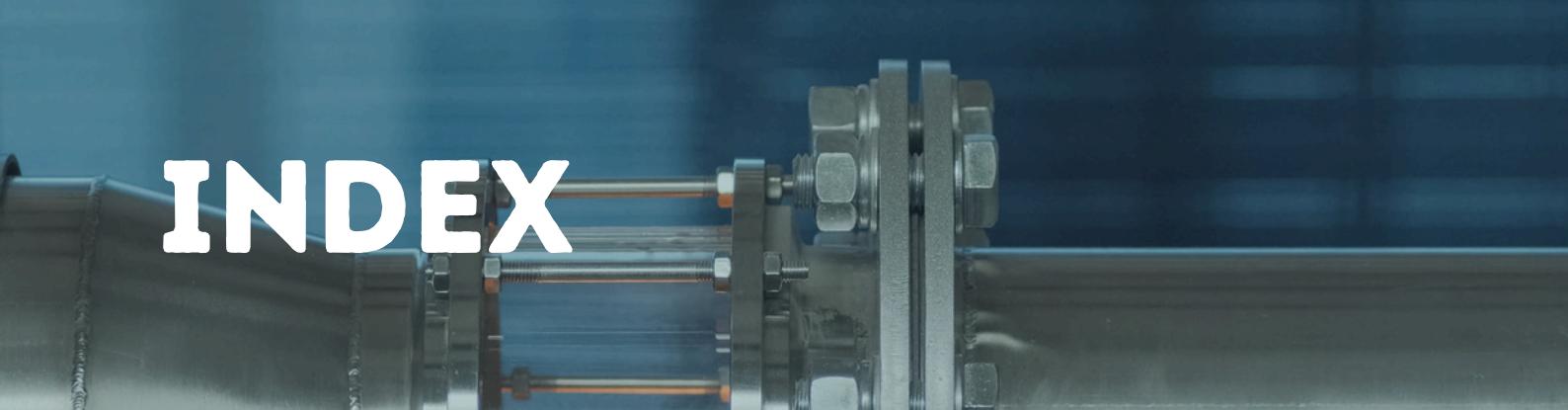


TEMA 5

# CONCEPTOS BÁSICOS DE HIDRÁULICA



# INDEX

**01**

## HIDRÁULICA

- 1.1 LOS FLUÍDOS
- 1.2 CONCEPTOS INHERENTES

**02**

## HIDROESTÁTICA

- 2.1 PRINCIPIO DE PASCAL
- 2.2 LA SUPERFICIE DE LOS LÍQUIDO

**03**

## HIDRODINÁMICA

- 3.1 LEYES FUNDAMENTALES DE LA HIDRODINÁMICA

**04**

## PÉRDIDA DE CARGA

- 4.1 FACTORES QUE INFUEN EN LA PÉRDIDA DE CARGA EN UNA CONDUCCIÓN
- 4.2 PÉRDIDA DE CARGA SEGÚN EL DIÁMETRO
- 4.3 CÁLCULO DE INSTALACIONES
- 4.4 REACCIÓN DE LANZA
- 4.5 GOLPE DE ARIETE

**05**

## CLASIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LAS BOMBAS

- 5.1 DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS
- 5.2 BOMBAS ALTERNATIVAS
- 5.3 BOMBAS CENTRÍFUGAS
- 5.4 ASPIRACIÓN
- 5.5 MECANISMO DE CEBADO
- 5.6 TURBOBOMBAS



# 01 HIDRÁULICA

La hidráulica es una **rama de la Física que se ocupa del estudio del comportamiento de los fluidos, ya sea en reposo o en movimiento**. Además, analiza todas las aplicaciones prácticas y los mecanismos de ingeniería que hacen uso de fluidos en sus procesos.

## 1.1 LOS FLUÍDOS

**Los fluidos** son aquellas sustancias que se encuentran en un estado de agregación distinto al sólido, es decir, se incluyen aquí los líquidos y los gases (en este contexto no se considera el estado plasmático). La diferencia esencial entre la materia sólida y los fluidos radica en las fuerzas de atracción entre sus moléculas, así como en la distancia que las separa, conocida como distancia intermolecular.

En los fluidos, **las moléculas** permanecen unidas por fuerzas de atracción que son menos intensas que las presentes en los sólidos. Si hablamos de la distancia relativa entre las moléculas, esta es menor en los sólidos, luego en los líquidos y por último en los gases. En cualquiera de los tres casos, la distancia entre las moléculas sigue siendo mucho mayor que el propio diámetro de una molécula individual.

Los fluidos pueden ser sustancias en estado líquido o gaseoso, aunque existen diferencias importantes entre ambos.

La característica principal que permite diferenciarlos es su compresibilidad, es decir, la capacidad que tiene una sustancia para reducir su volumen al ser sometida a presión. TODOS los fluidos, tanto líquidos como gases, son compresibles. Esto significa que cuando se les aplica presión, ambos tipos de fluidos tienden a disminuir su volumen.

Desde un punto de vista teórico, todos los fluidos son compresibles, aunque en la práctica no se comportan del mismo modo. El módulo de compresibilidad de un líquido es considerablemente menor que el de un gas, lo que significa que, aunque los líquidos también pueden comprimirse, lo hacen en una proporción mucho menor.

Debido a esta diferencia, en la práctica se acostumbra a considerar a los líquidos como fluidos incompresibles y a los gases como fluidos compresibles, aunque esta simplificación no refleje con total exactitud la realidad física.

## TEORÍA CINÉTICA DE LA MATERIA

### **Estructura interna de los estados de agregación**

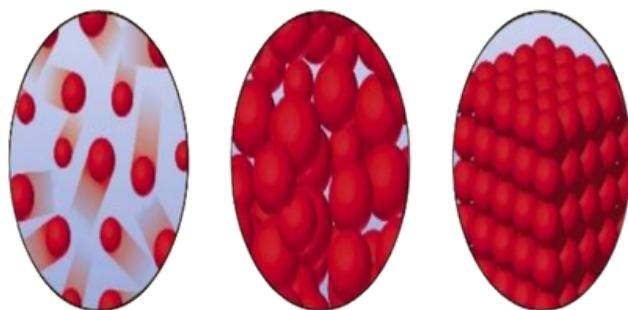
La teoría cinética establece que la materia está formada por diminutas partículas (átomos, moléculas o iones) que se encuentran en movimiento continuo, y entre ellas existen espacios vacíos.

En cada uno de los tres estados de agregación, las partículas (ya sean átomos, moléculas o iones) están dispuestas de forma diferente:

- La distancia entre las partículas es mayor en el estado gaseoso que en el líquido, y a su vez es mayor en el líquido que en el sólido.
- Las fuerzas de atracción entre las partículas (también llamadas fuerzas de cohesión) son más fuertes en los sólidos, algo menores en los líquidos y muy débiles en los gases.

La imagen muestra una representación de las partículas en los tres estados:

1. **Gaseoso:** Partículas muy separadas y con poca fuerza de atracción.
2. **Líquido:** Partículas más próximas, con algo de orden y mayor cohesión.
3. **Sólido:** Partículas muy juntas, con fuerte atracción y disposición estructurada.

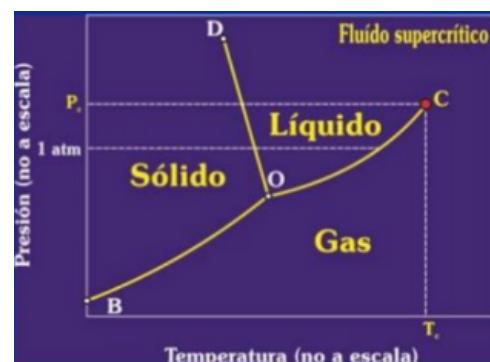


\*La densidad de una sustancia en estado líquido es siempre mayor que en estado gaseoso.

## PUNTO CRÍTICO

Ahora bien, en el punto crítico de una sustancia, **una misma masa de vapor y de líquido ocupan el mismo volumen o, dicho de otra forma, las densidades del líquido y del vapor son iguales**. En esta fase no podemos condensar un gas, es decir, por encima del punto de temperatura y presión crítica, la sustancia solo puede existir en fase gaseosa.

Es el valor máximo de temperatura en el que pueden coexistir en equilibrio dos fases (como líquido y gas), y se representa como un punto en un diagrama de presión y temperatura. A partir de este punto, por mucho que aumente la presión, ya no se puede licuar un gas: solo puede existir en estado gaseoso. Esto da lugar al estado denominado fluido supercrítico.



## MECÁNICA DE FLUIDOS

La mecánica de fluidos puede subdividirse en dos campos principales:

- **Estática de fluidos o hidrostática**, que estudia los fluidos en reposo.
- **Dinámica de fluidos o hidrodinámica**, que se encarga del estudio de los fluidos en movimiento.

El término hidrodinámica se refiere al estudio del movimiento de líquidos o gases a baja velocidad, donde puede considerarse que los gases son incompresibles.

Por otro lado, la aerodinámica, también llamada dinámica de gases, estudia el comportamiento de los gases cuando los cambios de presión y velocidad son lo suficientemente grandes como para requerir que se tomen en cuenta los efectos de compresibilidad.

Entre las aplicaciones de la mecánica de fluidos se encuentran: **La propulsión a chorro / Las turbinas / Los compresores / Las bombas**

La hidráulica, por su parte, estudia cómo se aplica la presión del agua o del aceite en ingeniería. Es uno de los conceptos más utilizados en la industria moderna. En las próximas páginas del tema se abordarán los principios fundamentales de la hidráulica, y se introducirá su uso a nivel industrial.

## 1.2 CONCEPTOS INHERENTES

### FLUÍDO

Sustancia capaz de fluir. El término comprende tanto líquidos como gases.

### VOLUMEN (V)

En matemáticas, es la medida del espacio ocupado por un cuerpo sólido. El volumen se mide en unidades cúbicas, como metros cúbicos ( $m^3$ ) o centímetros cúbicos ( $cm^3$ ), según el sistema métrico decimal de pesos y medidas. En el caso de líquidos, también se expresa en litros.

$1 \text{ litro} = 1 \text{ decímetro cúbico } (1 dm^3)$

### DENSIDAD ( $\Delta$ )

Relación entre la masa (m) y el volumen (V) que ocupa un cuerpo.

- Fórmula:  $\delta = m / V$
- Unidades:  $kg/m^3$  o  $g/cm^3$
- Donde:
  - $m$  = masa
  - $V$  = volumen



### VOLUMEN ESPECÍFICO (V)

Es la relación entre el volumen y la masa que contiene.

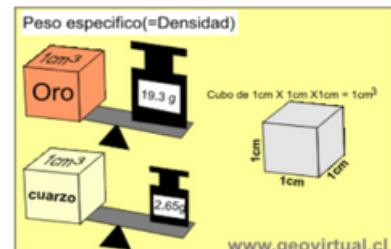
- Fórmula:  $v = V / m$

Es inversamente proporcional a la densidad.

### PESO ESPECÍFICO (P)

Relación entre el peso (P) y el volumen (V) que ocupa un cuerpo.

- Fórmula:  $\rho = P / V$
- Unidades:  $N/m^3$ ,  $kgf/m^3$  o  $g/cm^3$
- Donde:
  - $P$  = peso
  - $V$  = volumen



## PRESIÓN (P)

En mecánica de fluidos, la presión se define como la fuerza por unidad de superficie que ejerce un líquido o gas de forma perpendicular a dicha superficie.

- Fórmula:  $p = F / A$
- Unidades: N/m<sup>2</sup> (pascal), kgf/cm<sup>2</sup>
- Donde:
  - F = fuerza
  - A = área o superficie



La presión es una de las variables de estado de un fluido. Está directamente relacionada con su temperatura, su densidad o su volumen específico.

## UNIDADES DE PRESIÓN

La presión se puede medir en diferentes unidades. Comúnmente, se mide en atmósferas (atm).

En el Sistema Internacional (SI), la unidad utilizada es el Pascal (Pa), y se define así: **1 N/m<sup>2</sup> = 1 Pa**. Una atmósfera equivale a 101.325 Pascales (Pa), lo que también se corresponde con 760 mm de mercurio (mmHg) medidos en un barómetro convencional.

UNIDAD	atm	bar	kg/cm <sup>2</sup>	mca	PSI	KPa (SI)
1 atmósfera	1	1.013	1.033	10.333	14.696	101.325
1 bar	0.987	1	1.020	10.197	14.504	100
1 kg/cm <sup>2</sup>	0.968	0.981	1	10	14.223	98.067
1 metro columna de agua	0.097	0.098	0.10	1	1.422	9.806
1 libra por pulgada cuadrada	0.068	0.069	0.070	0.703	1	6.895
1 kilopascal (kPa)	0.010	0.010	0.010	0.102	0.145	1

\*Nota práctica:

En fontanería doméstica se considera la siguiente equivalencia:

**1 atm = 1 bar = 1 kg/cm<sup>2</sup> = 10 mca = 100 kPa**

## VISCOSIDAD

La viscosidad mide la resistencia que ofrece un fluido al fluir bajo la acción de una fuerza. Es una propiedad característica de los fluidos, y su valor depende de su naturaleza.



Un fluido altamente viscoso, como la miel, fluye con dificultad. **La propiedad contraria a la viscosidad es la fluidez.**

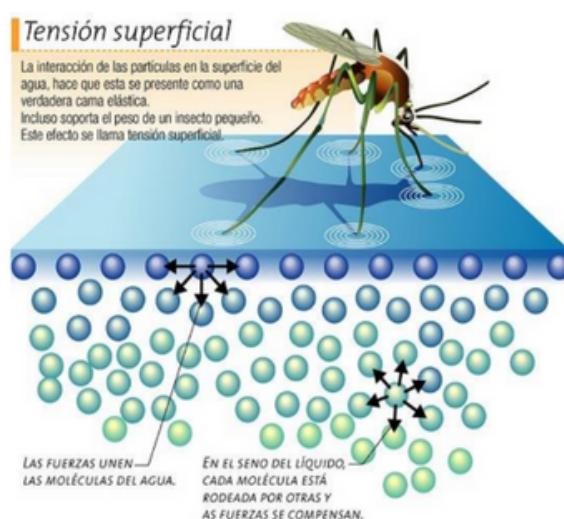
## TENSIÓN SUPERFICIAL

La tensión superficial es una propiedad exclusiva de los líquidos. Se debe a la interacción entre las moléculas de la superficie del líquido, que se comportan como una especie de membrana elástica.

Esta propiedad da lugar a fenómenos como:

- El desplazamiento de insectos sobre el agua.
- La formación esférica de las gotas.
- La capacidad de algunos líquidos de “empapar” la superficie sobre la que se encuentran en contacto.

La tensión superficial puede observarse fácilmente cuando una molécula en la superficie del líquido es “tirada” por las demás moléculas vecinas, generando una fuerza neta hacia el interior del líquido. Esta cohesión crea una película superficial resistente.



# 02 HIDROESTÁTICA

Una característica esencial de cualquier fluido en reposo es que **la fuerza ejercida sobre cualquier partícula del fluido es igual en todas direcciones.**

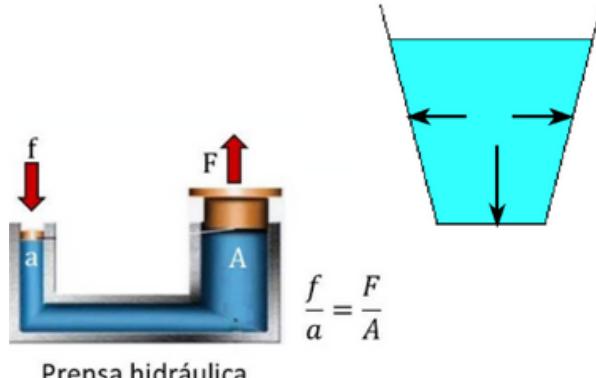
Esto implica que si las fuerzas ejercidas sobre una partícula no fueran iguales, la partícula se movería en dirección de la fuerza resultante. Por tanto, la presión (fuerza por unidad de superficie) que el fluido ejerce contra las paredes del recipiente que lo contiene —independientemente de su forma— será perpendicular a la pared en cada punto.

Si la presión no fuera perpendicular, aparecería una componente tangencial no equilibrada, lo cual haría que el fluido se desplazara a lo largo de la superficie del recipiente.

Este comportamiento es lo que se conoce como el **Principio de Pascal**.

## 2.1 PRINCIPIO DE PASCAL

El Principio de Pascal establece que:



**“La presión ejercida en cualquier punto de un fluido encerrado e incompresible se transmite por igual en todas las direcciones y a todos los puntos del fluido.”**

Es decir, **en un fluido encerrado e incompresible, la presión se mantiene constante en todos los puntos del fluido.**

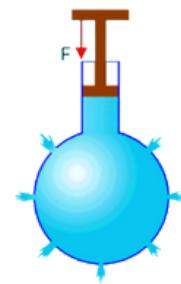
Esto permite entender el funcionamiento de dispositivos como la prensa hidráulica, en la cual una presión aplicada en una superficie pequeña se transmite a una superficie mayor, multiplicando la fuerza.

## 2.2 LA SUPERFICIE DE LOS LÍQUIDOS

Cuando un líquido está en reposo dentro de un recipiente abierto, su superficie superior será siempre perpendicular a la fuerza total que actúe sobre ella.

- Si la única fuerza que actúa sobre el líquido es la gravedad, la superficie será horizontal.
- Si hay otras fuerzas actuando (por ejemplo, la fuerza centrífuga en un líquido girando en un vaso), la superficie “libre” se adapta a estas fuerzas. En el caso del giro, se genera una parábola como superficie libre, la cual es perpendicular en cada punto a la fuerza resultante.

Además, cuando solo actúa la gravedad sobre un líquido contenido en un recipiente abierto, la presión en cualquier punto del líquido es directamente proporcional al peso de la columna vertical de líquido sobre ese punto.



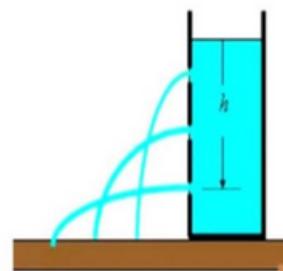
**El peso de un líquido** es proporcional a la profundidad del punto medido respecto a la superficie libre del fluido, y esta relación no depende del tamaño ni de la forma del recipiente.

### ***La presión varía con la altura***

La presión hidrostática en un punto de un fluido se puede expresar con la siguiente fórmula:  $ph = pa + d \cdot g \cdot h$

Donde:

- **ph** = presión total en el punto
- **pa** = presión atmosférica
- **d** = densidad del fluido
- **g** = aceleración de la gravedad
- **h** = altura o profundidad del punto respecto a la superficie del líquido



Cuanto más altura hay más fuerte sale el chorro de agua, y por lo tanto, llega más lejos

Esto implica que la presión en el fondo de un recipiente lleno de agua solo depende de la altura de la columna de líquido, no de su anchura, volumen ni forma.

#### **Por ejemplo:**

La presión que ejerce una columna de agua de 15 metros de altura en una tubería vertical de apenas 1 centímetro de diámetro será exactamente la misma que la que ejerce una columna de agua de 15 metros en el fondo de un lago, aunque el lago tenga cientos de metros de anchura.

#### **Ejemplo comparativo:**

Supongamos una columna de agua de 30 cm de altura con una sección transversal de  $6,5 \text{ cm}^2$ . La masa de esta columna es de aproximadamente 195 gramos. La presión que ejerce en el fondo será igual al peso de esa masa dividido entre la superficie que lo soporta.

Ahora bien, si construimos otra columna de la misma altura pero con un diámetro 12 veces mayor, su volumen aumentará 144 veces, y pesará también 144 veces más. Pero como la superficie del fondo también será 144 veces mayor, la presión (fuerza por unidad de superficie) se mantendrá constante.

Por otro lado, si en vez de agua usamos mercurio, que tiene una densidad 13,6 veces mayor, la presión en el fondo de una columna de mercurio con la misma altura será 13,6 veces superior a la de una columna de agua.

## **PRINCIPIO DE ARQUÍMEDES**

Cuando un cuerpo se encuentra total o parcialmente sumergido en un fluido en reposo, dicho fluido ejerce presión sobre toda la superficie del cuerpo que está en contacto con él. Esta presión no es uniforme: es mayor en las zonas que están a mayor profundidad. Como resultado, **la suma de todas las presiones da lugar a una fuerza dirigida hacia arriba, conocida como empuje o fuerza ascensional.**

**“Un cuerpo total o parcialmente sumergido en un fluido experimenta una fuerza de empuje hacia arriba, de intensidad igual al peso del volumen de fluido que desaloja.”**

## Cálculo de empuje

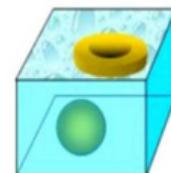
$$E = d \cdot g \cdot Vd$$

Donde:

- E = fuerza de empuje
- d = densidad del fluido
- g = aceleración de la gravedad
- Vd = volumen del fluido desplazado



Dos trozos iguales de plastilina



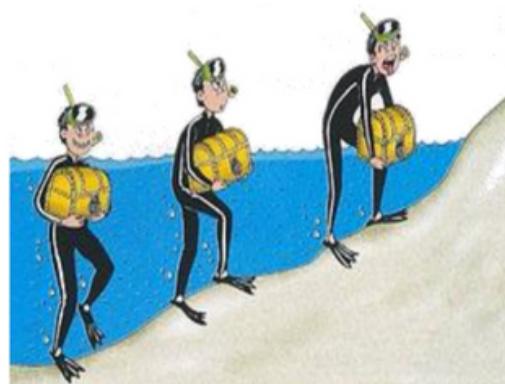
Esta fuerza es la que permite que algunos cuerpos floten en el agua. Si el empuje es igual al peso del objeto, este se mantiene a flote. Si el empuje es menor, el objeto se hunde.

## Cálculo de la fuerza ascensional neta

$$Fa = d \cdot g \cdot Vd - m \cdot g$$

Donde:

- Fa = fuerza ascensional neta
- d = densidad del fluido
- Vd = volumen del fluido desplazado
- m = masa del cuerpo
- g = gravedad



Este valor (Fa) indica si un objeto flotará (cuando Fa > 0), se hundirá (cuando Fa < 0) o se mantendrá en equilibrio en el fluido (cuando Fa = 0).

### \*Ejemplo práctico

*Un barco muy cargado flota porque su peso total es exactamente igual al peso del agua que desplaza. Esa masa de agua desplazada genera una fuerza de empuje hacia arriba que mantiene el barco a flote. Lo mismo sucede con cualquier cuerpo sumergido.*

## PRESIÓN ATMOSFÉRICA

Cuando colocamos un objeto pesado sobre una mesa, su peso ejerce una presión sobre la superficie de dicha mesa. De la misma forma, aunque no lo notemos directamente, el aire también ejerce una presión sobre la superficie terrestre. Aunque el aire no tiene una gran densidad, la enorme masa de aire que forma la atmósfera ejerce un peso considerable sobre cualquier punto del planeta, generando así una presión significativa.

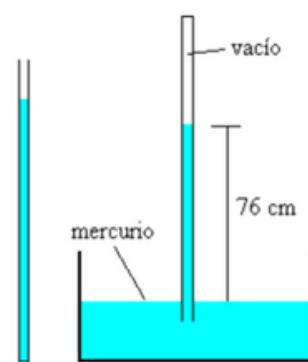
Este valor de la presión ejercida sobre cualquier punto de la superficie de la Tierra, debida a la masa de aire que lo cubre, se denomina presión atmosférica.

**¿Qué es la presión atmosférica?** Es la fuerza que ejerce la atmósfera, es decir, el aire que rodea la Tierra, sobre la superficie terrestre. A pesar de que no la notamos directamente, esta fuerza es constante y tiene gran importancia en numerosos fenómenos físicos y meteorológicos.

**¿De qué depende?** A nivel del mar, un litro de aire tiene un peso aproximado de 1,293 gramos. En cualquier punto de la superficie terrestre, la presión atmosférica se debe al peso de una columna de aire cuya base es de  $1\text{ cm}^2$  y cuya altura se extiende desde ese punto hasta el límite superior de la atmósfera (donde prácticamente desaparece la masa de aire).

**Valor de referencia de la presión atmosférica.** La presión atmosférica normal es aquella que se ejerce a  $0^\circ\text{C}$  de temperatura y a nivel del mar. Esta presión equivale a la que genera una columna de mercurio de 76 cm de altura, y es el valor adoptado como unidad práctica para medir la presión.

Otra forma de expresar este valor es: **1 atmósfera = 1.013 hPa (hectopascales)**



## PRESIÓN MANOMÉTRICA

Se conoce como presión manométrica a la diferencia que existe entre la presión absoluta o real y la presión atmosférica. Este concepto se utiliza únicamente en aquellos casos en los que la presión medida es superior a la presión atmosférica. Cuando esa diferencia resulta negativa, es decir, cuando la presión es menor que la atmosférica, se habla de presión de vacío.

En la mayoría de los instrumentos diseñados para medir presión, se toma como referencia la presión atmosférica. Es decir, dichos instrumentos no miden la presión absoluta, sino la diferencia entre ésta y la presión atmosférica. Esta diferencia es precisamente lo que se denomina presión manométrica.

### **Instrumentos de medición: manómetros**

Los aparatos empleados para medir la presión manométrica reciben el nombre de manómetros. Su funcionamiento se basa en principios similares a los que se utilizan en los barómetros de mercurio y en los aneroides.



La presión manométrica puede expresarse como un valor por encima o por debajo de la presión atmosférica. En los casos en que el valor medido esté por debajo de la presión atmosférica, se utilizan manómetros específicos denominados manómetros de vacío o también llamados vacuómetros.

Estos instrumentos permiten obtener mediciones precisas para múltiples aplicaciones industriales, científicas o técnicas donde se requiere conocer no la presión absoluta, sino la diferencia respecto a la presión ambiental.

## PRESIÓN MANOMÉTRICA

La presión absoluta se define como la suma entre la presión atmosférica (Pa) y la presión manométrica (Pm). Es decir: **P{absoluta} = Pa + Pm**

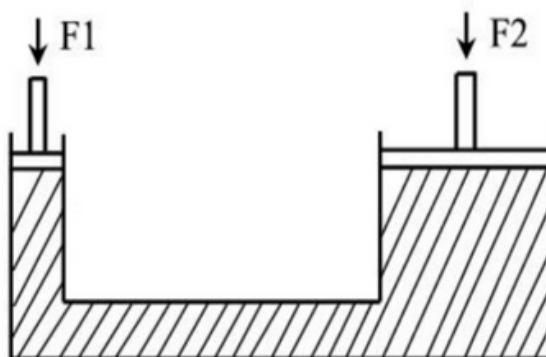
Este valor representa la presión total que ejerce un fluido, considerando tanto la presión medida por encima de la atmosférica como la propia presión atmosférica.

## PRENSA HIDRÁULICA

La prensa hidráulica es una máquina que opera a partir del principio de Pascal, el cual establece que la presión aplicada en un punto de un fluido incompresible y en equilibrio se transmite íntegramente a todos los puntos del fluido y a las paredes del recipiente que lo contiene.

Este principio se aplica en la prensa hidráulica para multiplicar fuerzas: una pequeña fuerza aplicada sobre una superficie menor puede transformarse en una gran fuerza sobre una superficie mayor, siempre que se mantenga la proporcionalidad entre las áreas.

Se utiliza la siguiente fórmula para expresar esa relación:

$$p = \frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$$


Donde:

- $F_1$  es la fuerza aplicada en el émbolo pequeño.
- $S_1$  es el área sobre la que se aplica  $F_1$ .
- $F_2$  es la fuerza obtenida en el émbolo grande.
- $S_2$  es el área sobre la que actúa  $F_2$ .

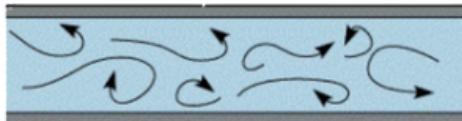
Esta máquina es muy útil en contextos donde se requiere levantar o mover grandes pesos aplicando poca fuerza, como en talleres mecánicos, maquinaria industrial, o sistemas de elevación.

# 03

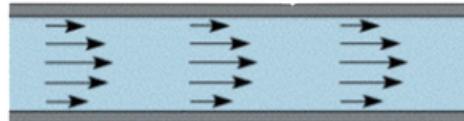
# HIDRODINÁMICA

La hidrodinámica es la parte de la hidráulica que estudia el movimiento de los fluidos. Este campo analiza cómo se comportan los líquidos o gases cuando están en movimiento. Cuando un fluido se desplaza, puede hacerlo de dos formas distintas:

- **Régimen laminar:** el fluido se mueve de forma ordenada, siguiendo trayectorias bien definidas y paralelas entre sí. En este tipo de régimen, las partículas del fluido avanzan sin mezclarse unas con otras, lo que genera un flujo estable y predecible.
- **Régimen turbulento:** el fluido se desplaza de manera caótica, con trayectorias irregulares y sin seguir líneas uniformes. En este caso, se producen remolinos, vórtices y mezclas dentro del flujo, lo que lo hace más complejo de analizar.



Flujo turbulento



Flujo laminar

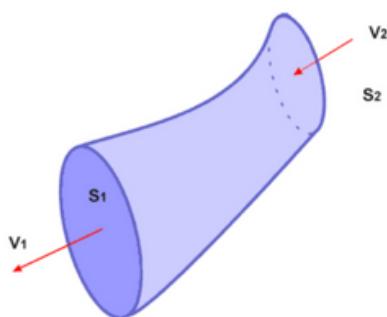
## 3.1 LEYES FUNDAMENTALES DE LA HIDRODINÁMICA

### ECUACIÓN DE LA CONTINUIDAD

También conocida como la ecuación de conservación de la masa, esta ley establece que la cantidad de fluido que atraviesa una sección de una tubería por unidad de tiempo debe ser la misma en cualquier otra sección de la misma conducción, siempre y cuando no haya aportes ni pérdidas intermedias.

Supongamos que un líquido circula por una tubería y atraviesa dos secciones diferentes:

- $S_1$ : sección 1, con velocidad de flujo  $V_1$
- $S_2$ : sección 2, con velocidad de flujo  $V_2$



Si no hay entradas ni salidas de fluido entre  $S_1$  y  $S_2$ , se cumple la siguiente relación:  $S_1 \cdot V_1 = S_2 \cdot V_2$

Esto significa que el caudal volumétrico (es decir, el volumen de fluido que pasa por unidad de tiempo) se mantiene constante a lo largo de toda la conducción.

**Consecuencia de la ecuación.** De esta ecuación se deduce que las velocidades medias de un fluido en movimiento son inversamente proporcionales a las secciones por las que circula: si el área de la sección disminuye, la velocidad aumenta; si el área aumenta, la velocidad disminuye.

## ECUACIÓN DE BERNOUILLI

**Es la ecuación de conservación de la energía.**

Daniel Bernoulli, en su obra Hidrodinámica (1738), formuló un principio que establece que, para un fluido perfecto (es decir, sin viscosidad ni rozamiento), que circula en régimen estacionario a través de un conducto cerrado, la energía total del fluido permanece constante a lo largo de todo el recorrido.

Este principio se aplica dentro del campo de la dinámica de fluidos. Un fluido se caracteriza por no tener forma propia, es decir, adopta la forma del recipiente que lo contiene. Esto se debe a que sus moléculas no están unidas rígidamente, como sí ocurre en los sólidos. Por eso se consideran fluidos tanto los gases como los líquidos.

### **Supuestos para aplicar la ecuación de Bernoulli**

Para utilizar la ecuación de Bernoulli, es necesario asumir ciertas condiciones:

- El fluido circula en régimen estacionario, lo que significa que su velocidad en un punto determinado no cambia con el tiempo.
- La viscosidad del fluido se desprecia, es decir, se ignora el rozamiento interno que tienen sus moléculas.
- El líquido se considera sometido únicamente a la acción del campo gravitatorio.

## Tipos de energía que posee un fluido en movimiento

En cualquier punto de un fluido en movimiento pueden identificarse tres formas de energía:

1. Energía potencial (o gravitacional): Es la energía que un fluido posee por su altura o posición respecto a un nivel de referencia.  $E_p = m \cdot g \cdot h$
2. Energía de presión: Es la energía contenida en el fluido debido a la presión que soporta.
3. Energía cinética: Está relacionada con la velocidad del fluido en movimiento.

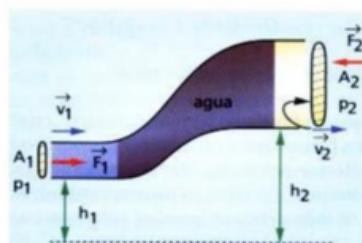
## Ecuación de Bernoulli

La ecuación de Bernoulli representa la suma de las tres formas de energía y se expresa así:

$$P_1 + \frac{1}{2}d_1v_1^2 + d_1gh_1 = P_2 + \frac{1}{2}d_2v_2^2 + d_2gh_2$$

**Donde:**

- $P$  es la presión
- $d$  es la densidad del fluido
- $v$  es la velocidad
- $g$  es la gravedad
- $h$  es la altura



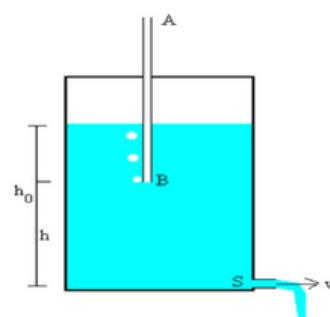
## TEOREMA DE TORRICELLI

El Teorema de Torricelli establece que la velocidad con la que un líquido sale por un orificio en un depósito a una profundidad  $h$  desde la superficie libre se calcula con la fórmula:

$$V = \sqrt{2gh}$$

Es decir, la velocidad de salida es igual a la que alcanzaría un cuerpo que cayera libremente desde una altura  $h$ . Esto se debe a que la presión ejercida por la columna de líquido se transforma en energía cinética al salir por el orificio.

Este principio se basa en la conservación de la energía e ignora la fricción y viscosidad del fluido.



## CAUDAL

El caudal es la cantidad de líquido que circula por la sección de un conducto en una unidad de tiempo. Depende de la velocidad del fluido ( $V$ ) y de la sección del conducto ( $S$ ), según la fórmula:

$$Q = S \cdot V$$

El caudal se mide en litros por segundo/minuto o metros cúbicos por hora.

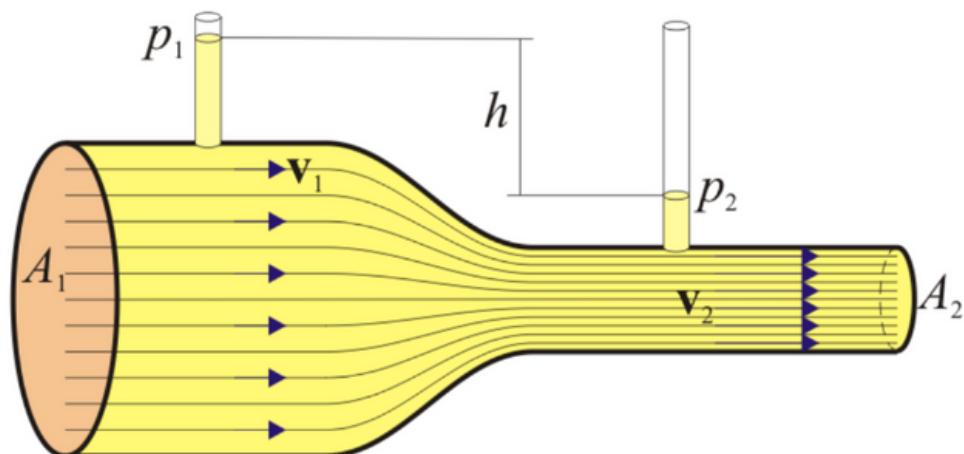
## TUBO DE VENTURI

El tubo de Venturi permite medir la velocidad de un fluido incompresible. Está formado por un tubo con un estrechamiento entre dos secciones:  $A_1$  (mayor) y  $A_2$  (menor). En cada sección hay un manómetro para medir la presión ( $P_1$  y  $P_2$ ).

Según la ley de conservación de la masa, en un flujo estacionario:

- **La velocidad aumenta en la parte más estrecha.**
- **La presión disminuye en esa zona.**

Esto permite calcular la velocidad a partir de la diferencia de presiones, aplicando el principio de Bernoulli.



# 04 PÉRDIDA DE CARGA

La pérdida de carga es **la energía que se disipa en una instalación hidráulica debido a la resistencia que oponen los elementos físicos al paso del agua**.

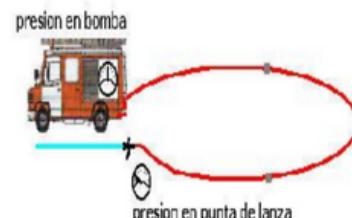
Esta resistencia no solo proviene del rozamiento del agua contra las paredes internas de las mangueras, sino también de los elementos auxiliares del sistema, como bifurcaciones, bridás, reducciones, etc. A esta energía disipada se le denomina pérdida de carga, y se manifiesta como una pérdida de presión a lo largo de la conducción.

## 4.1 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA PÉRDIDA DE CARGA EN UNA CONDUCCIÓN

- **El material de la conducción:** La rugosidad de las paredes internas influye directamente: cuanto más rugosa sea la superficie del material (por ejemplo, una manguera), mayor será la pérdida de carga.



- **La longitud de la conducción (L):** A mayor longitud, mayor será la pérdida de carga. Por ejemplo, si duplicamos la longitud de una manguera, se duplicará también su pérdida de carga.



- **El diámetro (D):** La pérdida de carga es inversamente proporcional al diámetro de la conducción. Cuanto mayor sea el diámetro, menor será la pérdida de carga.



- **La velocidad del agua o el caudal:** La pérdida de carga es directamente proporcional al cuadrado de la velocidad del fluido o del caudal. Es decir, si el caudal se duplica, la pérdida de carga se cuadriplica.

En resumen:

La pérdida de carga aumenta con la longitud, la velocidad (o caudal) y la rugosidad de la conducción, y disminuye cuando se incrementa el diámetro.

## 4.2 PÉRDIDA DE CARGA SEGÚN EL DIÁMETRO

La pérdida de carga es inversamente proporcional al diámetro de la manguera elevado a la quinta potencia ( $D^5$ ). Esto significa que el diámetro tiene una gran influencia sobre las pérdidas de carga. Para una misma longitud de manguera y con un caudal constante, reducir el diámetro implica un aumento significativo de la pérdida de carga.

Por ejemplo, si tenemos una longitud de manguera de 100 metros y un caudal de 200 litros por minuto, una manguera de 25 mm puede tener pérdidas de carga del orden de 30 bares, mientras que una manguera de 45 mm bajo las mismas condiciones puede tener tan solo 0,5 bares de pérdida.

Por tanto, si queremos garantizar un caudal adecuado, debemos asegurarnos de que el diámetro de la manguera sea el apropiado para reducir la pérdida de presión.

	CAUDAL			
DIÁMETRO	100 l/min	200 l/min	400 l/min	800 l/min
25 mm	1 bar	2,5 bar		
45 mm	0,15 bar	0,30 bar	1,5 bar	
70 mm			0,15 bar	0,5 bar

### RECOMENDACIONES PARA MINIMIZAR LA PÉRDIDA DE CARGA:

- **El agua debe circular a baja velocidad** (aproximadamente 3 m/s) para evitar que las pérdidas de carga se disparen.
- Es recomendable **usar mangüeras lisas, de la menor longitud posible**.
- Se deben **evitar recorridos innecesarios** o con muchos codos y doblados.
- Siempre que sea posible, se deben **emplear mangüeras de diámetro grande**, especialmente en recorridos largos.
- Las pérdidas de carga propias de cada manguera vienen indicadas por el fabricante, lo cual es útil para su selección y cálculo en instalaciones reales.

## 4.3 CÁLCULO DE INSTALACIONES

El caudal que se utilizará en una instalación dependerá directamente de la presión en la lanza y del diámetro de la misma. En el caso de lanzas multi-efectos, será necesario consultar el catálogo del fabricante, ya que las especificaciones pueden variar.

Para calcular la presión de descarga, es decir, la presión que deberá salir por la lanza, se emplea la siguiente ecuación:

Donde:

$$P_b = P_l + A_l + P_c$$

- $P_b$  = presión que debe generar la bomba
- $P_l$  = presión requerida en la lanza
- $A_l$  = presión equivalente a la altura de impulsión
- $P_c$  = pérdidas de carga por rozamiento o accesorios en la instalación

Esta fórmula es fundamental para dimensionar adecuadamente la instalación hidráulica, garantizando que el caudal y la presión lleguen de forma eficaz al punto de descarga.

## 4.4 REACCIÓN DE LANZA

Todo bombero con experiencia sabe que una lanza alimentada debe sujetarse firmemente para contrarrestar la fuerza de retroceso generada al salir el agua.



Esta fuerza de retroceso es mayor en lanzas de grandes caudales que en las pequeñas, razón por la cual una lanza de gran caudal debe ser sostenida por dos bomberos. Veamos por qué se produce este fenómeno:

Una lanza es un punto de discontinuidad hidráulica, donde se produce una transformación de energía: la energía potencial de presión se convierte en energía cinética. Es decir, la velocidad del agua aumenta significativamente entre el punto de entrada y el punto de salida de la lanza.

Cada aumento de velocidad implica una aceleración, y toda aceleración da origen a una fuerza. En este caso, la fuerza se concentra en el chorro de agua. Según la mecánica, esta fuerza del chorro genera una fuerza de reacción igual pero en sentido contrario, que es la fuerza de retroceso.

Para contrarrestar esta fuerza de retroceso y evitar que la lanza se mueva, el bombero debe ejercer una fuerza de igual magnitud pero en sentido opuesto, manteniéndola así en posición.

#### **Factores que influyen en la reacción de la lanza:**

- La presión en la lanza
- La sección de la lanza

#### **Cálculo de la fuerza de reacción:**

El valor aproximado de la reacción en la lanza puede calcularse mediante la siguiente fórmula:

Donde:

$$R = 2 \cdot P \cdot S$$

- R = reacción (en Kg)
- P = presión en la lanza (Kg/cm<sup>2</sup>)
- S = sección de la lanza (en cm<sup>2</sup>)

## **4.5 GOLPE DE ARIETE**

El golpe de ariete es una modificación repentina de la presión en una conducción hidráulica causada por una variación brusca en el estado dinámico del líquido.

Este fenómeno ocurre, por ejemplo, cuando se detienen las bombas, se cierran válvulas u otros elementos de regulación del flujo. En estos casos, se produce un cambio en la velocidad del líquido que circula por la tubería, lo que genera un incremento o disminución súbita de la presión.

La presión máxima que puede soportar la tubería será igual a la suma o resta del incremento de presión provocado por el golpe de ariete ( $\Delta H$ ) más la presión estática previamente existente en esa conducción.

Cuando un líquido en movimiento se detiene bruscamente, por ejemplo, tras cerrar una válvula o apagar una bomba, su fuerza de inercia genera una serie de depresiones y sobrepresiones a lo largo de la columna líquida. Esto se debe a un movimiento ondulatorio en el fluido que continuará hasta que toda la masa líquida se estabilice. Estas oscilaciones de presión comienzan con una amplitud máxima justo en el momento del cierre o parada, y luego disminuyen progresivamente hasta desaparecer, momento en el cual el régimen vuelve a ser estático.

El valor del golpe de ariete depende de diversos factores, entre ellos:

- La velocidad de parada, que puede deberse al cierre de válvulas o a la parada del motor de impulsión.
- La velocidad del agua en la conducción.
- El diámetro de la tubería.
- Y otros factores hidráulicos específicos del sistema.

Para evitar este incremento brusco de presión, que podría dañar las conducciones o accesorios, es necesario tener la precaución de cerrar o abrir lentamente las válvulas de alimentación de agua.



# 05 CLASIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LAS BOMBAS

## 5.1 DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS

Una bomba es un dispositivo diseñado para elevar, transferir o comprimir líquidos y gases. En otras palabras, se trata de una máquina cuya función es mantener un fluido en movimiento, lo que se traduce en un aumento de presión o de energía cinética del propio fluido.

Existen múltiples formas de clasificar las bombas, pero en términos generales se agrupan en dos grandes categorías:

### **1. Bombas volumétricas (de desplazamiento positivo):**

Estas bombas funcionan desplazando un volumen fijo de fluido en cada ciclo. Dentro de esta categoría se encuentran:

- Bombas alternativas, como las de pistón, cuyo funcionamiento básico consiste en el desplazamiento del fluido a través del movimiento de un vástagos dentro de un cilindro.
- Bombas rotativas, que utilizan mecanismos giratorios para mover el líquido.
- Bombas neumáticas, que se accionan por aire comprimido.

En todas ellas, el principio de funcionamiento se basa en capturar una cantidad específica de fluido y desplazarla físicamente hacia la salida.

### **2. Bombas dinámicas o de energía cinética:**

En este grupo, el fluido recibe energía a través de un rodamiento que gira a gran velocidad, normalmente acoplado a un motor. Las principales subcategorías son:

- **Bombas regenerativas**
- **Bombas especiales**
- **Bombas periféricas** o de turbinas
- **Bombas centrífugas**, que son las más comunes e importantes dentro de este grupo.

### **Clasificación según la fuente de energía:**

Las bombas también pueden clasificarse según el tipo de energía que utilizan para funcionar. Así, encontramos bombas:

- Eléctricas
- Hidráulicas
- De motor de explosión (combustión interna)

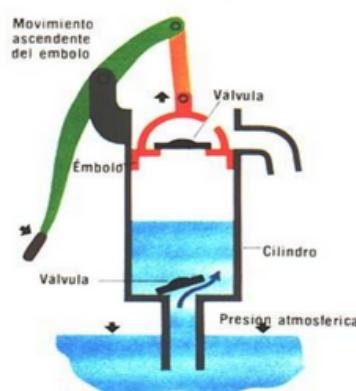
### **Cavitación: un fenómeno a evitar**

En todos los tipos de bombas utilizadas para líquidos, es fundamental tomar precauciones para evitar la cavitación. Este fenómeno ocurre cuando se forman burbujas de vapor (debido a la caída de presión por debajo de la presión de vapor del líquido), lo que da lugar a vacíos que reducen el rendimiento de la bomba y pueden dañar seriamente su estructura interna.

## **5.2 BOMBAS ALTERNATIVAS**

Las bombas alternativas son dispositivos en los que un pistón oscila dentro de un cilindro. Este cilindro está provisto de válvulas que permiten regular el flujo del líquido tanto hacia el interior como hacia el exterior del cilindro. El funcionamiento de estas bombas se basa en el movimiento de vaivén del pistón, que genera un efecto de succión y expulsión del fluido.

Estas bombas pueden clasificarse según su funcionamiento en dos tipos: de acción simple y de acción doble:



- **Bomba de acción simple:** El bombeo del líquido se produce solamente en un lado del pistón. Es decir, el fluido se aspira y expulsa en una sola dirección por cada ciclo de movimiento. Un ejemplo clásico de este tipo sería una bomba manual de uso común, en la que el pistón se mueve de forma vertical, manualmente, arriba y abajo, dentro de una bomba con una sola cámara de aspiración y una válvula.
- **Bomba de doble acción:** En este tipo, el bombeo se realiza en ambos lados del pistón. Esto significa que en cada movimiento del pistón (ya sea ascendente o descendente), se produce tanto una aspiración como una expulsión de líquido. Estas bombas son habituales en sistemas eléctricos o de vapor, como los utilizados para alimentar calderas. Su diseño permite enviar agua a alta presión hacia una caldera de vapor con mayor eficiencia.

Además, este tipo de bombas puede estar diseñado con una o varias etapas. Cuando hablamos de bombas alternativas de etapas múltiples, nos referimos a aquellas que disponen de varios cilindros dispuestos en serie, lo que permite alcanzar mayores presiones o caudales en función de las necesidades del sistema en el que estén integradas.

### 5.3 BOMBAS CENTRÍFUGAS

Dentro de los diferentes tipos de bombas rotativas, una de las más comunes es la bomba centrífuga, que es también la más empleada en los cuerpos de bomberos debido a su eficacia y simplicidad de funcionamiento.

El cuerpo principal de una bomba centrífuga está compuesto por tres elementos fundamentales:

1. **Entrada axial:** Es el punto por donde el agua accede a la bomba, ya sea desde una cisterna del vehículo o directamente a través de la aspiración.
2. **Carrete o rodetes:** Se trata de una pieza giratoria provista de palas o álabes que se encargan de impulsar el agua hacia el exterior a gran velocidad. Esto se logra gracias a la acción de la fuerza centrífuga, que actúa sobre el agua cuando gira, combinada con una reducción de la sección de paso.
3. **Colector de salida tangencial:** Este componente recoge el agua que ha sido impulsada por el rodetes y transforma la energía cinética generada por la alta velocidad del flujo en energía potencial o presión.

El funcionamiento básico consiste en que, al girar el rodete, el agua es impulsada desde el centro hacia la periferia, ganando velocidad. Una vez en la parte externa del rodete, esta agua es recogida por el colector, donde esa energía cinética se convierte en presión.



Las bombas centrífugas pueden clasificarse según el número de rodetes que poseen:

- **Bombas de una etapa:** Solo cuentan con un rodetes. Son las más simples y habituales, y suelen alcanzar presiones de hasta  $14 \text{ kg/cm}^2$ .
- **Bombas de dos etapas:** Incorporan un segundo rodetes. En este caso, el agua impulsada por el primer rodetes vuelve a entrar por la entrada axial del segundo, donde se incrementa aún más su presión. Estas bombas pueden alcanzar presiones más elevadas, llegando fácilmente a  $30 \text{ kg/cm}^2$  en aplicaciones de alta presión.

## 5.4 ASPIRACIÓN

La primera operación que debe realizar una bomba para funcionar correctamente es obtener agua. Para ello, existen dos métodos:

1. **Cebado por gravedad:** Consiste en que el depósito de agua del vehículo inunde el cuerpo de la bomba simplemente por la acción de la gravedad.
2. **Aspiración:** Es el sistema más común y consiste en crear un vacío en el interior de la bomba para que sea la presión atmosférica la que impulse el agua hacia su interior.

El proceso de aspiración se basa en el principio de que, al generar vacío, la presión atmosférica empuja el agua hacia la bomba. Sin embargo, existe un límite físico: solo es posible cebar una bomba por aspiración cuando la altura entre el nivel del agua y la bomba no supera los 10,3 metros (en teoría). En la práctica, este límite se reduce a unos 6 metros, debido a diferentes pérdidas y factores externos.



## FACTORES QUE AFECTAN LA ALTURA DE ASPIRACIÓN

La altura máxima de aspiración no siempre es la misma, ya que depende de varios factores:

1. **Presión barométrica y altitud.** A mayor altitud, la presión atmosférica disminuye. Por tanto, la capacidad de aspiración se reduce. Por cada 100 metros de altura, la pérdida de aspiración es aproximadamente de 0,129 metros.
2. **Temperatura del agua.** Cuanto más caliente esté el agua, menor será la altura de aspiración, ya que aumenta la tendencia del agua a evaporarse, reduciendo la presión de succión efectiva.
3. **Densidad del agua.** A mayor densidad, mayor resistencia al ascenso del agua, por lo que la altura de aspiración disminuye.
4. **Fugas o entradas de aire.** Las juntas y racores deben estar perfectamente ajustados. Si entra aire en el sistema, la bomba no podrá generar vacío suficiente y la aspiración fallará.
5. **Pérdida de carga en los mangotes (mangueras de aspiración).** Los mangotes deben tener un diámetro igual o superior al de la salida de la bomba para minimizar las pérdidas de carga.
6. **Caudal requerido.** Cuanto mayor sea el caudal de agua necesario, menor será la altura desde la que se puede aspirar, ya que se necesita más energía para desplazar mayor cantidad de agua.

## 5.5 MECANISMO DE CEBADO

Las bombas centrífugas, por su diseño, no pueden generar por sí mismas el vacío inicial necesario para iniciar el proceso de aspiración. Por este motivo, se requiere el uso de mecanismos auxiliares de cebado, que se encargan de crear ese vacío inicial. Estos mecanismos pueden ser:

- Pistones
- Anillos de agua
- Sistemas basados en el efecto Venturi

El objetivo de estos dispositivos es facilitar que la bomba comience a aspirar el agua correctamente.

## 5.6 TURBOBOMBAS

Las turbobombas son dispositivos que funcionan como hidroeyectores, utilizando como líquido impulsor el agua. Lo importante es que el líquido impulsor no se mezcla con el líquido que se desea impulsar.

El sistema consiste en una turbina interna que es movida por el agua impulsora. Esta turbina transmite el movimiento a un rodete, el cual, al estar sumergido en el líquido que se quiere impulsar, genera la fuerza necesaria para que el líquido fluya hacia el exterior a través de una manguera.

Importante:

**Para que el sistema funcione correctamente, la turbobomba debe estar completamente sumergida en el líquido a impulsar. De este modo, se garantiza una aspiración y funcionamiento adecuados.**

