

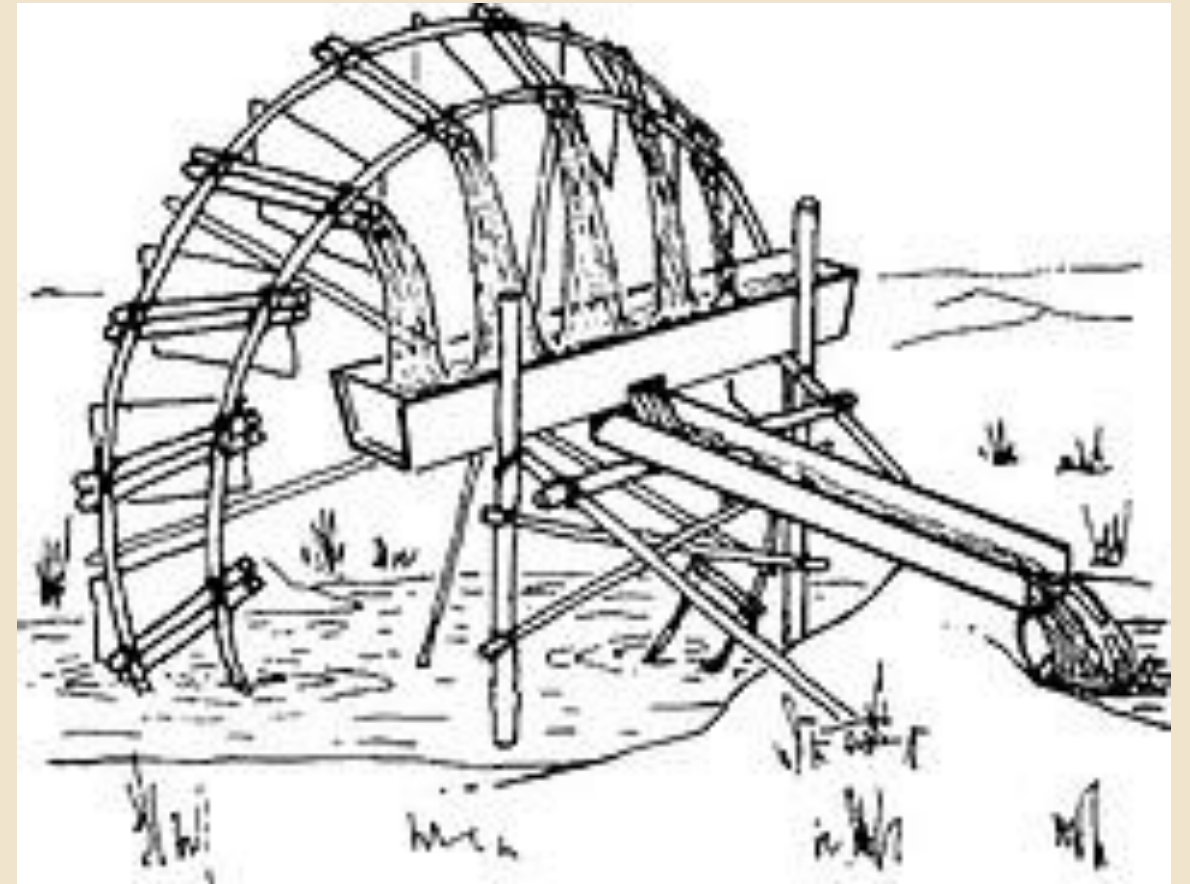


# Bombas centrifugas en sistemas de recirculación

Gerson Chipao

Lima, 05 de setiembre 2025

# Origen de las bombas



# Aplicaciones HVAC



Las bombas centrifugas son parte esencial de los sistemas HVAC. Algunas aplicaciones son:

- Bombas primarias.
- Bombas secundarias.
- Bombas para agua de condensado.
- Bombas para fuente de reposición.

# Conceptos básicos



- Máquina para desplazar líquidos.
- Se basa en la forma más económica de transportar líquidos: Tuberías.
- Le da al líquido la energía necesaria para su traslado.
- Transporta al líquido de una zona de baja presión a una de alta presión.



# Conceptos básicos



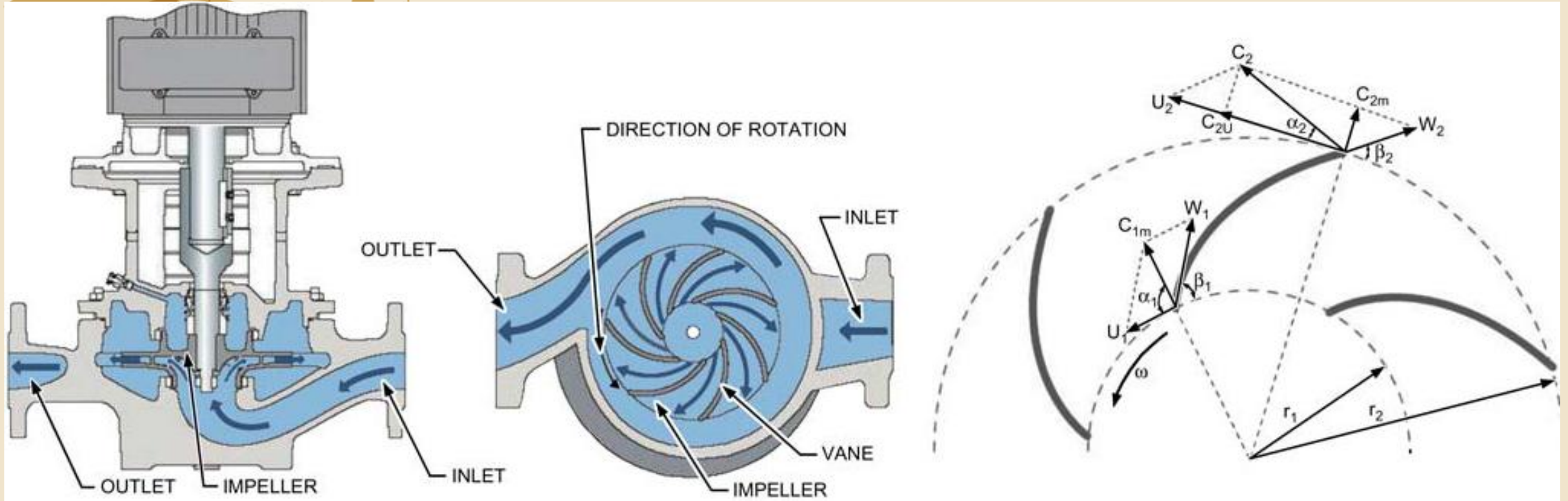
Las bombas centrifugas son las bombas más comunes y utilizadas en el mundo.

La bomba centrifuga crea un **incremento en la presión** (presión diferencial), transfiriendo energía mecánica del motor al liquido a través del impulsor. El liquido fluye de la entrada al centro del impulsor y sale a lo largo de sus álabes.

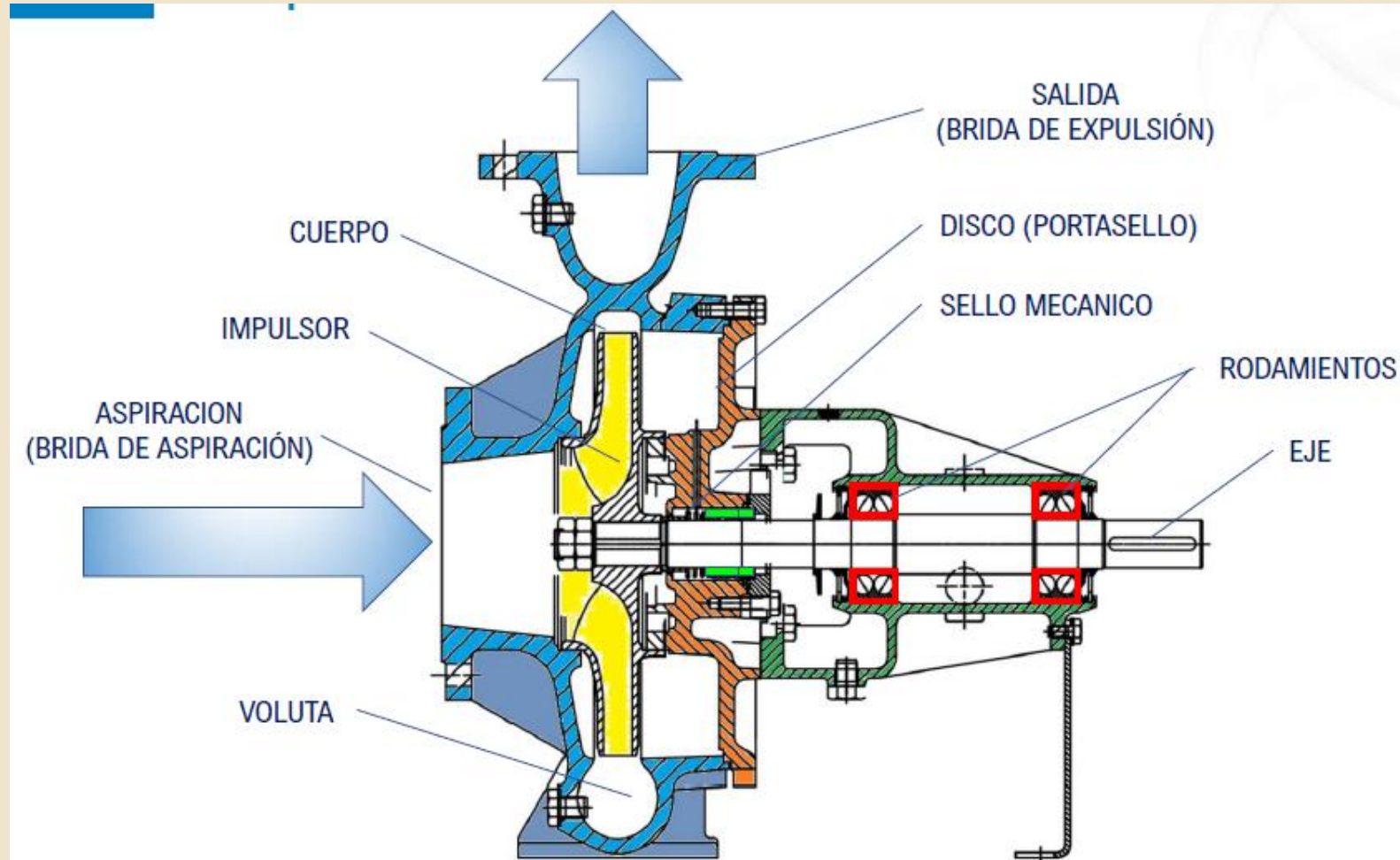
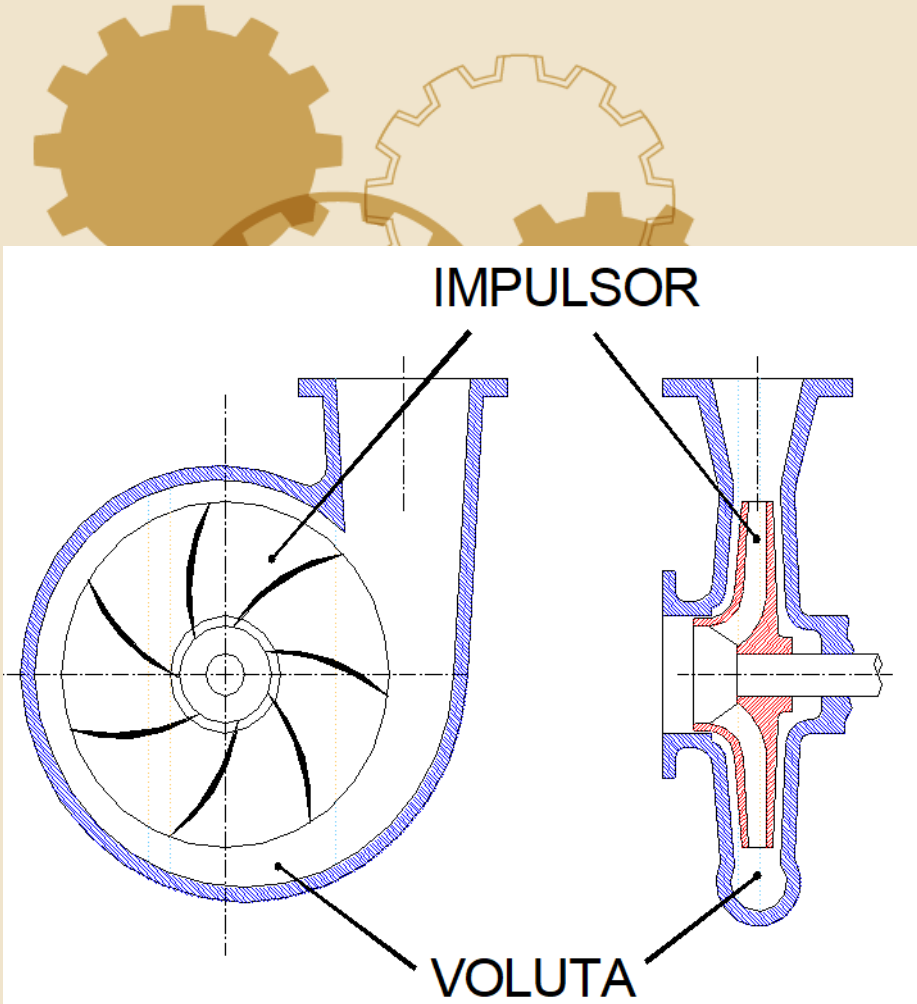
La fuerza centrífuga aumenta la velocidad del liquido y la energía cinética se transforma en presión.



# Conceptos basicos



# Conceptos básicos



# Conceptos básicos



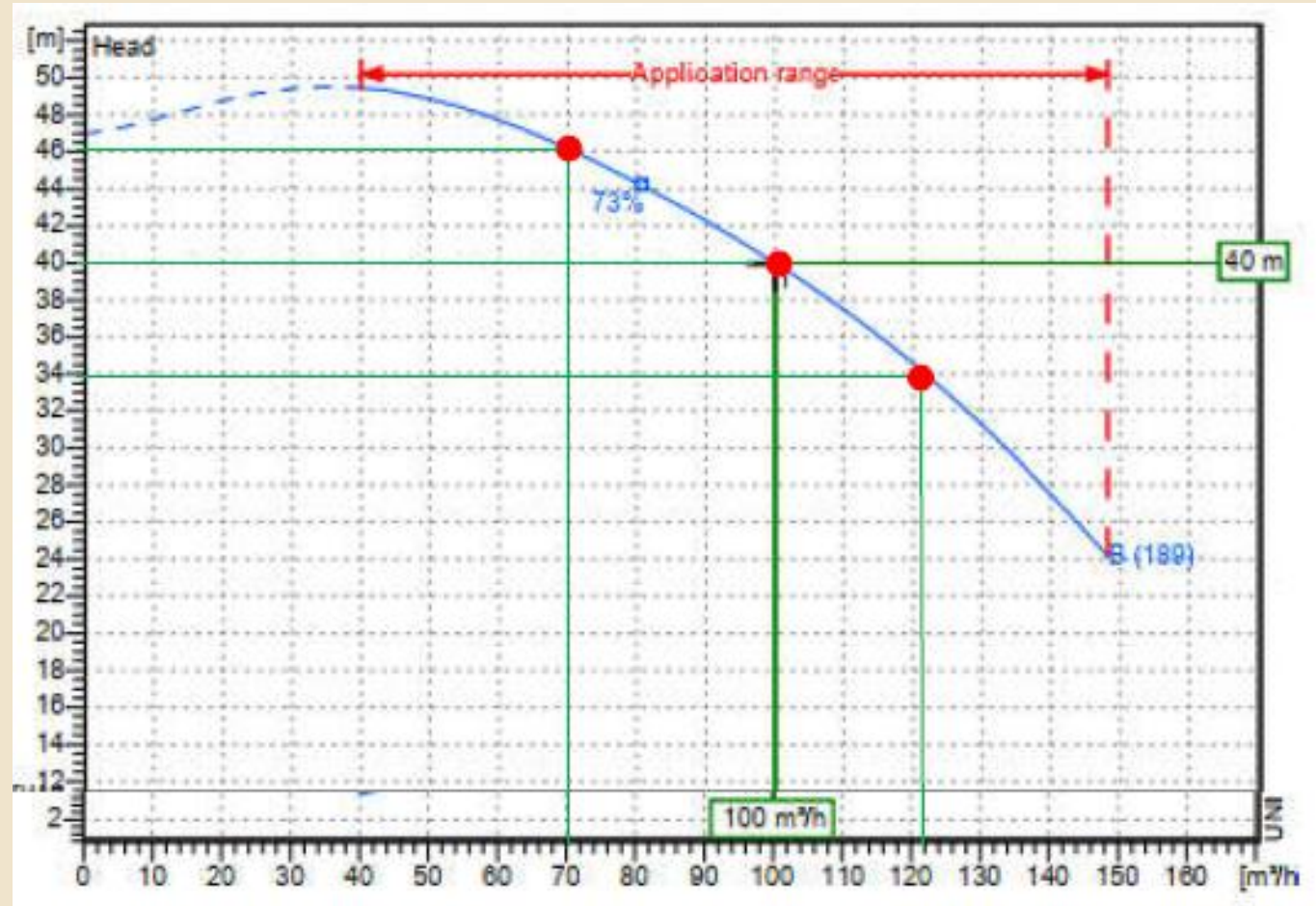
El rendimiento de la bomba se describe mediante una curva QH:

Q = caudal

H = presión

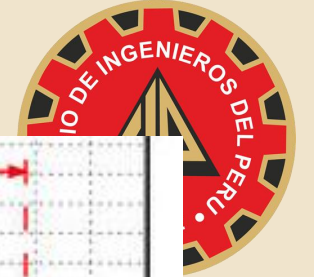
... a velocidad constante!

La bomba puede ofrecer todos los puntos de trabajo que están sobre la curva de rendimiento.





# Conceptos básicos



Las curvas de rendimientos de una bomba son:

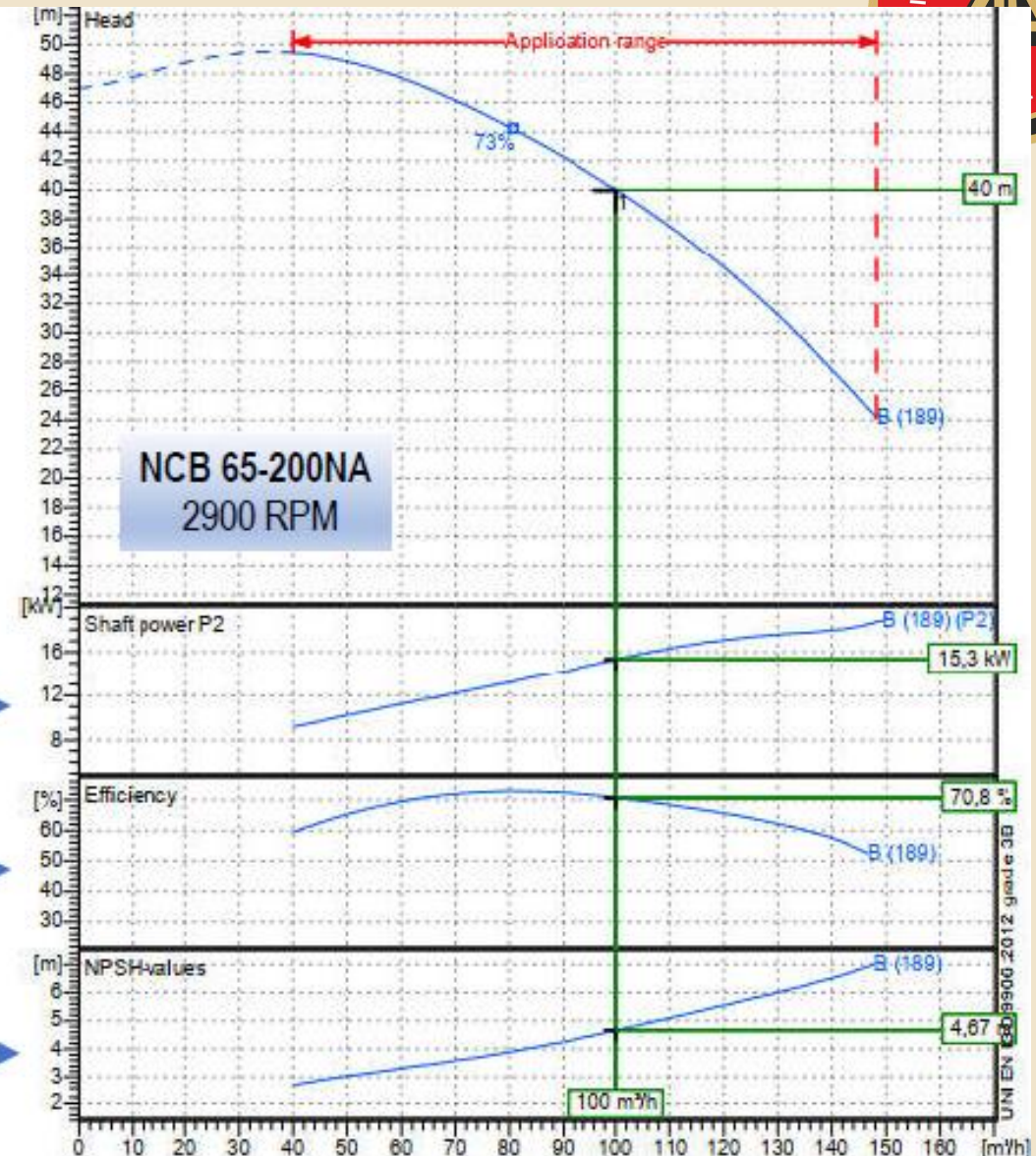
CAUDAL – PRESIÓN →

POTENCIA →

EFICIENCIA →

NPSH →

Una hoja técnica completa muestra todas estas curvas para una determinada velocidad.



# Ley de afinidad



Como cambia el caudal, la presión y la potencia en función de la velocidad:



rpm	Q m <sup>3</sup> /h	H m	P Kw
1500	100,0	50,0	20,0
n/n	2,0	4,0	8,0
3000	200,0	200,0	160,0

$$Q' = \left(\frac{n'}{n}\right) \cdot Q \quad H' = \left(\frac{n'}{n}\right)^2 \cdot H \quad P' = \left(\frac{n'}{n}\right)^3 \cdot P$$

$$P = \frac{\rho \cdot Q \cdot H}{367 \cdot \eta} = [\text{kW}]$$

Q = Caudal (m<sup>3</sup>/h)

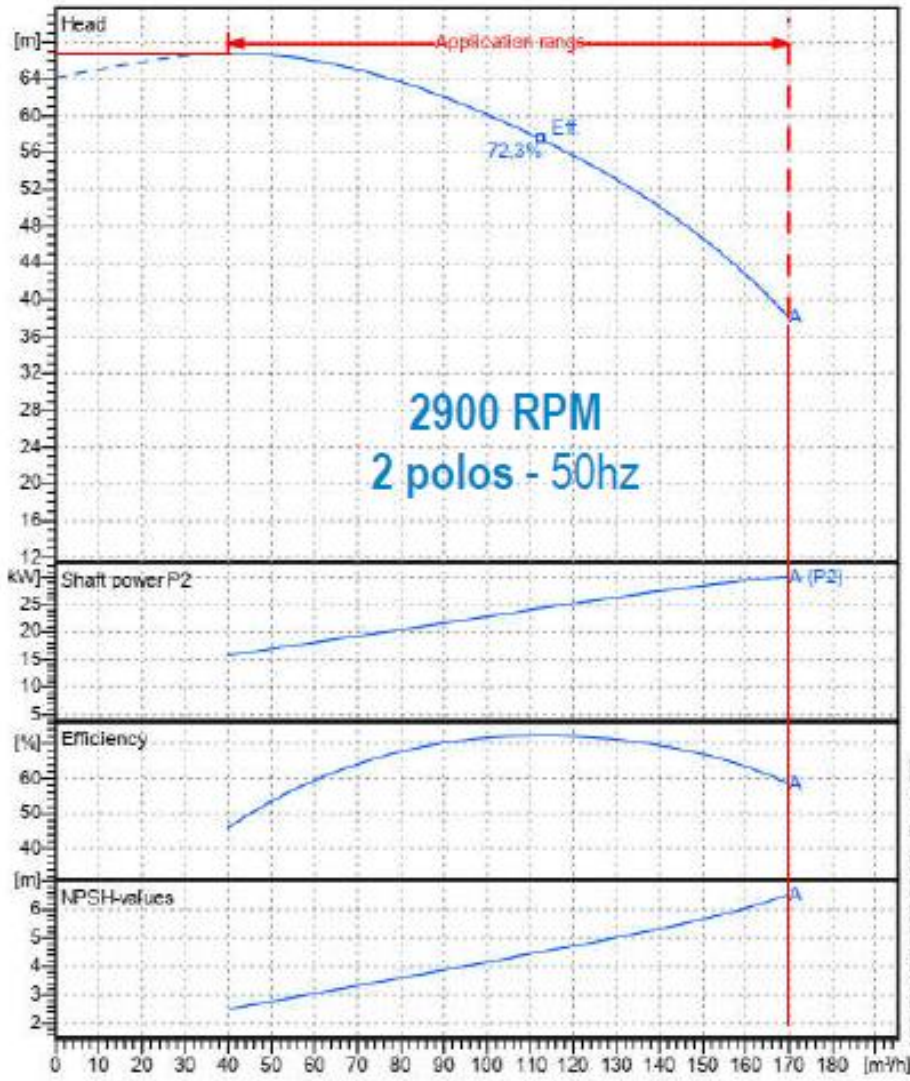
H = Presión (m)

$\eta$  = Eficiencia de la bomba

$\rho$  = Densidad del fluido

P = Potencia absorbida (kW)

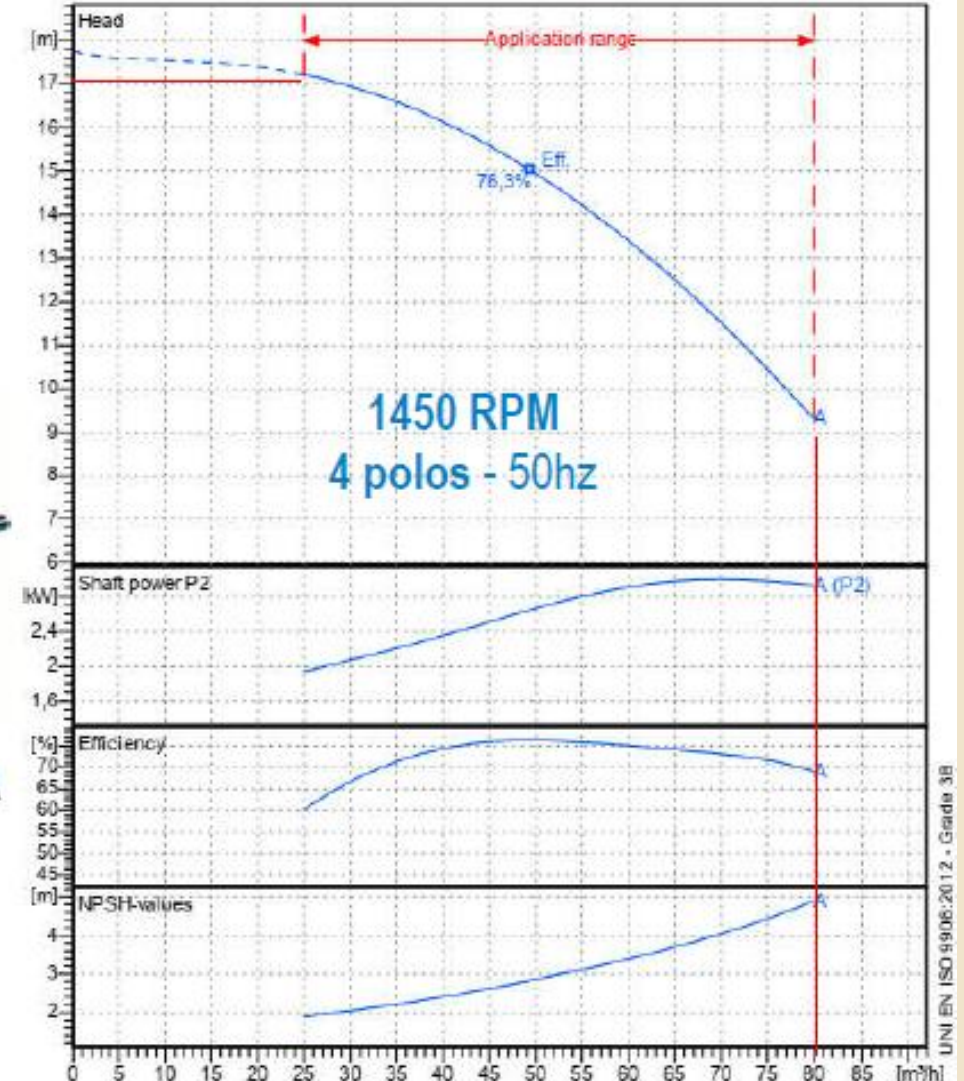
# Ley de afinidad



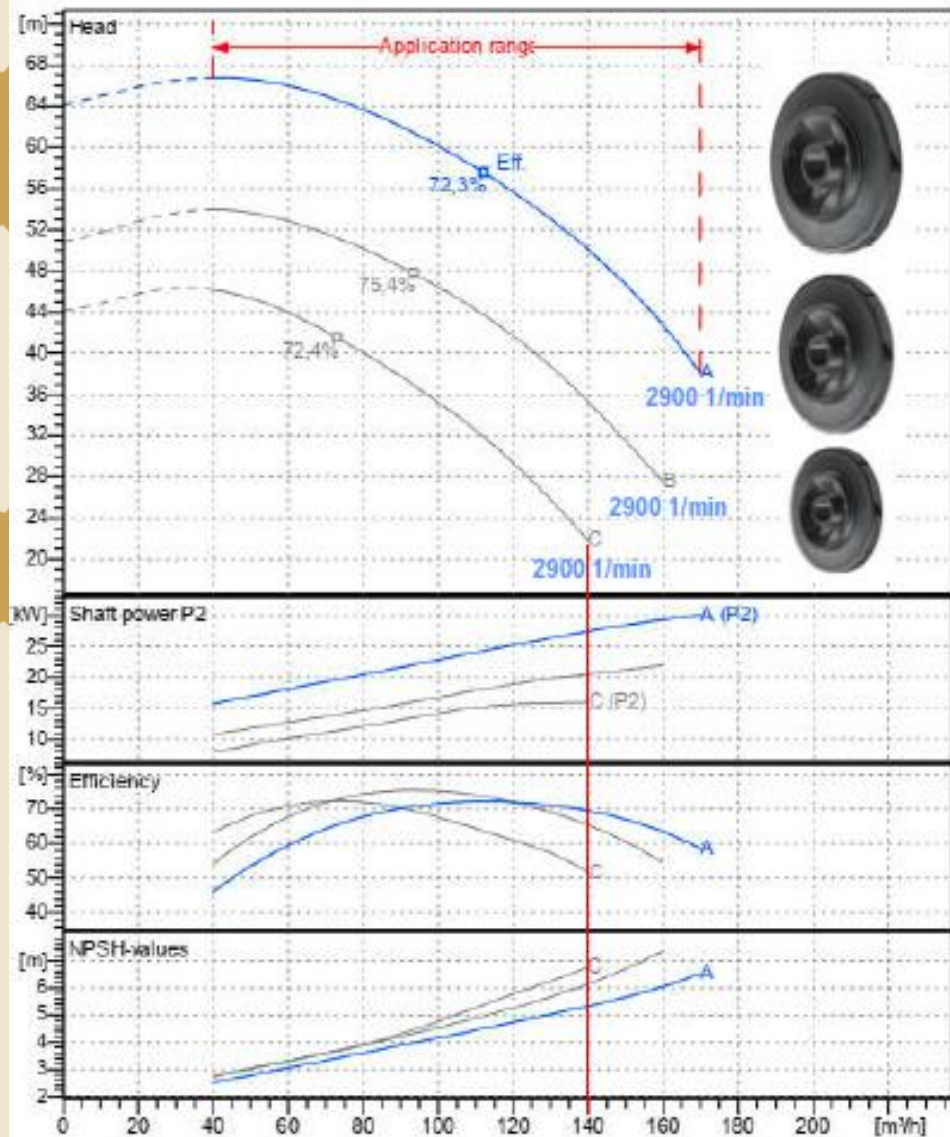
Misma bomba  
con diferentes  
curvas de  
rendimiento a  
diferentes  
velocidades



NCB 65-200NA



# Modificar curvas de rendimiento

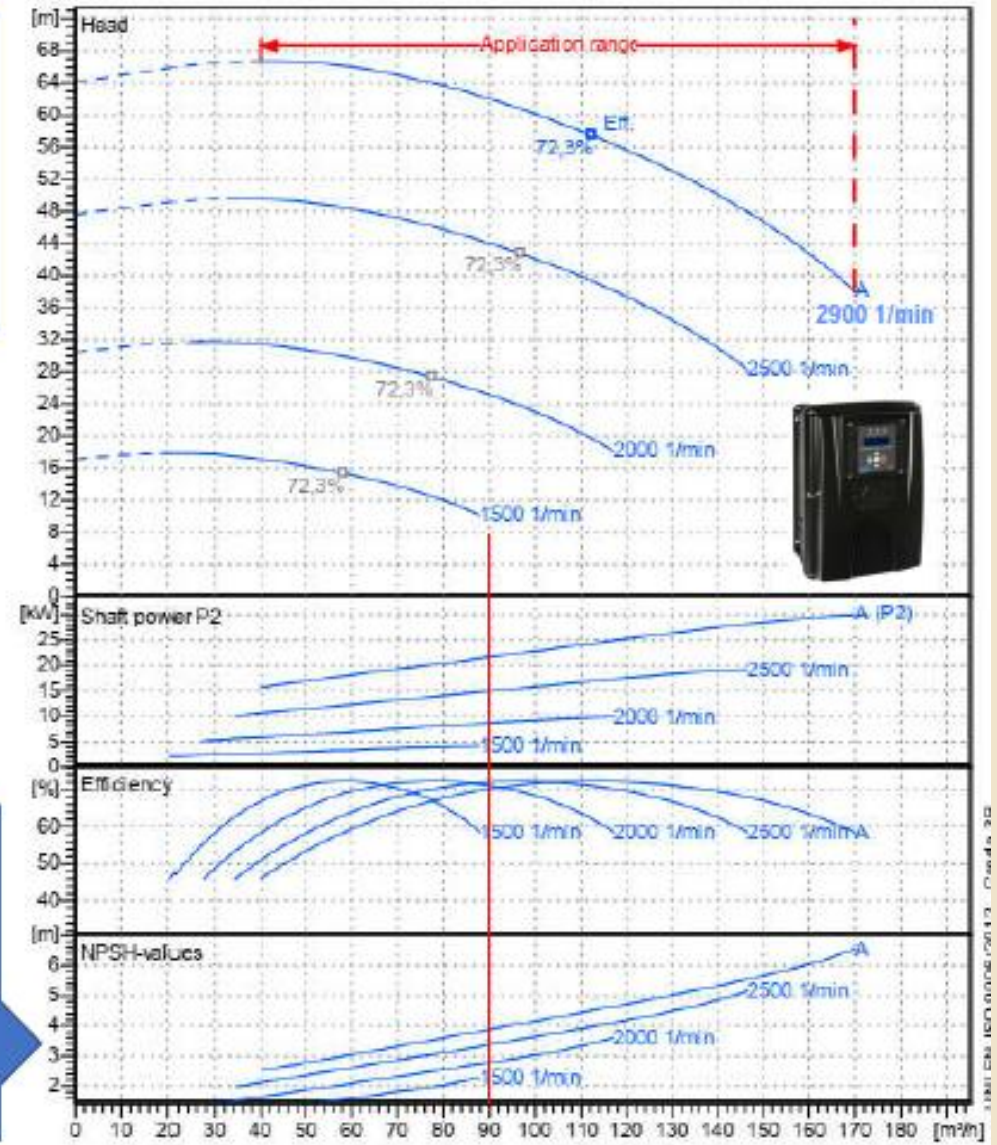


**Recorte del impulsor**  
Performances diferentes a diferentes diámetros



NCB 65-200NA

**VFD**  
Performances diferentes a diferentes velocidades



# Curva del sistema

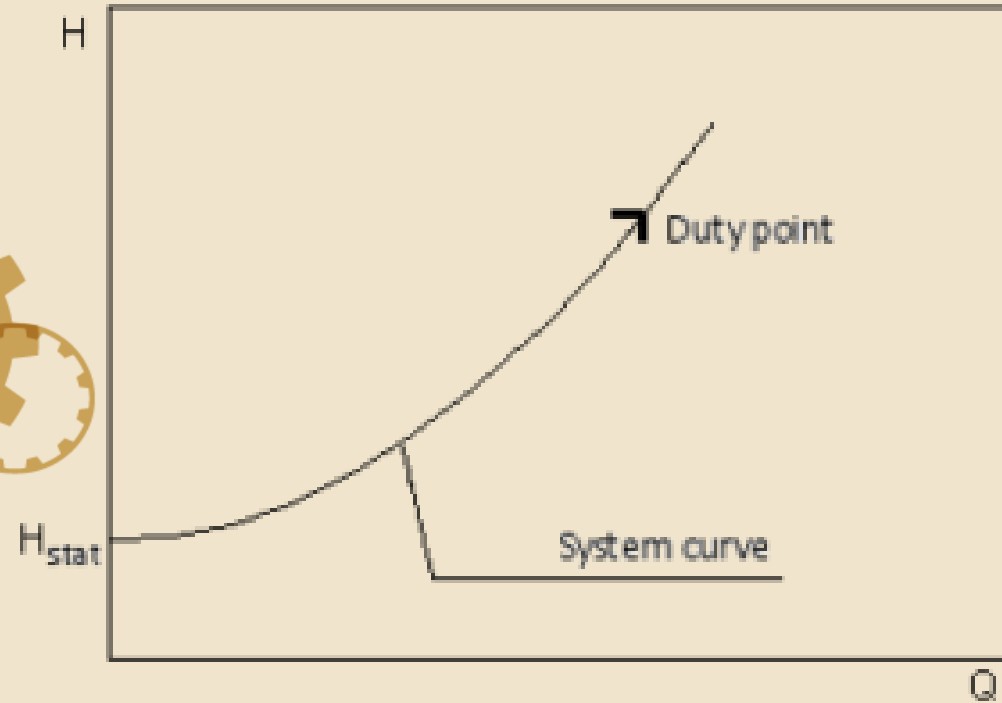
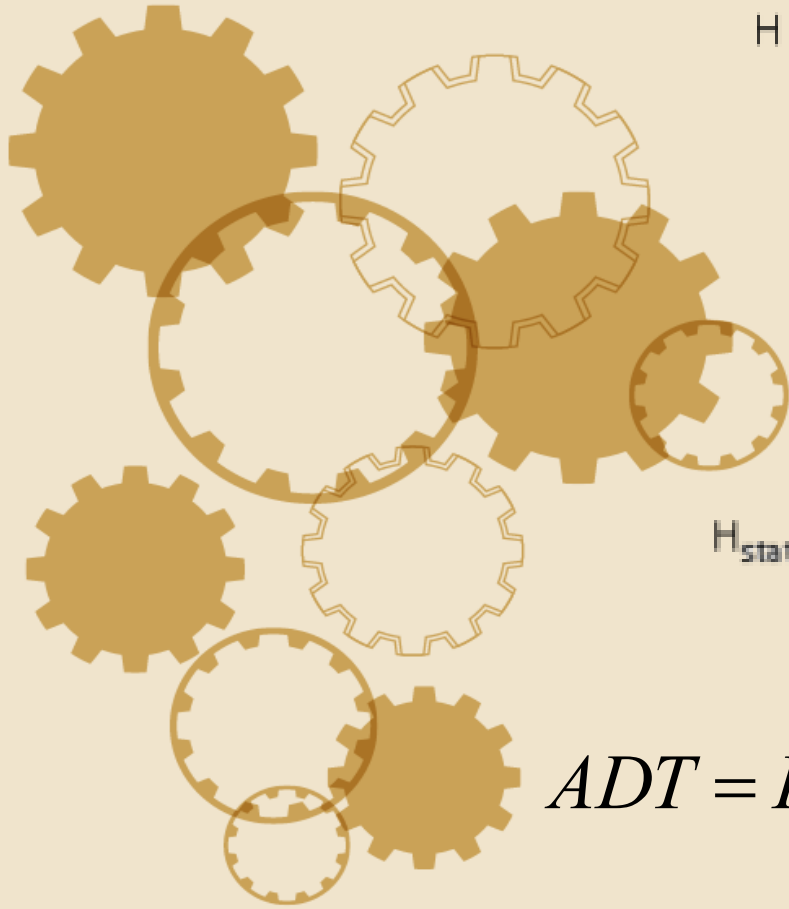


Un «Sistema» es el conjunto de tuberías y accesorios que forman parte de la instalación de una bomba centrífuga.

Cuando queremos seleccionar una bomba centrífuga debemos calcular la «resistencia» al flujo del líquido que ofrece el sistema completo a través sus componentes (tuberías más accesorios).

La bomba debe suministrar la energía necesaria para vencer esta resistencia que esta formada por la **altura estática** más las **pérdidas en las tuberías y accesorios**. La altura estática total es una magnitud que generalmente permanece constante para diferentes caudales mientras que la resistencia de las tuberías y accesorios varían con el caudal.

# Curva de sistema



$$ADT = H_{geo} + (Pa - Pb) + (Va^2 - Vb^2) / 2g + \Sigma h_F$$

Altura  
estática  
total (m)

Diferencia de  
presiones  
absolutas (m)

Diferencia de  
energías de  
velocidad (m)

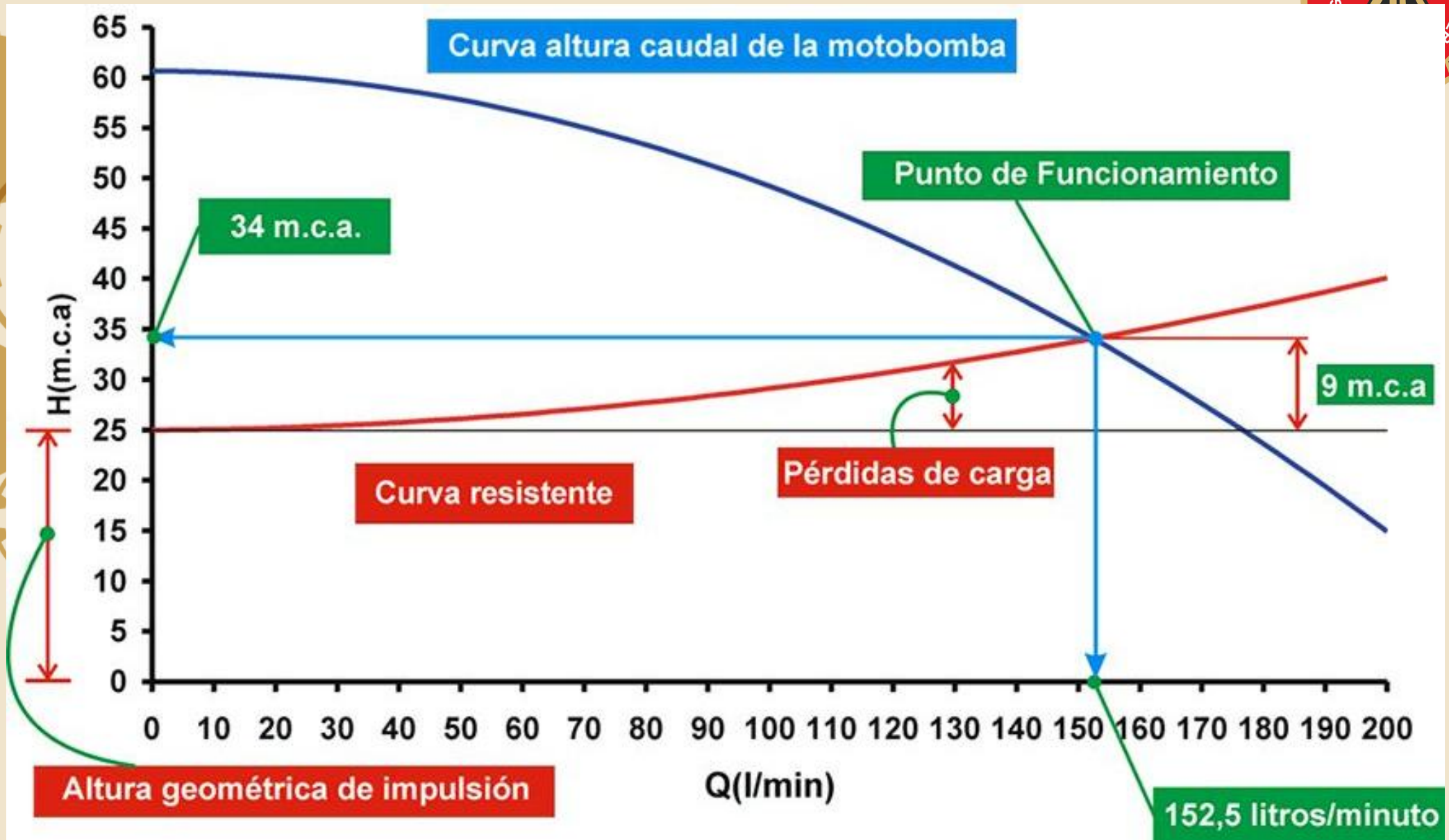
Pérdidas en las  
tuberías y  
accesorios (m)

# HVAC - Sugerencias



- Velocidad de agua: 7 a 9 pies por segundo
- Caída de presión: 1 a 4 pies/100 pies de tubería
- Guia: ASHRAE Std. 90-1-2010

# Punto de operación





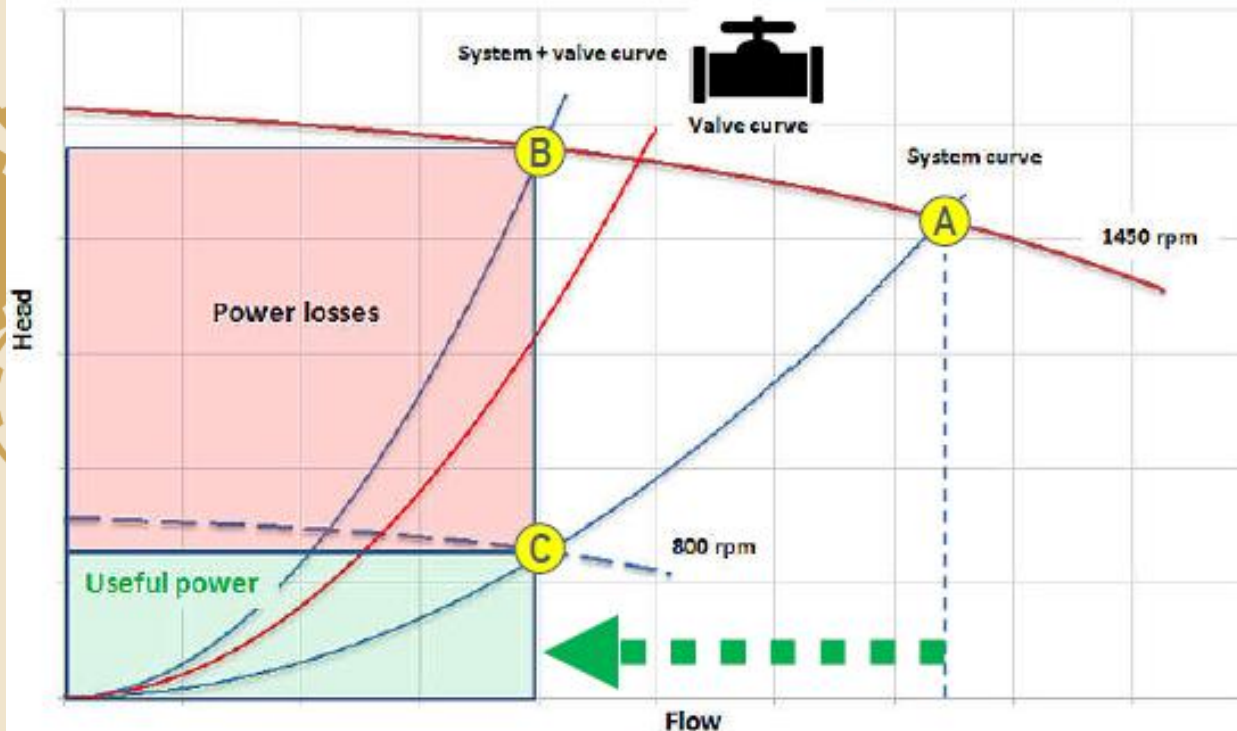
# Punto de operación



## VFD = ahorro de energía

Reduciendo la velocidad, el flujo y la potencia se reducen

Ejemplo:  
Reduccion de caudal  
74 m<sup>3</sup>/h a 40 m<sup>3</sup>/h



Considerando solo potencia **hidráulica** para cada punto de servicio:

$$P = \frac{\rho \cdot Q \cdot H}{367 \cdot \eta} = [\text{kW}]$$

DP	Caudal m3/h	Prevalencia m	Potencia kW
A	74	43	8,7
B	40	48	5,2
C	40	13	1,4

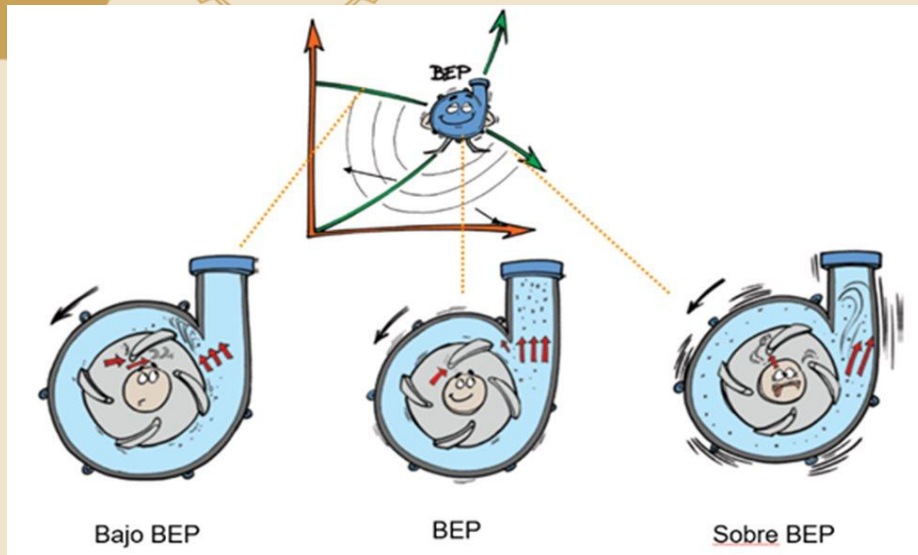
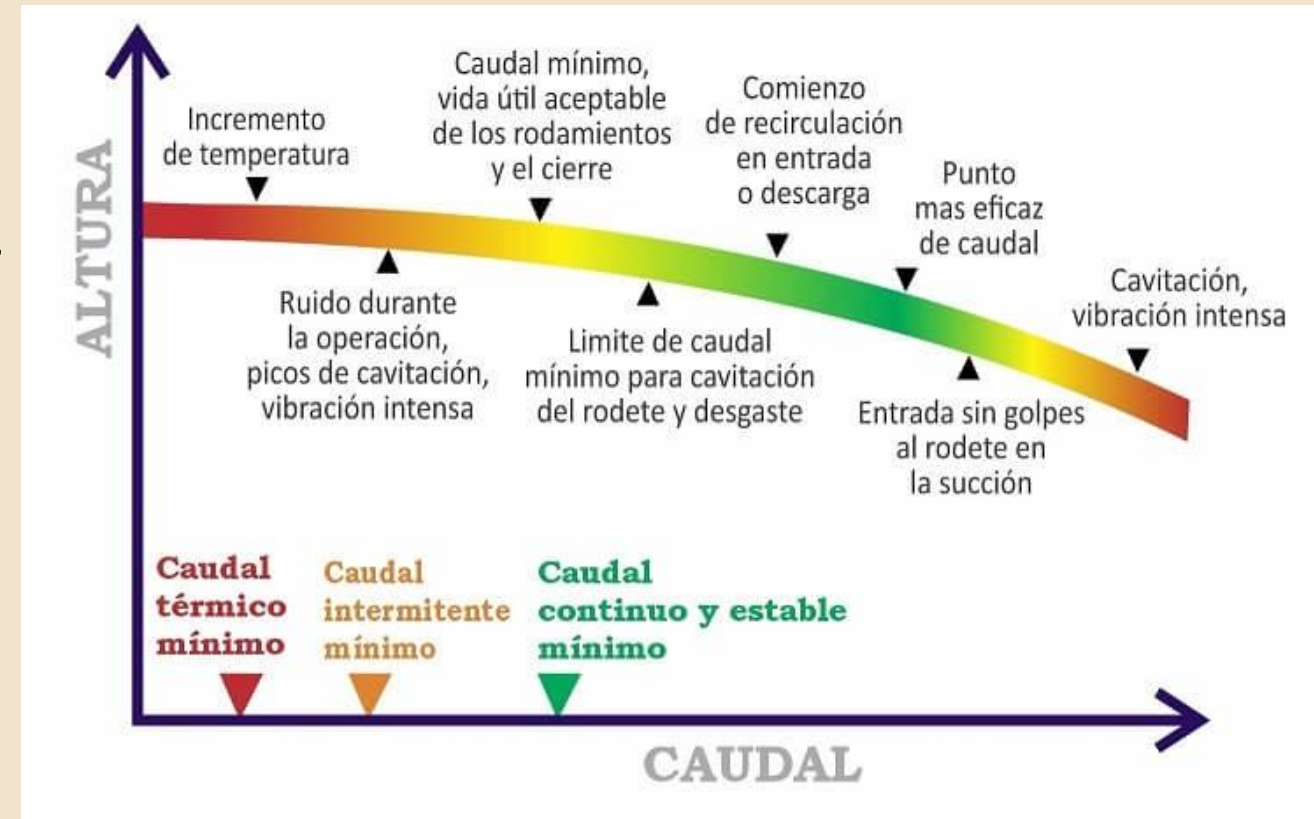
En "B" habrá una potencia adicional debido a la pérdida de presión de la válvula

# Punto de operación



El punto de operación en el que las pérdidas hidráulicas son mínimas es conocido como el BEP (Best Efficient Point).

En este punto, el caudal que ingresa sale y no existe recirculación ni deslizamiento. La mayoría de las selecciones se trata de realizar cerca de este punto ya que a la izquierda o derecha de él existen problemas de operación.



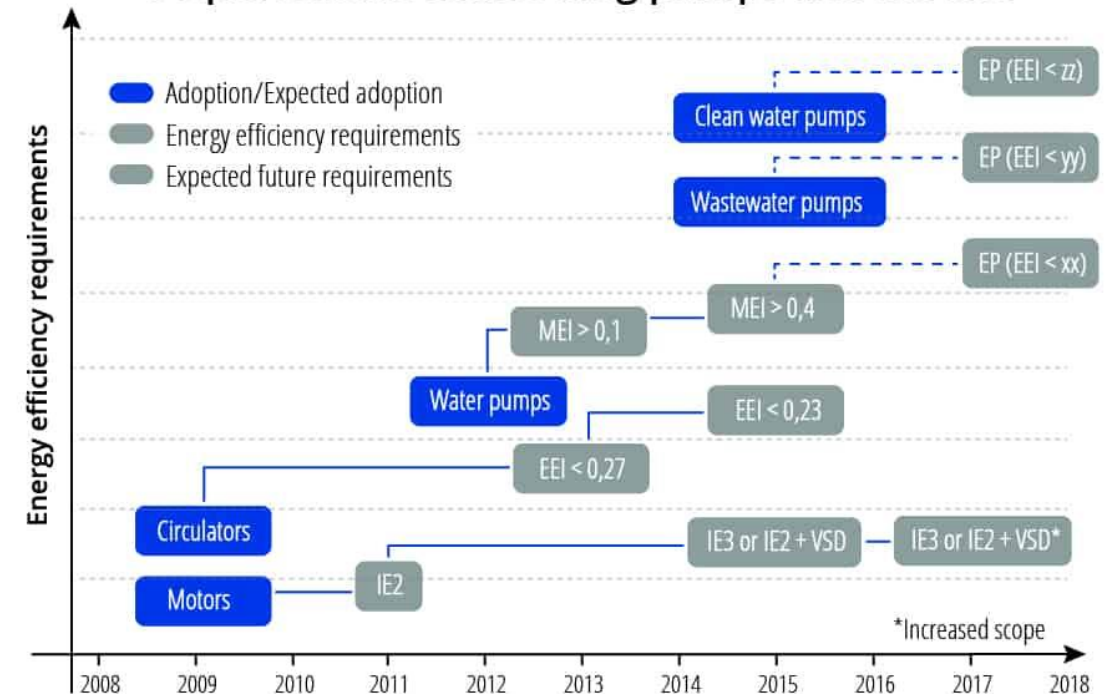
# Punto de operación



Por motivos de ahorro energético todas las bombas de agua comercializadas en Europa deben cumplir los requisitos de diseño ecológico en lo relativo a eficiencia de la bomba (regulación EU 547/2012 para la implementación de la directiva 2009/125/EC). Para ello, los fabricantes de bombas deben cumplir con el Índice de Eficiencia Mínima (MEI – Minimum Efficiency Index), que está determinado por la altura, el caudal y la velocidad de una bomba, además de una constante que depende del diseño de la bomba que se está midiendo.

En 2009, una comisión de la UE identificó todas las bombas disponibles en el mercado y midió su eficacia. Basándose en esta información, decidieron que el 10 por ciento menos eficiente de las bombas se descartarían, refiriéndose específicamente a las bombas que tuvieran un MEI de 0,1 o inferior. Esta medida entró en vigencia en 2013. A partir del 1 de enero de 2015, todas las bombas deben estar funcionando con un índice MEI superior o igual a 0,4.

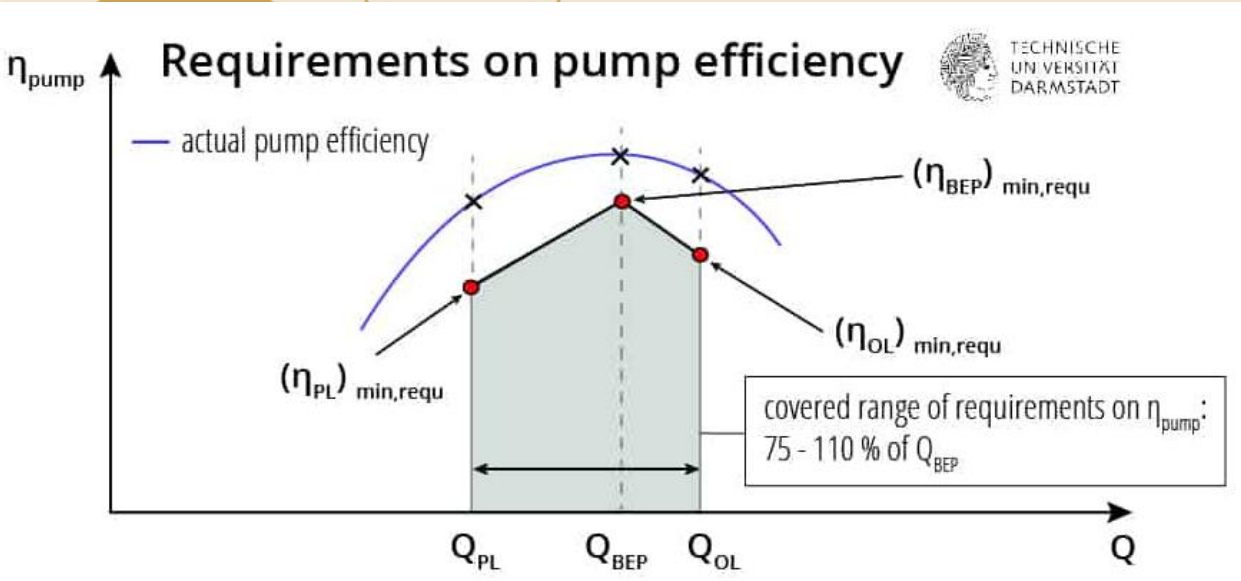
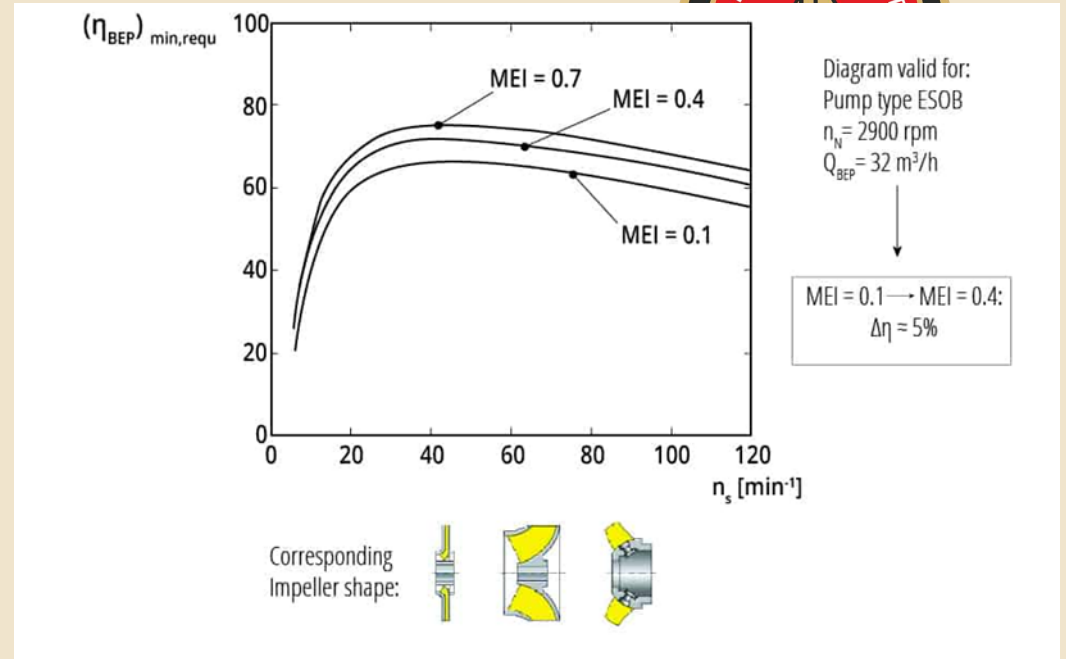
## Summary of EuP/ErP legislation and ecodesign requirements concerning pumps and motors



# Punto de operación

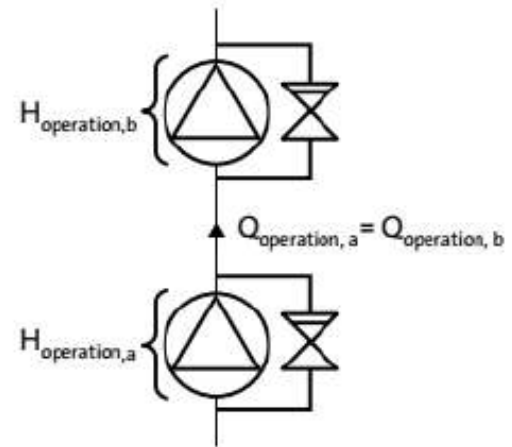
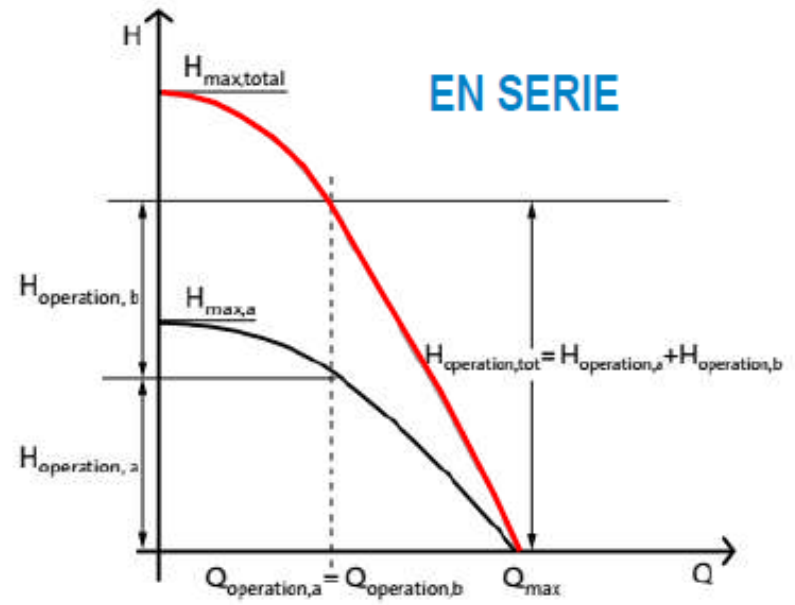
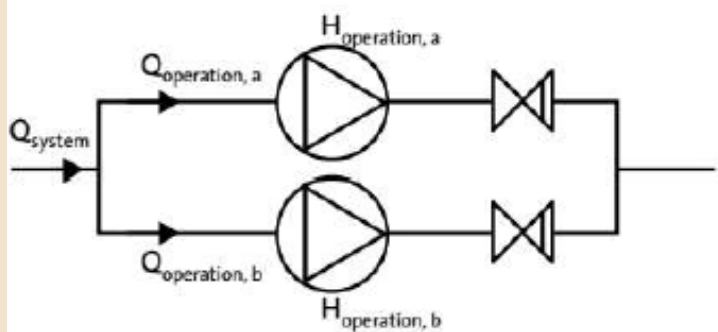
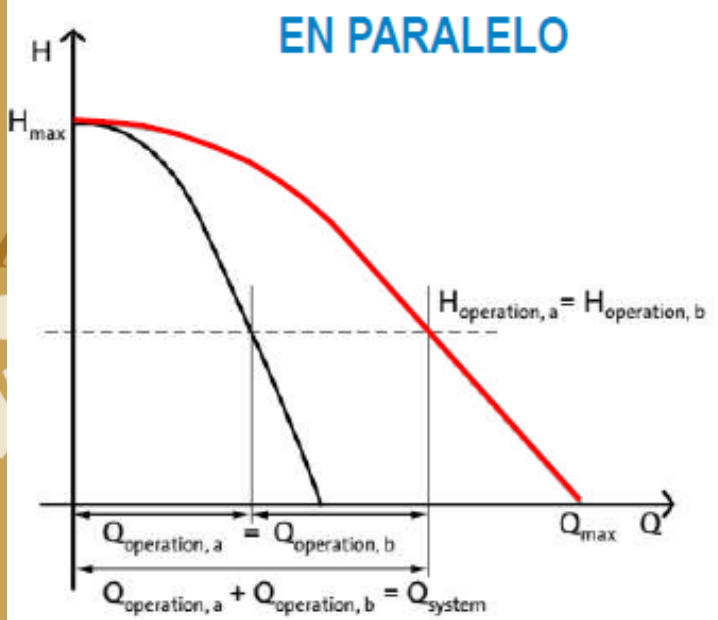


Bajo el concepto del MEI, se inserta el concepto de la casa de eficiencia, observando la eficiencia de una bomba en el rango de caudal del 75% al 110% del BEP. Con ello se reconoce que las bombas no solo van a operar en el BEP, como es lo que sucede en la actualidad al cubrirse varios puntos de operación usando variadores de frecuencia.



MEI cubre las mejores eficiencias puntuales, de carga parcial y de sobrecarga, ya que las bombas de agua pueden elegirse con márgenes de seguridad y, por lo tanto, no funcionan con el mejor punto de eficiencia. Esto asegura curvas de eficiencia altas y planas y, en consecuencia, una operación de eficiencia en la vida real.

# Bombas en paralelo - serie



Las bombas centrífugas raramente se conectan en serie, pero una bomba multietapa se puede considerar como una conexión en serie de bombas de una etapa.

Si una de las bombas en una conexión en serie no está funcionando, causa una resistencia considerable al sistema. Para evitar esto, un bypass con válvula de retención podría ser incorporado

# Bombas en paralelo - serie

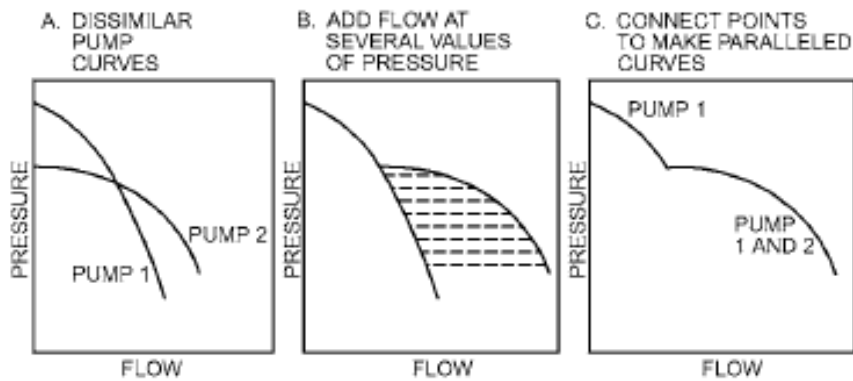


Fig.36 Construction of Curve for Dissimilar Parallel Pumps

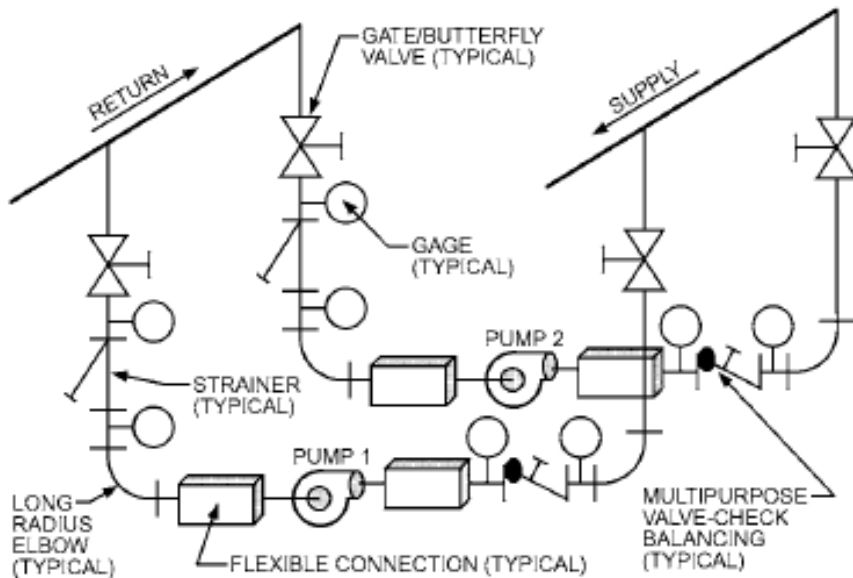


Fig. 37 Typical Piping for Parallel Pumps

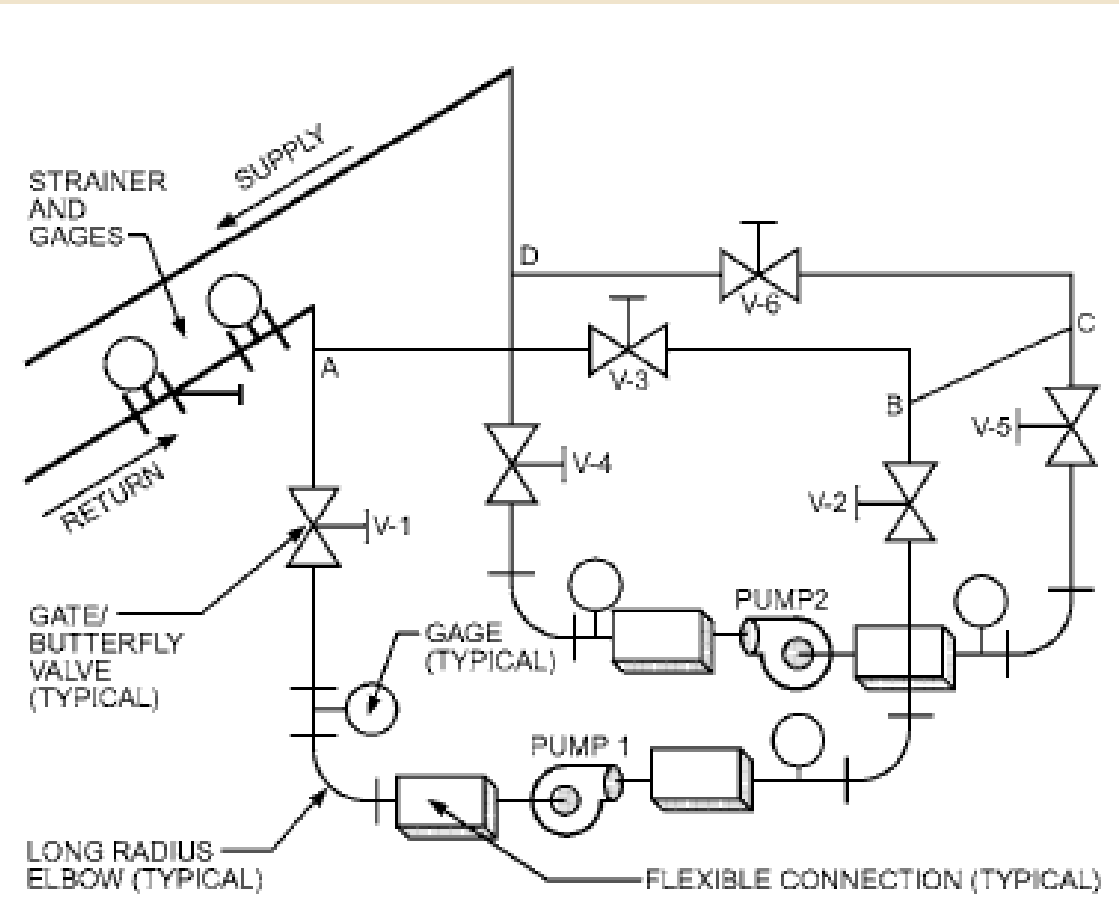
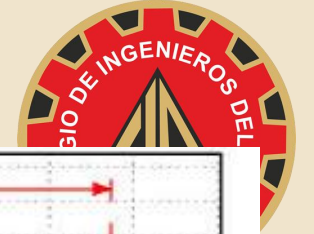


Fig. 40 Typical Piping for Series Pumps

# NPSH

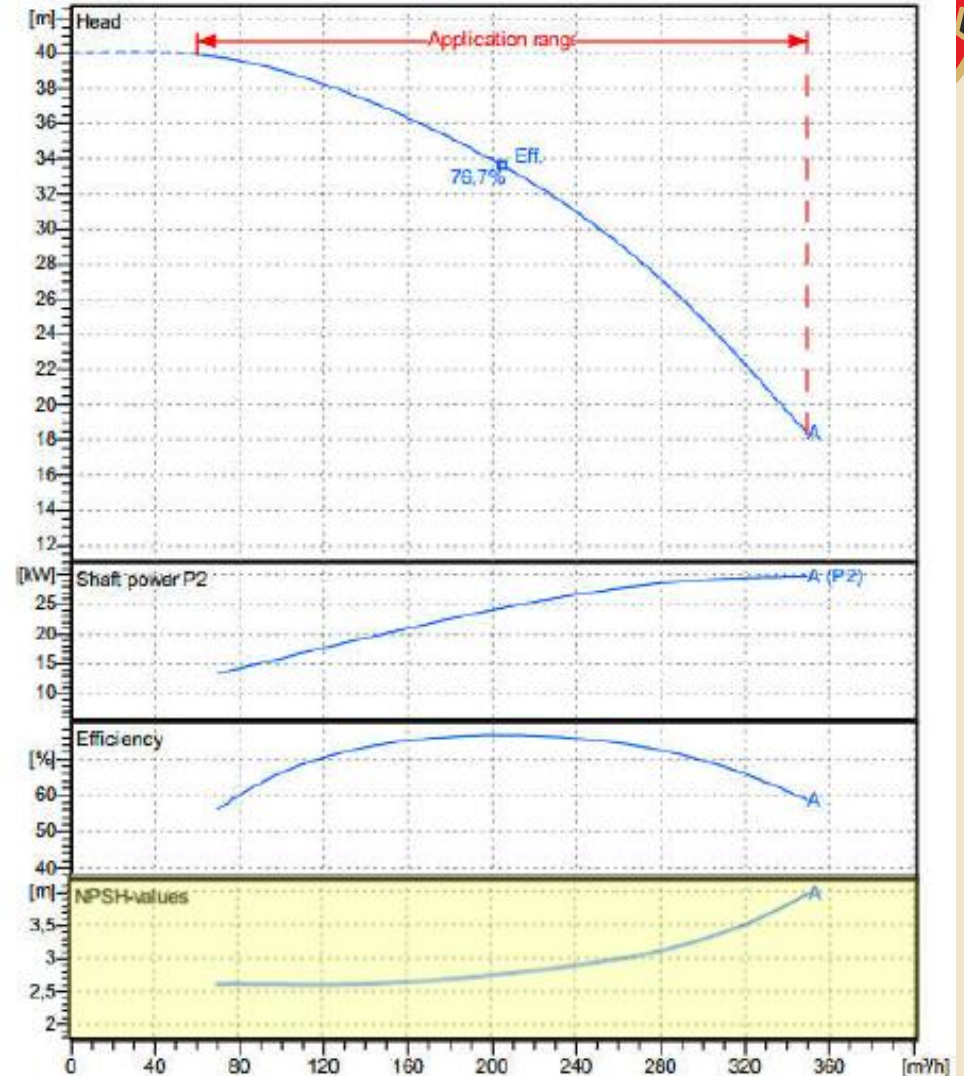


## NPSH<sub>r</sub> (requerida de la bomba)

- Es una característica de la bomba
- Es una **curva** (crece con el caudal)
- Es relativa al punto de trabajo
- Es relativa a la velocidad de la bomba (rpm)



En otras palabras:  
el NPSH<sub>r</sub> es la capacidad de succión de la bomba.  
Más bajo es este dato, mejor será



# NPSH



NPSH se puede definir como dos partes:

**NPSH<sub>a</sub>**      **NPSH Available** (disponible )  
la presión absoluta en la  
succión de la bomba .

**NPSH<sub>r</sub>**      **NPSH Requerido**  
La presión mínima requerida en la  
succión de la bomba para evitar  
que la bomba cavite

Una bomba  
centrífuga trabaja  
correctamente si

$$\mathbf{NPSH_a > NPSH_r}$$

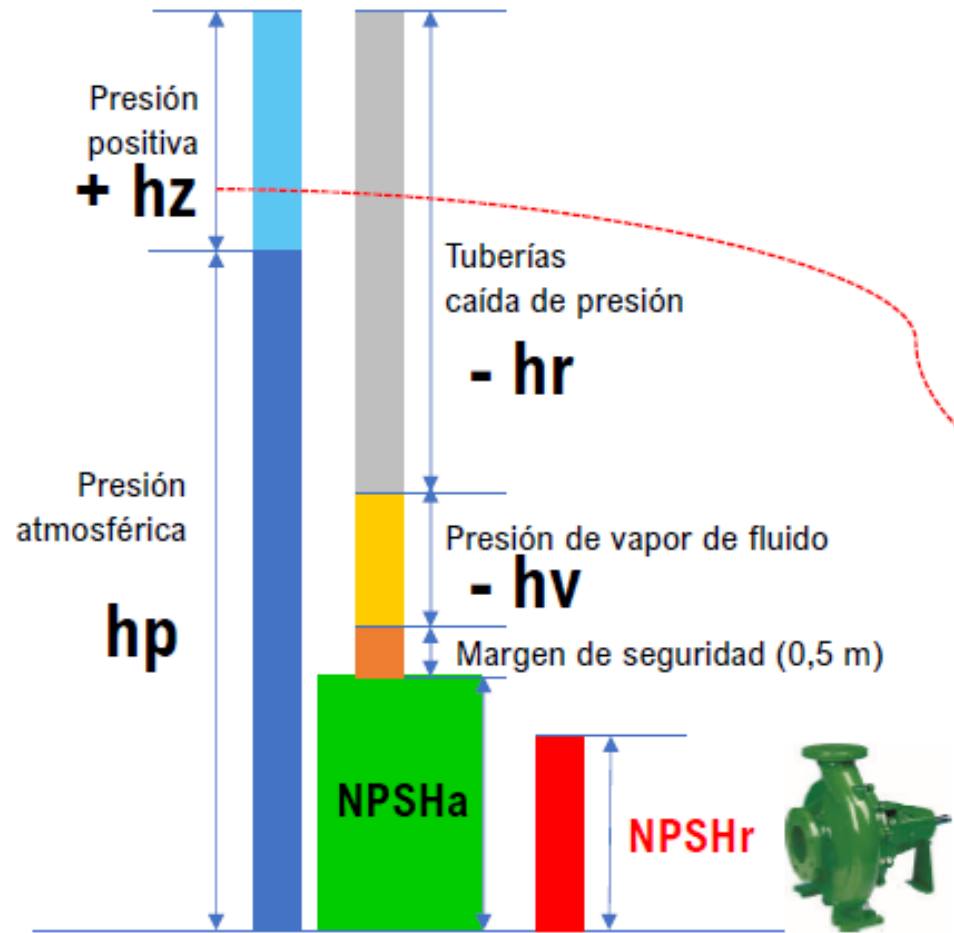
... al punto elegido de trabajo



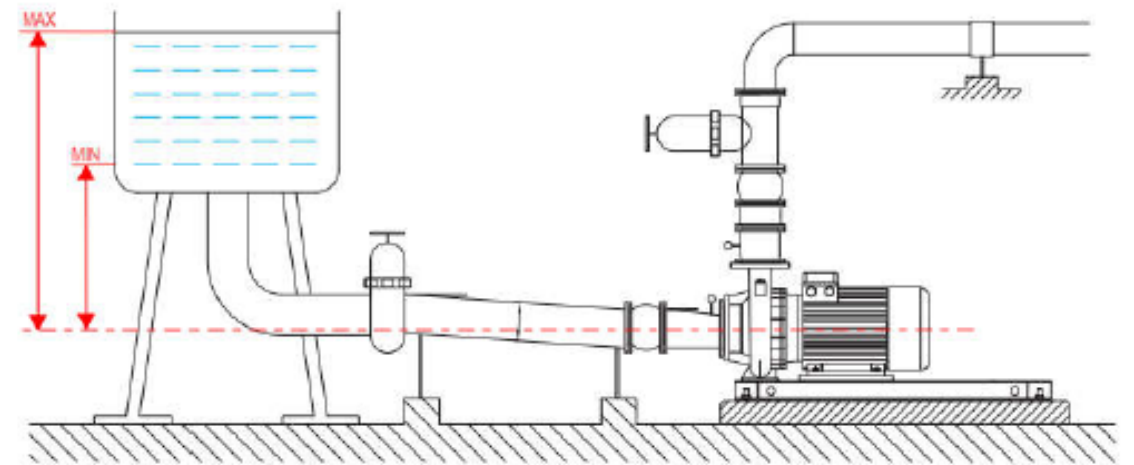
# NPSH



## Succión positiva (sistema abierto)



$$NPSH_a = h_p + h_z - h_v - h_r$$

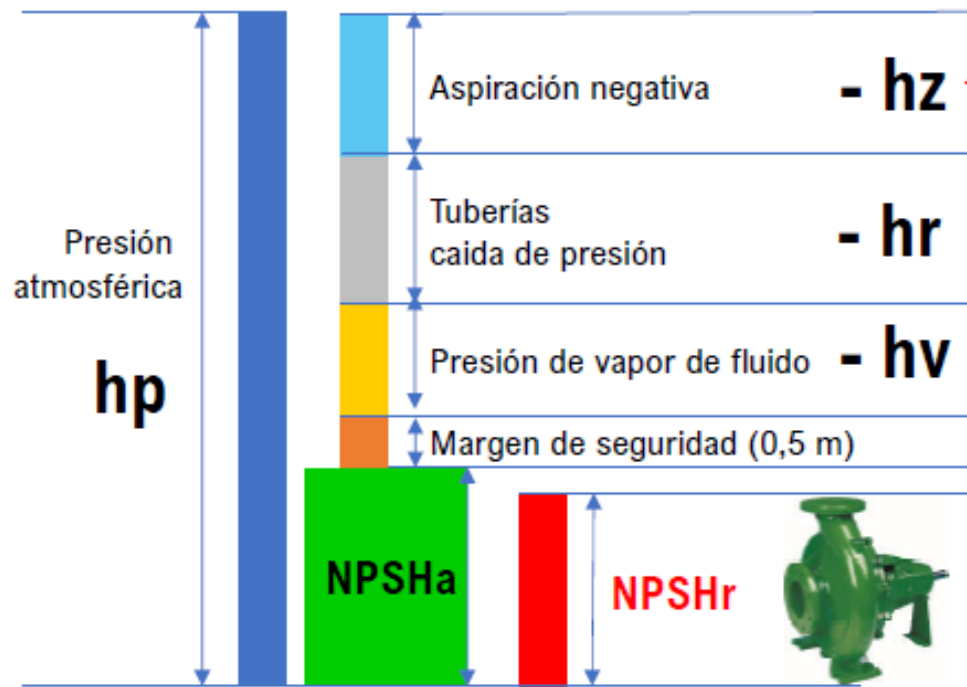


$$NPSH_a > NPSH_r$$

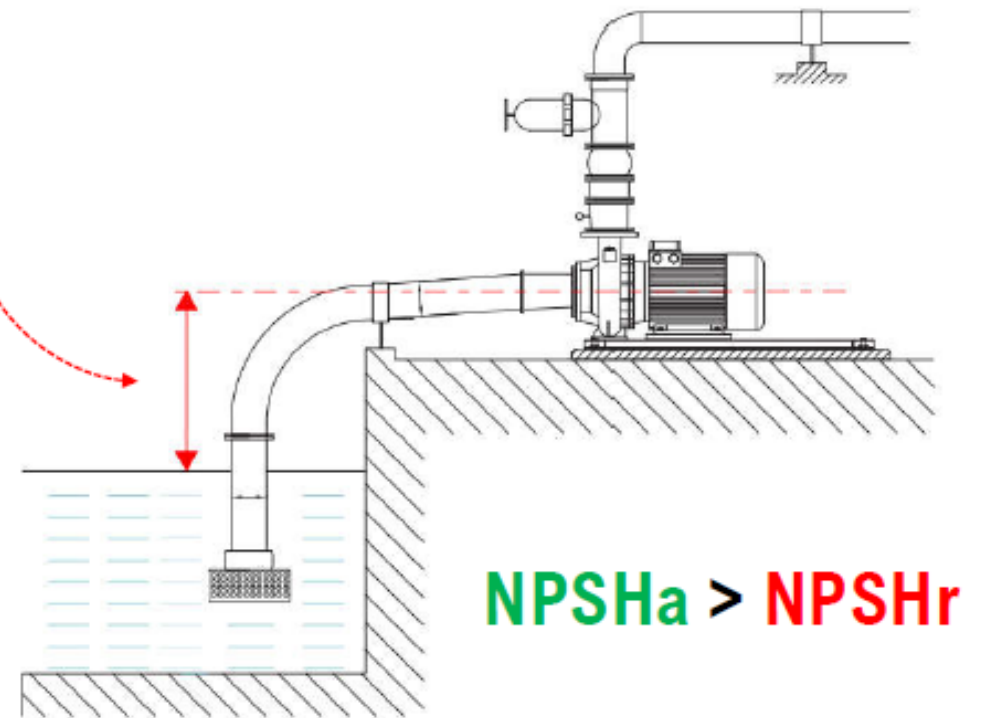
# NPSH



## Succión negativa (sistema abierto)



$$\text{NPSHa} = h_p + h_z - h_v - h_r$$



# Cavitación

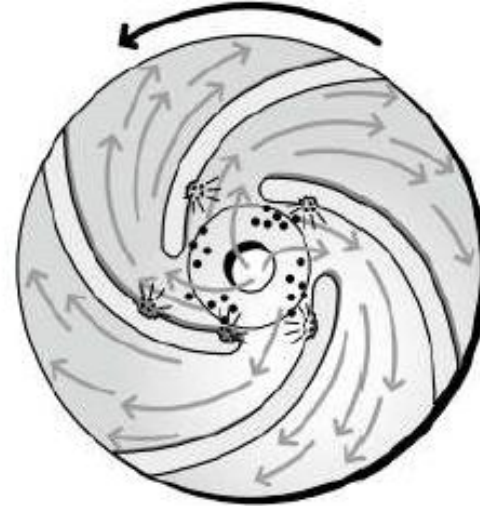


NPSH es un término que describe las condiciones relacionadas con la **cavitación**, que es algo no deseado y perjudicial.

La cavitación es la creación de burbujas de vapor en áreas donde la presión cae localmente a **la presión de vapor del fluido**.

La cavitación generalmente reduce la presión y además causa

**RUIDO y VIBRACIONES.**



$$NPSH_a \leq NPSH_r$$



Cómo la presión de succión varía con la **temperatura** y **altitud** :

Water temperature (°C)	20	40	60	80	90	110	120
Suction loss (m)	0,2	0,7	2,0	5,0	7,4	15,4	21,5
Height above sea level (m)	500	1000	1500	2000	2500	3000	
Suction losses (m)	0,55	1,1	1,65	2,2	2,75	3,3	

# Errores dimensionamiento



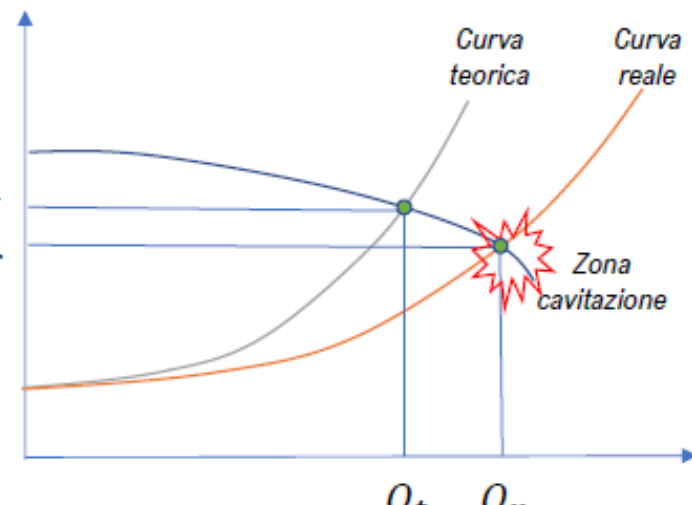
## Error de Dimensionamiento

### Error frecuente en el sobredimensionamiento: altura de la panta

Cuando un sistema está sobredimensionado en la altura (se calculan todas las pérdidas de carga del sistema y se mantienen valores abundantes en la especificación del punto de trabajo = es decir, se requiere una altura mayor).

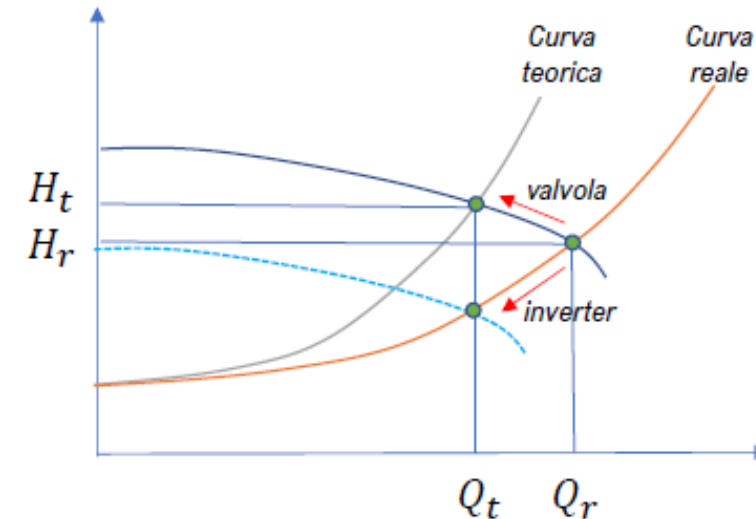
Si la altura real  $H_r$  es entonces menor que la teórica (requerida)  $H_t$  sucede que la bomba se mueve a un punto de trabajo más a la derecha y por lo tanto con un mayor caudal  $Q_r$ .

Si la bomba se ha elegido con el punto de funcionamiento cerca del final de la curva, movendose más a la derecha podría provocar cavitación y dañarse.



Una solución económica es interponer una válvula de regulación que introduce una caída de presión que devuelve el sistema al punto de trabajo teórico, pero bajando la eficiencia del sistema (mayor consumo de energía) - Intervención DISIPATIVA - transforma parte de la energía cinética en energía térmica.

Una alternativa (menos económica) es el uso de un inversor de frecuencia, capaz de mantener **la misma eficiencia** (nivel de consumo de energía) y llevar el sistema al punto deseado reduciendo el número de revoluciones de la bomba. En este caso, es fácil que el costo del inversor se amortice dentro de 1 año de operación (en comparación con el consumo de una válvula de corrección).



Si luego sustancias como P K C se disuelven en el agua ... con cavitación pueden ser sometidas a una reacción química y formar ácido, sometiendo también la bomba a un ataque químico.

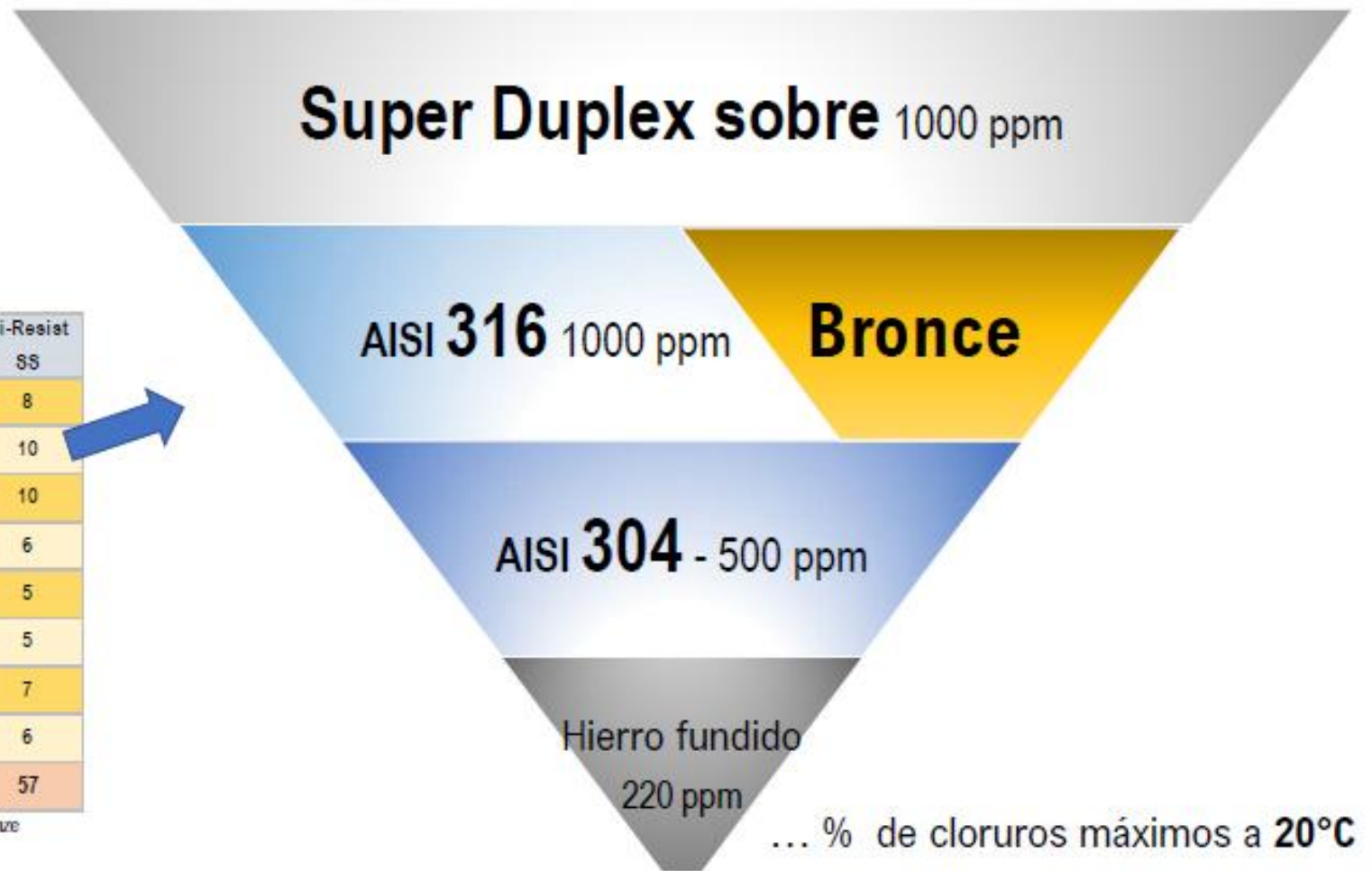
# Materiales



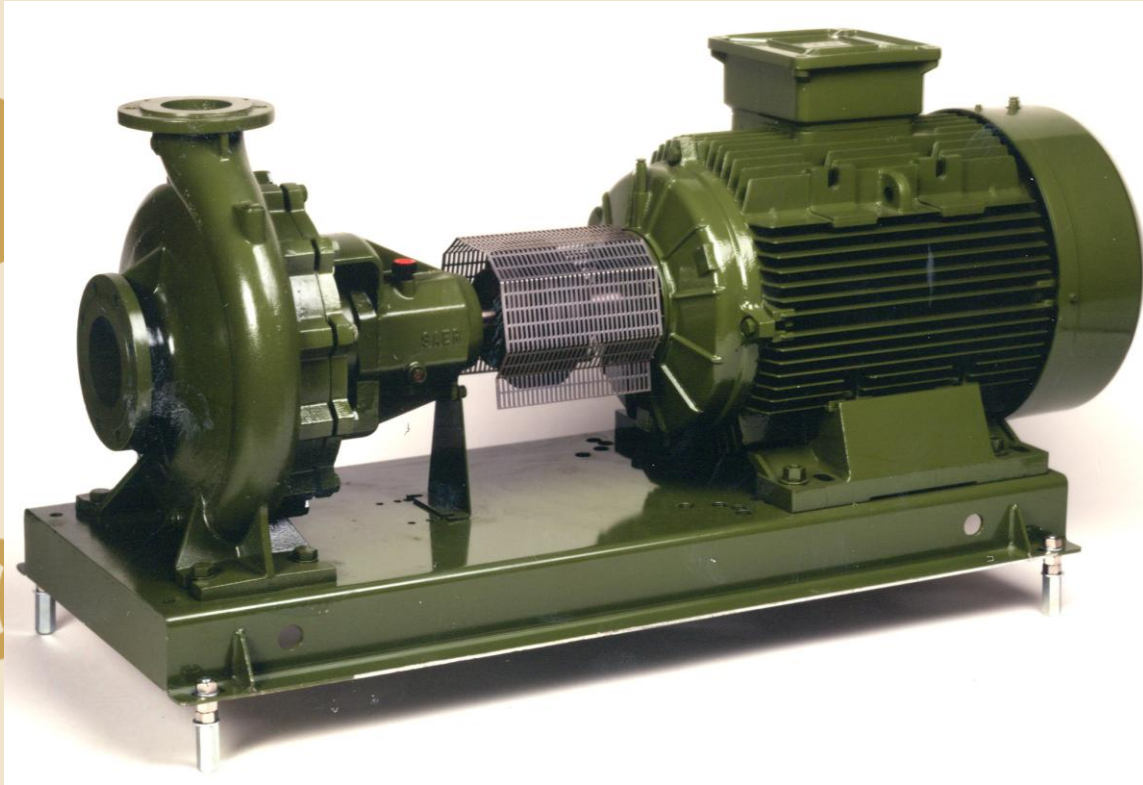
**Atención:** la temperatura afecta mucho la resistencia de la aleación de metal a la corrosión.

Corrosion	Ni-Al Br	Duplex SS	Super Duplex SS	316 SS	Superauste nitic SS	Ni-Resist SS
General	9	10	10	10	10	8
Pitting	10	5	9	4	9	10
Crevice	8	4	8	3	8	10
Erosion	8	10	10	10	10	6
Cavitation	8	8	8	8	8	5
Stress	10	9	9	8	8	5
Polluted Sea Water	4	5	9	4	9	7
Fatigue	9	9	9	6	6	6
<b>TOTAL SCORE</b>	<b>66</b>	<b>60</b>	<b>72</b>	<b>53</b>	<b>68</b>	<b>57</b>

source: Dr J W Oldfield and Dr G L Masters, Collation of Data Comparing Properties of Aluminium Bronze With Cast Stainless Steels and Ni-Resist in Offshore Sea Water Environments 1996



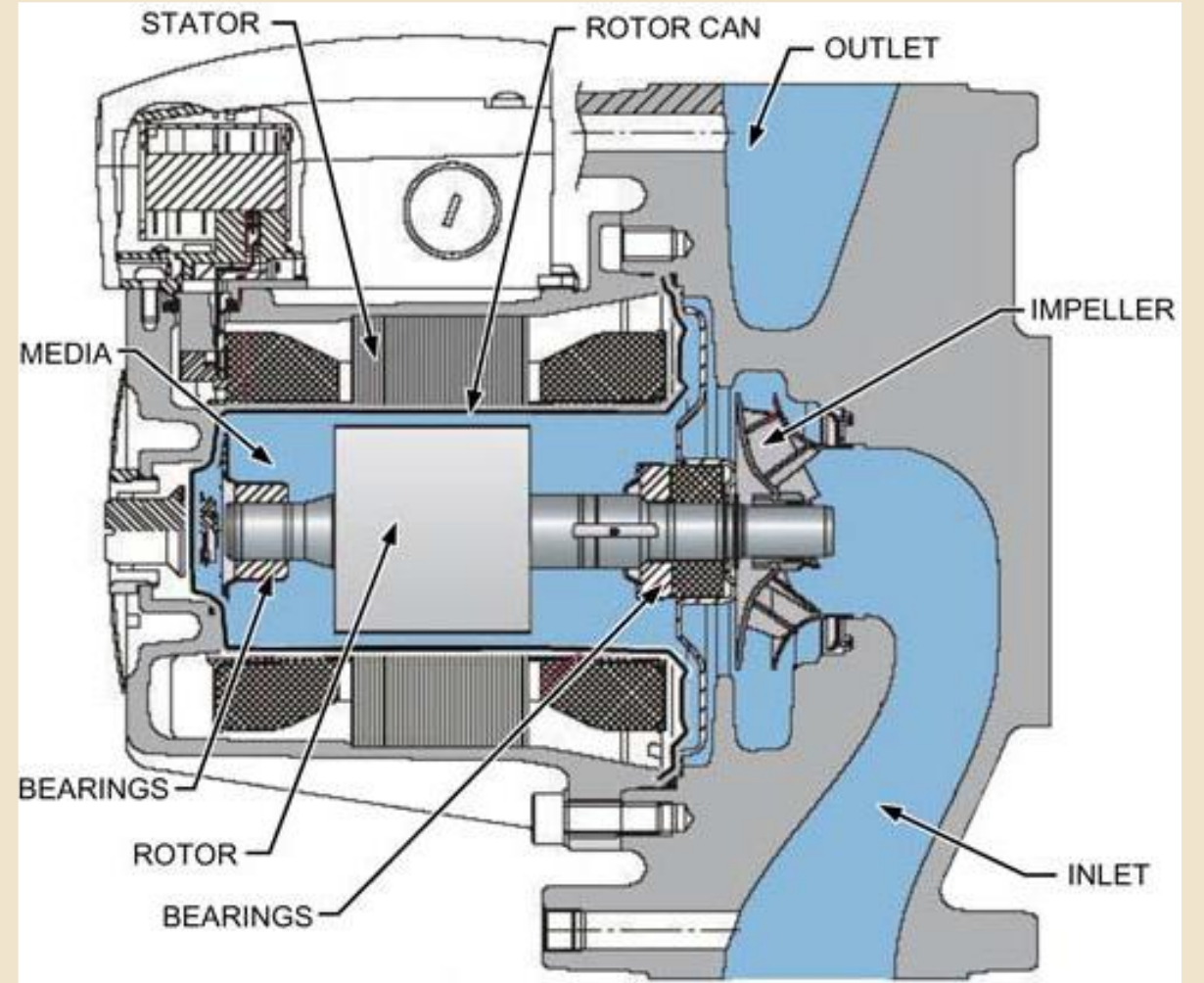
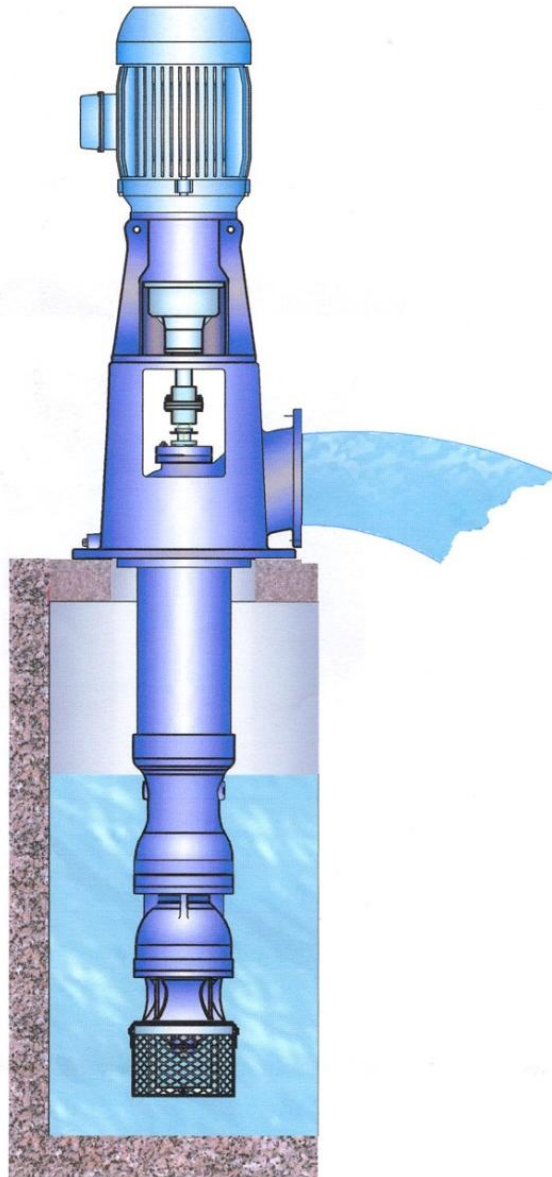
# Tipos de bombas



# Tipos de bombas



# Tipos de bombas







¡GRACIAS!

