

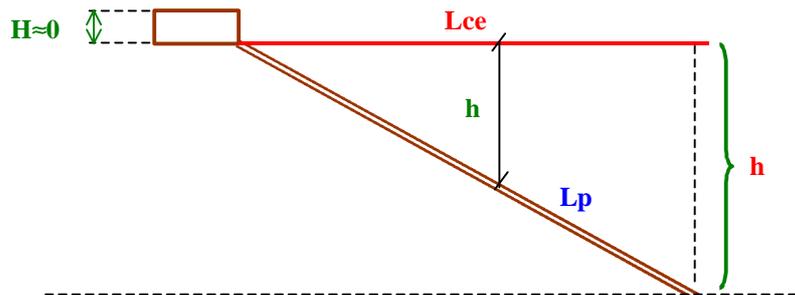
Tema 9. Funcionamiento de las tuberías por gravedad y en impulsión

1. Funcionamiento de una tubería por gravedad
2. Funcionamiento de una tubería en impulsión
3. Consideraciones sobre las depresiones
4. Vaciado y limpieza de tuberías
5. Influencia de las bolsas de aire en el funcionamiento de las instalaciones de gravedad e impulsión

1. Funcionamiento de una tubería por gravedad.

En el funcionamiento de una tubería por gravedad se pueden distinguir, en principio, seis casos, que resumen las situaciones que pueden producirse en función de la uniformidad del trazado y de la existencia de válvulas reguladoras al inicio o al final del recorrido.

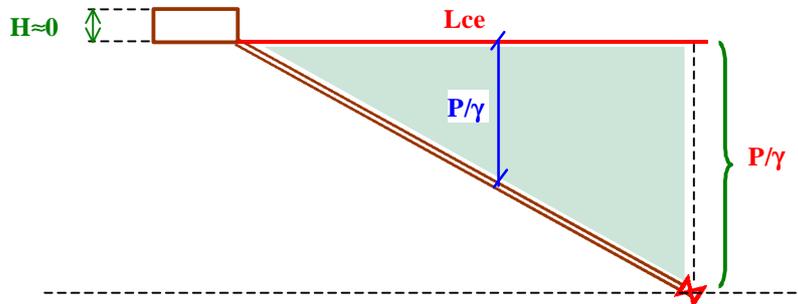
a) *Circulación libre y pendiente uniforme.*



Corresponde este caso a la apertura total de la válvula. La presión es constantemente nula en todo el recorrido de la tubería, por lo que la línea de carga o línea de alturas piezométricas (L_p) coincide con la trayectoria, es decir, con la línea de alturas geométricas.

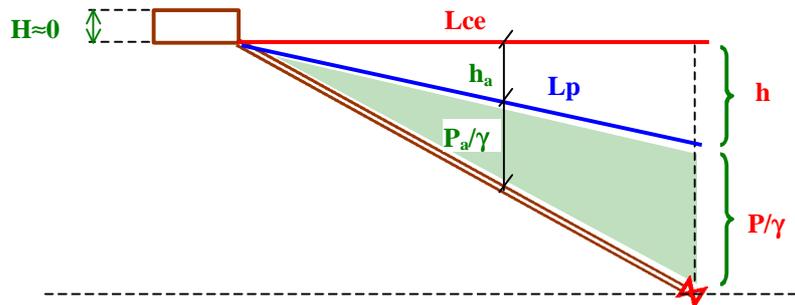
La pérdida de carga producida desde el origen a un punto determinado coincide con la distancia entre dicho punto y la línea de carga estática (L_{ce}).

b) **Válvula de final de recorrido cerrada.**



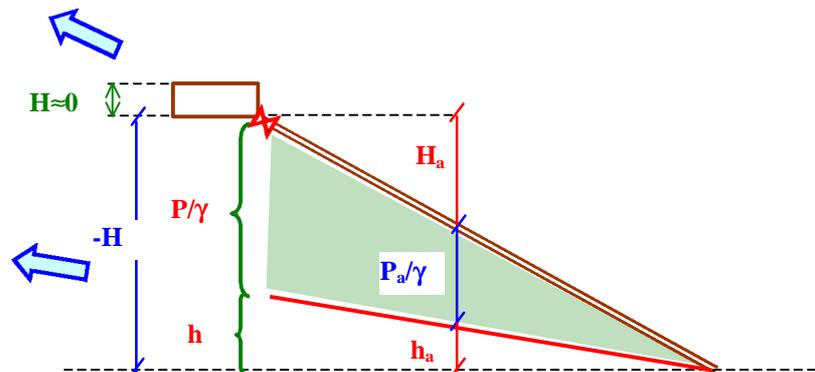
La presión en cada posición corresponde al desnivel en relación a la horizontal. Es el caso más desfavorable para una conducción de estas características, ya que se alcanza el máximo valor de P/γ , por lo que es el que hay que tener presente a la hora de dimensionar la tubería

c) **Válvula de final de recorrido semicerrada.**



La presión en cada punto es la presión estática menos la pérdida de carga desde el origen al punto considerado. Conforme se produce la apertura de la válvula, aumenta la pérdida de carga y disminuye P/γ .

d) **Válvula inicial semicerrada.**

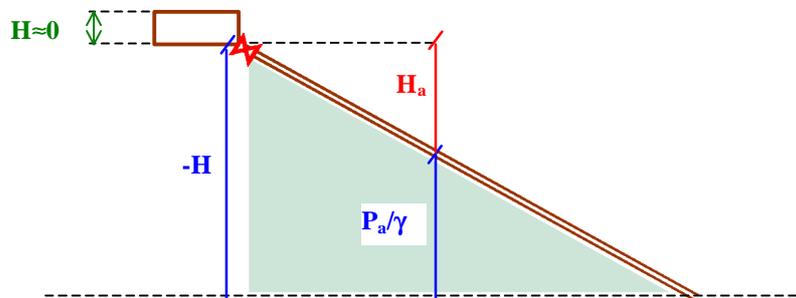


Existen depresiones en todo el recorrido, que se anulan en la posición inferior.

Se observa en la figura que, en valor absoluto, $H = \frac{P}{\gamma} + h$, luego:

$$\frac{P}{\gamma} = -(H - h) = -H + h \quad \left(\frac{P}{\gamma} < 0 \right)$$

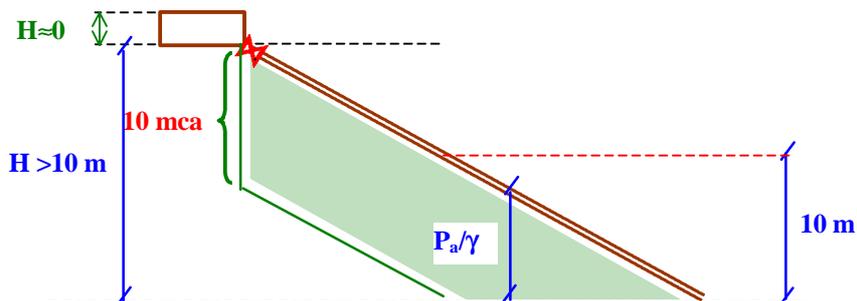
e) **Válvula inicial cerrada y desnivel de hasta 10 m.**



Valores máximos, en módulo, de las depresiones. Esquema válido para diferencias de nivel entre depósitos inferiores a 10 m.

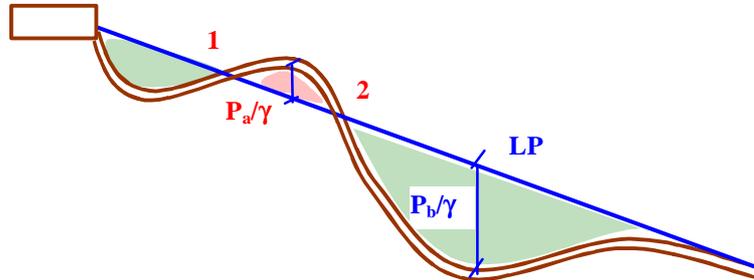
En este caso, $\frac{P_a}{\gamma} = -(H - H_a)$, es decir, $\frac{P_a}{\gamma} < 0$

f) **Válvula inicial cerrada y desnivel superior a 10 m.**



Si el desnivel es mayor de 10 m, al no poder ser las depresiones superiores a 1 atm, existe rotura de la vena líquida. A partir de la válvula el tubo está vacío y únicamente existe la presión de vapor del agua. Para el desnivel de 10 m e inferiores respecto al segundo depósito, el agua llena el tubo y decrecen las depresiones hasta anularse en el nivel inferior.

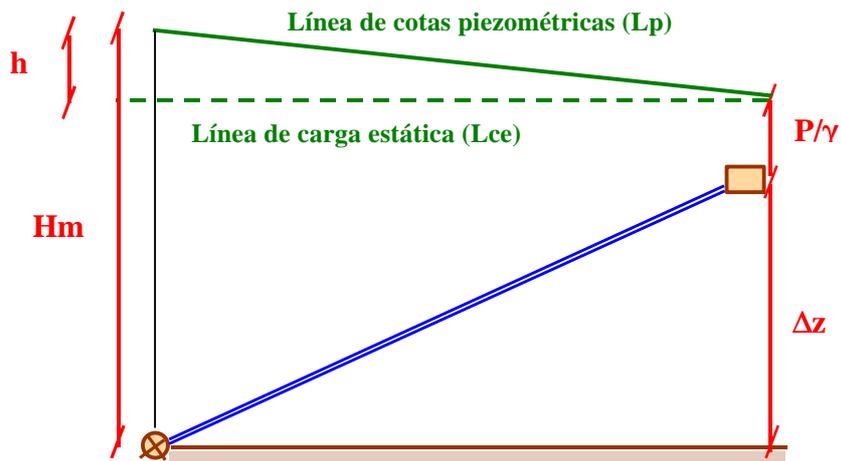
g) **Recorrido sinuoso.**



Si la línea de carga corta el trazado de la tubería, existirán zonas de presión positiva y zonas de presión negativa. Las depresiones se producirán en los tramos en que la línea de alturas piezométricas quede por debajo de la tubería (intervalo 1-2 en la figura).

2. Funcionamiento de una tubería en impulsión.

La altura manométrica que debe proporcionar el grupo de bombeo debe ser igual al desnivel geométrico que tiene que vencer el agua (Δz) más la presión mínima requerida en el punto a abastecer (P/γ) y más la pérdida de carga (h_T) que se produzca en todo el trayecto considerado.



$$H_m = H_g + h_T, \text{ siendo } H_g = \Delta z + \frac{P}{\gamma}$$

$$H_m = \Delta z + \frac{P}{\gamma} + h_T$$

Las condiciones específicas que se producen en función de la forma de trabajo de la bomba (en aspiración o en carga) se analizarán en el tema 13.

3. Consideraciones sobre las depresiones.

Hemos visto que cuando la línea de alturas piezométricas queda por debajo de la trayectoria de la tubería, se crea una zona de depresión, ya que la presión absoluta reinante en el interior es menor que la presión atmosférica $\left(\frac{P_{abs}}{\gamma} < \frac{P_0}{\gamma}\right)$, por lo que puede haber peligro de aplastamiento de la tubería y posibilidad de cavitación si la presión se iguala a la tensión de vapor $\left(\frac{P_v}{\gamma}\right)$ a esa temperatura.

Por lo tanto, si $\frac{P_0}{\gamma} + \left(-\frac{P}{\gamma}\right) = \frac{P_{abs}}{\gamma} \leq \frac{P_v}{\gamma}$ habrá cavitación.

En estas zonas de presión negativa no se deben instalar ventosas bidireccionales, ya que entraría aire en la tubería, pero sí unidireccionales y bomba de vacío.

4. Vaciado y limpieza de tuberías.

Para evitar la acumulación de residuos y facilitar el vaciado y limpieza de la tubería, es conveniente colocar en los puntos bajos de la misma purgadores u otros dispositivos que permitan efectuar estas operaciones.

5. Influencia de las bolsas de aire en el funcionamiento correcto de las instalaciones de gravedad e impulsión.

En general, el aire que existe en las tuberías puede proceder:

⇒ Del aire que llena la conducción antes de que entre en servicio.

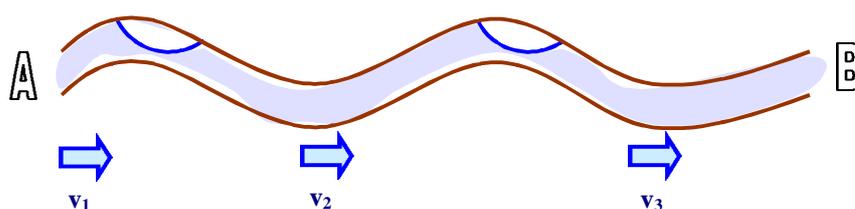
- ⇒ Del aire disuelto en el agua, que se desprende al disminuir la presión.
- ⇒ De los torbellinos que se forman en la aspiración.
- ⇒ De pequeñas fisuras que puedan existir en las tuberías.

El aire de las tuberías se acumula en las partes altas de las mismas, interrumpiendo el paso del agua y originando unas sobrepresiones que pueden ser mayores que la presión de funcionamiento, por lo que es necesario evacuarlo a través de las ventosas.

Los principales problemas que plantean las acumulaciones de aire en las tuberías son los siguientes:

1. **Durante el arranque del sistema**

Es uno de los problemas más importantes que puede presentar la acumulación de aire en los puntos más elevados de la conducción. El aire acumulado en la primera bolsa de la conducción será comprimido al abrir la válvula de entrada a B por la masa de líquido que hay aguas arriba, y empujará al fluido confinado en el segundo tramo, que adquirirá una velocidad menor que la existente en el primer tramo, y análogamente ocurrirá con la segunda bolsa de aire y el tercer tramo con agua, de manera que $v_1 > v_2 > v_3$.



2. **Reducción de la sección útil de la tubería**

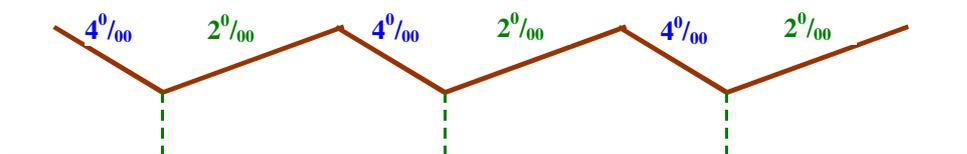
El espacio que ocupa el aire se resta de la sección útil de la conducción, por lo que la vena líquida reducirá su diámetro en esos puntos. En consecuencia, también circulará el agua con *mayor velocidad* y se creará una *pérdida de carga* adicional.

3. **Golpe de ariete**

Soluciones

1. Evitar en lo posible la entrada de aire.
2. Expulsar el aire colocando ventosas.
3. Al realizar el llenado de la conducción, hacerlo lentamente para evitar turbulencias (entrada de aire) y dar tiempo a que el aire que llena la tubería salga por las ventosas.
4. Para evitar bolsas de aire en posiciones desconocidas, con lo que no sería fácil su extracción, conviene dar a la tubería un perfil con tramos de distintas pendientes, ascendentes y descendentes, aunque el terreno sea poco irregular, de manera que estas bolsas de aire se desplacen a los puntos elevados y se facilite su extracción.

Los valores mínimos recomendados son de un 2 – 3 ‰ para las pendientes ascendentes y de un 4 – 6 ‰ para las descendentes.



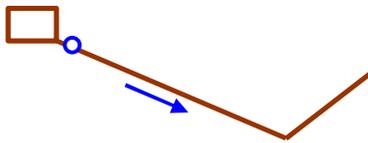
5. En cualquier caso, conviene colocar ventosas incluso en tuberías horizontales y en tramos descendentes si son de gran longitud, pues el permitir al aire una salida fácil evitará la formación de bolsas incontroladas que perjudiquen el buen funcionamiento de la instalación.

Colocación de las ventosas

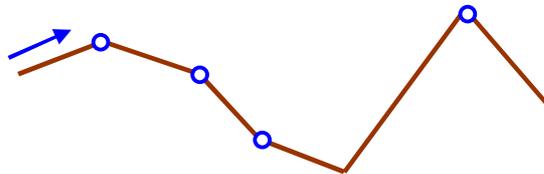
En puntos altos notables



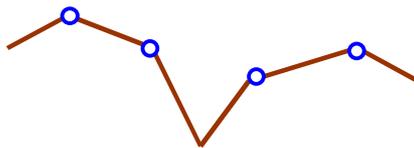
A la salida de depósitos



En ramas descendentes de más de 500 m de longitud



En puntos de cambio de pendiente brusca



En tramos largos con ninguna o poca pendiente

