

**CONEXIÓN DE BOMBAS**  
**CENTRÍFUGAS EN SERIE Y EN PARALELO**

**Ing. Héctor Luis Koberski**  
**Mayo de 2025**



## **INTRODUCCIÓN**

Este documento está dirigido a técnicos de plantas industriales e ingenieros junior, con el objetivo de brindar conocimientos prácticos sobre la mecánica aplicada de fluidos para alcanzar un mejor análisis del funcionamiento de bombas centrífugas de agua, ya que con frecuencia se observan errores en las instalaciones, especialmente en configuraciones en serie o en paralelo.

La determinación incorrecta del punto de equilibrio entre prestación y demanda de una instalación es frecuente que pueden generar suministros en exceso o en defecto, a veces, con costos operativos y económicos.

Los equipos de bombeo comprenden una amplia variedad de modelos y tipos capaces de satisfacer distintas exigencias en el transporte de fluidos. En particular, el bombeo de agua —fundamental para múltiples actividades humanas— se realiza mayoritariamente mediante bombas centrífugas.

Partiendo de estas premisas, el documento se inicia con una clasificación general de los equipos de bombeo, situando a las bombas centrífugas dentro de ese marco.

Luego, se presentan de forma sintética las características técnicas y constructivas que deben ser provistas por el fabricante, junto con la interpretación de las curvas de prestación, tanto en su trazado teórico como gráfico.

Con el fin de establecer el equilibrio entre la prestación de las bombas y la demanda del sistema, se incorpora un análisis básico de las ecuaciones y curvas características de los sistemas consumidores de agua.

Finalmente, el documento concluye con un análisis del funcionamiento de bombas conectadas en serie y en paralelo, configuraciones más comunes de lo que habitualmente se supone. Estas disposiciones suelen responder a cambios en la demanda, incorporación de nuevas bombas, desactivación de equipos existentes o reemplazos por unidades con prestaciones diferentes a las originalmente previstas.

### **CLASIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS DE BOMBEO**

Tal como se adelantó en la introducción, el documento aborda el funcionamiento de bombas centrífugas. No obstante, conocer una clasificación general de los equipos de bombeo permite identificar con precisión el tipo más adecuado para cada aplicación, en función de las características del fluido, el caudal requerido, la presión necesaria y las condiciones de operación del sistema.

Esta clasificación facilita la selección, el dimensionamiento y la evaluación técnica de alternativas, optimizando el rendimiento, reduciendo costos operativos y minimizando fallas. Además, proporciona un marco conceptual claro para interpretar el comportamiento hidráulico de cada tipo de bomba.

Los equipos de bombeo de fluidos se clasifican en tres grandes grupos:

- a) Bombas de desplazamiento positivo
- b) Bombas dinámicas
- c) Bombas especiales

#### **a) Bombas de desplazamiento positivo**

Mueven un volumen fijo de líquido, que desplazan hacia la descarga. Son ideales para líquidos viscosos o cuando se requiere un flujo constante, y pueden generar alta presión.

Tipos de bombas de desplazamiento positivo:

- *Bombas de émbolo o pistón*: bombas de pozos profundos, hidráulicas.
- *Bombas de diafragma*: Usadas en manejo de fluidos corrosivos o abrasivos.
- *Bombas de engranajes*: Comunes en lubricación y transferencia de aceites, inyectoras de espumógenos en redes contra incendios
- *Bombas de lóbulos rotativos*: Usadas en la industria alimenticia y farmacéutica.
- *Bombas de tornillo*: Manejan líquidos viscosos o con sólidos en suspensión.

#### **b) Bombas dinámicas o de desplazamiento no positivo**

Su característica principal es que el caudal varía en función de la presión. Son más adecuadas para caudales elevados y fluidos de baja viscosidad.

Tipos de bombas dinámicas

- *Bombas centrífugas*:
  - *de flujo radial*: pueden suministrar caudales y presión moderadas; usadas en sistemas de agua potable, calefacción, refrigeración, riego por aspersión, redes contra incendios.
  - *de flujo axial*: drenaje de grandes caudales a baja presión, estaciones de bombeo fluviales, circulación en canales.
  - *de flujo mixto*: Plantas de tratamiento de agua, estaciones de bombeo con moderada altura y gran caudal
- *Bombas de turbina*: Abastecimiento desde pozos profundos, sistemas industriales con succión sumergida
- *Bombas de vórtice o regenerativas*: Manejo de líquidos con gases disueltos, condensados, alimentación de calderas de baja capacidad.

### c) Bombas especiales

Este grupo reúne tecnologías basadas en principios no siempre mecánicos, desarrolladas para aplicaciones específicas. Están diseñadas para operar en condiciones particulares como corrosión, higiene estricta o alturas extremas.

Tipos de bombas especiales

- *Bombas peristálticas: industria alimentaria y médica*
- *Bombas de chorro (eyectores): pozos profundos sin partes móviles*
- *Bombas magnéticas: manejo de fluidos tóxicos o corrosivos sin fugas*

#### **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LAS BOMBAS CENTRIFUGAS**

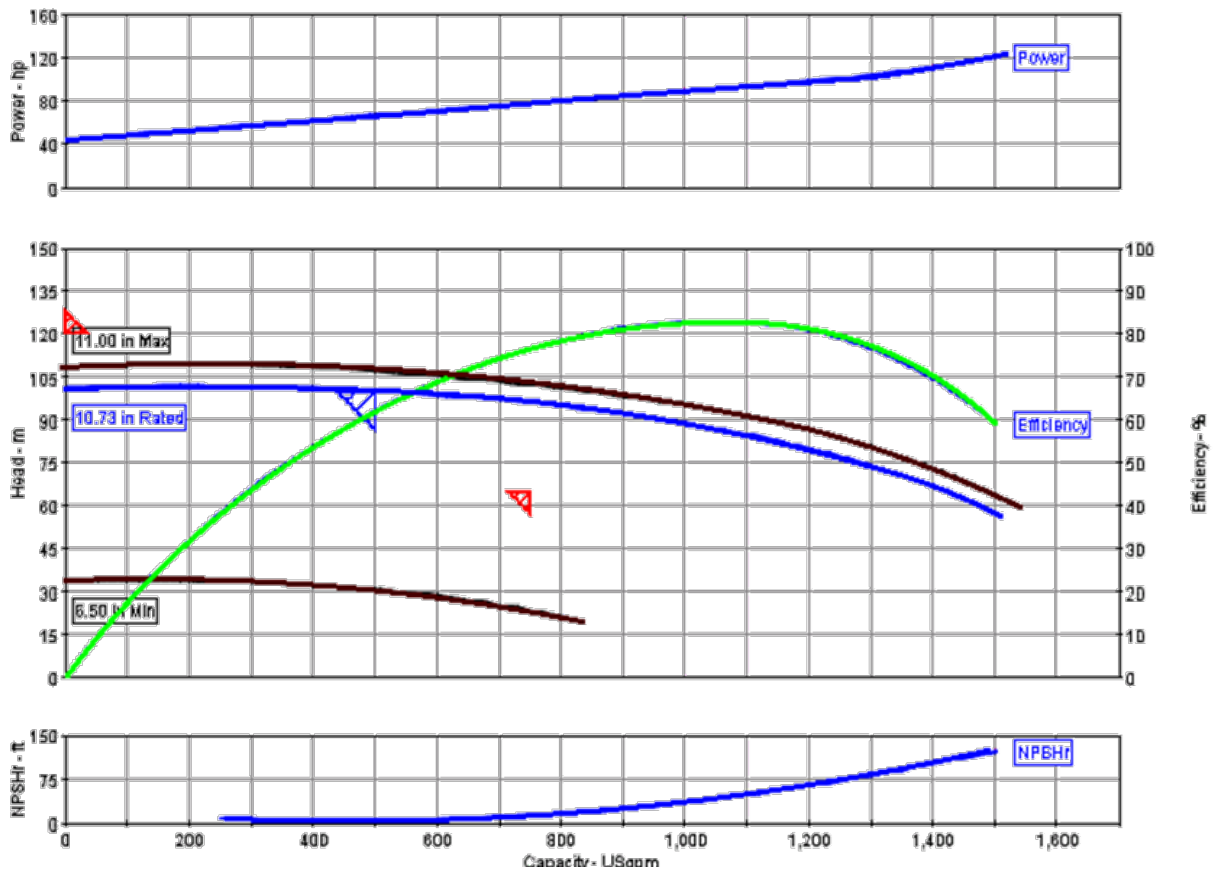
Las características técnicas de una bomba definen su capacidad hidráulica, comportamiento mecánico y compatibilidad con el sistema de bombeo. Incluyen parámetros como caudal, altura manométrica, potencia, rendimiento, tipo y velocidad del impulsor, materiales de construcción, sistema de sellado y norma de fabricación. Esta información se presenta en las fichas técnicas del fabricante.

Los siguientes puntos detallan los elementos que deben incluirse en las fichas técnicas de las bombas centrífugas.

- *Caudal nominal (Q):* Indica el volumen de fluido que la bomba transporta por unidad de tiempo.
- *Altura manométrica (H):* Expresa la energía que la bomba transmite al fluido, medida en metros de columna de líquido.
- *Curva de prestación (H-Q):* Relación entre el caudal y la altura manométrica en distintas condiciones de operación.
- *Rendimiento (%):* Relación entre la energía hidráulica útil entregada y la energía absorbida del motor.
- *Potencia requerida (kW o HP):* Energía que se necesita para accionar la bomba.
- *NPSH requerido:* Altura mínima de succión para evitar cavitación, según condiciones del sistema.
- *Velocidad de rotación (rpm):* Velocidad a la que gira el eje del impulsor.
- *Tipo de impulsor:* Puede ser cerrado, semiabierto u abierto, según el tipo de fluido y la aplicación.
- *Materiales de construcción:* Por ejemplo, hierro fundido, acero inoxidable o bronce, seleccionados según el fluido y el entorno.
- *Tipo de sello:* Dispositivo de cierre del eje, como sello mecánico, empaquetadura u otro sistema.

A continuación, se presenta una figura con los parámetros técnicos reales y la curva de una electrobomba, seguida por su correspondiente curva de prestación.

Pump Performance Datasheet			
Customer	:	Quote number	:
Customer reference	:	Pump size	: 4012-1/2 KP
Item number	:	Stages	: 1
Service	:	Based on curve number	: ID13781-3 Rev 0
Quantity of pumps	: 1	Date last saved	: 05 Jan 2009 8:16 AM
Operating Conditions		Liquid	
Flow, rated	: 500 USgpm	Liquid type	: Water
Head, rated (requested)	: 100 m	Additional liquid description	:
Head, rated (actual)	: 100.0 m	Solids diameter, max	: 0.00 in
Suction pressure, rated / max	: 0.00 / 0.00 psi.g	Temperature, max	: 68.00 deg F
NPSH available, rated	: Ample	Fluid density, rated / max	: 0.998 / 0.998 SG
Frequency	: 50 Hz	Viscosity, rated	: 1.00 cP
		-	:
Performance		Material	
Pump speed, rated	: 2,958 rpm	Material requested	: Auto
Impeller diameter, rated	: 10.73 in	Material selected	: Cast iron
Impeller diameter, maximum	: 11.00 in		
Impeller diameter, minimum	: 6.50 in	Pressure Data	
Efficiency	: 62.02 %	Maximum working pressure	: 144.8 psi.g
NPSH required / margin required	: 5.88 / 0.00 ft	Maximum allowable working pressure	: 250.0 psi.g
Ns (imp. eye flow) / Nss (imp. eye flow)	: 927 / 4,180 US Units	Maximum allowable suction pressure	: 250.0 psi.g
MCSF	: 289 USgpm	Hydrostatic test pressure	: 375.0 psi.g
Head, maximum, rated diameter	: 102 m	Driver & Power Data	
Head rise to shutoff	: 1.07 %	Driver sizing specification	: Rated power
Flow, best eff. point (BEP)	: 1,045 USgpm	Margin over specification	: 0.00 %
Flow ratio (rated / BEP)	: 47.87 %	Service factor	: 1.00
Diameter ratio (rated / max)	: 97.55 %	Power, hydraulic	: 41.4 hp
Head ratio (rated dia / max dia)	: 93.51 %	Power, rated	: 67 hp
Cq/Ch/Ce [ANSI/HI 9.6.7-2004]	: 1.00 / 1.00 / 1.00	Power, maximum, rated diameter	: 121 hp
Selection status	: Near miss		



El caudal que entrega una bomba centrífuga a una determinada presión depende de varios factores: el modelo y tipo de bomba, el tamaño de la carcasa, el diseño y diámetro del impulsor, y la velocidad de rotación del eje.

La figura anterior muestra las curvas de prestación de una bomba centrífuga que opera a 2.958 rpm. Estas curvas se agrupan en tres categorías:

El primer grupo de curvas (parte superior de la figura) representa la potencia absorbida por la bomba en función del caudal:

$$PW = f(Q)$$

El grupo central de la figura brinda tres lecturas

- a) Las curvas negras definen los límites superior e inferior de presión según el diámetro del impulsor. Representan la presión desarrollada en función del caudal suministrado:

$$H = f(Q)$$

- b) La curva azul, paralela a la negra superior, corresponde a una prestación obtenida con un impulsor mecanizado a un diámetro menor, para adaptar la bomba a condiciones específicas de operación.
- c) La curva verde muestra el rendimiento hidráulico de la bomba como función del caudal:

$$\eta = f(Q)$$

El cuadro inferior indica la altura neta se succión positiva en función del caudal.

$$NPSH = f(Q)$$

### **ECUACION DE PRESTACION DE LAS BOMBAS CENTRIFUGAS**

La curva característica  $H = f(Q)$  se aproxima a una parábola que responde a una ecuación cuadrática del tipo:

$$y = ax^2 + bx + c$$

Donde:  $y$ : representa la presión de suministro de la bomba (H)  
 $x$ : el caudal que entrega (q)

De tal manera, la ecuación será la siguiente:

$$H = aQ^2 + bQ + c$$

$H$ : representa la presión de suministro de la bomba

$Q$ : el caudal que entrega

En condiciones reales, el fabricante aplica correcciones a esta curva teórica para contemplar pérdidas por fricción, turbulencias en los álabes del rotor y efectos del diseño interno. Como resultado, la curva experimental suele presentar una capacidad ligeramente inferior a la ideal.

En este documento se analizará el trazado de la curva característica mediante dos métodos:

- a) gráfico y
- b) teórico,

Se utilizará como base la bomba cuyas características técnicas y curva se han descrito previamente.

### **a) Trazado gráfico de la curva de prestación**

En caso de no contar con la documentación técnica de la bomba y requerir su curva característica, es posible obtener una aproximación mediante mediciones directas. Para ello, se deben registrar al menos tres puntos de operación (Q; H), es decir, caudal y altura manométrica, en condiciones controladas de funcionamiento:

1. **Válvula de salida completamente cerrada:** se mide la altura manométrica máxima (sin caudal).

$$\text{Punto 1: } (Q_1 ; H_1) = (0 ; 102,0)$$

2. **Válvula parcialmente abierta:** se mide un punto intermedio de caudal y presión.

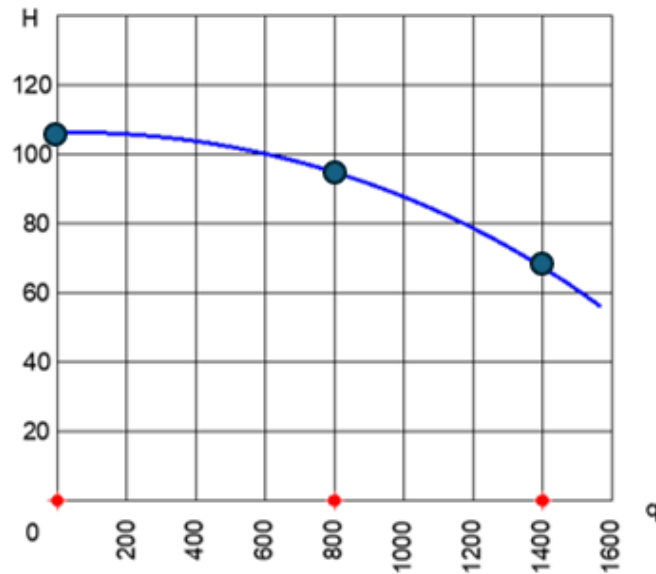
$$\text{Punto 2: } (Q_2 ; H_2) = (900 ; 92,0)$$

3. **Válvula completamente abierta:** se obtiene el caudal máximo y la presión mínima.

$$\text{Punto 3: } (Q_3 ; H_3) = (1.400 ; 65,0)$$

**Medida de Precaución:** al realizar esta última medición, debe evitarse sobrecargar el motor que acciona la bomba.

Estos valores se representan en un plano cartesiano (Q en el eje horizontal, H en el vertical) y se unen mediante una línea curva suave. El resultado es una estimación gráfica de la curva de prestación de la bomba, basada en datos experimentales.



### b) Trazado analítico de la curva de prestación

La curva característica de una bomba centrífuga puede aproximarse mediante una ecuación polinómica cuadrática del tipo:

$$H = aQ^2 + bQ + c$$

donde:

- **H**: altura manométrica (m)
- **Q**: caudal (l/h o m<sup>3</sup>/h, según sistema)
- **a, b, c**: coeficientes a determinar

Para trazar esta curva en un plano cartesiano (Q en el eje horizontal, H en el vertical), se utilizan tres puntos experimentales obtenidos previamente:

- (Q<sub>1</sub> ; H<sub>1</sub>) = (0 ; 102,0)
- (Q<sub>2</sub> ; H<sub>2</sub>) = (900 ; 92,0)
- (Q<sub>3</sub> ; H<sub>3</sub>) = (1.400 ; 65,0)

A partir de estos valores se plantean tres ecuaciones:

#### Ecuación 1:

$$102,0 = a \cdot (0)^2 + b \cdot (0) + c \rightarrow$$

- **c = 102,0**

#### Ecuación 2:

$$92,0 = a \cdot (900)^2 + b \cdot (900) + 102,0 \rightarrow$$

$$92,0 - 102,0 = a \cdot 810.000 + b \cdot 900 \rightarrow$$

$$-10,0 = 810.000a + 900b$$

**Ecuación 3:**

$$65,0 = a \cdot (1400)^2 + b \cdot (1400) + 102,0$$

$$\rightarrow 65,0 - 102,0 = a \cdot 1.960.000 + b \cdot 1400$$

$$\rightarrow -37,0 = 1.960.000a + 1400b$$

Se obtiene así el siguiente sistema lineal:

$$1) \quad 810.000a + 900b = -10,0$$

$$2) \quad 1.960.000a + 1400b = -37,0$$

Resolviendo este sistema (por método de sustitución o matrices), se obtiene:

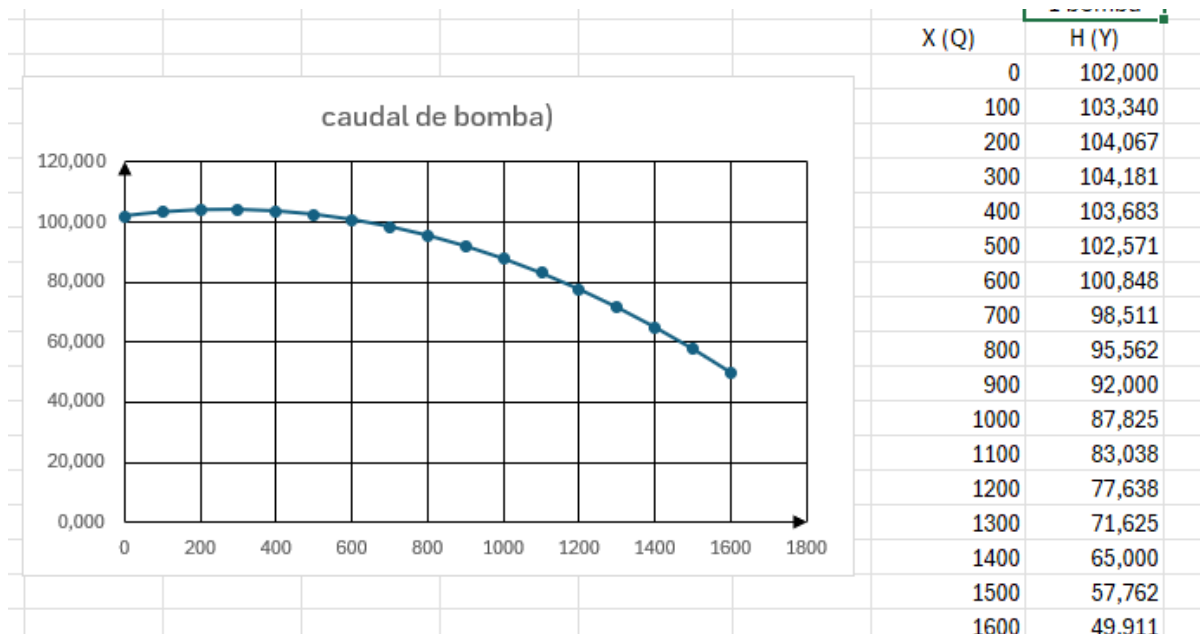
- $a \approx -3,063 \times 10^{-5}$

- $b \approx 0,0164$

Por lo tanto, la ecuación de la curva característica es:

$$H(Q) = -3,063 \times 10^{-5} \cdot Q^2 + 0,0164 \cdot Q + 102$$

Esta expresión permite estimar la altura manométrica entregada por la bomba ante distintos caudales, y puede graficarse para complementar el análisis experimental.



### **CURVAS CARACTERÍSTICAS DE DEMANDA DE LA INSTALACIÓN**

Un sistema hidráulico requiere un suministro de agua que satisfaga simultáneamente un caudal y una presión determinados. La bomba encargada de

alimentar ese sistema debe proporcionar el caudal necesario con una presión suficiente, que incluya tanto la presión residual en el punto de consumo como las pérdidas por fricción en las tuberías desde la planta de bombeo hasta el punto de descarga.

La curva característica de demanda del sistema relaciona el caudal requerido con la presión disponible. En muchos casos, esta relación puede expresarse como una función cuadrática del caudal:

$$H = (1 / k^2) \cdot Q^2$$

O 
$$Q = k \cdot \sqrt{H}$$

Por ejemplo, si se requiere un caudal de **800 gpm** a una presión de **95 mca**, se puede calcular el valor de **k**:

- $800 = k \cdot \sqrt{95} \rightarrow$
- $k = 800 / \sqrt{95} \approx \mathbf{82,08}$

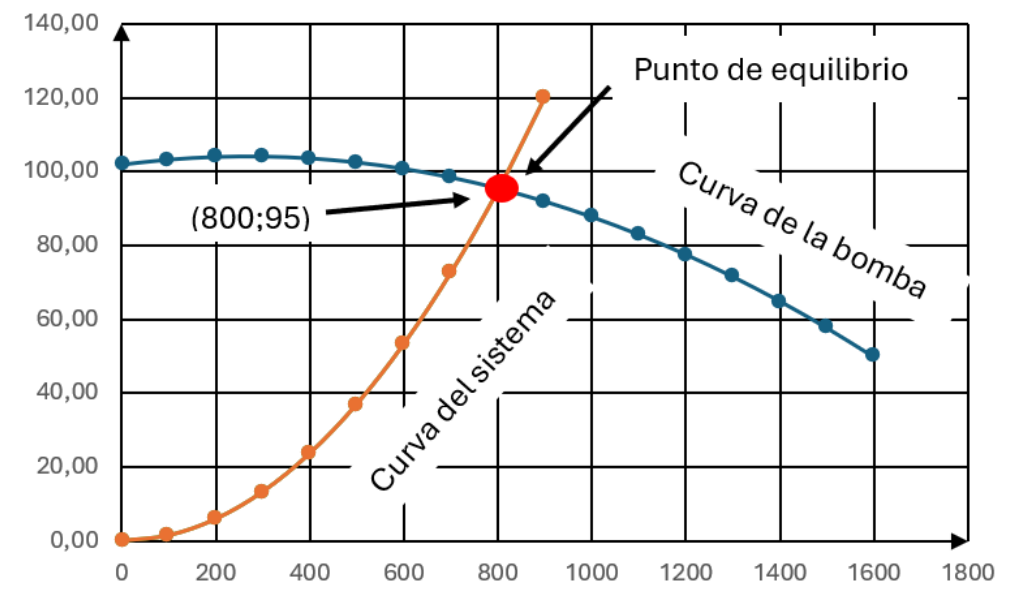
Sustituyendo este valor en la ecuación se obtiene la curva de demanda del sistema:

$$H_d(Q) = (1 / 82,08^2) \cdot Q_d^2 \approx 1,48 \times 10^{-4} \cdot Q_d^2$$

Por otro lado, la ecuación de prestación de la bomba analizada anteriormente es:

$$H_b(Q) = -3,063 \times 10^{-5} \cdot Q_b^2 + 0,0164 \cdot Q_b + 102$$

Estas dos curvas pueden graficarse en un mismo sistema de coordenadas (Q en el eje horizontal, H en el vertical). El punto donde se cruzan ambas curvas representa el **punto de equilibrio hidráulico**, en el cual la bomba entrega exactamente el caudal y la presión requeridos por el sistema.



No obstante, pueden presentarse condiciones de operación distintas a las proyectadas, que impliquen un aumento en la demanda de caudal o presión. En tales casos, será necesario reemplazar la bomba por una de mayor capacidad o bien instalar bombas en **serie**, **paralelo**, o una combinación de ambas. Estos escenarios se analizarán en las siguientes secciones.

### INSTALACIONES DE BOMBAS EN SERIE

Una instalación en **serie** consiste en conectar dos o más bombas de manera que la salida de una alimenta directamente la entrada de la siguiente.

En esta configuración:

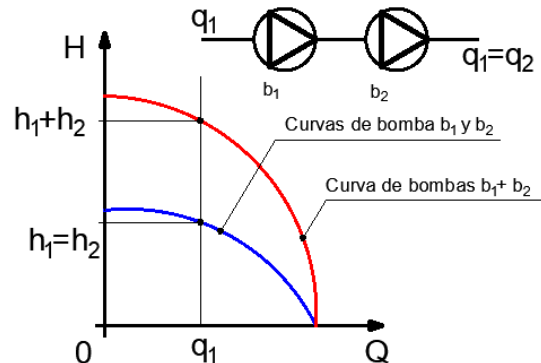
- **Presión total ( $H_t$ ):** es la suma de las presiones individuales a igual caudal:

$$H_t = H_1 + H_2 + \dots + H_n$$

- **Caudal total ( $Q_t$ ):** permanece constante e igual al de una sola bomba:

$$Q_t = Q_1 = Q_2 = \dots = Q_n$$

En el caso de **n bombas idénticas**, la curva resultante se obtiene sumando verticalmente las curvas individuales.



La expresión matemática de la curva compuesta es:

$$H_t(Q) = n \cdot a \cdot Q^2 + n \cdot b \cdot Q + n \cdot c$$

Estas configuraciones se emplean en sistemas que requieren **altas presiones**, como alimentación de calderas, plantas de ósmosis inversa o redes contra incendios en edificios de gran altura.

### INSTALACIONES DE BOMBAS EN PARALELO

En una instalación en **paralelo**, dos o más bombas impulsan fluido simultáneamente hacia una misma conducción, trabajando a **igual presión** y sumando sus caudales individuales.

En este tipo de disposición:

- **Presión total ( $H_t$ ):** se mantiene igual a la de cada bomba:

$$H_t = H_1 = H_2 = \dots = H_n$$

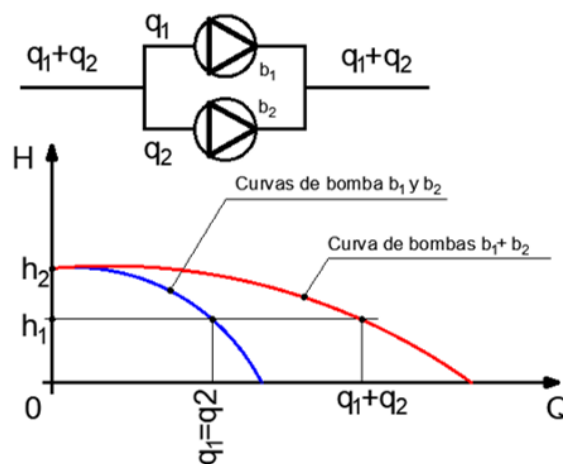
- **Caudal total ( $Q_t$ ):** resulta de la suma de los caudales individuales:

$$Q_t = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n$$

Para **n bombas idénticas**, la curva compuesta se obtiene sumando horizontalmente las curvas individuales.

La Ecuación de la curva de “n” bombas en paralelo es la siguiente:

$$H(Q) = a \cdot (Q/n)^2 + b \cdot (Q/n) + c$$



Este tipo de instalación se recomienda en sistemas con **gran demanda de caudal**, como plantas de tratamiento de agua, estaciones de bombeo de redes de agua potable y redes contra incendio.

### CONSIDERACIONES OPERATIVAS

Tal como se observa en las figuras correspondientes, en una instalación en **serie** las presiones se suman para un mismo caudal, mientras que en una instalación en **paralelo** se suman los caudales a igual presión.

Para un funcionamiento eficiente y seguro, deben tenerse en cuenta las siguientes recomendaciones:

#### Requisitos comunes:

- Es recomendable que los equipos conectados tengan **características hidráulicas y constructivas similares**, especialmente en términos de caudal, altura manométrica y potencia.

### En instalaciones en paralelo:

- Deben instalarse **válvulas de retención** en la salida de cada bomba para evitar flujos inversos cuando una de las bombas se detiene o actúa como reserva.
- Estas válvulas también impiden la **recirculación del fluido** a través de la bomba inactiva, lo cual puede generar sobrecargas o pérdidas innecesarias.

### En instalaciones en serie:

- Las **curvas de prestación** de las bombas deben ser compatibles entre sí para evitar sobrepresiones o inestabilidades en la operación.
- Es fundamental controlar la **posibilidad de cavitación** en la bomba que opera en la primera etapa, ya que la presión de entrada puede ser reducida por efectos del sistema.

## EJEMPLOS DE TRAZADO DE LA CURVA CON BOMBAS EN SERIE Y EN PARALELO

### Curva de un sistema de bombas en serie

Se utilizará como base la bomba ya analizada, cuya ecuación característica de prestación es:

$$H_b(Q) = -3,063 \times 10^{-5} \cdot Q_b^2 + 0,0164 \cdot Q_b + 102$$

(se expresa en metros de columna de agua (m.c.a.) con caudal en galones por minuto (gpm)).

#### a) Datos del sistema

Supongamos que el sistema demanda un caudal de **823 gpm** a una presión de **190 m.c.a.**

Esto define una **curva de demanda**, que se expresa como:

$$Q_d = k \cdot \sqrt{H}$$

Donde **k** se determina reemplazando los valores conocidos:

$$823 = k \cdot \sqrt{190}$$

$$\rightarrow k = 823 / \sqrt{190} \approx 59,7$$

## b) Ecuación de demanda

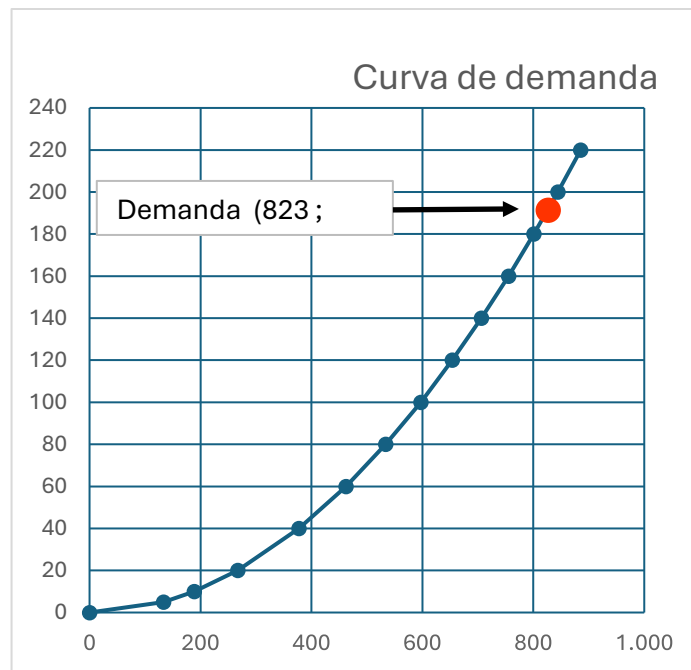
Despejando H en función de Q:

$$H_d = (Q_d / k)^2 = (Q_d / 59,7)^2$$
$$\rightarrow H_d(Q) \approx 2,80 \times 10^{-4} \cdot Q_d^2$$

Esta es la curva que representa los requerimientos del sistema. Verificamos que si:

$$Q = 823 \text{ gpm} \rightarrow$$

$$H = 2,80 \times 10^{-4} \times 823^2 \approx \mathbf{190 \text{ m.c.a.}}$$



## c) Evaluación con una sola bomba

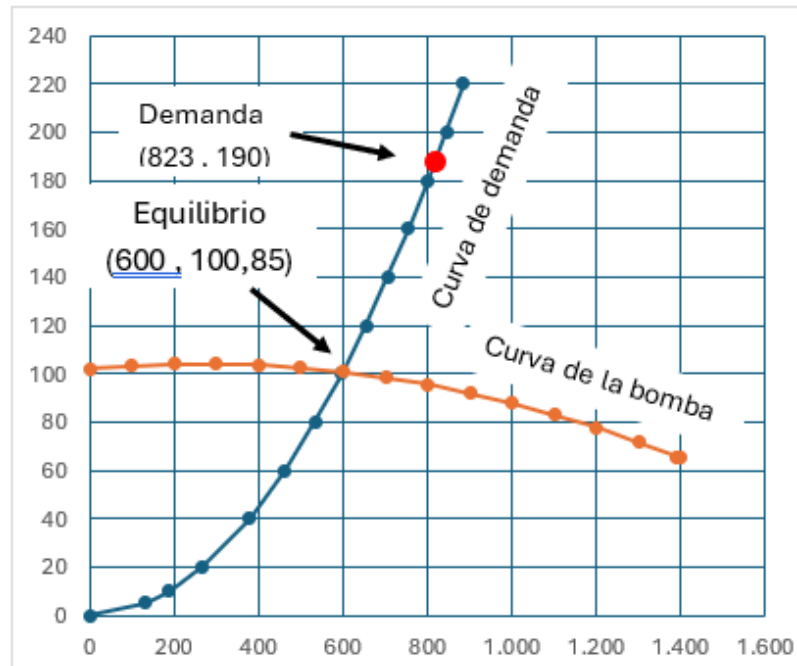
A continuación se calcula la presión que entrega una **sola bomba** a ese caudal:

$$H_b = -3,063 \times 10^{-5} \times 823^2 + 0,0164 \times 823 + 102$$
$$\rightarrow H \approx -20,77 + 13,50 + 102 \approx \mathbf{94,73 \text{ m.c.a.}}$$

Esto muestra que una bomba **no alcanza** los requerimientos del sistema, ya que su curva queda por debajo del punto de demanda.

El punto de equilibrio con una sola bomba se ubica en un caudal inferior, aproximadamente en:

$$Q \approx 600 \text{ gpm}, H \approx 100,85 \text{ m.c.a.}$$



#### d) Instalación en serie

Para satisfacer la demanda, se puede instalar **una segunda bomba en serie**. En ese caso, las alturas se suman y la curva de suministro se duplica:

$$H_{\text{total}} = 2 \cdot H_b$$

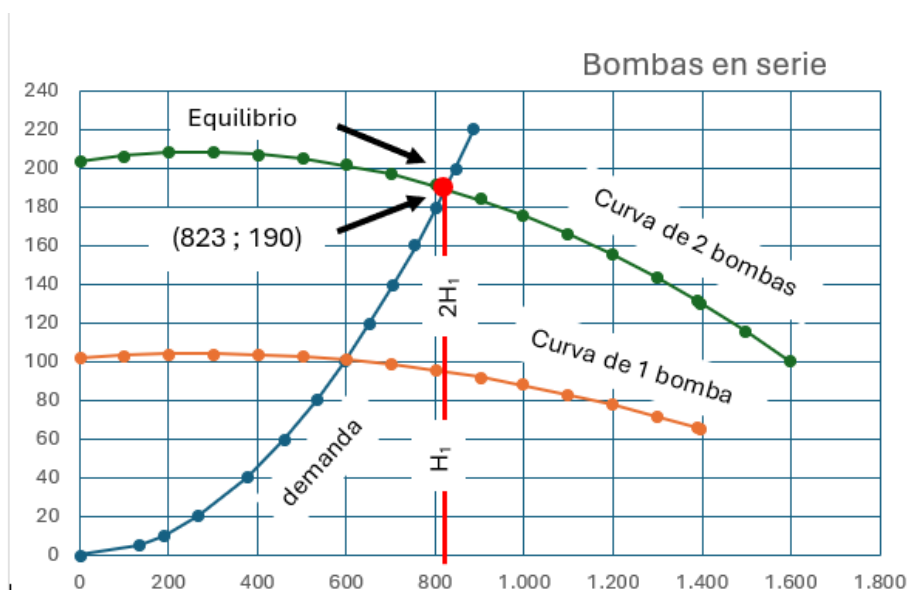
$$\rightarrow H_t(Q) = 2 \cdot (-3,063 \times 10^{-5} \cdot Q^2 + 0,0164 \cdot Q + 102)$$

$$\rightarrow H_t(Q) = -6,126 \times 10^{-5} \cdot Q^2 + 0,0328 \cdot Q + 204$$

Verificación en  $Q = 823 \text{ gpm}$

$$H_t = -6,126 \times 10^{-5} \times 823^2 + 0,0328 \times 823 + 204$$

$$\rightarrow \approx -41,53 + 27,00 + 204 \approx 189,5 \text{ m.c.a.}$$



### e) Conclusión

Con dos bombas en serie, la instalación logra satisfacer la demanda de **823 gpm a 190 m.c.a.** La curva de suministro compuesta **intersecta la curva de demanda en ese punto**, logrando así el **punto de equilibrio hidráulico** deseado.

### Curva característica de un sistema de bombas en paralelo

Supongamos que un sistema requiere un caudal de **1.390 gpm** a una presión de **98,65 m.c.a.** Se dispone de una bomba centrífuga cuyas prestaciones están definidas por la siguiente ecuación:

$$H_b(Q) = -3,063 \times 10^{-5} \cdot Q_b^2 + 0,0164 \cdot Q_b + 102$$

#### a) Determinación de la curva de demanda

Como en ejemplos anteriores, la curva de demanda del sistema se representa con la ecuación:

$$Q_d = k \cdot \sqrt{H}$$

Reemplazando los datos:

$$k = 1390 / \sqrt{98,65} \approx \mathbf{139,95}$$

Despejando H en función de Q:

$$H_d(Q) = (Q_d / 139,95)^2 \approx 5,10 \times 10^{-5} \cdot Q_d^2$$

Verificación en Q = 1390 gpm:

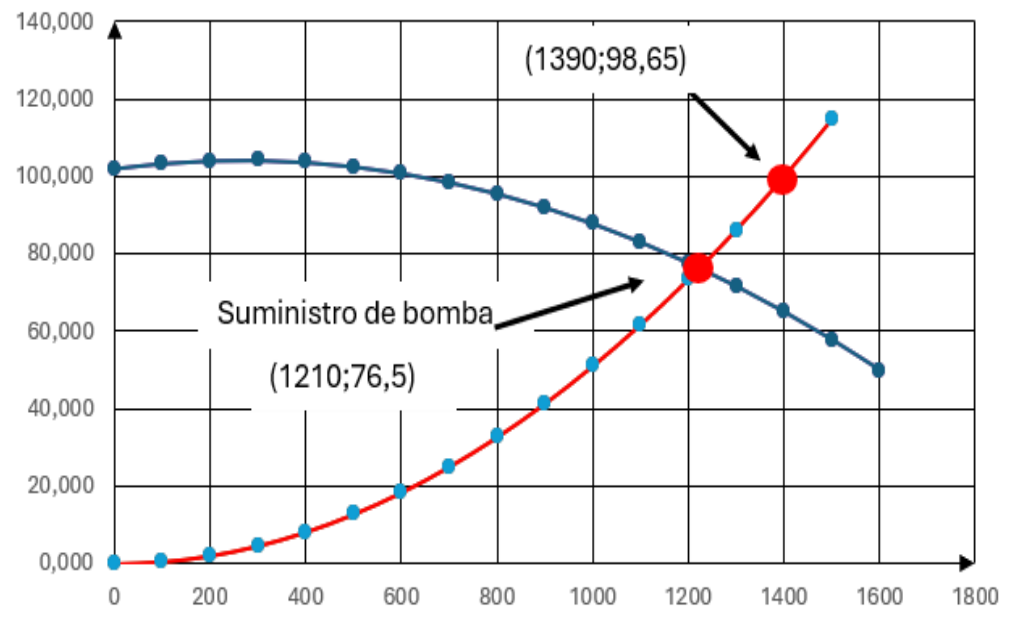
$$H_d = 5,10 \times 10^{-5} \times (1390)^2 \approx \mathbf{98,65 \text{ m.c.a.}}$$

#### b) Evaluación con una sola bomba

Calculamos qué presión entrega **una sola bomba** al caudal requerido:

$$\begin{aligned} H_b(1390) &= -3,063 \times 10^{-5} \times 1390^2 + 0,0164 \times 1390 + 102 \\ &\approx -59,19 + 22,80 + 102 = \mathbf{65,61 \text{ m.c.a.}} \end{aligned}$$

Esto indica que **una bomba no es capaz** de satisfacer la demanda del sistema, ya que la curva de prestación se encuentra por debajo de la curva de demanda.



### c) Alternativa: dos bombas en paralelo

Al instalar dos bombas idénticas en paralelo, el caudal se distribuye entre ellas a igual presión. La curva resultante del sistema se modifica según:

$$H(Q) = a \cdot (Q/n)^2 + b \cdot (Q/n) + c$$

$$H(Q) = a \cdot (Q/2)^2 + b \cdot (Q/2) + c$$

Aplicando la fórmula:

$$H(Q) = -3,063 \times 10^{-5} \cdot (Q/2)^2 + 0,0164 \cdot (Q/2) + 102$$

$$\rightarrow H(Q) = -7,6575 \times 10^{-6} \cdot Q^2 + 0,0082 \cdot Q + 102$$

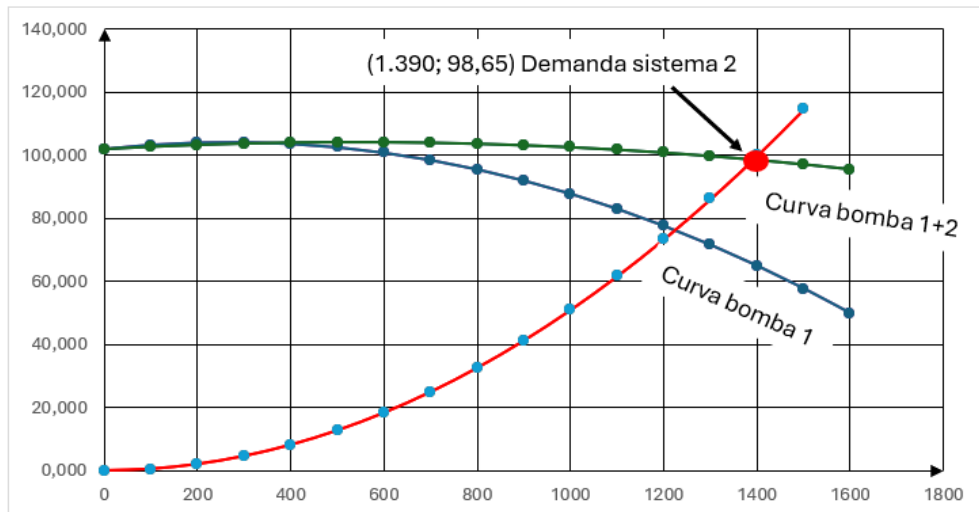
### d) Evaluación con dos bombas en paralelo

Verificamos la presión alcanzada al caudal requerido (1390 gpm):

$$H = -7,6575 \times 10^{-6} \times 1390^2 + 0,0082 \times 1390 + 102$$

$$\approx -14,78 + 11,40 + 102 \approx \mathbf{98,62 \text{ m.c.a.}}$$

La curva de dos bombas en paralelo **coincide** prácticamente con la curva de demanda, logrando así el punto de equilibrio deseado.



### e) Conclusión

La bomba individual no alcanza a cubrir los requerimientos del sistema. Sin embargo, al instalar dos bombas en paralelo, la curva de prestación se adapta perfectamente a la demanda. En el punto de intersección entre ambas curvas (prestación y demanda), se cumple la condición operativa buscada: **1.390 gpm a 98,65 m.c.a.**

### COMENTARIOS FINALES

- El análisis del funcionamiento de bombas centrífugas, tanto en forma individual como en configuraciones en serie y en paralelo, permite comprender en profundidad su comportamiento hidráulico frente a distintas condiciones de demanda.
- Las curvas características de las bombas y de los sistemas que alimentan son herramientas fundamentales para establecer el punto de equilibrio hidráulico, donde caudal y presión se ajustan a los requerimientos reales.
- El trazado gráfico y analítico de la curva de prestación de una bomba puede realizarse aun en ausencia de documentación técnica, mediante la toma de tres puntos característicos de operación.
- Las bombas en serie permiten elevar la presión total sin modificar el caudal, siendo útiles para sistemas de alta presión como redes contra incendios o alimentación de calderas.
- Las bombas en paralelo permiten aumentar el caudal sin modificar la presión, siendo adecuadas para sistemas con gran volumen de demanda como plantas de tratamiento de agua o estaciones de bombeo.
- La correcta selección, instalación y evaluación de bombas bajo estos criterios contribuye a la eficiencia energética, disminución de costos operativos y reducción de fallas mecánicas en instalaciones hidráulicas.
- El uso combinado de teoría, gráficos y ejemplos prácticos permite no solo interpretar correctamente el comportamiento de los equipos, sino también

tomar decisiones fundadas en la operación y redimensionamiento de sistemas de bombeo.