/16	1/4	1/4	1/4	1/4	3/16	5/32	5/32	x	x
450	2", 3", 4"	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	7/16	7/16	7/16	x	x

STANDARD ORIFICES ON CHART ARE SHADED IN BLUE

1. Dimensionamiento de válvulas de admisión de aire**Caudal de admisión de aire**

Se debe permitir pérdida de carga o subpresión relativa al interior de la tubería no mayor a 5 psi o 3.5 mca (dp)

$$Q = \frac{(\Delta h - dp) * D^{4.87} * C^{1.852}^{1/1.852}}{L^{1.852} * 1131000000} / 3600$$

Q Caudal de aire a ingresar (m³/s)

Δh Diferencial de altura entre Purga o rotura y válvula de Aire (m)

Dp subpresión relativa al interior de la tubería permitida

C Coeficiente de Hazzen Williams

L Longitud de tramo considerado

Límites de velocidad de aire de entrada

Velocidad del aire de ingreso en función a la supresión máxima permitida para el cálculo, en nuestro caso es 5 psi o 3.5 m.c.a.

$$Va = \frac{198}{(1 + \frac{dp}{10})}$$

Va Velocidad de ingreso del aire (m/s)

dp depresión máxima permisible (m.c.a.)

Se debe recordar que la velocidad del aire debe mantenerse inferior a la velocidad del sonido y que cuando la velocidad de del aire se vuelve sónica se debe mantener la siguiente relación

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{2}{k+1}^{\frac{k}{k-1}} = 0.528$$

K aire: 1.4

Presión en tubería > 0.528 atm → flujo es subsónico

Presión en tubería < 0.528 atm → flujo bloqueado

FUNCIONAMIENTO DE VALVULAS DE AIRE TRIPLE ACCION



1. *Problemas que ocasionan los fenómenos transitorios*

Sobrepresiones

- Las altas presiones que se producen como resultado del golpe de ariete pueden llegar a ser superiores a la resistencia de la tubería hasta provocar su rotura

Depresiones y separación de la columna líquida

- Para tubería enterrada, actúa también el empuje del terreno. Si la tubería no es suficientemente rígida en su sección transversal, puede que colapse la tubería. La esbeltez depende de la relación entre su diámetro D y el espesor de la pared δ (esbeltez D/δ)
- Uniones de goma pueden ser succionadas por el vacío, lo cual causaría fugas de agua en el sistema, aunque los tubos queden intactos
- Transitorio por separación de columnas

Fatiga del material

- La acción repetida de cargas dinámicas fuertes durante un periodo de tiempo prolongado disminuye la resistencia del material
- Vibraciones de tubería que se transmiten a elementos estructurales

Sobre velocidad de las máquinas.

- Las piezas rodantes de las bombas y de sus motores eléctricos acoplados están sometidas a fuerzas centrífugas. Estas fuerzas son proporcionales al cuadrado de la velocidad de rotación y tienden a desprender las piezas en dirección radial

1. Mecanismos de reducción de efectos transitorios

Aumento de la sección transversal de la tubería

- Cara y generalmente se buscan otras soluciones.
- Conveniente si algunos tramos de pequeña longitud y pequeño diámetro en la conducción son la causa de un aumento considerable del golpe de ariete

Disminución de la velocidad de la celeridad

- Tuberías plásticas menor celeridad (~350 m/s)
- Tuberías hierro mayor celeridad (~1200 m/s)

Aumento del tiempo de duración del proceso transitorio

- Cierre lento ($T > T_c$) de válvula
- Aumento del tiempo de proceso de paro por corte de energía de bombas por medio de adición de volantes de inercia
- Variadores de frecuencia durante el arranque de bombas

Limitación de la longitud de la tubería

- Considerar estaciones de bombeos de varias etapas
- Instalación de válvulas de no retorno en la conducción o impulsión

Reducción de la variación del gasto ΔQ en la tubería

- En los periodos de depresión se suministran gastos complementarios desde afuera para reducir las depresiones.
- En los periodos de sobrepresión, parte del gasto se expulsa al exterior o a un recipiente

Modificación de la clase o presión de trabajo del material

- Recurso inicial y final

1. Dimensionamiento de la sobrepresión y subpresión

Durante una evento de presión negativa en la línea, se debe asegurar que la relación de el espesor del tubo con el diámetro cumpla con la siguiente relación

$$\text{Ec. 4.1} \quad \delta = \frac{D}{C}$$

$$\text{Ec. 4.2} \quad C = \left[\frac{2E}{p(1-u^2)K} \right]^{\frac{1}{3}}$$

- E módulo de elasticidad del material del tubo
I momento de inercia de la pared del tubo
b longitud del tubo
D diámetro
p diferencia entre las presiones actuantes
K factor de seguridad (K=2)

Valor típico de C

Material del tubo	Constante C
acero	130
hierro dúctil	122
fibro cemento	64
PVC	33
polietileno de alta densidad	22

- El resultado que da la ecuación 4.1 es el espesor crítico δ , es decir, si el espesor del tubo es menor que δ , existe peligro de aplastamiento, si es mayor, no existe peligro.
- El peso de la tierra encima de la tubería que se traduce en una presión externa adicional a la presión atmosférica
- La tierra compactada alrededor del tubo da una rigidez adicional a su sección transversal

1. Presión máxima de tubería y frecuencia máxima

Presión máxima de tubería

Para el cálculo de la resistencia a presiones internas, se utiliza la siguiente expresión tomada de los datos que proporciona el fabricante de la Tubería

$$\text{Ec. 4.3} \quad e = \frac{pd}{2s}$$

e espesor mínimo de la tubería (pulgadas)

p presión de trabajo (psi)

d diámetro exterior (pulgadas)

s esfuerzo permisible (psi)

Velocidad inversa máxima en una bomba centrífuga

Las revoluciones máximas que se le puede permitir a una bomba con rotación en sentido directo o inverso es un dato que debe ser suministrado por el fabricante.

Para la mayoría de las bombas no se permite una rotación máxima de 30 a 40 por ciento de la velocidad de rotación en régimen normal.

Se estima que si el gasto que se descarga inversamente por la bomba no sobrepasa 20 por ciento del gasto en el sentido normal, la bomba no llega a girar en el sentido inverso.

METODOS DE CONTROL DE TRANSITORIOS

1. *Torre de oscilación o chimenea de equilibrio*

Es un cilindro conectado con la tubería, que en cuya parte superior está abierto y se comunica directamente con la atmósfera.

En un régimen permanente, la elevación del nivel de agua en la torre es igual a la carga piezométrica en la tubería.

En las líneas de conducción de menor diámetro un simple tubo parado puede fungir como torre de oscilación, e incluso puede ser del mismo diámetro y del mismo material que la propia tubería.

Torre de oscilación o chimenea de equilibrio



1. Válvula anticipadora de onda y aliviadoras

La válvula anticipadora de onda es una válvula de cuerpo y obturador globo y consta de dos pilotos.

Piloto para presión máxima y piloto para presión mínima.

El piloto de presión minina se abre cuando la onda de depresión inicia en la estación de bombeo y espera la onda de sobrepresión con la válvula anticipadora de onda abierta.

El piloto de máxima presión se abre cuando se sobrepasa la presión máxima de operación de la línea.

$$\text{Ec. 4.4} \quad Q = \frac{\Delta p A_t}{a}$$

Q gasto necesario para aliviar la presión Δ_p
a celeridad (m/s)

A_t Área de la sección de descarga ($\sim D/4$)



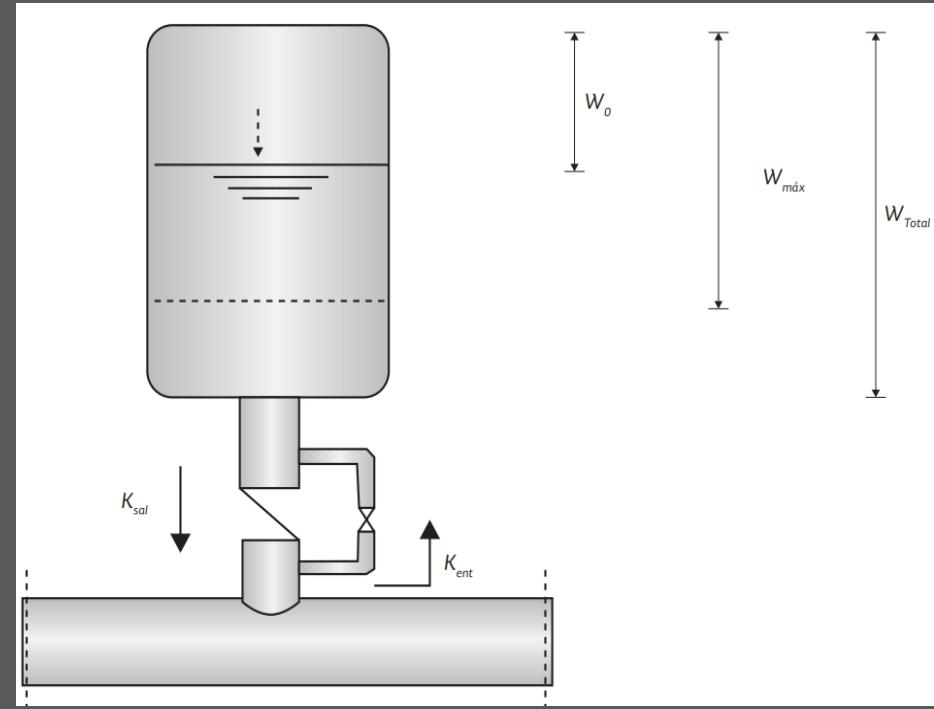
- Su uso es generalmente asociado a estaciones de bombeo
- Comprobar el funcionamiento de las válvulas de aire de admisión
- La presión de apertura tiene que ser superior a todas las posibles presiones en condiciones de operación en régimen permanente

1. Tanques hidroneumáticos

El diseño de una cámara de aire se caracteriza por los siguientes parámetros

- El volumen de aire W_0 que hay que mantener constante durante la operación Normal
- El volumen máximo de aire W_{\max} , que se alcanza en el transitorio, al final de la fase de vaciado
- El volumen total de la cámara W_{total} (aire más agua)
- Los coeficientes de pérdidas de carga en la conexión con la tubería K_{sal} para cuando el agua sale de la cámara y K_{ent} para cuando el agua entra
- Diámetro de conexión $\frac{1}{2}$ a $\frac{2}{3}$ de la condición principal

Esquema de un tanque hidroneumáticos



1. Tanques hidroneumáticos

Según el Centrifugal Pump Lexicon y el Pump Handbook de KSB (KSB, 1975), el volumen total del tanque será:

$$\text{Ec. 4.5} \quad V = K \cdot 0.312 \frac{Q_m}{Z} \frac{(P_a - P_b)}{(P_a - P_e)}$$

V volumen en m³.

Q_m capacidad media de la bomba m³/h ((Q'_e + Q'_a)/2)

Z frecuencia de arranques en 1/h.

Q'_e caudal de la bomba con presión mínima m³/h.

Q'_a caudal de la bomba con presión máxima m³/h.

P'_a presión máxima bar.

P'_e presión mínima bar.

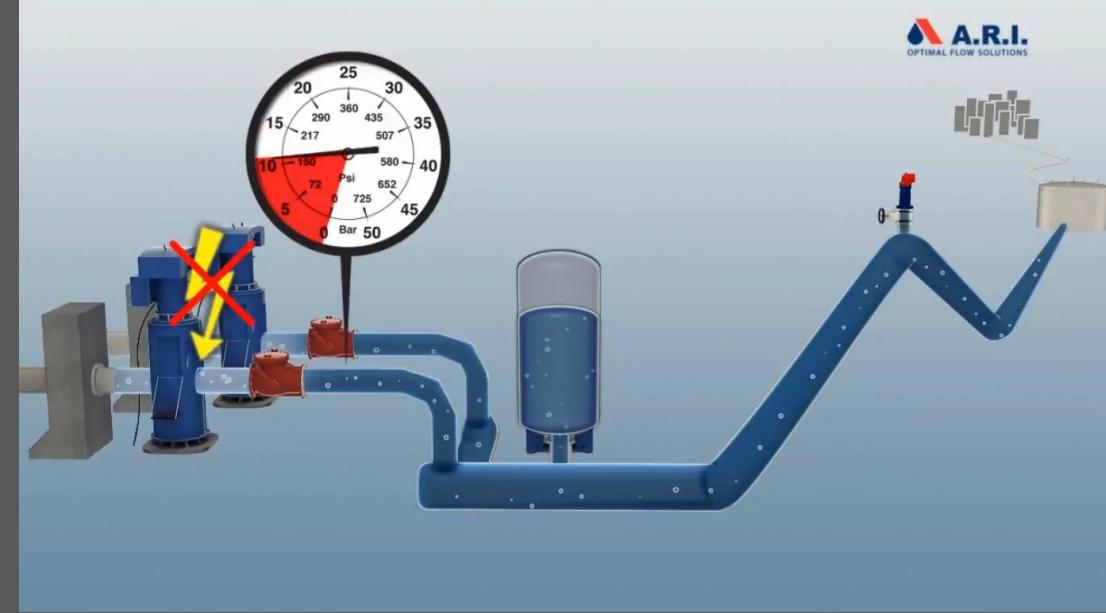
P_b presión barométrica bar.

K factor de corrección = 1.0 si Q'_a/Q'_e < 0.5

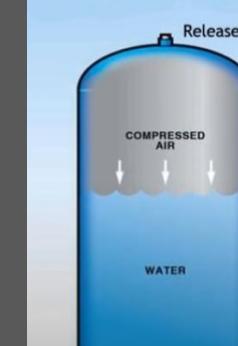
Relación Airea/Agua = 1/3

- Usado para estaciones de bombeo
- No tan frecuente en conducciones a gravedad

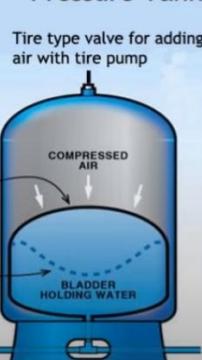
Tanques hidroneumáticos



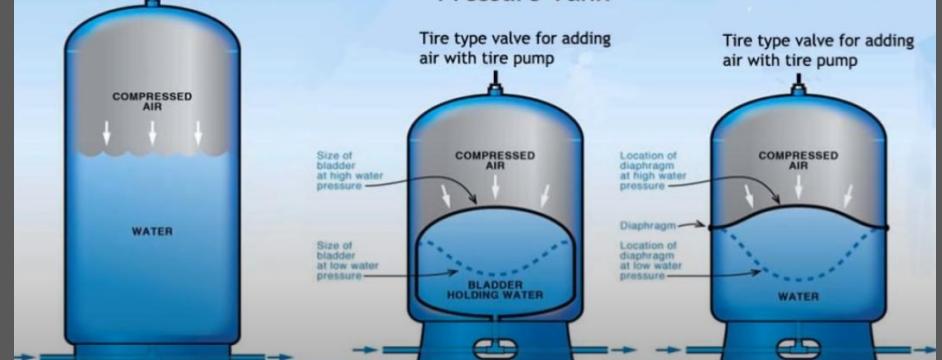
One Compartment Stainless Steel (old style) pressure tank



Bladder Pressure Tank



Diaphragm Pressure Tank



1. Volantes de inercia

EL volante de inercia debe simular la inercia provista por el conjunto motor + bomba después del apagado súbito

La inercia del motor + bomba se obtiene

$$\text{Ec. 4.6} \quad WR^2(\text{motor}) = 0.0043 \left(\frac{P}{N} \right)^{1.48}$$

$$\text{Ec. 4.7} \quad WR^2(\text{bomba}) = 0.03768 \left(\frac{P}{N^3} \right)^{0.9556}$$

WR^2 Inercia del motor o bomba (N/m^2)

P Potencia del motor en HP

N velocidad de giro de la bomba en revoluciones por minuto

$$\text{Ec. 4.8} \quad I = \frac{\pi}{2} \rho e (r_e^4 - r_i^4)$$

ρ Peso específico de material del volante(Kg/m^3)

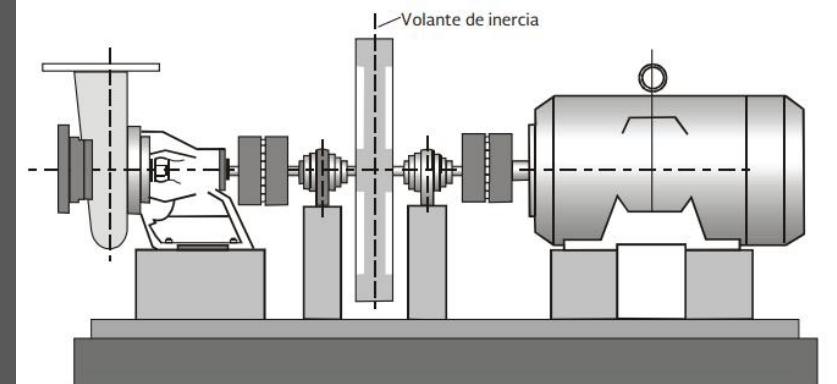
e espesor del volante de inercia (m)

r_e radio externo del volante de inercia (m)

r_i radio interno del volante de inercia (m)

I inercia del sistema de giro (N/m^2)

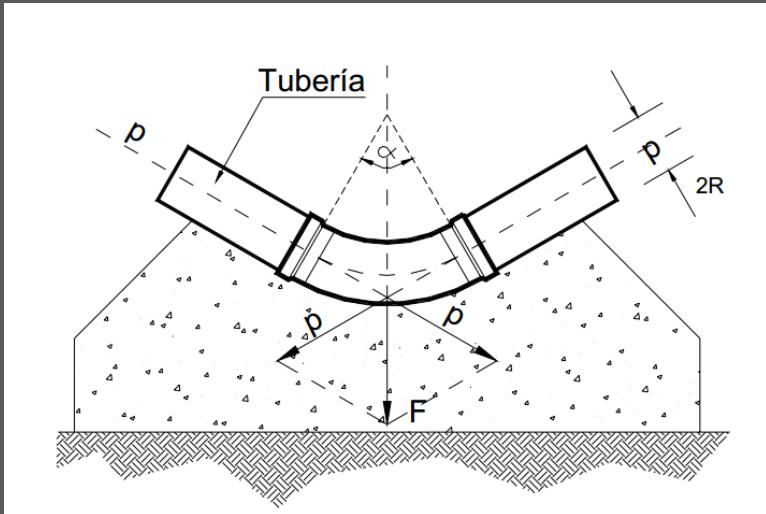
Volante de inercia



ANCLAJES

1. Anclajes horizontales

Anclajes horizontal de un codo

Fuerzas aplicadas a un anclaje por un codo

Ec. 4.9

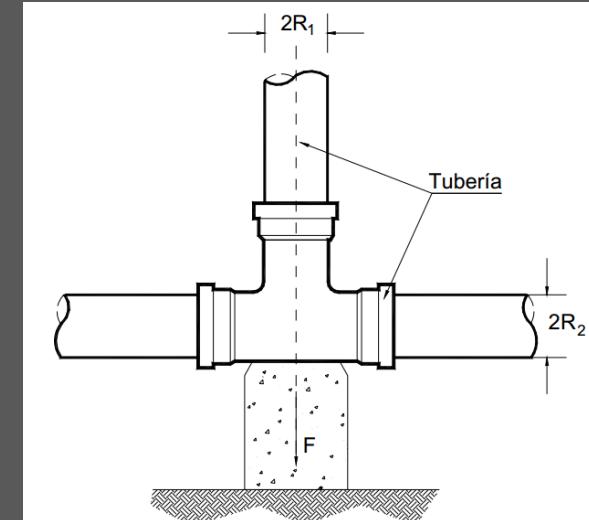
$$F = 2 A \gamma p \sin \frac{\alpha}{2}$$

F Fuerza o empuje resultante en kg

A Sección del tubo en m²γ Peso específico del agua en kg/m³P Presión interna en m H₂O

α Ángulo de curva en grados sexagesimales °

Anclajes horizontal de una Tee o tapon

Fuerzas aplicadas a un anclaje por un codo

Ec. 4.10

$$F = 2 A \gamma p$$

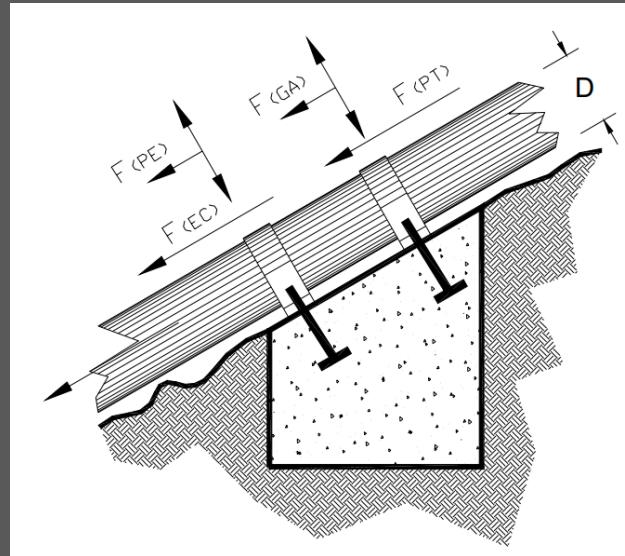
F Fuerza o empuje resultante en kg

A Sección del tubo en m²γ Peso específico del agua en kg/m³P Presión interna en m H₂O

1. Fuerzas aplicadas a un anclaje

Anclajes de pendiente

Fuerzas aplicadas a un anclaje por pendiente



Ec. 4.11

$$F = F_{pe} + F_{pt} + F_{ec} + F_{ga}$$

F Fuerza o empuje resultante en kg

F_{pe} Fuerza debida a la presión del agua cuando se produce un cambio de dirección (kg)

F_{pt} Fuerza o empuje debida al peso de la longitud de tubería entre cada anclaje en kg

$$F_{pt} = Pt \sin \alpha L$$

Pt Peso por metro lineal de la tubería en kg/m

α Angulo de inclinación del terreno ($^{\circ}$)

L Longitud entre anclajes en m

F_{ec} Fuerza debida a la energía cinética o velocidad del agua en kg

$$F_{ec} = \frac{\gamma}{g} Q v$$

γ Peso específico del agua en kg/m³

g Aceleración de la gravedad en m/s²

Q Caudal en m³/s

v Velocidad del agua m/s

F_{ga} Fuerza debida al aumento de presión por golpe de ariete en kg

1. Empuje axial resultante

Si se consideran las fuerzas que actúan hacia abajo como positivas (+) y hacia arriba como negativas (-), tenemos que el empuje axial sobre el cojinete de empuje

$$E_r = E_h + W_m - P_a$$

$$E_h = K_e + H - P_r$$

Eh Empuje hidráulico del impulsor, N.

Ke Factor de empuje, N/m de carga.

H Carga total de bombeo, m.

Pr Densidad relativa del agua

$$W_m = W_f + W_r$$

Wm Masa del elemento rotativo, kg.

Wf Masa de la flecha, kg Masa unitaria x longitud.

Wr Masa del rotor, N. Masa por paso x No. de pasos.

Ec. 4.12

$$P_a = P_s A_f + P_d A_m$$

Pa Fuerza total hacia arriba, kN,

Pf Fuerza sobre la flecha, kN,

Pm Fuerza sobre la manga de la flecha, kN

Ps Presión de succión, MPa

Am Área de la sección sólida de la manga de la flecha, m²

Af Área de la sección de la flecha, m²

Pd Presión a válvula cerrada (flujo cero) MPa

Presiones de diseño de anclajes

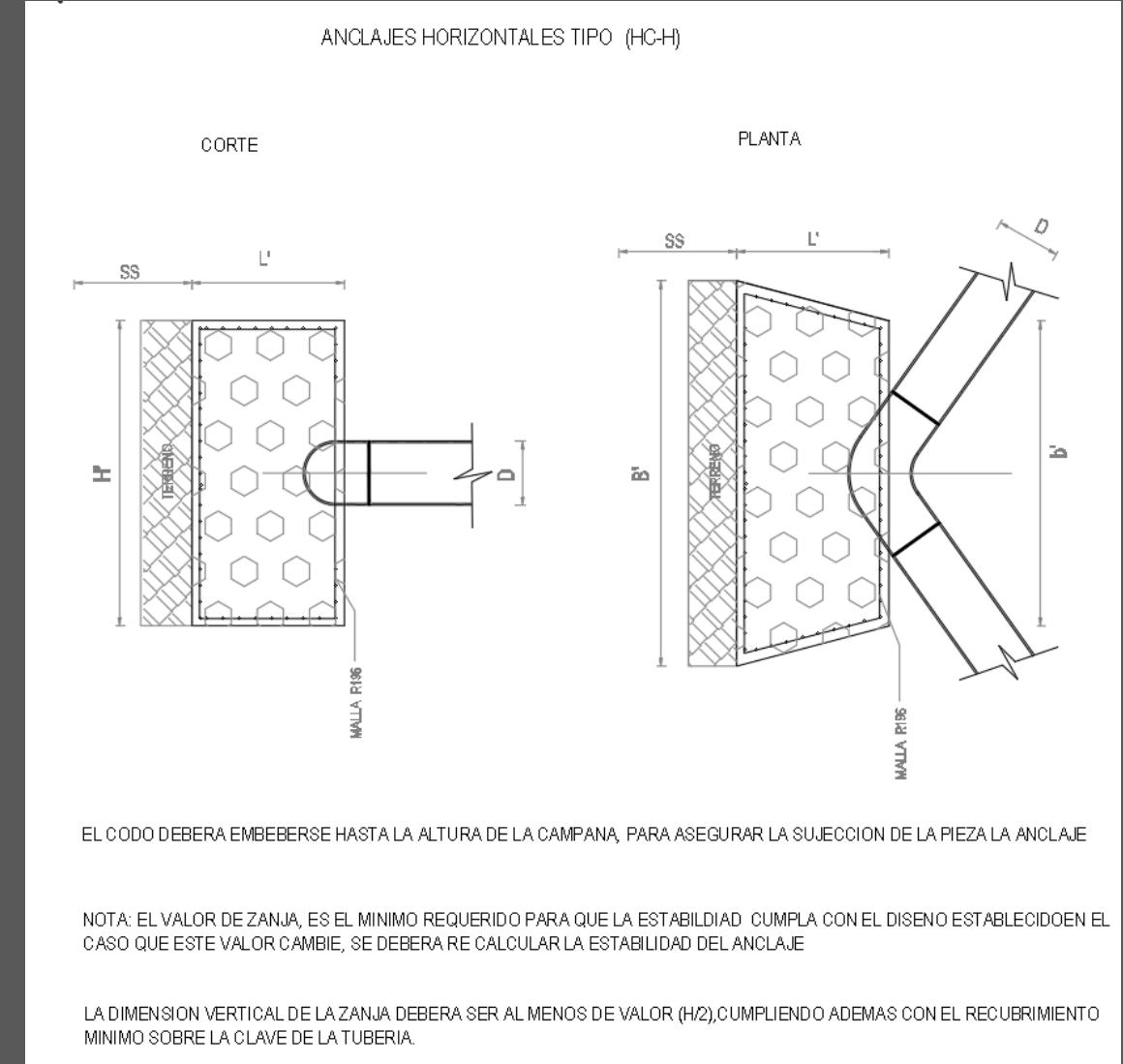
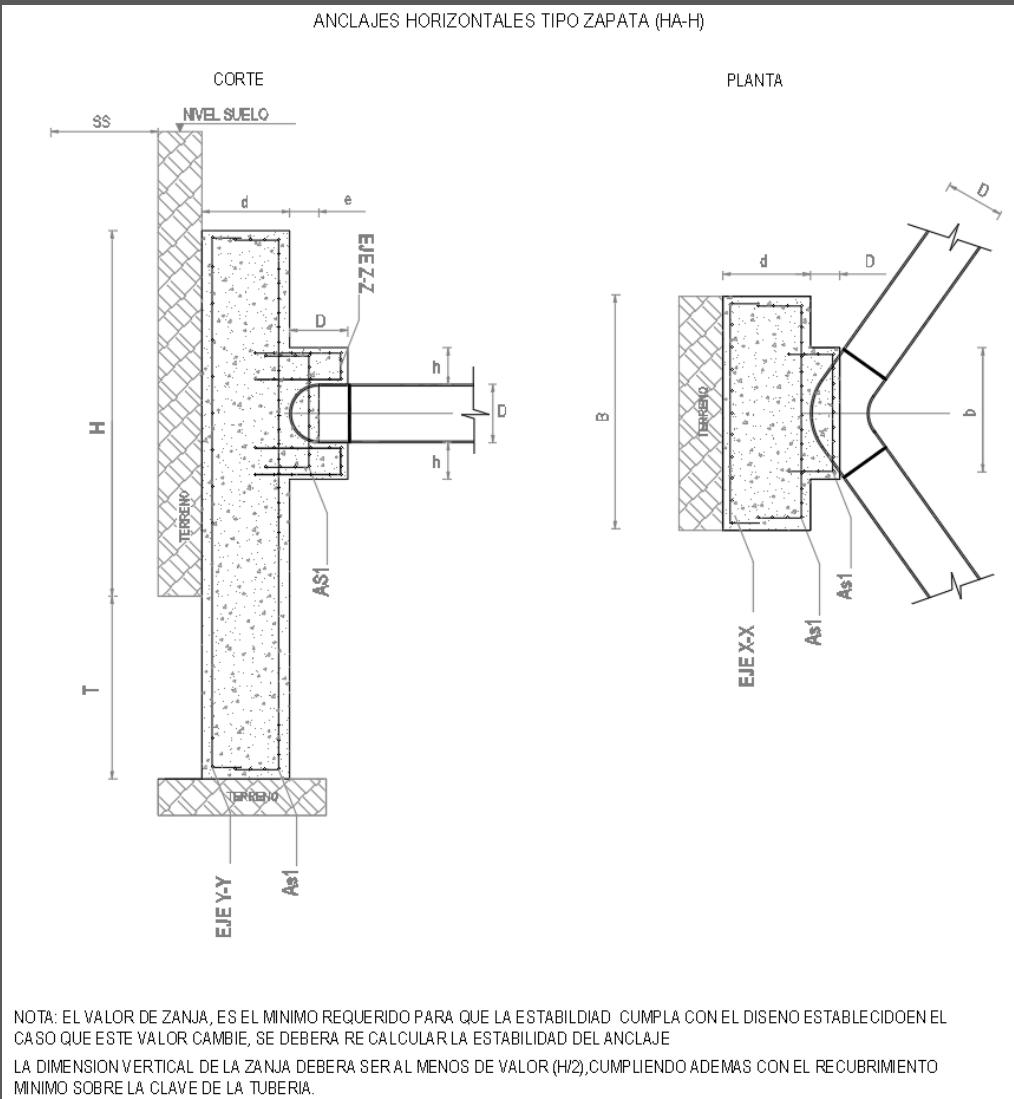
Se escogerá las dimensiones del anclaje considerando La mayor de las siguientes

- Presión dinámica + golpe de ariete
- Presión de prueba

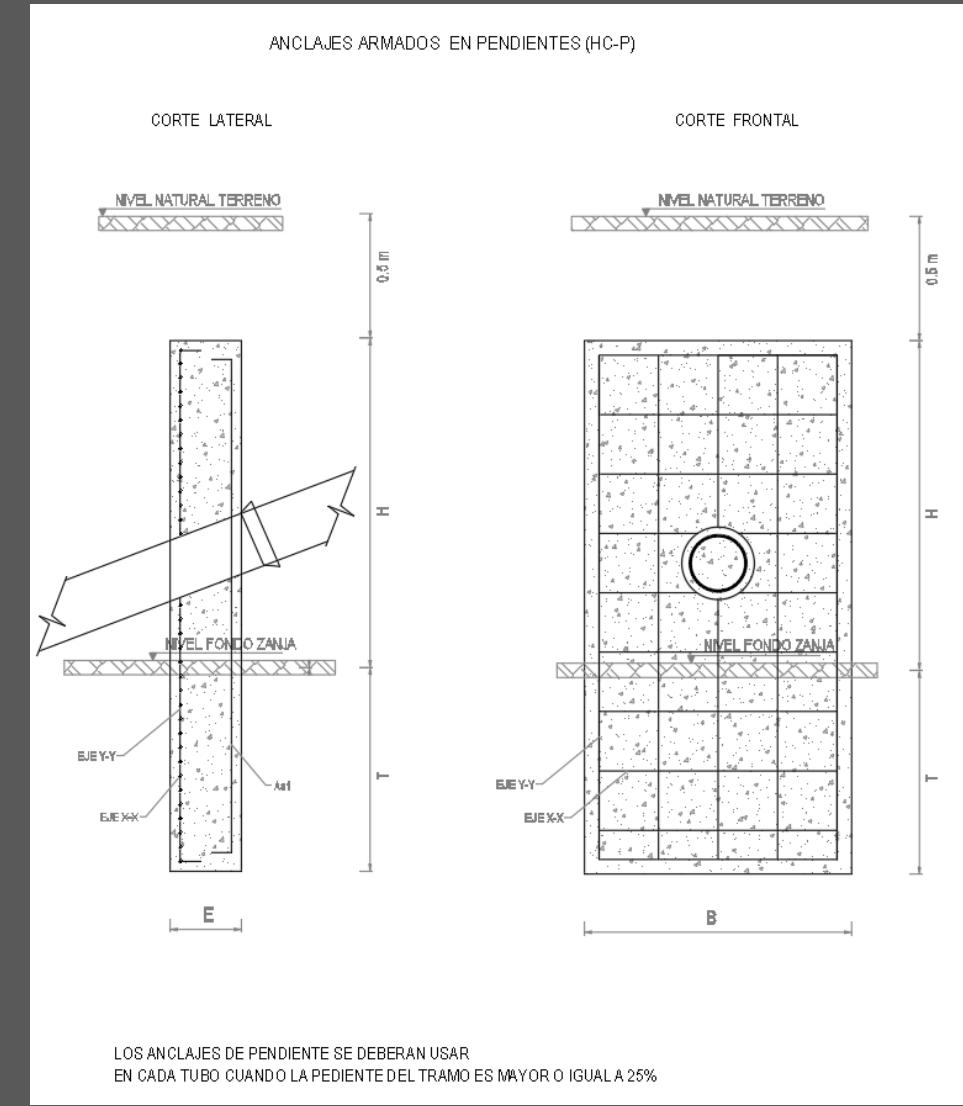
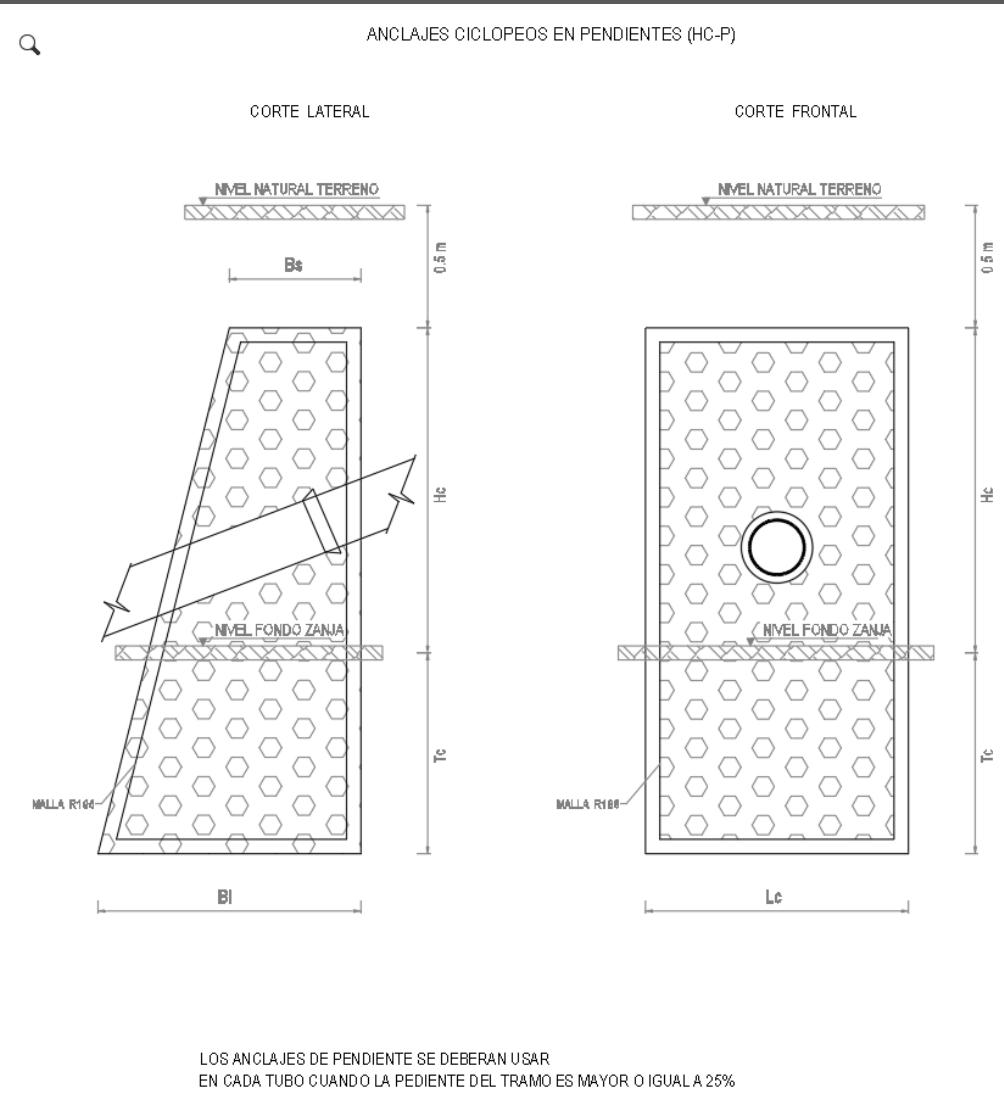
Hierro	1.3 dinámica + 50 m.c.a.
PVC	1.5 dinámica
- Estática

3. ESTACIONES DE BOMBEO

TIPOLOGIAS DE ANCLAJES



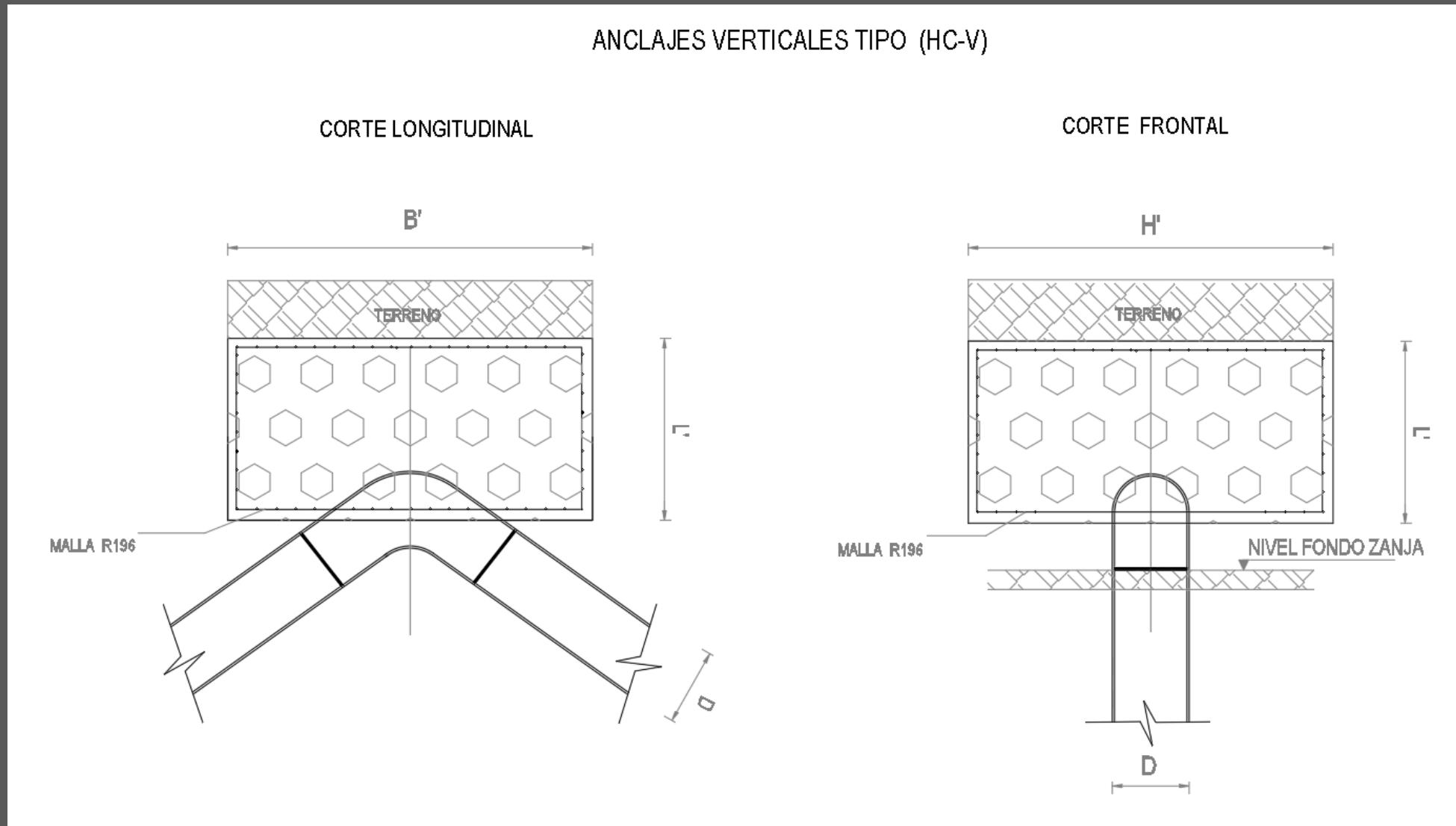
TIPOLOGIAS DE ANCLAJES



LOS ANCLAJES DE PENDIENTE SE DEBERAN USAR
EN CADA TUBO CUANDO LA PEDIMENTA DEL TRAMO ES MAYOR O IGUAL A 25%

LOS ANCLAJES DE PENDIENTE SE DEBERAN USAR
EN CADA TUBO CUANDO LA PEDIMENTA DEL TRAMO ES MAYOR O IGUAL A 25%

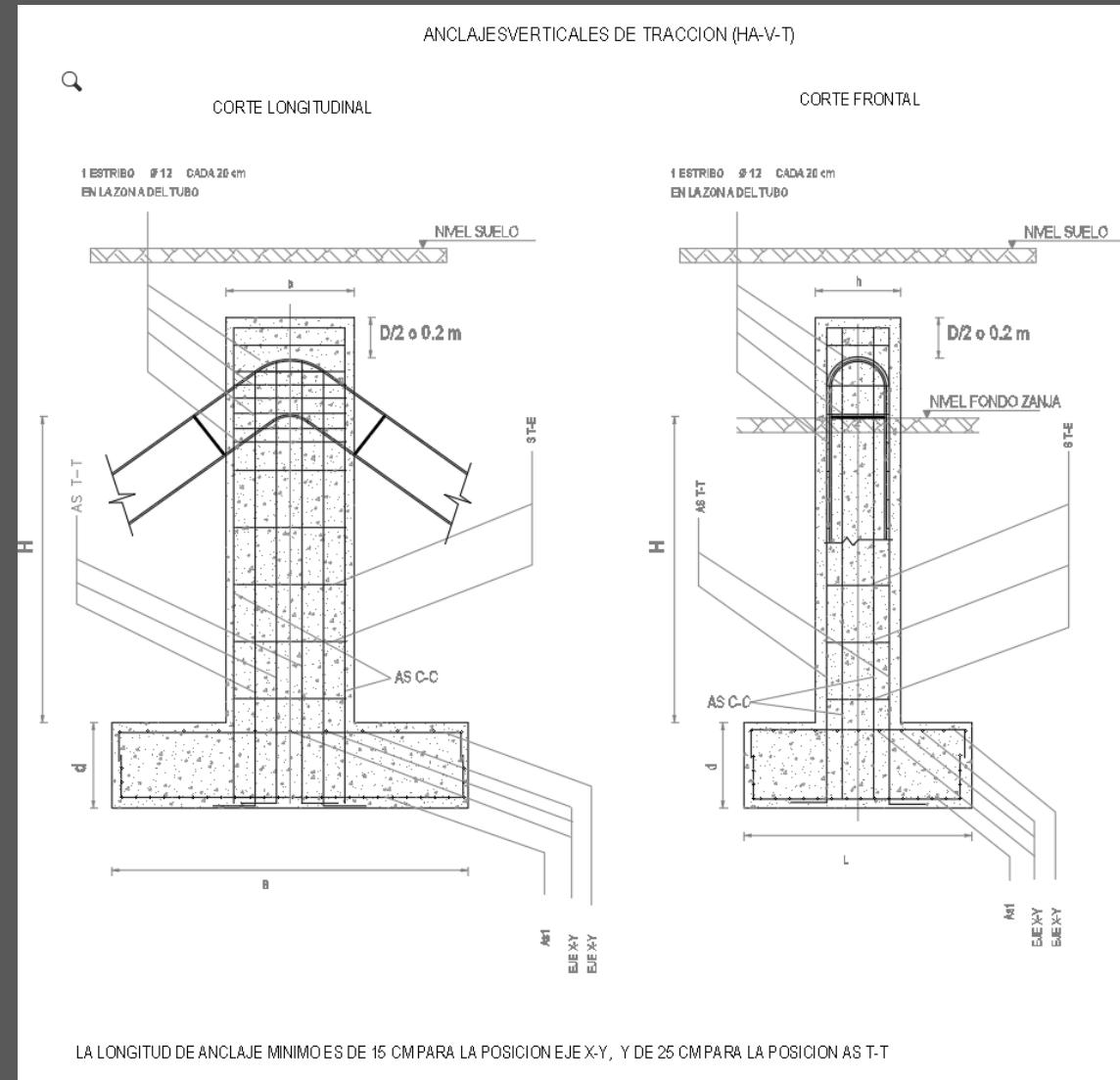
TIPOLOGIAS DE ANCLAJES



TIPOLOGIAS DE ANCLAJES

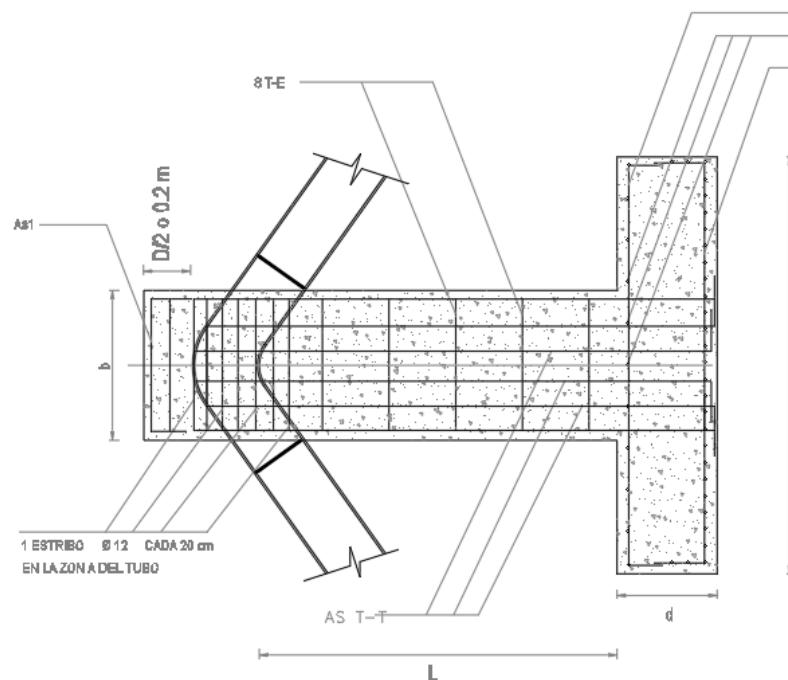
Maestría en
Hidrosanitaria

3. ESTACIONES DE BOMBEO

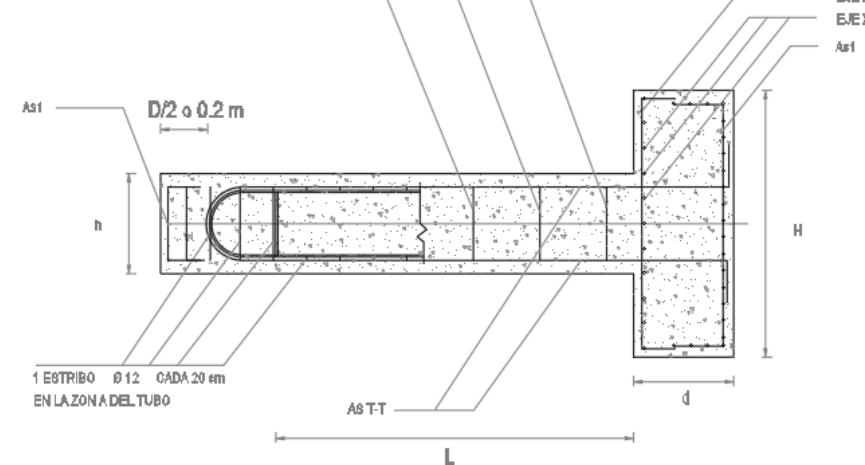


ANCLAJES HORIZONTALES DE TRACCION (HA-T)

CORTE LONGITUDINAL



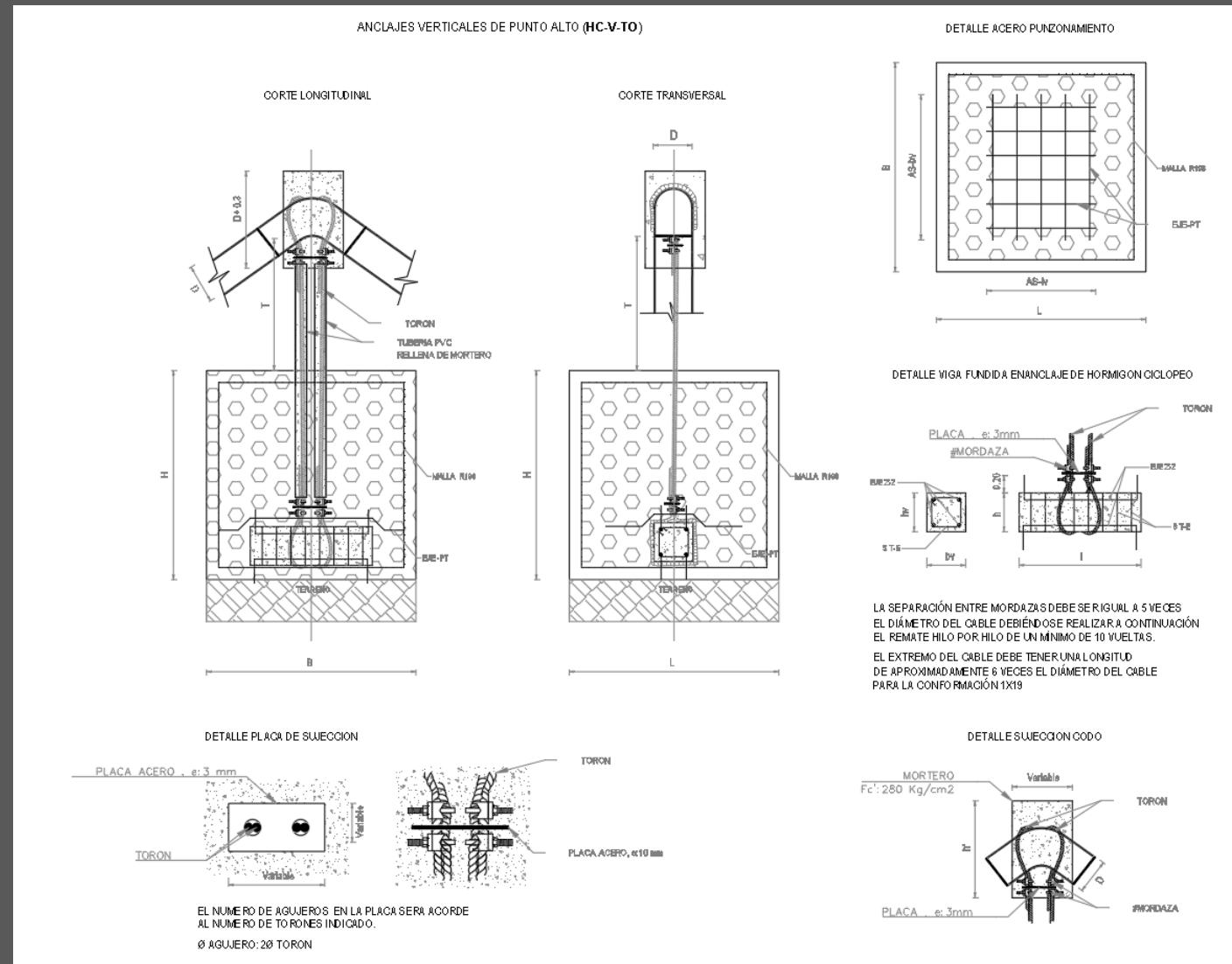
CORTE FRONTAL



EL SUELO COMPRENDIDO ENTRE LA ZAPATA Y EL CODO, DEBERA ESTAR DEBIDAMENTE COLOCADO Y COMPACTADO

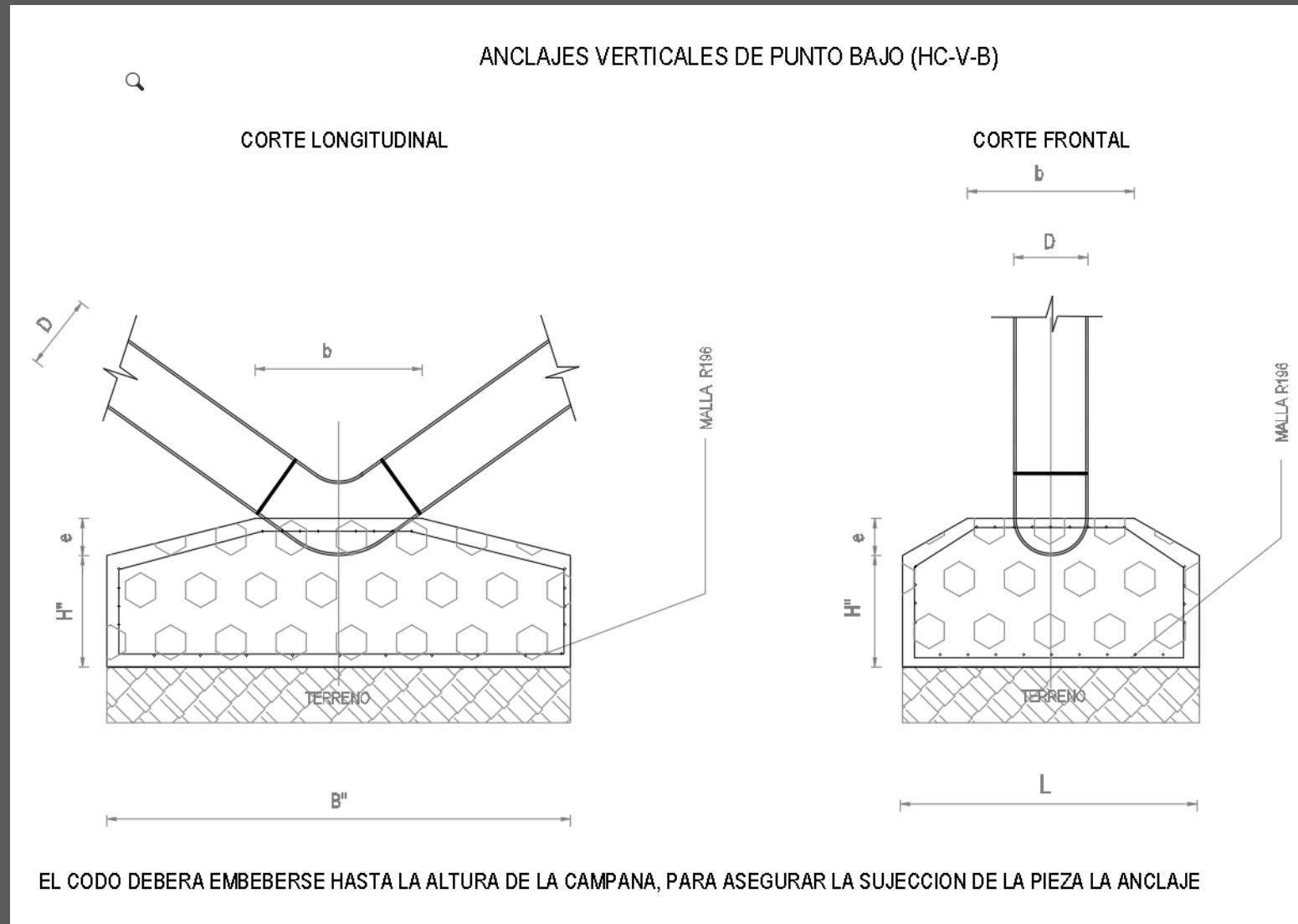
SE DEBERA REFORZAR EL AREA DE LA ZAPATA EN UNA LONGITUD DE $3d$ CONTANDO DESDE EL BORDE DEL TENSOR, CON UNA QRMADURA IGUAL A LA MITAD DEL REFUERZO DE EJE X-Y

TIPOLOGIAS DE ANCLAJES

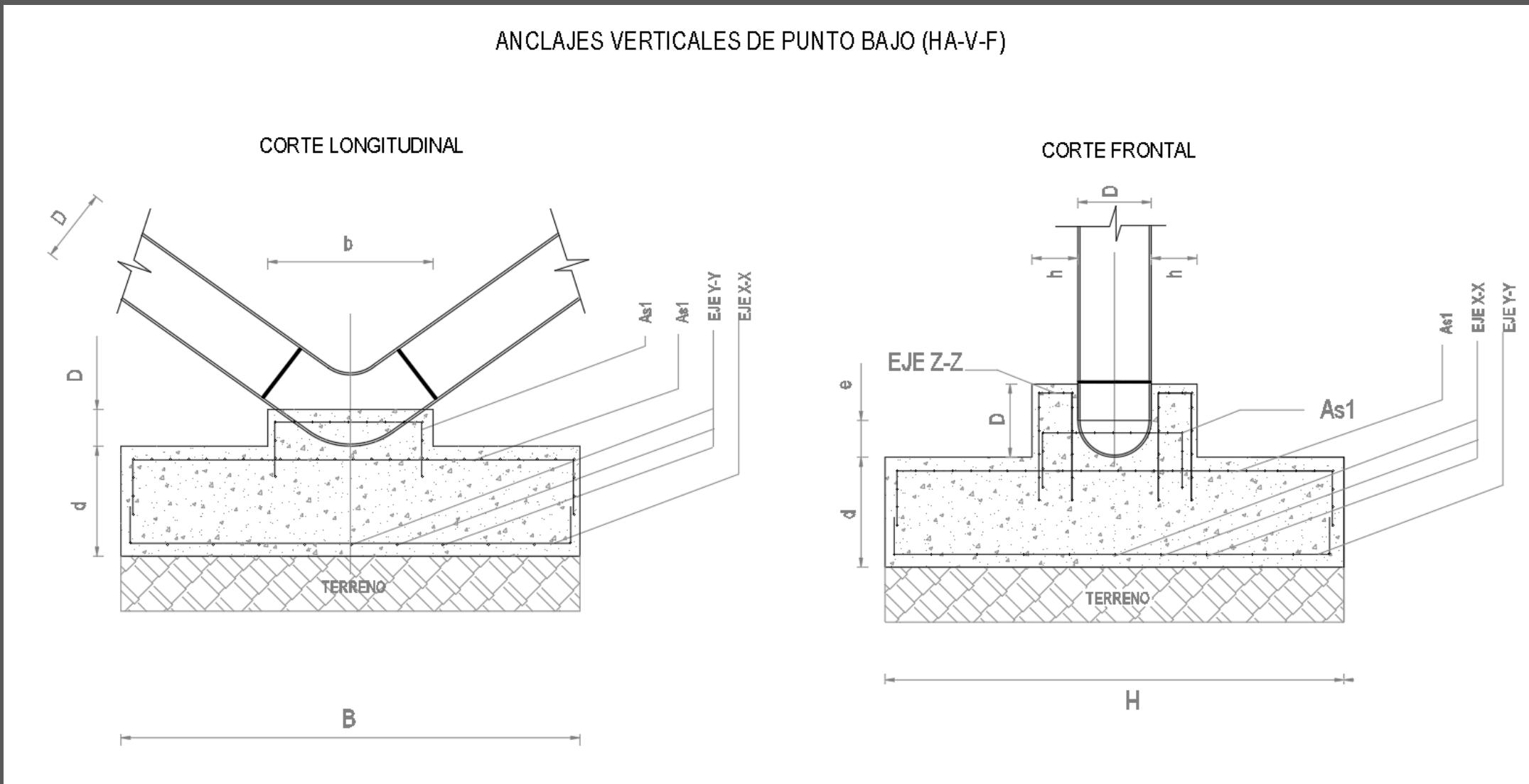


TIPOLOGIAS DE ANCLAJES

3. ESTACIONES DE BOMBEO

Maestría en
Hidrosanitaria

TIPOLOGIAS DE ANCLAJES



TIPOLOGIAS DE ANCLAJES

ANCLAJES SALIDA / ENTRADA DE CAMARAS (AC)

