

Las transparencias son el material de apoyo del profesor para impartir la clase. No son apuntes de la asignatura. Al alumno le pueden servir como guía para recopilar información (libros, ...) y elaborar sus propios apuntes

En esta presentación se incluye un listado de problemas en el orden en el que se pueden resolver siguiendo el desarrollo de la teoría. Es trabajo del alumno resolverlos y comprobar la solución

Departamento: Ingeniería Eléctrica y Energética
Area: Máquinas y Motores Térmicos

CARLOS J RENEDO renedoc@unican.es
INMACULADA FERNANDEZ DIEGO fernandei@unican.es
JUAN CARCEDO HAYA juan.carcedo@unican.es
FELIX ORTIZ FERNANDEZ felix.ortiz@unican.es

1.1.- Introducción a las Máquinas Hidráulicas

1.2.- Bombas Hidráulicas

1.1.1.- Generalidades de las Bombas Hidráulicas

1.2.2.- Bombas Centrífugas

1.2.3.- Bombas Volumétricas

1.3.- Turbinas Hidráulicas

- Características
- Campos de Aplicación
- Partes
- Rodetes
- La Voluta
- Clasificación
- Curva Característica
- Cebado
- Instalación
- Acoplamiento
- Potencias, Rendimientos y Pérdidas
- Cavitación
- Golpe de Ariete
- Catálogos de Fabricantes
- Leyes de Semejanza
- Número Específico de Revoluciones
- Influencia del Número de Alabes
- Grado de Reacción del Rodete
- Punto de Funcionamiento (I)
- **Punto de Funcionamiento (II)**
- **Selección de una Bomba**

Punto de Funcionamiento (XI):

Los variadores de frecuencia pueden consumir un 10% de la energía de la bomba cuando esta está “parada”

Cuando los elementos de consumo reducen su demanda, las válvulas de control de caudal cierran progresivamente

➤ **Regulación a presión constante**

➤ **Regulación a presión variable**

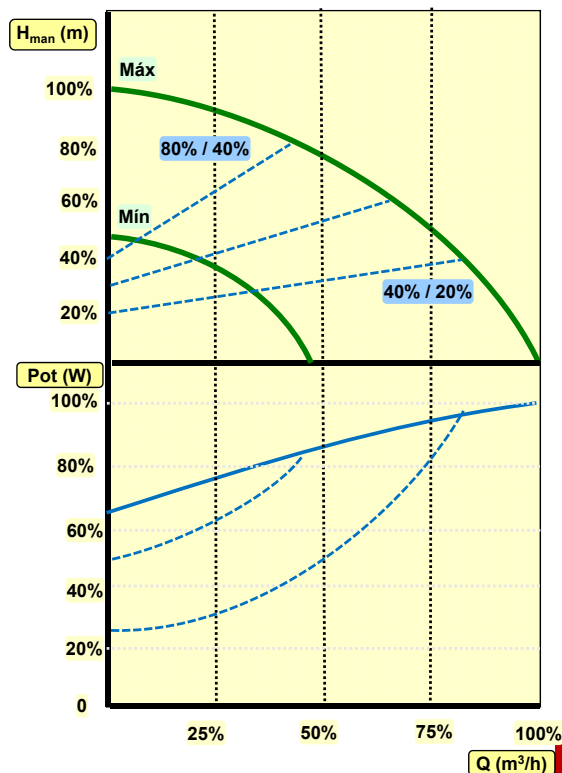
El variador regula el régimen de giro para que la presión suministrada por la bomba se ajuste a la demanda, disminuyendo el consumo energético de la bomba. Se regula entre la $P_{\text{diseño}}$ y su mitad

El cto trabaja con menos presiones y menos ruido que en el caso anterior

Punto de Funcionamiento (XI):

Suponiendo que el rendimiento de la bomba no varía al hacerlo su régimen de giro; es relativamente cierto en la zona de trabajo recomendada

$$\text{Pot} = \gamma \cdot Q \cdot H \cdot \eta$$

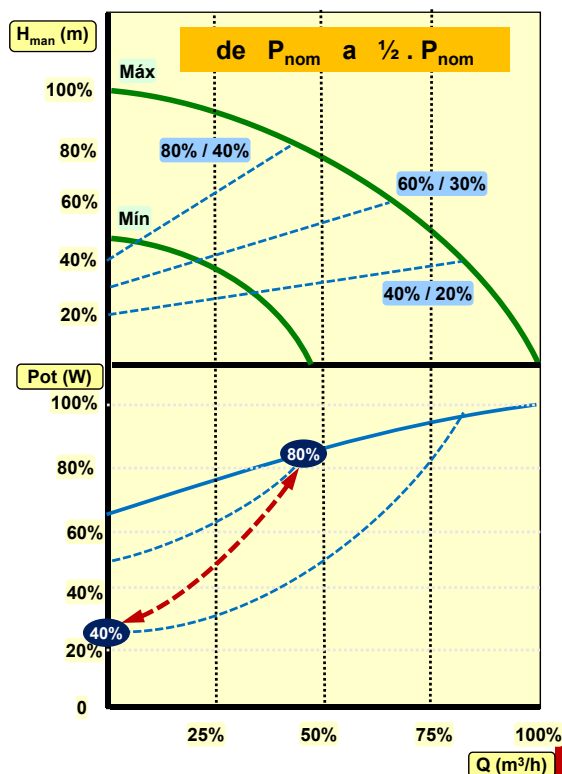


Punto de Funcionamiento (XI):

Suponiendo que el rendimiento de la bomba no varía al hacerlo su régimen de giro; es relativamente cierto en la zona de trabajo recomendada

$$\text{Pot} = \gamma \cdot Q \cdot H \cdot \eta$$

Este método es una mera aproximación

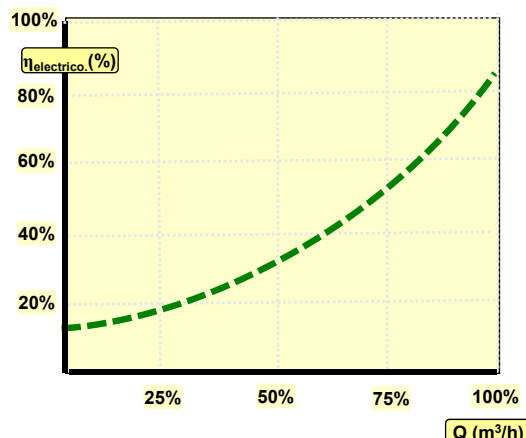


Punto de Funcionamiento (XII):

Habría que considerar el rendimiento de motor y del convertidor electrónico de frecuencia

Esto implica pérdidas de potencia, que habría que sumárselas a la demanda por la bomba

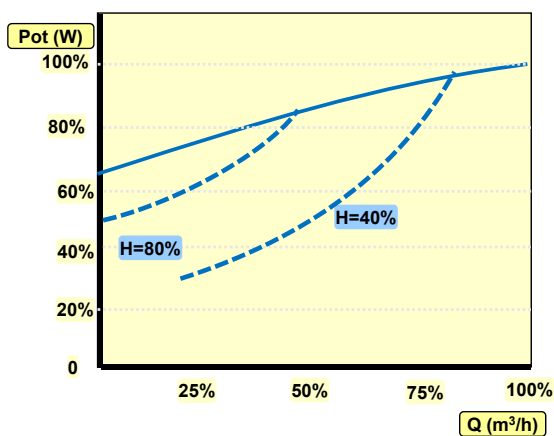
La combinación de la curva característica del regulador de velocidad con la de la potencia demandada por la bomba con control de presión, hacen que en esta situación la potencia demandada por la electrobomba se asemeje más a rectas que a parábolas



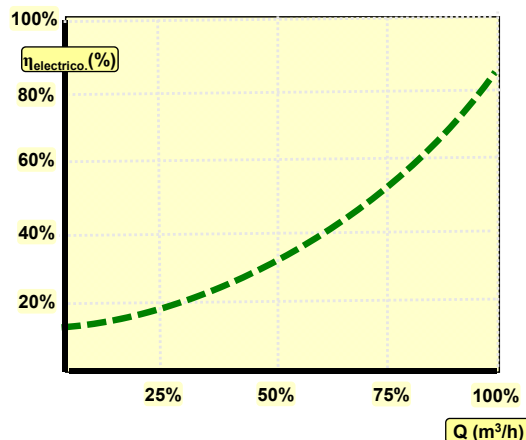
$$Pot = \gamma \cdot Q \cdot H \cdot \eta$$

Punto de Funcionamiento (XII):

• a P cte

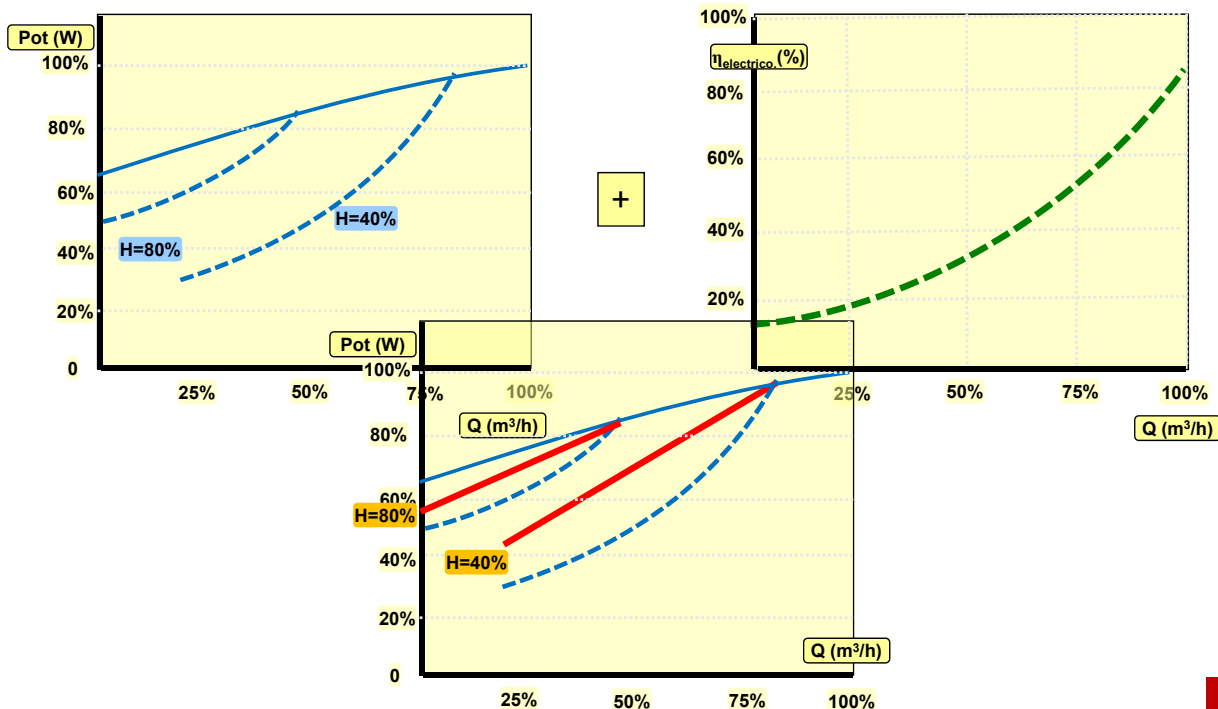


+



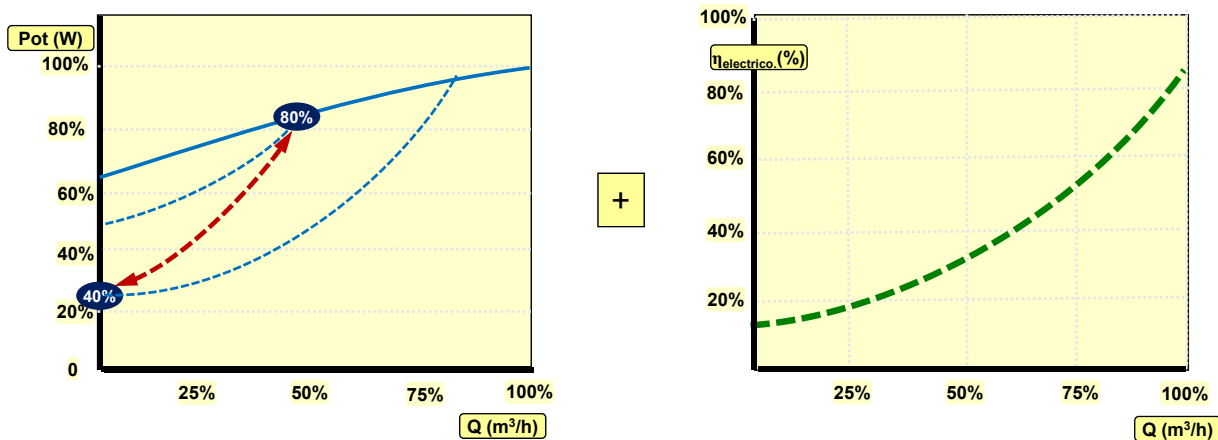
Punto de Funcionamiento (XII):

• a P cte



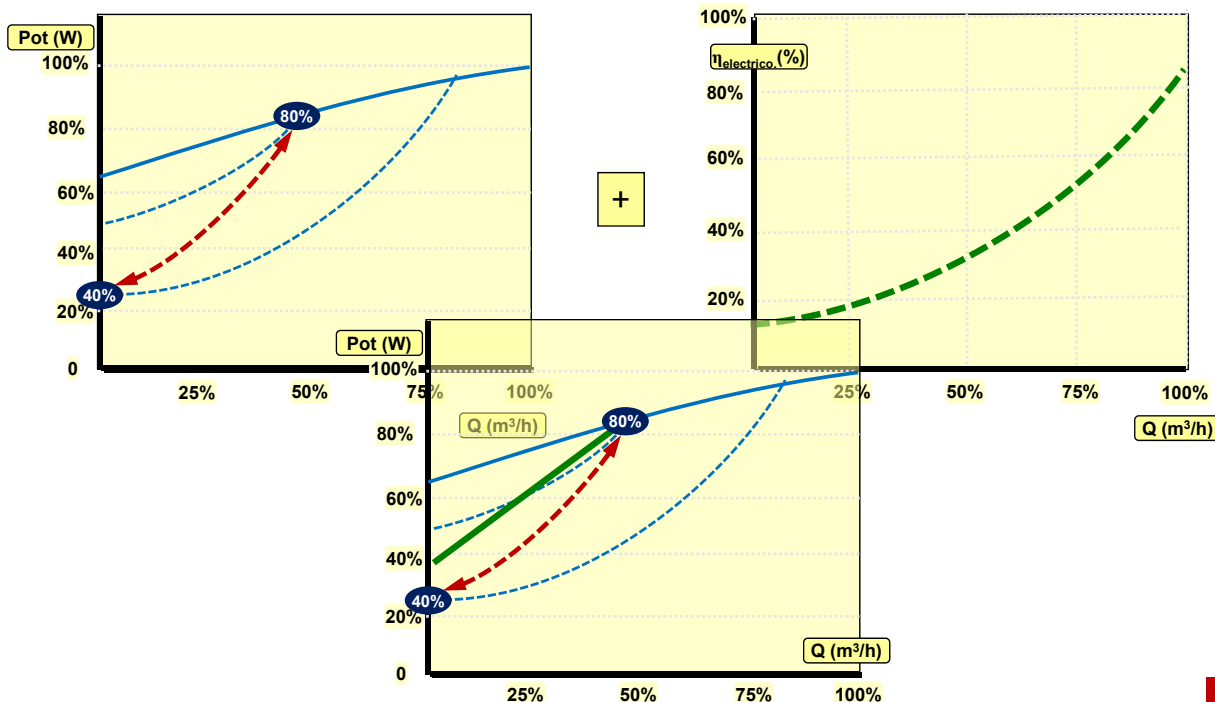
Punto de Funcionamiento (XII):

• a P variable

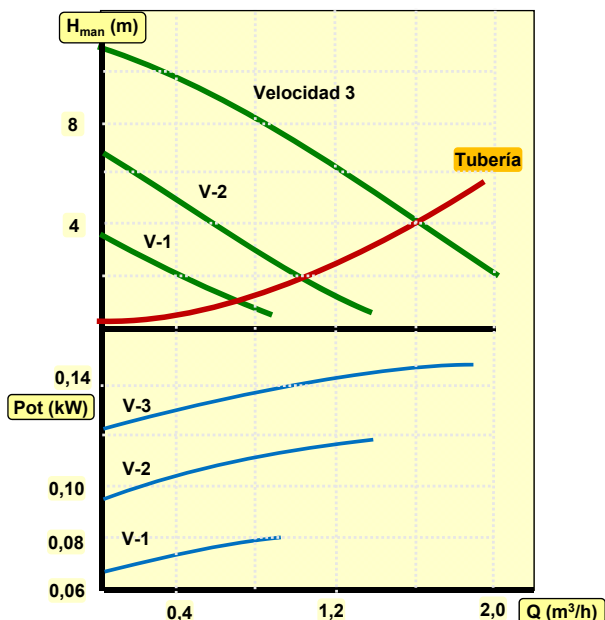


Punto de Funcionamiento (XII):

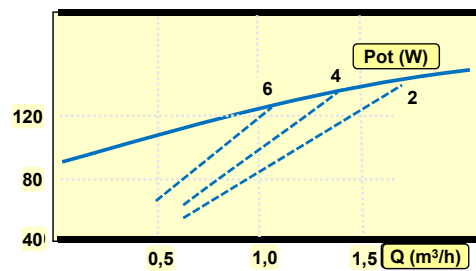
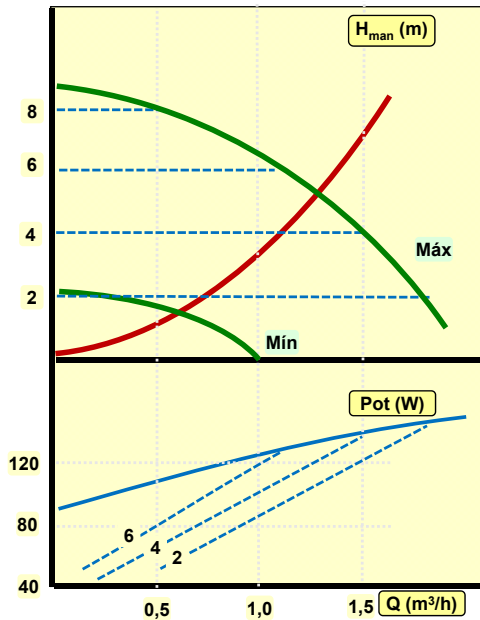
- a P variable



El manómetro a la entrada de una bomba marca 1,5 bar y el de salida 1,89. Determinar el caudal suministrado y analizar las posibilidades de regulación de la instalación si el caudal que se desea para la instalación es de 1.200 l/h



El pto de funcionamiento de una bomba es 1.300 l/h, 5,2 m.c.a. y Pot = 132 W. Calcular el nuevo pto de funcionamiento si se cambia la curva del sistema haciéndose más resistente

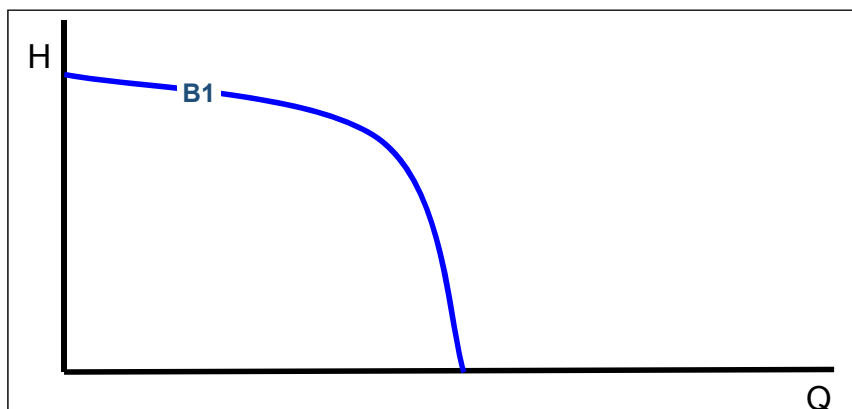


13

Punto de Funcionamiento (XIII):

El reparto de caudales cuando se acoplan dos bombas en paralelo (I):

- Se dibuja la curva característica de una de las bombas

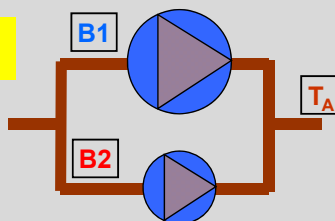


14

Acoplamiento de Bombas (II):

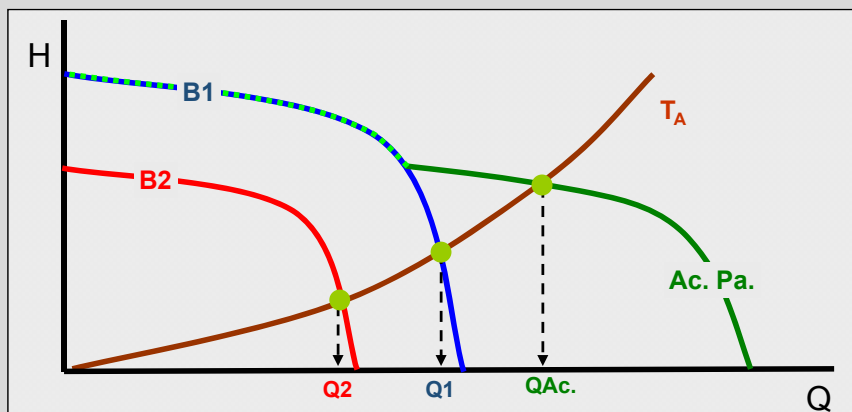
Paralelo: "suma caudales"

La presión suministrada por las dos bombas es la misma



$Q_{Ac} < Q_1 + Q_2$

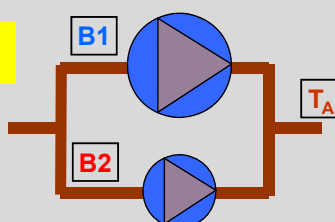
El caudal resultante al enfrentar el acoplamiento a la misma tubería que cada una de las bombas individualmente, es menor que la suma de los caudales de las bombas individuales



Acoplamiento de Bombas (II):

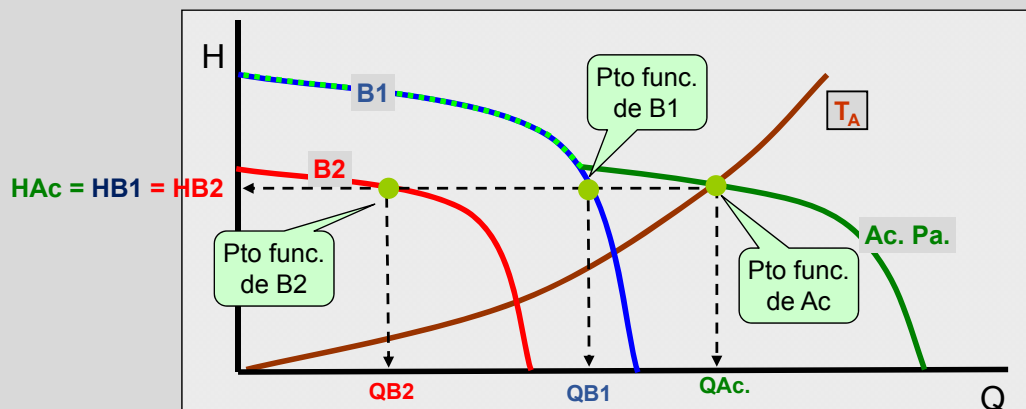
Paralelo: "suma caudales"

El caudal suministrado por cada bomba: Q_{B1} y Q_{B2}



$Q_{Ac} < Q_1 + Q_2$

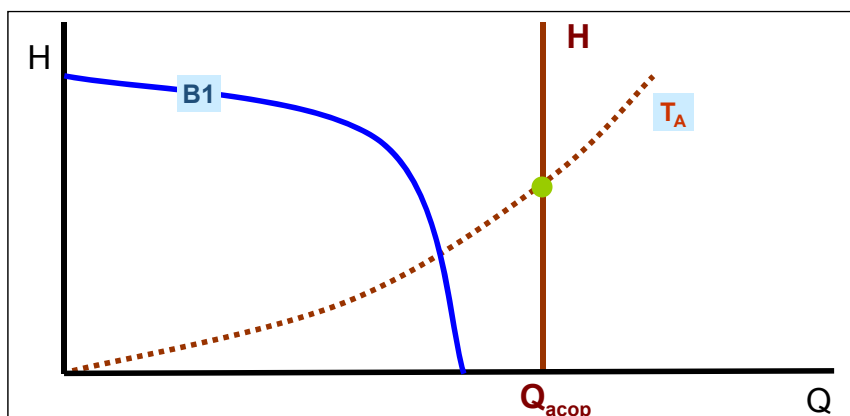
$Q_{Ac} = Q_{B1} + Q_{B2}$



Punto de Funcionamiento (XIV):

El reparto de caudales cuando se acoplan dos bombas en paralelo (I):

- Se dibuja la curva característica de una de las bombas
- Se traza un eje auxiliar en el caudal a suministrar por el acoplamiento

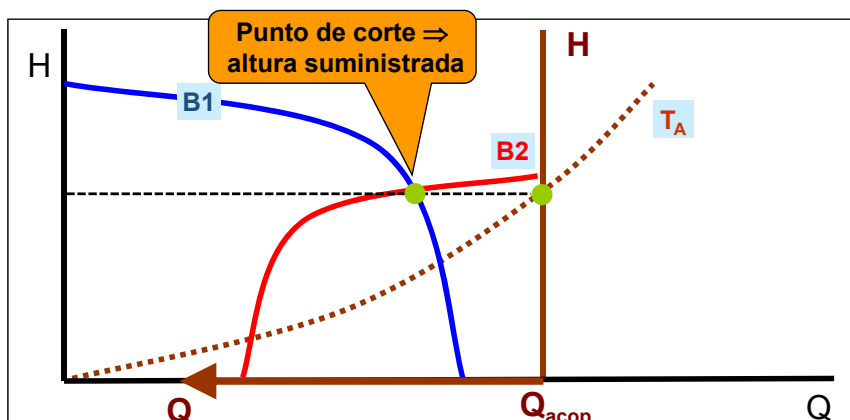


17

Punto de Funcionamiento (XV):

El reparto de caudales cuando se acoplan dos bombas en paralelo (I):

- Se dibuja la curva característica de una de las bombas
- Se traza un eje auxiliar en el caudal a suministrar por el acoplamiento
- Se dibuja la curva de la otra bomba en el "sentido inverso" desde el eje

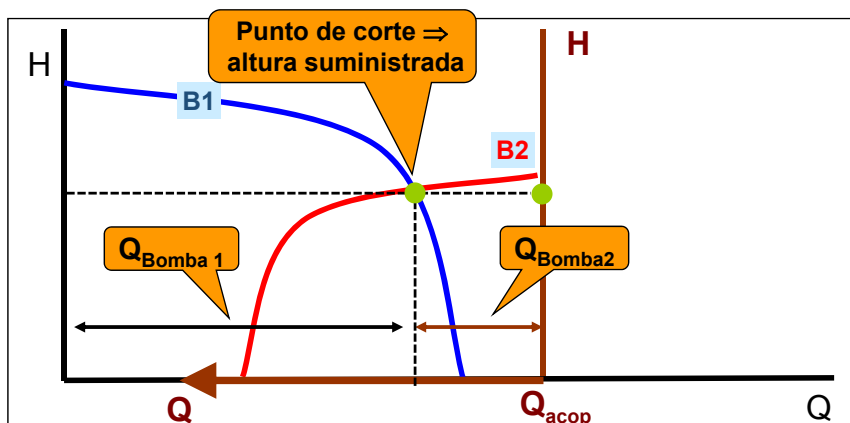


18

Punto de Funcionamiento (XVI):

El reparto de caudales cuando se acoplan dos bombas en paralelo (I):

- Se dibuja la curva característica de una de las bombas
- Se traza un eje auxiliar en el caudal a suministrar por el acoplamiento
- Se dibuja la curva de la otra bomba en el "sentido inverso" desde el eje

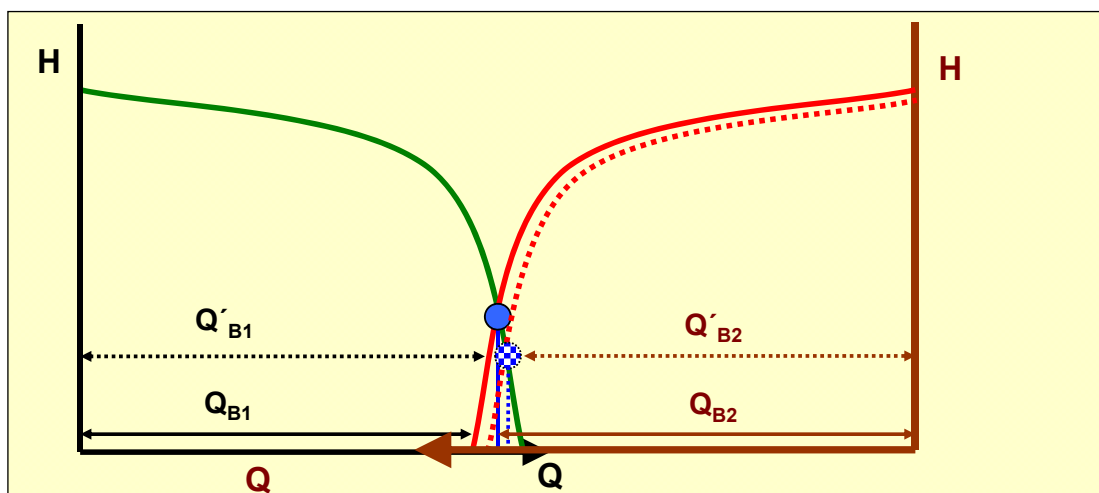


19

Punto de Funcionamiento (XVII):

El reparto de caudales cuando se acoplan dos bombas en paralelo (II):

- Si se cortan en una zona "abrupta" ligeras variaciones en el funcionamiento de una bomba no afectan significativamente al caudal que suministra cada una de las bombas

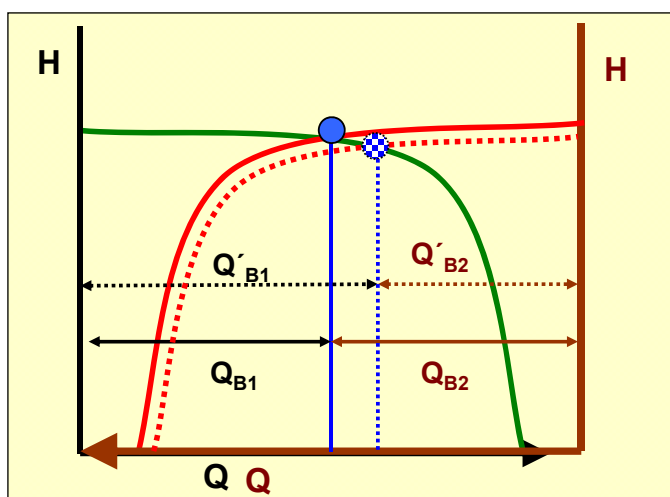


20

Punto de Funcionamiento (XVIII):

El reparto de caudales cuando se acoplan dos bombas en paralelo (II):

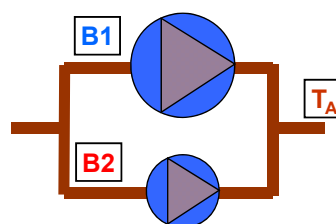
- Si se cortan en una zona “plana” ligeras variaciones en el funcionamiento de una bomba afectan de manera importante al caudal que suministra cada una de las bombas **(y con ello al rendimiento)**



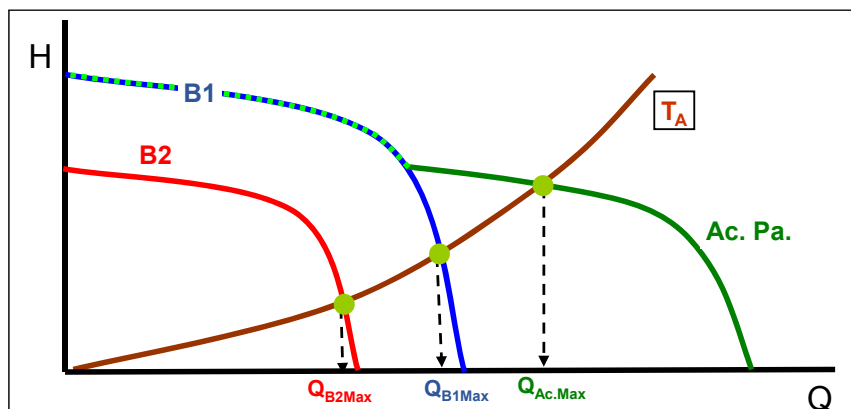
21

Punto de Funcionamiento (XIX):

**Si se acoplan en Paralelo:
dos bombas distintas**



En la tubería cada bomba, o el acoplamiento, puede suministrar un caudal máximo

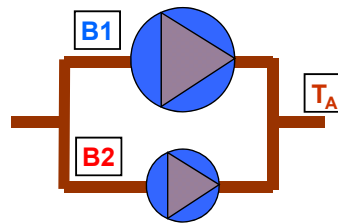


En cada tramo de Q se deben hacer funcionar diferentes bombas

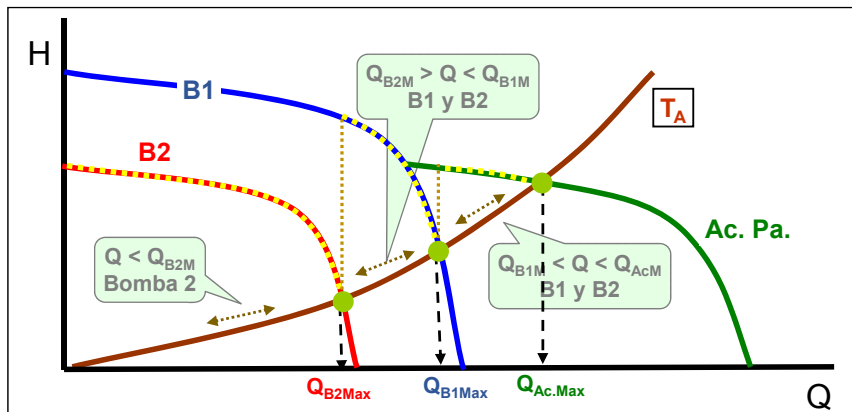
22

Punto de Funcionamiento (XIX):

*Si se acoplan en Paralelo:
dos bombas distintas*



En la tubería cada bomba, o el acoplamiento, puede suministrar un caudal máximo



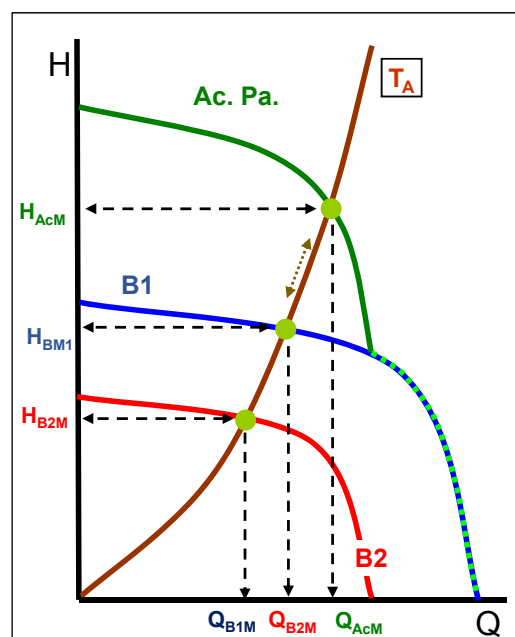
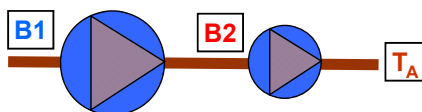
En cada tramo de Q se deben hacer funcionar diferentes bombas

23

Punto de Funcionamiento (XX):

*Si se acoplan en Serie:
dos bombas distintas*

En la tubería cada bomba, o el acoplamiento de éstas, puede suministrar un caudal máximo



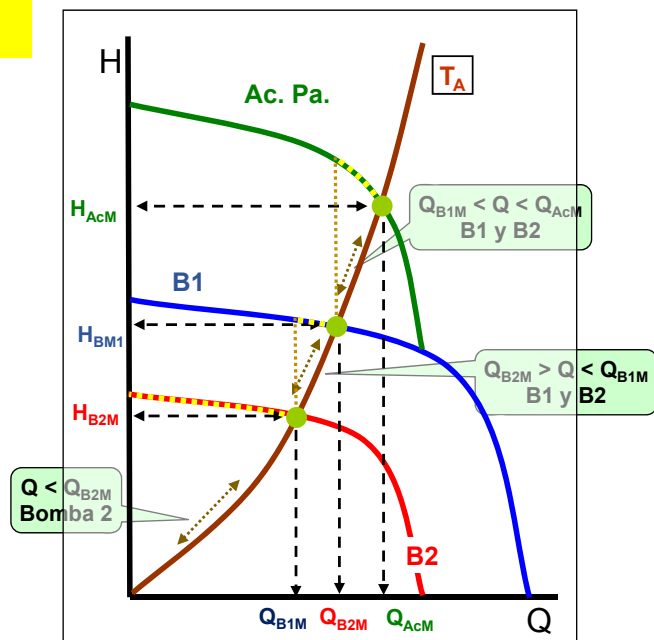
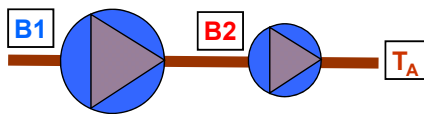
En cada tramo de Q se deben hacer funcionar diferentes bombas

24

Punto de Funcionamiento (XX):

*Si se acoplan en Serie:
dos bombas distintas*

En la tubería cada bomba, o el acoplamiento de éstas, puede suministrar un caudal máximo

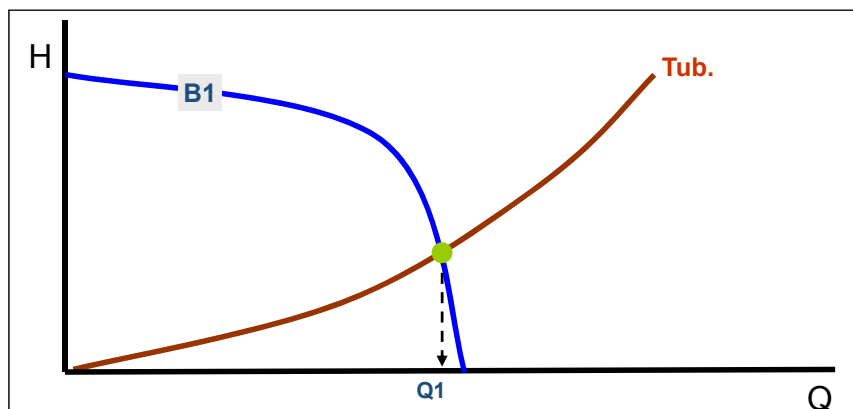
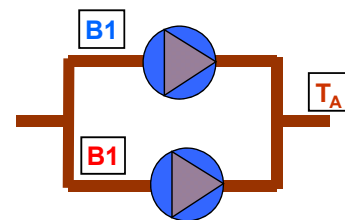


En cada tramo de Q se deben hacer funcionar diferentes bombas

25

Punto de Funcionamiento (XXI):

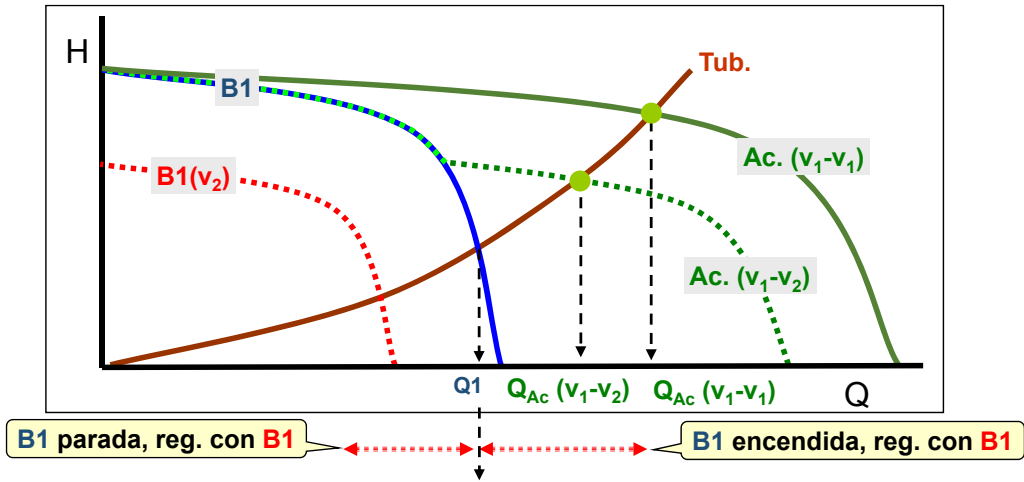
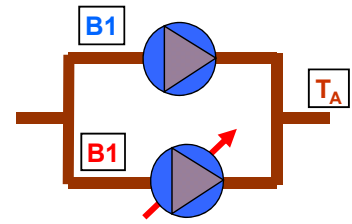
El mejor rendimiento energético de un sistema de bombeo para caudales variables se puede alcanzar acoplando dos bombas en paralelo, si una (o las dos) incorpora un sistema de regulación de su velocidad



26

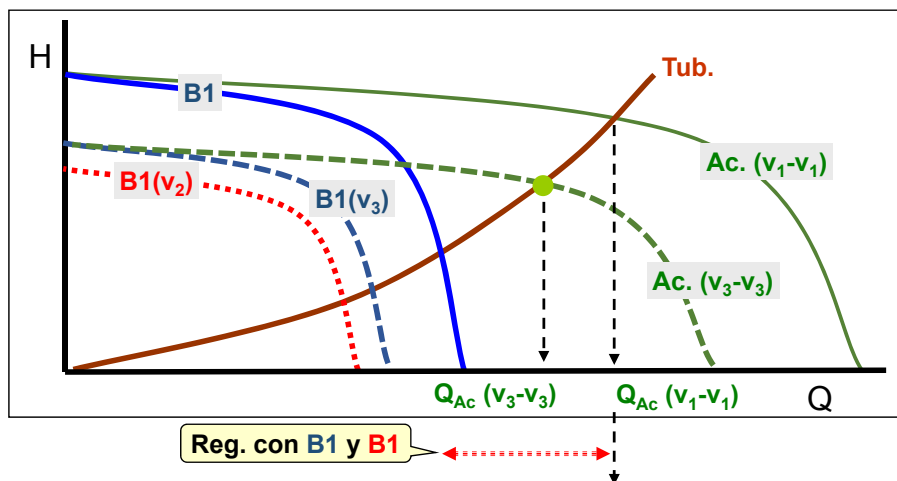
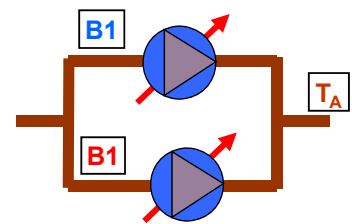
Punto de Funcionamiento (XXI):

El mejor rendimiento energético de un sistema de bombeo para caudales variables se puede alcanzar acoplando dos bombas en paralelo, si una (o las dos) incorpora un sistema de regulación de su velocidad



Punto de Funcionamiento (XXI):

El mejor rendimiento energético de un sistema de bombeo para caudales variables se puede alcanzar acoplando dos bombas en paralelo, si una (o las dos) incorpora un sistema de regulación de su velocidad





Selección de una Bomba (I):

Costes típicos del ciclo vital

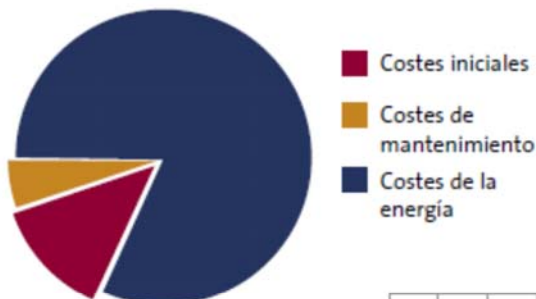


Fig. 5.1.2: Costes típicos del ciclo vital de un sistema circulante para la industria

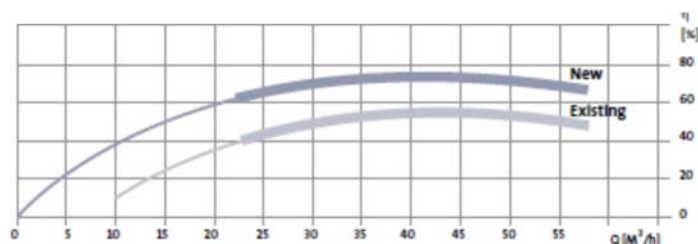


Fig. 5.1.6: Comparación del rendimiento de una bomba nueva y una existente



Selección de una Bomba (I):

Costes típicos del ciclo vital

Los costes del ciclo vital (LCC) constan de los siguientes elementos:

- C_{inic} Costes iniciales, precio de adquisición
- C_{inst} Costes de instalación y puesta en marcha
- C_{ene} Costes de energía
- C_{ope} Costes de funcionamiento (costes operativos)
- C_{man} Costes de mantenimiento y reparación
- C_{stop} Costes de paralización (pérdidas de producción)
- C_{amb} Costes medioambientales
- C_{des} Costes de desmantelamiento, retirada del servicio y eliminación

Fig. 5.1.2: $LCC = C_{inic} + C_{inst} + C_{ene} + C_{ope} + C_{man} + C_{stop} + C_{amb} + C_{des}$
Costes típicos del ciclo vital de un sistema circulante para la industria

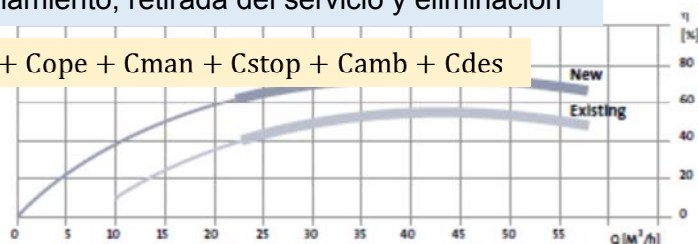
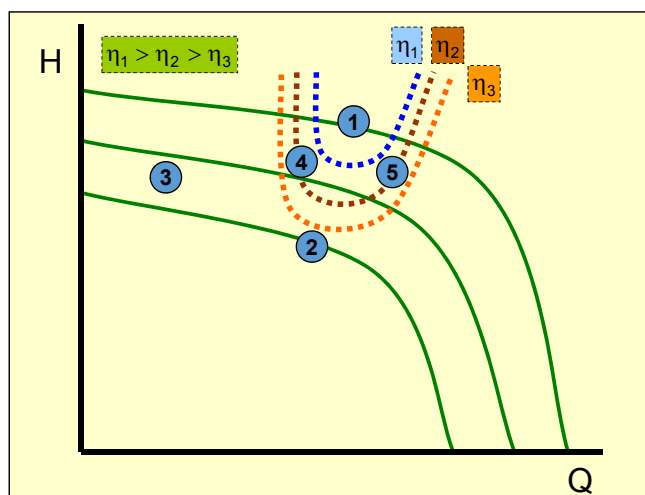


Fig. 5.1.6: Comparación del rendimiento de una bomba nueva y una existente

Selección de una Bomba (II):

Si se selecciona una bomba para trabajar en el pto:

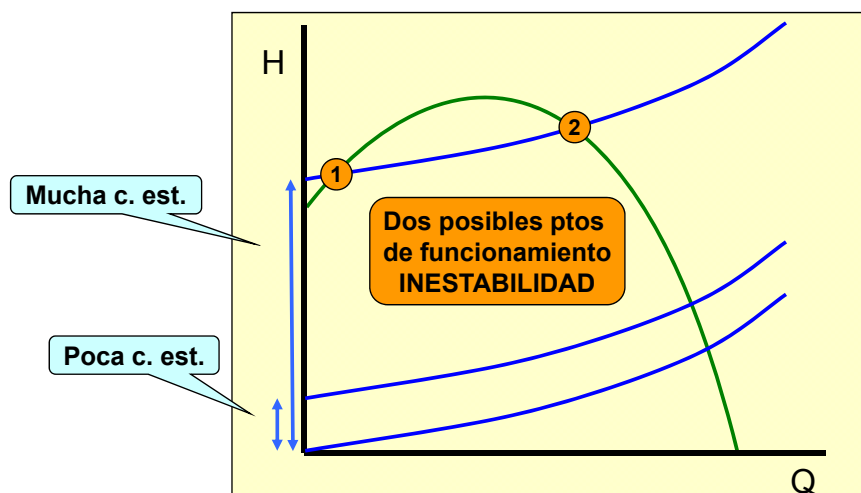


- 1) En la curva del η_{\max} del impulsor
La bomba no tiene posibilidades de incrementar su caudal o altura
- 2) En la curva del η_{\min} del impulsor
La bomba está sobredimensionada, por lo que resultará muy cara y el η será bajo
- 3) Muy a la izda del pto de η_{\max}
La bomba está sobredimensionada, por lo que resultará muy cara y el η será bajo
- 4) A la izda del pto de η_{\max}
Si se requiere más caudal o presión se puede colocar un rodete de mayor Φ , y se mejorará el rendimiento
- 5) A la dcha del pto de η_{\max}
Bomba "subdimensionada", difícilmente se podrá aumentar el caudal o la altura

31

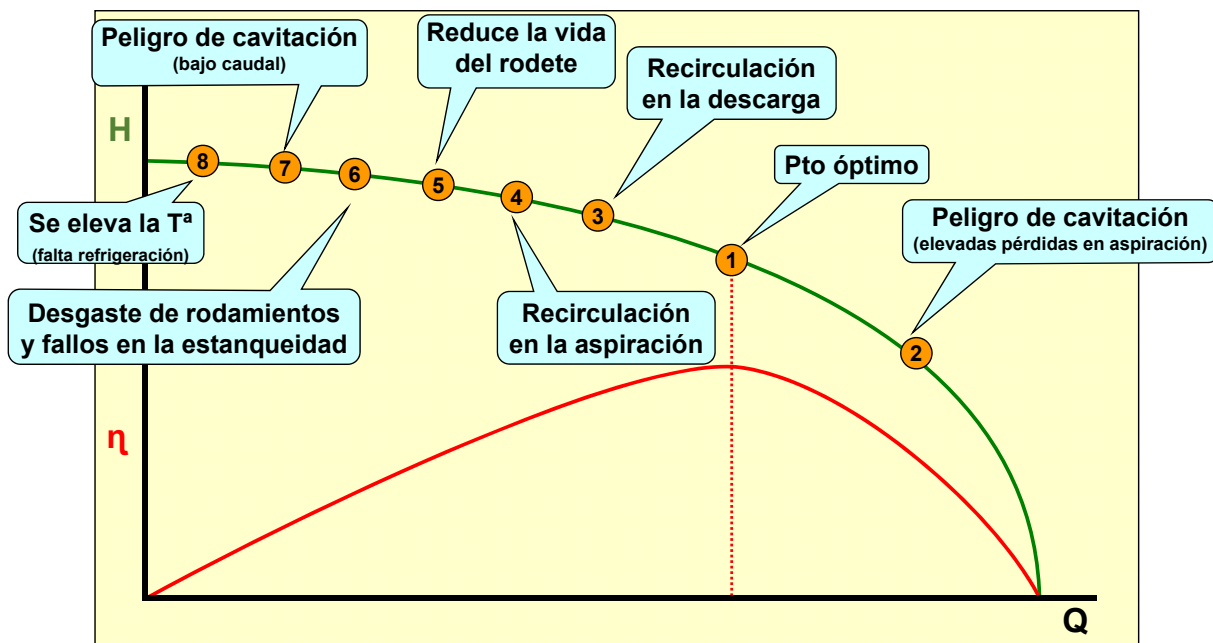
Selección de una Bomba (III):

Si la curva característica de la bomba (H-Q) tiene un máximo, hay que tener cuidado si la curva de la tubería tiene una gran componente de carga estática



32

Selección de una Bomba (IV):



Selección de una Bomba (V):

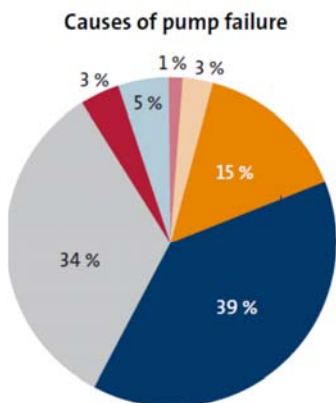
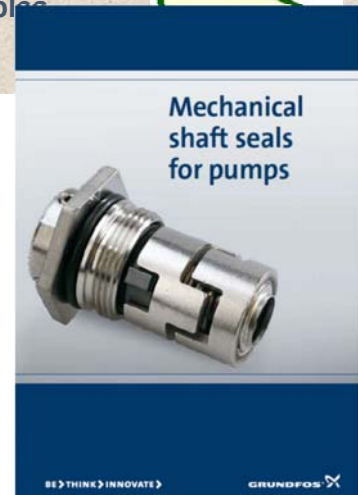


Fig. 5.1: Analysis of pump failure. Mechanical seals account for 39 % of pump failures. [1]

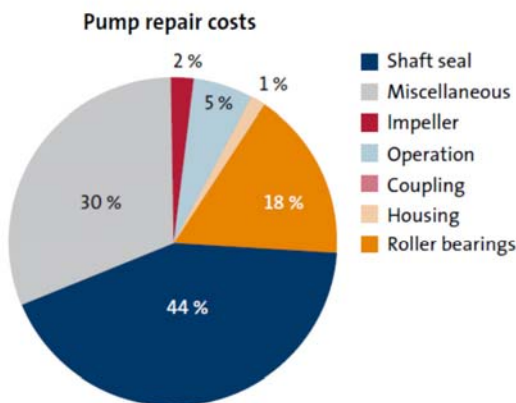


Fig. 5.2: Analysis of pump repair costs. Mechanical seals account for 44 % of pump repair costs. [1]

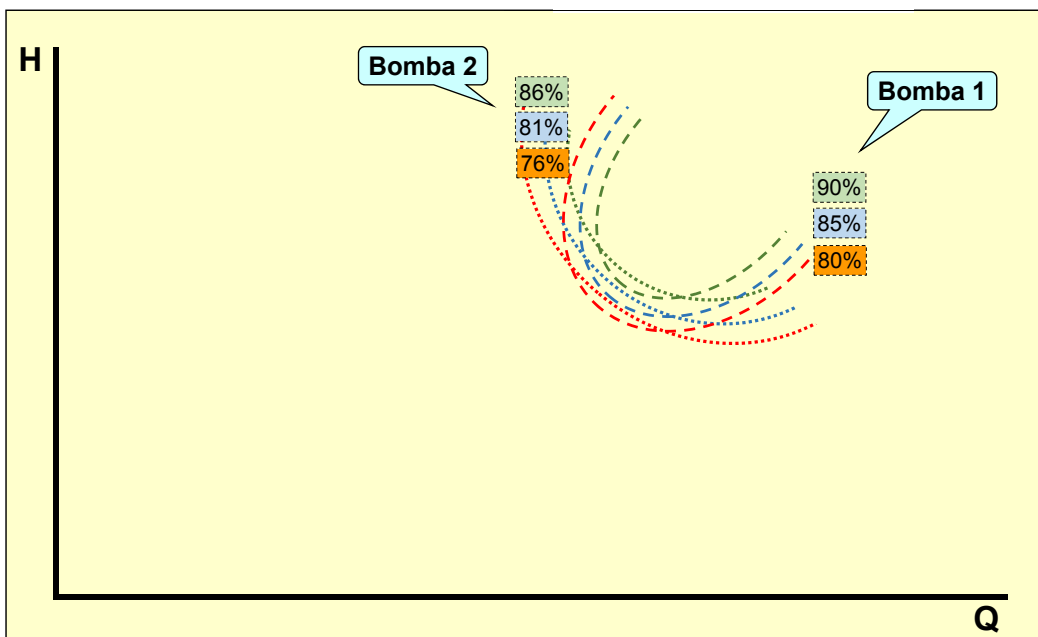
[1] <http://www.sante.gouv.fr>

Shaft : **Selección de una Bomba (VI):**

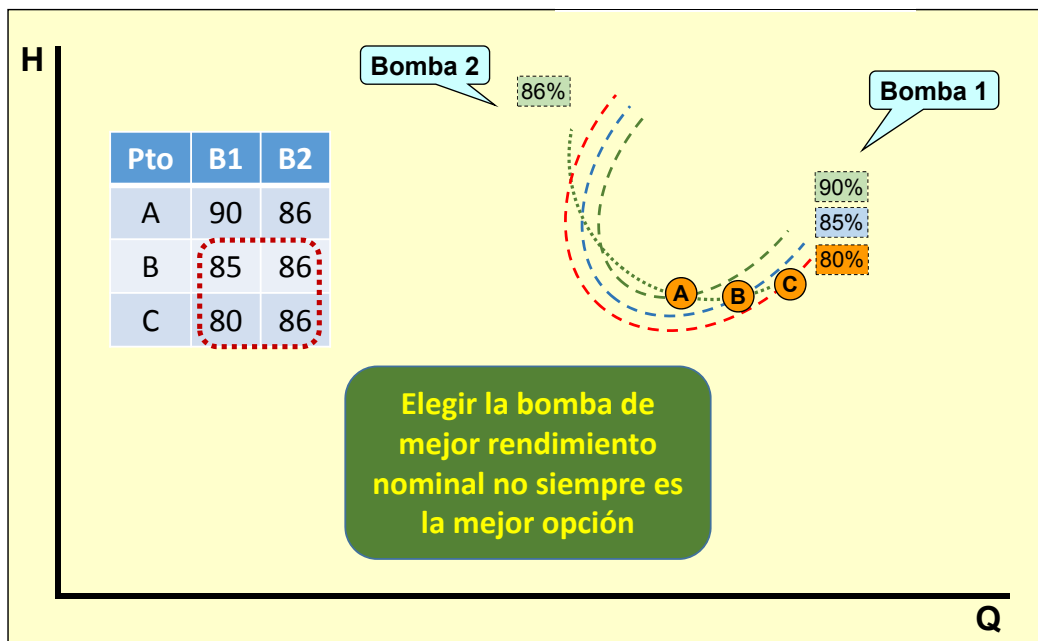
Component	Result of visual inspection	Possible causes of shaft seal failure													Other				
		Plant/process influence				Poor thermal control		Incorrect installation			System faults								
		Poor lubrication	Cleaning (treatment)	Contamination	Corrosion (chemical attack)	Cooling	Heating	Assembly	Fitting	Misalignment	Flow	Pressure	Temperature	Poor venting		Vibration			
Complete shaft seal	Clogged Good condition Hang-up Noise Sticking	13		15/17/41 1 1		1 1 20	1 1 15	2/19	2						1 15/35	13	1 36	1 16	
Seal rings (1) - (2)	Chipped edges Cracked/fractured Deposits outside seal faces Etched/decomposed Pitted Scored/scuffed/galled Wear track: No track Blistered/flaked Deposits Excentric Grooved Incomplete track Matted Narrow or wide Normal Thermal cracks Wear on atmospheric side Wear on pumped medium side	3 13/24 20		1/17/38 11 11	11 11				10 10						4 11			3 16	16 16
	Elastomers	3	11					10/19	25					4		13	3		
Metal parts	Cracked/fractured Deformed Discoloured Etched/decomposed Pitted Worn	3	11 5/11 11	34 34	34 34			19 7/37 19	7 32	26			13/29 13	13 13	3		16		
	Shaft/sleeve	13	11 11		11 11			10	10	26			29		29		16		

(1) Rotating seal ring (2) Stationary seat (3) Dynamic O-rings (4) Stationary O-rings

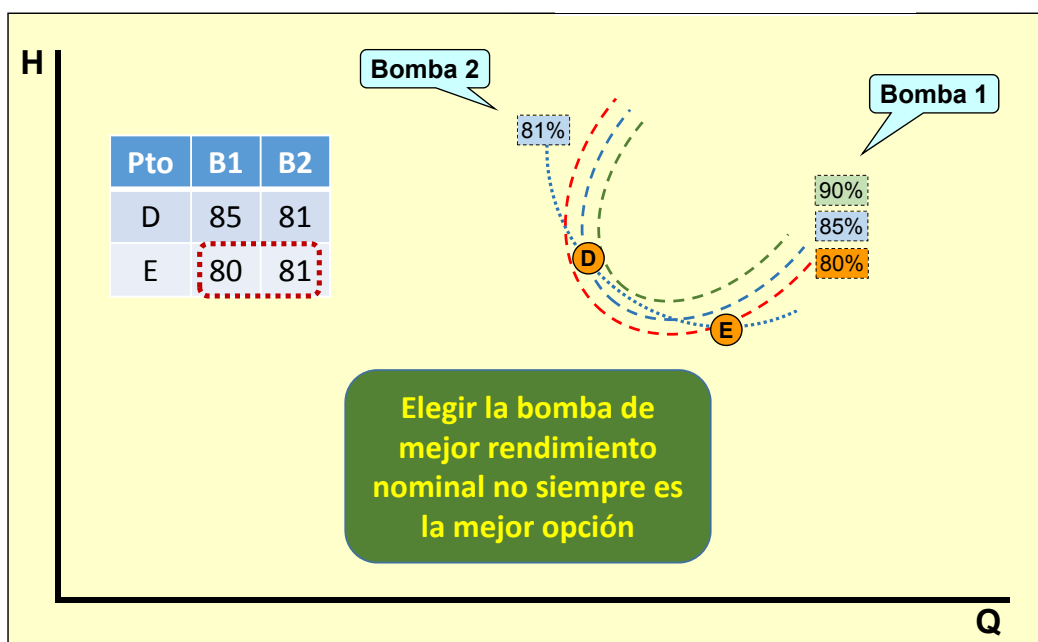
Selección de una Bomba (VII):



Selección de una Bomba (VII):

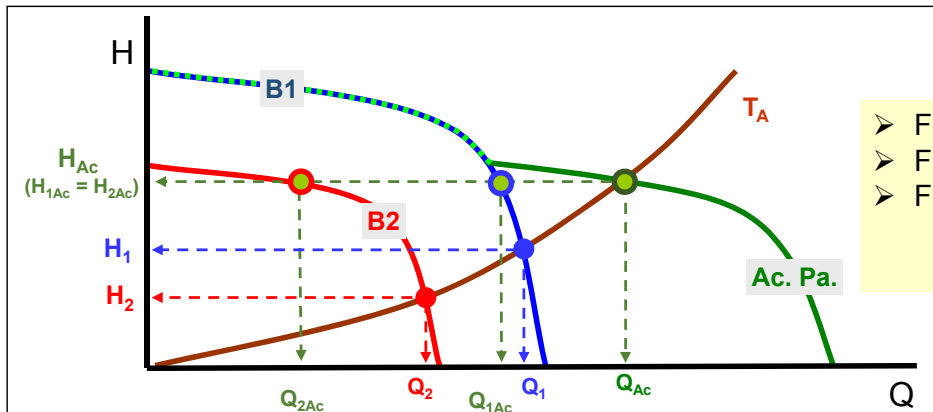
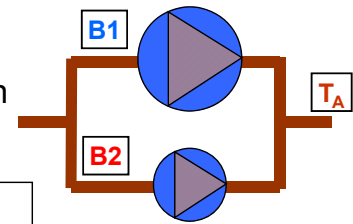


Selección de una Bomba (VII):



Selección de una Bomba (VIII):

Si van a trabajar varias bombas en paralelo, y funcionan una solo o varias en función de la demanda de caudal



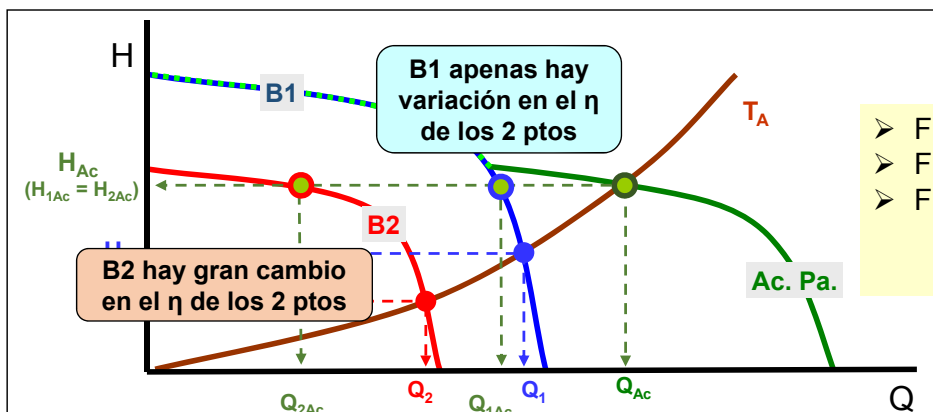
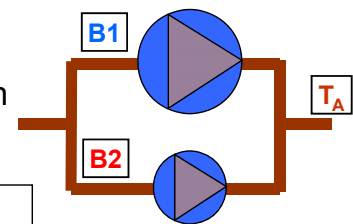
- Funciona sólo B1: Q_1
- Funciona sólo B2: Q_2
- Funcionan B1 y B2: Q_{Ac}
 - B1: Q_{1Ac}
 - B2: Q_{2Ac}

Cuando trabajan solas dan más caudal, trabajan más a la dcha en su curva

El pto óptimo de trabajo (η_{max}) debe estar entre los dos posibles pto de trabajo de la bomba (en función del nº de horas de cada funcionamiento)

Selección de una Bomba (VIII):

Si van a trabajar varias bombas en paralelo, y funcionan una solo o varias en función de la demanda de caudal



- Funciona sólo B1: Q_1
- Funciona sólo B2: Q_2
- Funcionan B1 y B2: Q_{Ac}
 - B1: Q_{1Ac}
 - B2: Q_{2Ac}

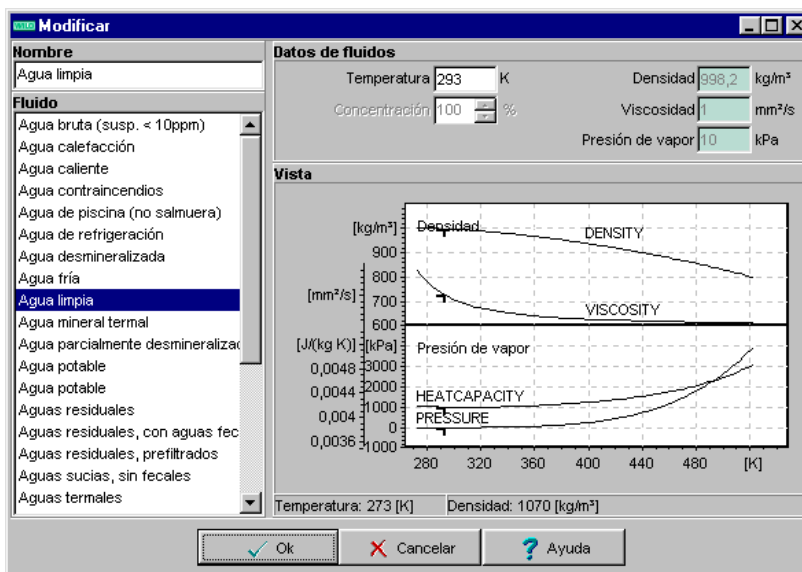
Cuando trabajan solas dan más caudal, trabajan más a la dcha en su curva

El pto óptimo de trabajo (η_{max}) debe estar entre los dos posibles pto de trabajo de la bomba (en función del nº de horas de cada funcionamiento)

Catálogos de Fabricantes: Programas de Selección de Bombas (I)

WILO

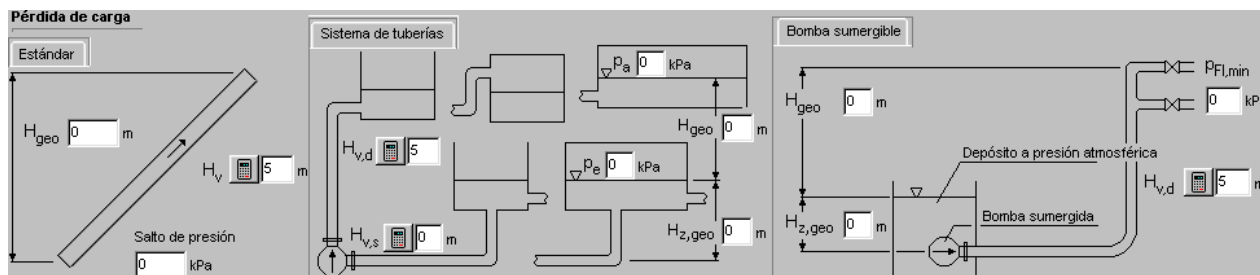
Fluido de Trabajo:



Catálogos de Fabricantes: Programas de Selección de Bombas (I)

WILO

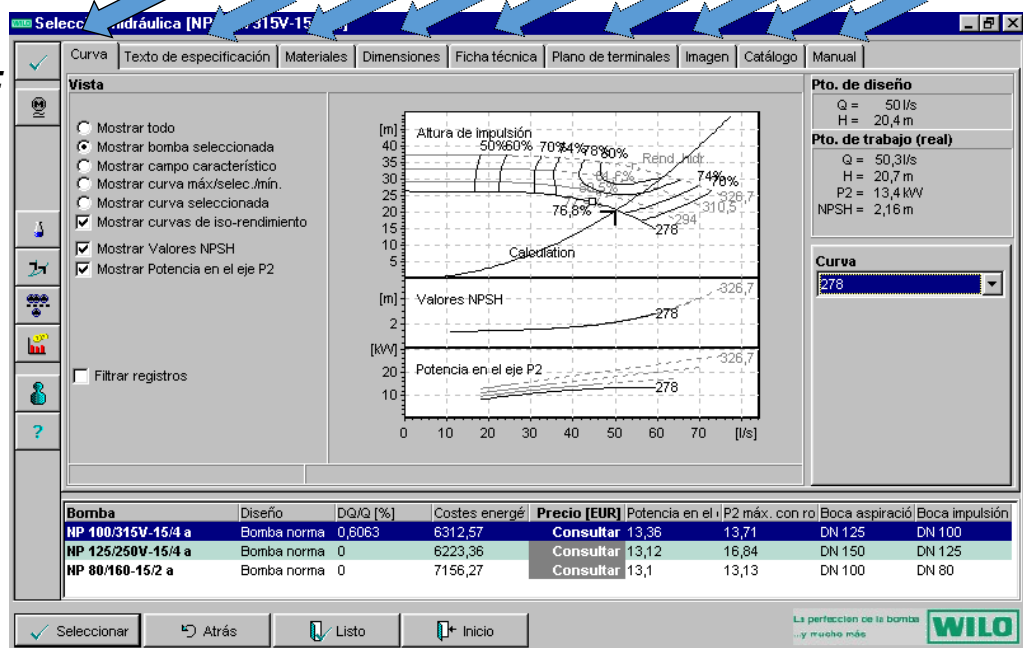
Tipo de Circuito:



Catálogos de Fabricantes: Programas de Selección de Bombas (I)

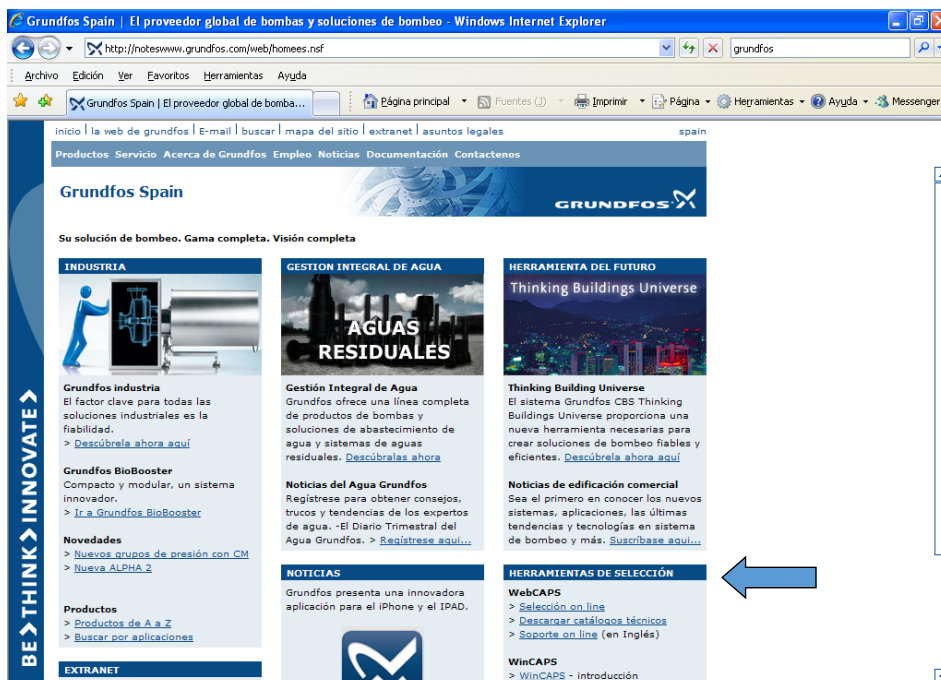
WILO

Resultados:



Catálogos de Fabricantes: Programas de Selección de Bombas (II)

GRUNDFOS



Catálogos de Fabricantes: Programas de Selección de Bombas (II)

GRUNDFOS

The screenshot shows the Grundfos WebCAPS website interface. At the top, there is a navigation menu with options: Inicio, Catálogo, Literatura, Servicio, Dimensionamiento, Sustitución, Planos CAD, and Ayuda. Below the menu is a search bar with a 'Buscar' button and a 'Conexión' button. The main content area features a 'WebCAPS - COMPUTER AIDED PRODUCT SELECTION' section with several icons representing different product categories: Catálogo, Literatura, Servicio, Dimensionamiento, Sustitución, and Planos CAD. A blue arrow points to the search bar, and another blue arrow points to the 'HERRAMIENTAS DE SELECCIÓN' section on the right side of the page. The page also includes a sidebar with 'INDUSTRIA' and 'BioBooster' sections, and a footer with 'Copyright © Grundfos Management A/S'.

45

Catálogos de Fabricantes: Programas de Selección de Bombas (II)

GRUNDFOS

The screenshot shows the 'Selección de Aplicación' (Application Selection) screen in the Grundfos WebCAPS software. The page displays a grid of application categories with corresponding images and descriptions. The categories include: Calefacción (Bombas circulatorias para sistemas de calefacción y agua sanitaria), Aire acondicionado (Bombas circulatorias para agua fría y otros líquidos en sistemas de refrigeración y aire acondicionado), Suministro de aguas subterráneas (Bombas sumergibles para suministro de agua, sistemas de riego, descenso del nivel freático), Aguas residuales (Bombas para achique, aguas residuales y fecales, para una amplia gama de aplicaciones en edificación así como transferencia de aguas residuales en alcantarillados municipales), and Sistemas de energía renovable (Sistemas solar y eólico). A blue arrow points to the 'Dimensionamiento' tab in the navigation menu, and another blue arrow points to the 'Selección de Aplicación' section. The page also includes a sidebar with 'INDUSTRIA' and 'BioBooster' sections, and a footer with 'Copyright © Grundfos Management A/S'.

46