

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](mailto:renedoc@unican.es)  
INMACULADA FERNANDEZ DIEGO [fernandei@unican.es](mailto:fernandei@unican.es)  
JUAN CARCEDO HAYA [juan.carcedo@unican.es](mailto:juan.carcedo@unican.es)  
FELIX ORTIZ FERNANDEZ [felix.ortiz@unican.es](mailto: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 (I):

Con frecuencia, las exigencias de servicio de una bomba no son siempre las mismas

El punto de funcionamiento de la bomba viene dado por la intersección de su curva característica con la curva del circuito hidráulico. Por lo tanto, para variar el punto de funcionamiento se pueden hacer 3 cosas:

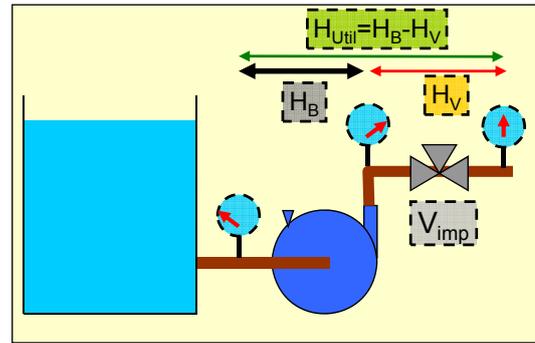
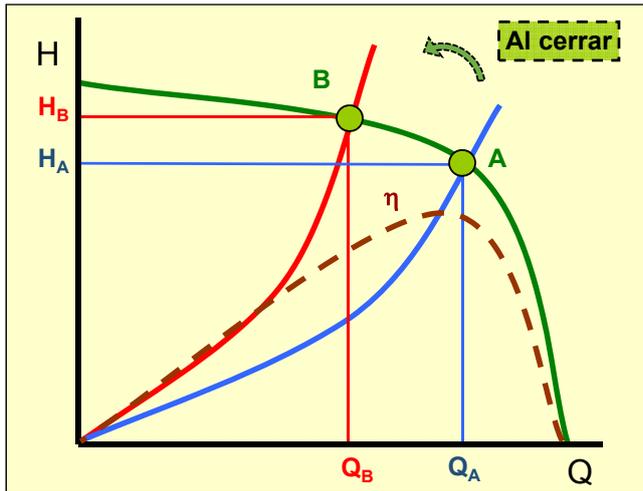
- Variar la curva característica del circuito hidráulico
- Variar la curva característica de la bomba (acoplamientos de bombas y variación de la velocidad de giro)
- Variar ambas curvas simultáneamente

**Punto de Funcionamiento (II):**

En cada pto la bomba tendrá su propio  $\eta$

**Cambiando la curva del Cto: con una válvula en la impulsión**

A medida que se cierra se aumenta la curva resistente del cto



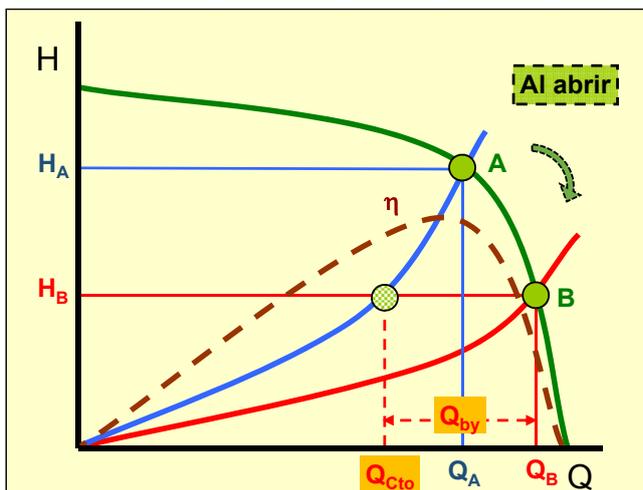
$$\begin{cases} \text{Pot}_{\text{Abs}} = \gamma \cdot Q \cdot H_{\text{Bomba}} \\ \text{Pot}_{\text{Util}} = \gamma \cdot Q \cdot [H_{\text{Bomba}} - H_{\text{Válvula}}] \\ \text{Pot}_{\text{Loss}} = \gamma \cdot Q \cdot H_{\text{Válvula}} \end{cases}$$

**Punto de Funcionamiento (III):**

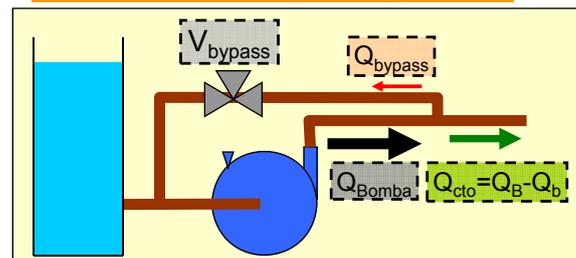
En cada pto la bomba tendrá su propio  $\eta$

**Cambiando la curva del Cto: con una válvula en paralelo**

A medida que se abre disminuye la curva resistente del cto al abrir un bypass "con poca pérdida de carga", y la bomba manda más caudal



pero el Q que recibe el cto disminuye ya que buena parte del impulsado por la bomba circula por el bypass



$$\begin{cases} \text{Pot}_{\text{Abs}} = \gamma \cdot Q_{\text{Bomba}} \cdot H \\ \text{Pot}_{\text{Util}} = \gamma \cdot Q_{\text{cto}} \cdot H \\ \text{Pot}_{\text{Loss}} = \gamma \cdot Q_{\text{bypass}} \cdot H \end{cases}$$

**Punto de Funcionamiento (IV):**

En cada pto la bomba  
tendrá su propio  $\eta$

**Cambiando la curva característica de la bomba con:**

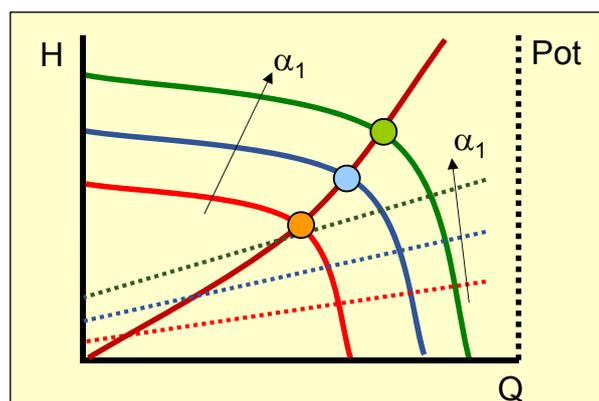
- Utilización de tanques de acumulación en paralelo para hacer frente a las puntas de demanda
- Utilización de corona directriz a la entrada, originando una prerrotación con lo que se cambian los ángulos de entrada a la bomba
- Variación del ángulo de calado de los álabes (turbomáquinas axiales)
- Acoplando bombas en serie
- Acoplando bombas en paralelo
- Variando la velocidad de giro (convertidor electrónico, acelerador, poleas y engranajes, ...)

7

**Punto de Funcionamiento (V):**

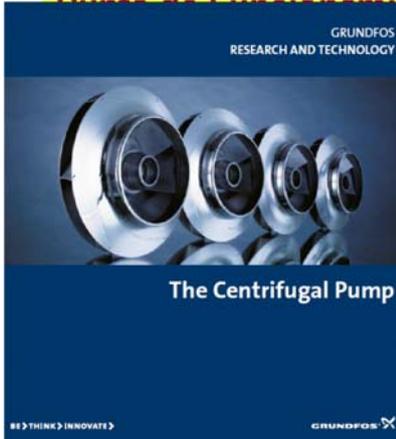
**Usando una corona directriz de ángulo variable en el distribuidor**

- Es un sistema mecánicamente complejo
- Modifica el Caudal (disminuye al cerrarla), la Altura entregada (cambia el ángulo de entrada  $\alpha_1$  y con ello las condiciones de la Ec. De Euler) y la Potencia

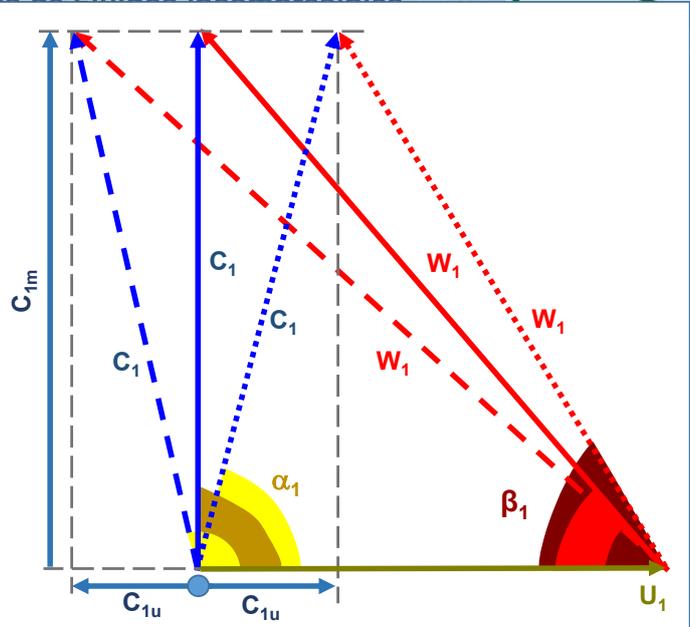


8

**Prerrotación (V):**



rectriz de  
ánicamente  
(disminuy  
a  $\alpha_1$  y cor

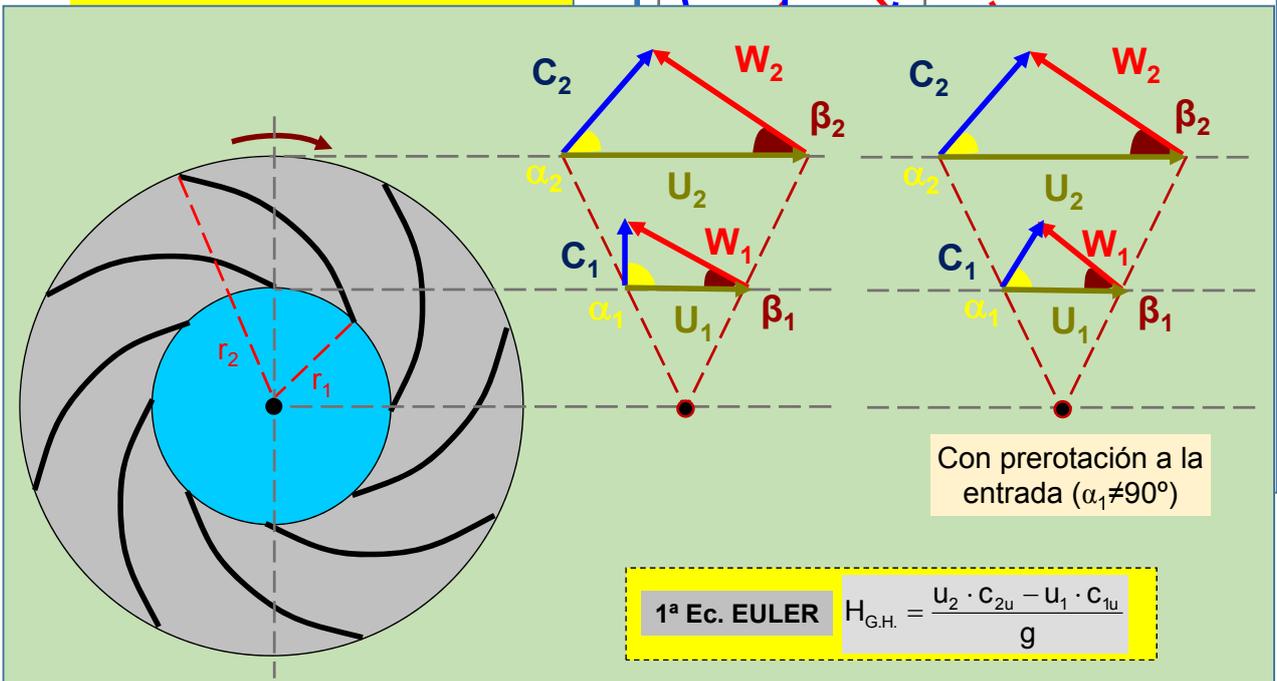


- No inlet rotation
- - - Counter rotation
- ..... Co-rotation

**1ª Ec. EULER**  $H_{G.H.} = \frac{u_2 \cdot c_{2u} - u_1 \cdot c_{1u}}{g}$

$Q = A_1 \cdot c_{1m} = A_2 \cdot c_{2m}$

Figure 4.14: Inlet velocity triangle at constant flow and different inlet rotation situations.



Con prerrotación a la entrada ( $\alpha_1 \neq 90^\circ$ )

**1ª Ec. EULER**  $H_{G.H.} = \frac{u_2 \cdot c_{2u} - u_1 \cdot c_{1u}}{g}$

$Q = A_1 \cdot c_{1m} = A_2 \cdot c_{2m}$

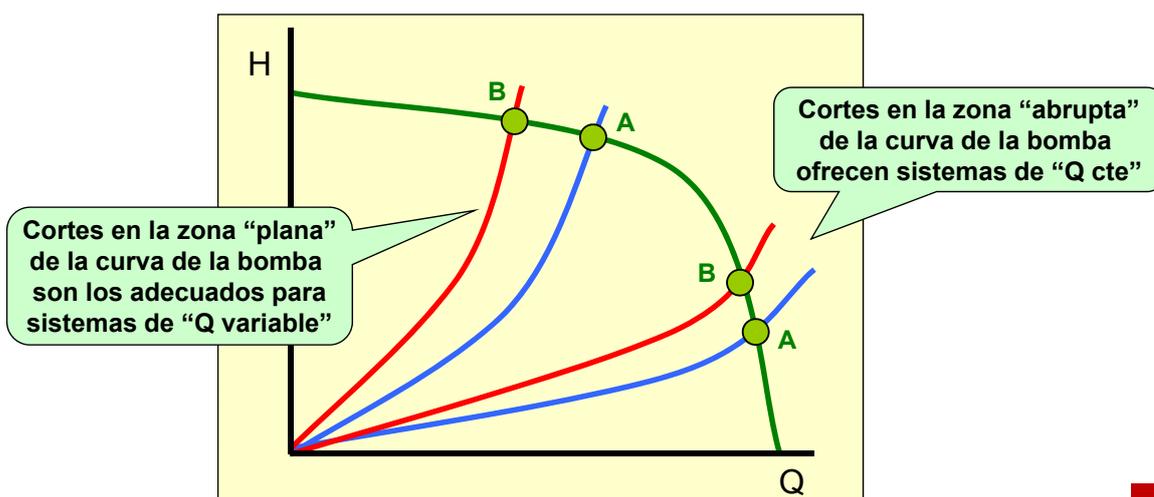
Figure 4.14: Inlet velocity triangle at constant flow and different inlet rotation situations.

**Punto de Funcionamiento (VI):**

En cada pto la bomba tendrá su propio  $\eta$

El pto de corte con la curva del cto hidráulico y el sistema de control del Q determina si es Q cte o variable (I)

Ej: Control con  $V_{impulsión}$

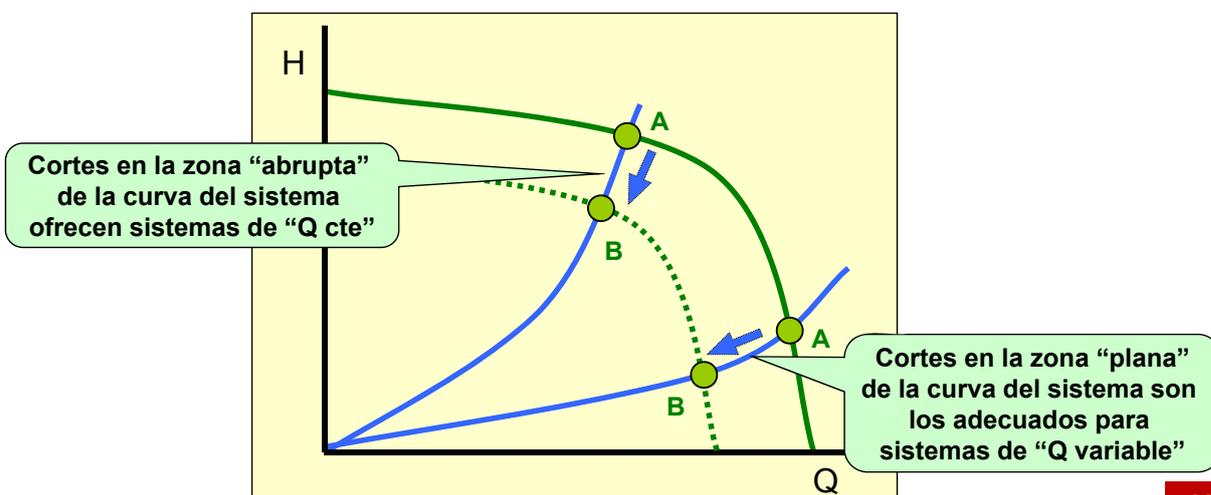


**Punto de Funcionamiento (VII):**

En cada pto la bomba tendrá su propio  $\eta$

El pto de corte con la curva del cto hidráulico y el sistema de control del Q determina si es Q cte o variable (II)

Ej: Control con variación de velocidad

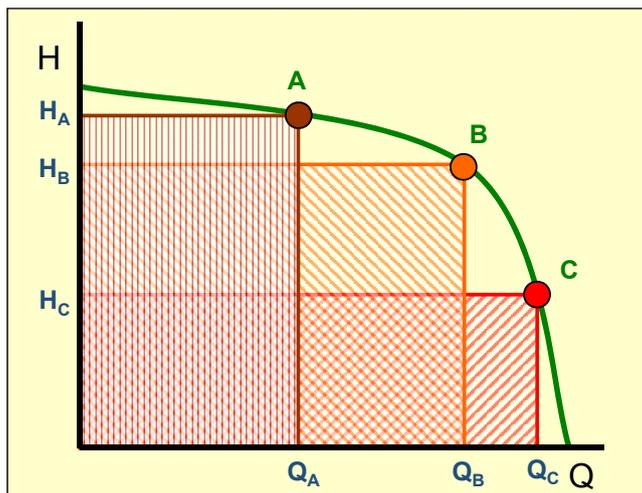


**Punto de Funcionamiento (VIII):**

En cada pto la bomba  
tendrá su propio  $\eta$

*El consumo energético es función del área encerrada bajo la curva*

$$\text{Pot} = \gamma \cdot H \cdot Q \Rightarrow \propto \text{Area}$$



Y tienen gran influencia el  
sistema de control del caudal

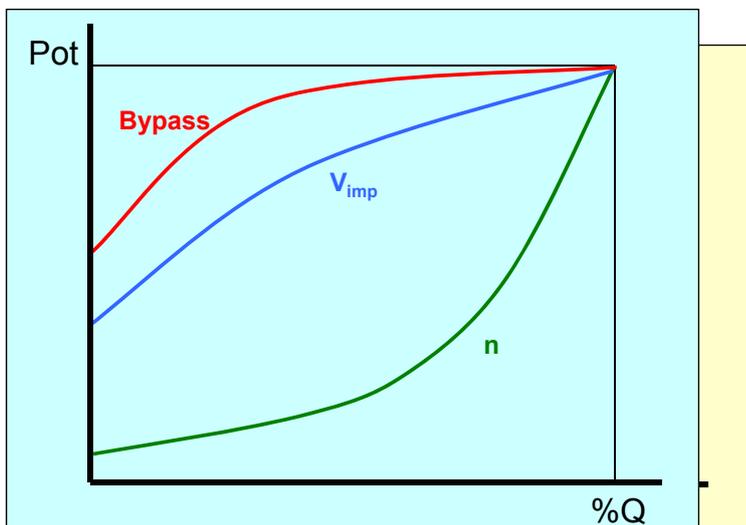
13

**Punto de Funcionamiento (VIII):**

En cada pto la bomba  
tendrá su propio  $\eta$

*El consumo energético es función del área encerrada bajo la curva*

$$\text{Pot} = \gamma \cdot H \cdot Q \Rightarrow \propto \text{Area}$$



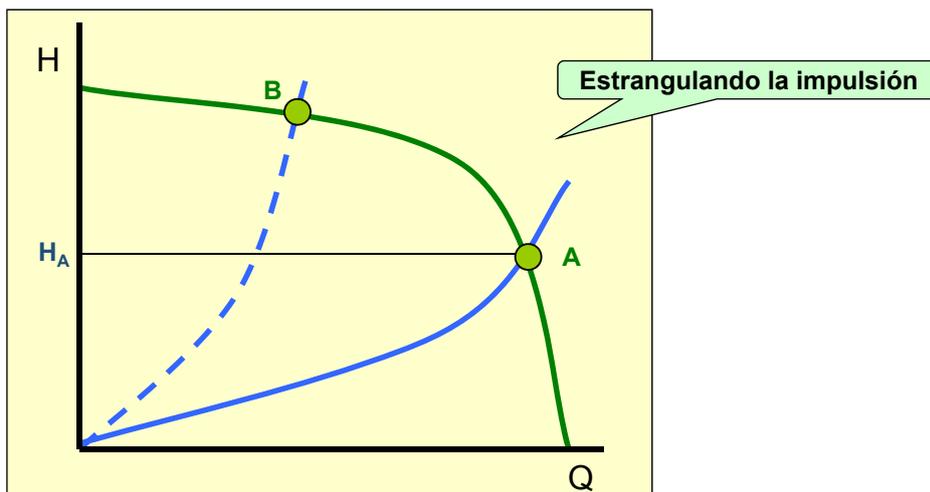
Y tienen gran influencia el  
sistema de control del caudal

14

**Punto de Funcionamiento (IX):**

**En el control de la bombas:**

- Inicialmente se realizó con válvulas en la impulsión

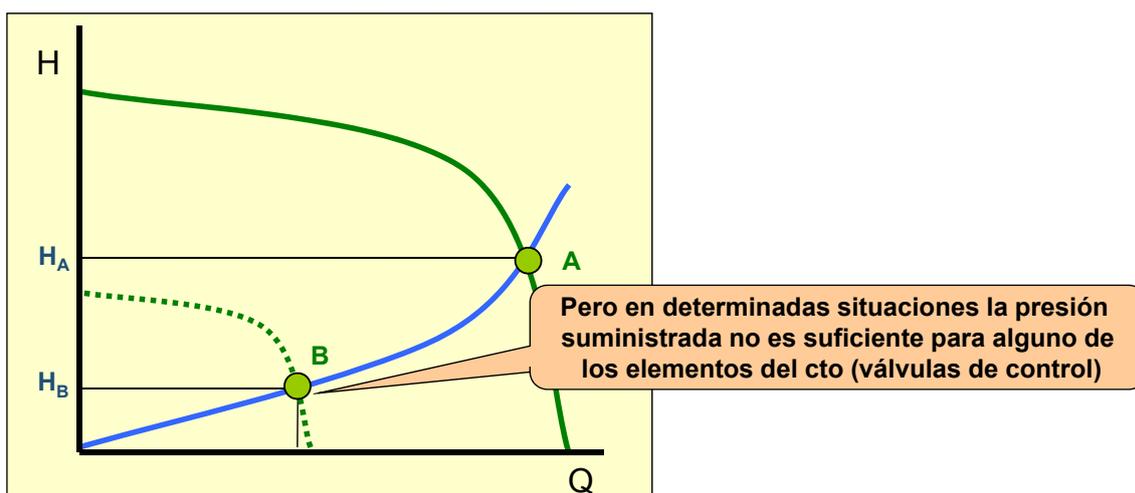


15

**Punto de Funcionamiento (IX):**

**En el control de la bombas:**

- Inicialmente se realizó con válvulas en la impulsión
- Seguidamente se trató de regular con variación de la velocidad

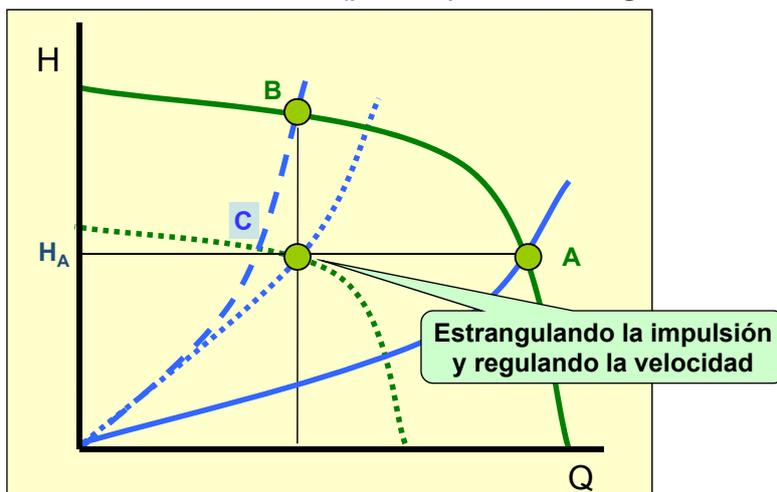


16

**Punto de Funcionamiento (IX):**

**En el control de la bombas:**

- Inicialmente se realizó con válvulas en la impulsión
- Seguidamente se trató de regular con variación de la velocidad
- Posteriormente se trató de regular el caudal manteniendo la presión suministrada cte (por requisito del algún elemento del cto hidráulico)



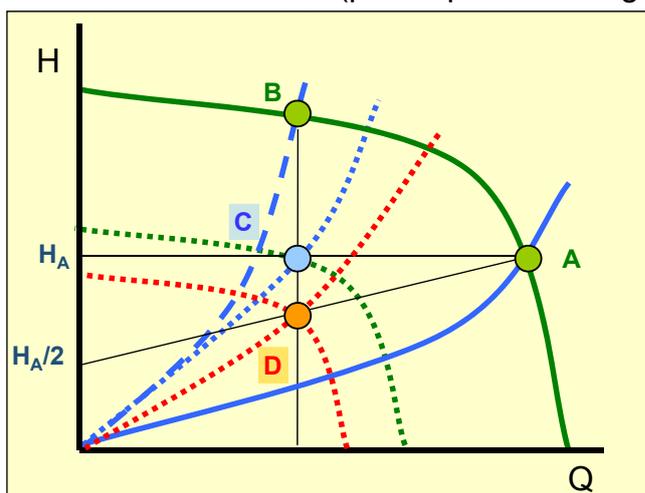
17

**Punto de Funcionamiento (IX):**

En cada pto la bomba tendrá su propio  $\eta$

**En el control de la bombas:**

- Inicialmente se realizó con válvulas en la impulsión
- Seguidamente se trató de regular con variación de la velocidad
- Posteriormente se trató de regular el caudal manteniendo la presión suministrada cte (por requisito del algún elemento del cto hidráulico)



- El consumo energético disminuye si se reduce la presión a medida que se requiere menos caudal
- Se debe respetar una  $H_{min}$ , por lo que se sigue la recta entre  $H_{nominal}$  y la mitad de  $H_{nominal}$

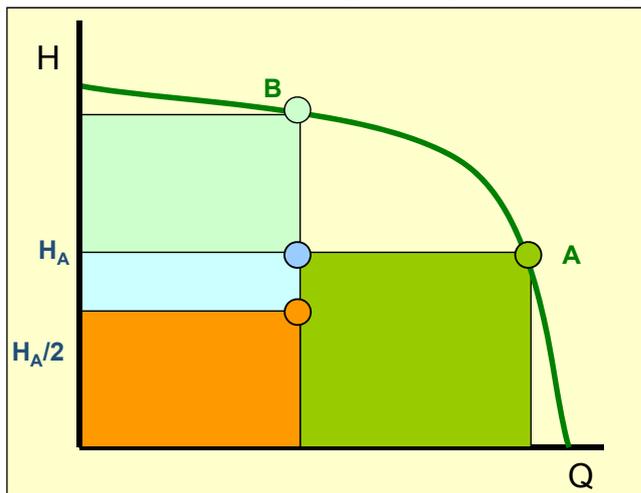
18

**Punto de Funcionamiento (IX):**

En cada pto la bomba tendrá su propio  $\eta$

**En el control de la bombas:**

- Inicialmente se realizó con válvulas en la impulsión
- Seguidamente se trató de regular con variación de la velocidad
- Posteriormente se trató de regular el caudal manteniendo la presión suministrada cte (por requisito del algún elemento del cto hidráulico)



- El consumo energético disminuye si se reduce la presión a medida que se requiere menos caudal
- Se debe respetar una  $H_{\min}$ , por lo que se sigue la recta entre  $H_{\text{nominal}}$  y la mitad de  $H_{\text{nominal}}$

19

**Punto de Funcionamiento (X):**

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**

El variador regula el régimen de giro para que la presión suministrada por la bomba sea cte

Se evita que el cto trabaje con presiones altas

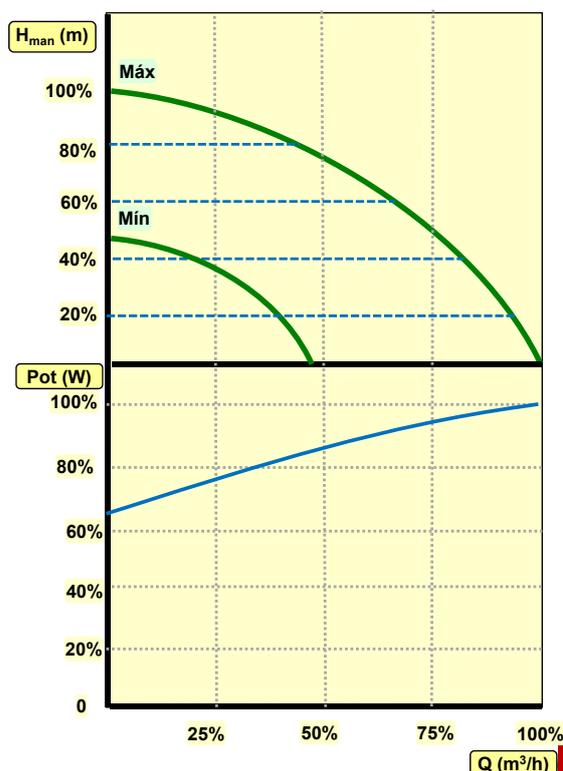
Se reduce la velocidad en las tuberías y con ello los ruidos

20

**Punto de Funcionamiento (X):**

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

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

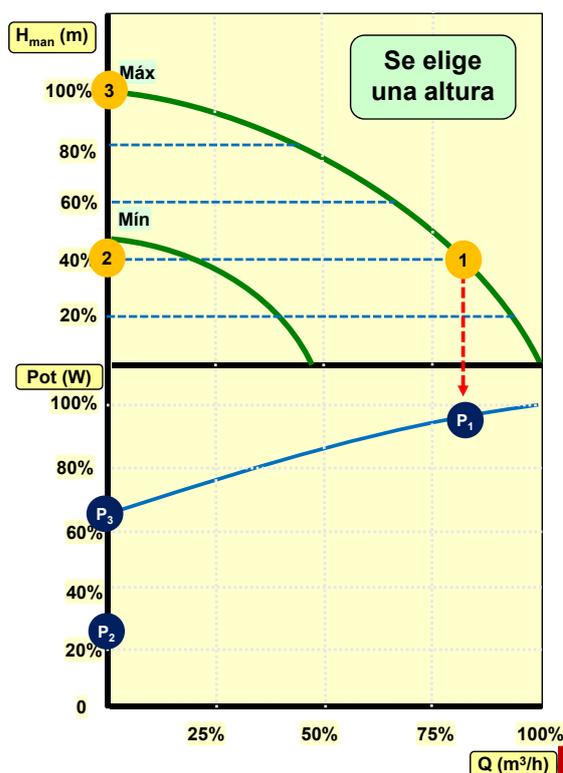


**Punto de Funcionamiento (X):**

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

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

- Pto 1:  $\text{Pot}_1$
- Ptos 2 y 3:  $H_2 = H_1 \approx 0,4 \cdot H_3$   
 $\text{Pot}_2 \approx 0,4 \cdot \text{Pot}_3$

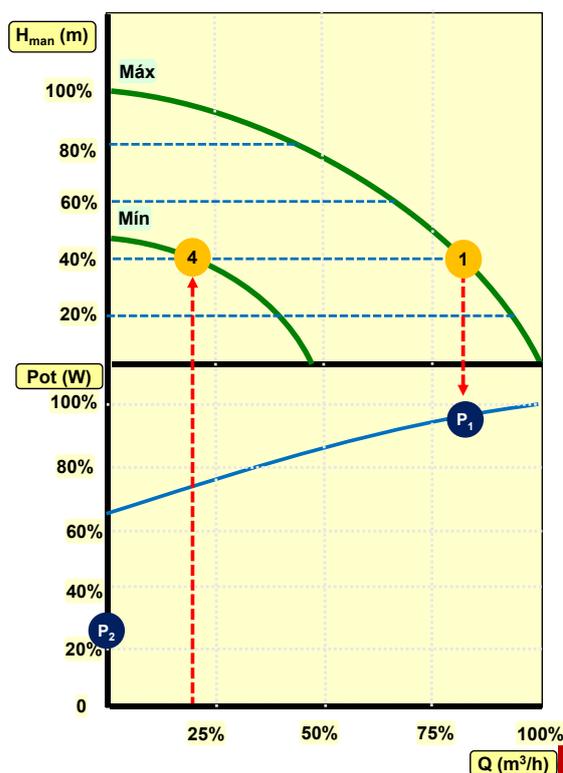


**Punto de Funcionamiento (X):**

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

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

- Pto 1:  $\text{Pot}_1$
- Pto 4:  $Q_4 \approx 0,25 \cdot Q_1$

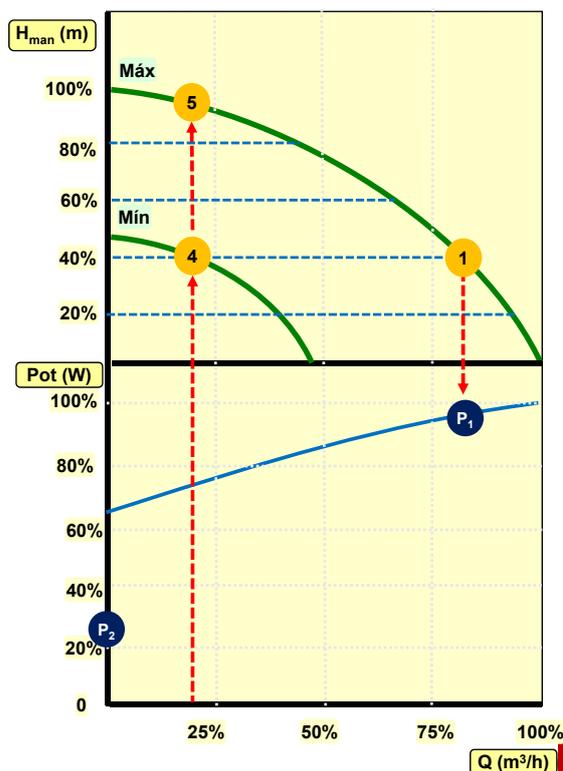


**Punto de Funcionamiento (X):**

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

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

- Pto 1:  $\text{Pot}_1$
- Pto 4:  $Q_4 \approx 0,25 \cdot Q_1$
- Pto 5:  $Q_5 = Q_4$

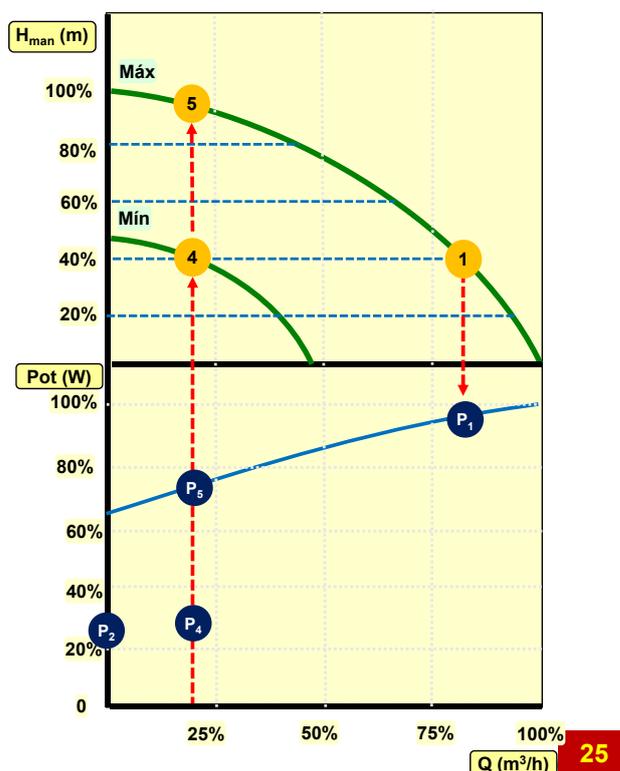


**Punto de Funcionamiento (X):**

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

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

- Pto 1:  $\text{Pot}_1$
  - Pto 4:  $Q_4 \approx 0,25 \cdot Q_1$
  - Pto 5:  $Q_5 = Q_4$   
 $H_4 \approx 0,45 \cdot H_5$
- }  $\text{Pot}_4 \approx 0,45 \cdot \text{Pot}_5$

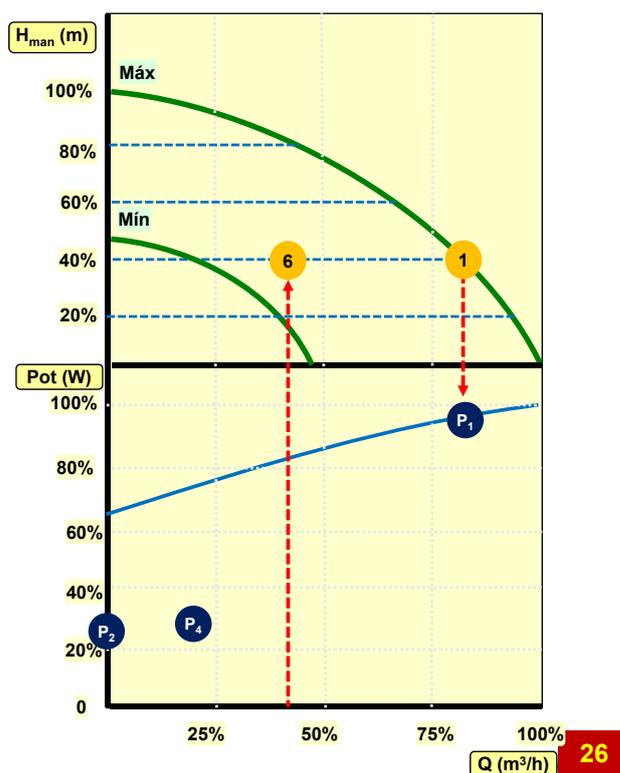


**Punto de Funcionamiento (X):**

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

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

- Pto 1:  $\text{Pot}_1$
- Pto 6:  $Q_6 \approx 0,5 \cdot Q_1$

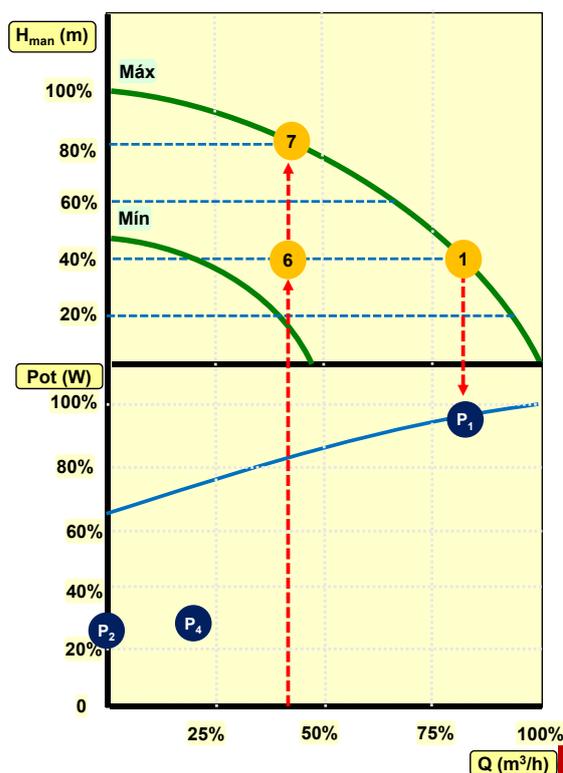


**Punto de Funcionamiento (X):**

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

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

- Pto 1:  $\text{Pot}_1$
- Pto 6:  $Q_6 \approx 0,5 \cdot Q_1$
- Pto 7:  $Q_7 = Q_6$

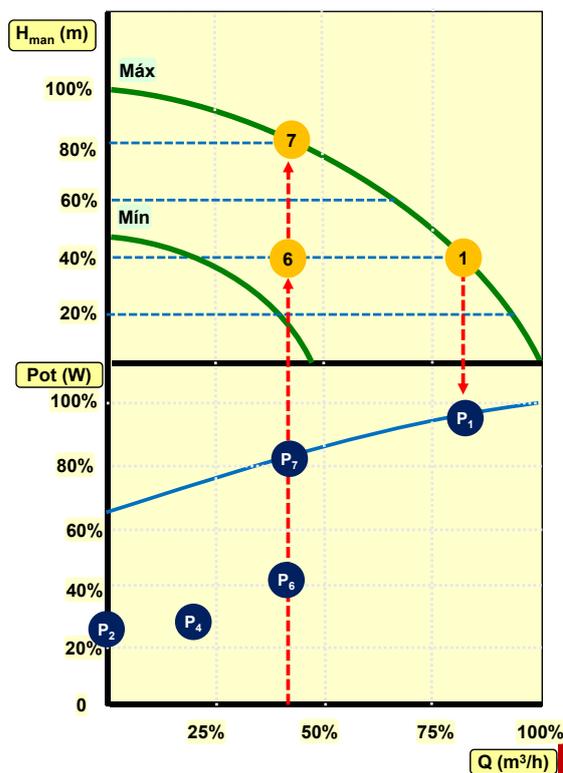


**Punto de Funcionamiento (X):**

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

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

- Pto 1:  $\text{Pot}_1$
  - Pto 6:  $Q_6 \approx 0,5 \cdot Q_1$
  - Pto 7:  $Q_7 = Q_6$
- }  $\text{Pot}_6 \approx 0,5 \cdot \text{Pot}_7$   
 $H_6 \approx 0,5 \cdot H_7$

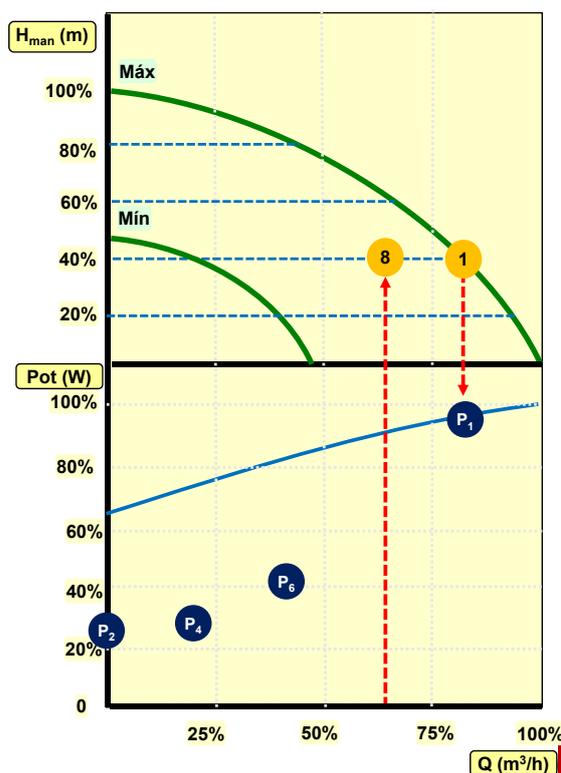


**Punto de Funcionamiento (X):**

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

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

- Pto 1:  $\text{Pot}_1$
- Pto 8:  $Q_8 \approx 0,8 \cdot Q_1$

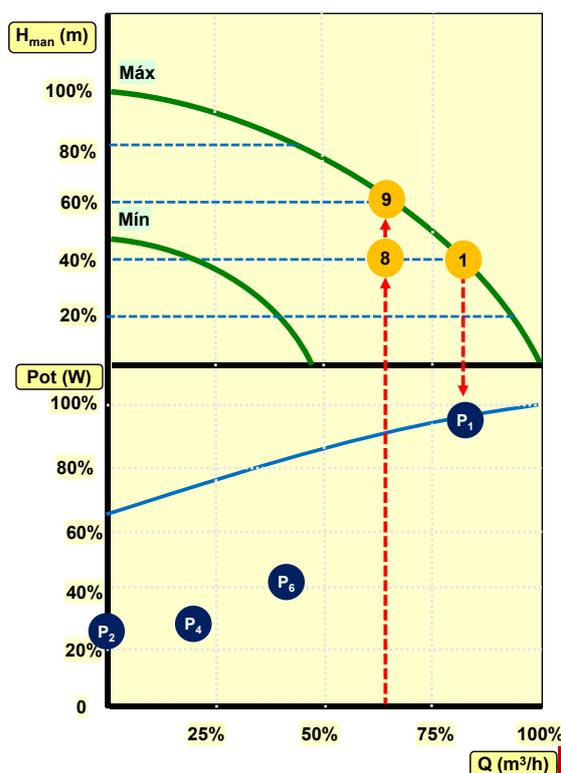


**Punto de Funcionamiento (X):**

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

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

- Pto 1:  $\text{Pot}_1$
- Pto 8:  $Q_8 \approx 0,8 \cdot Q_1$
- Pto 9:  $Q_9 = Q_8$

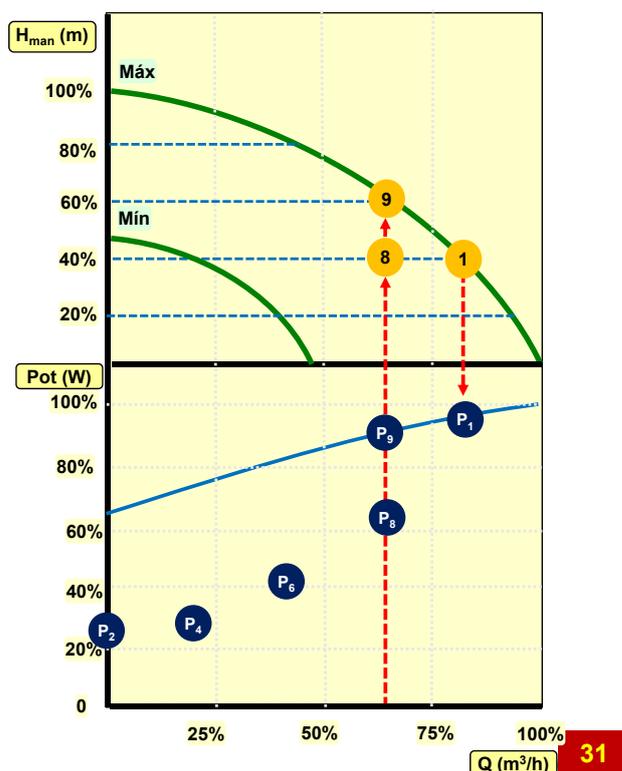


**Punto de Funcionamiento (X):**

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

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

- Pto 1:  $\text{Pot}_1$
- Pto 8:  $Q_8 \approx 0,8 \cdot Q_1$
- Pto 9:  $Q_9 = Q_8$   
 $H_8 \approx 0,7 \cdot H_9$  }  $\text{Pot}_8 \approx 0,7 \cdot \text{Pot}_9$

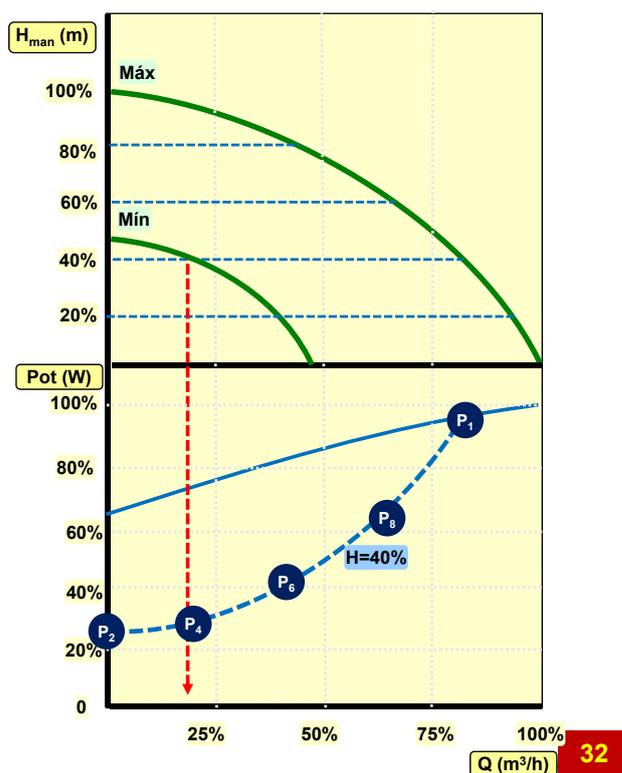


**Punto de Funcionamiento (X):**

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

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

Está limitado por la curva de velocidad mínima

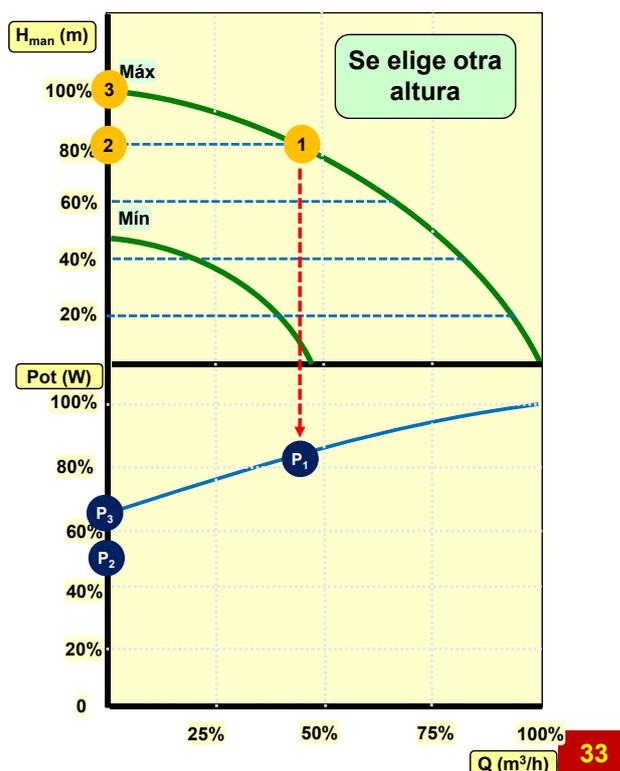


**Punto de Funcionamiento (X):**

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

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

- Pto 1:  $\text{Pot}_1$
- Ptos 2 y 3:  $H_2 = H_1 \approx 0,8 \cdot H_3$   
 $\text{Pot}_2 \approx 0,8 \cdot \text{Pot}_3$

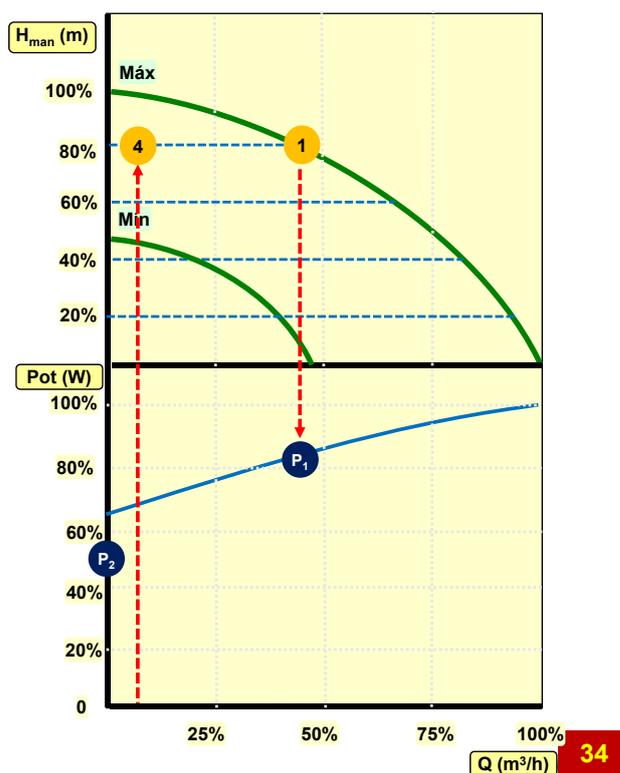


**Punto de Funcionamiento (X):**

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

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

- Pto 1:  $\text{Pot}_1$
- Pto 4:  $Q_4 \approx 0,25 \cdot Q_1$

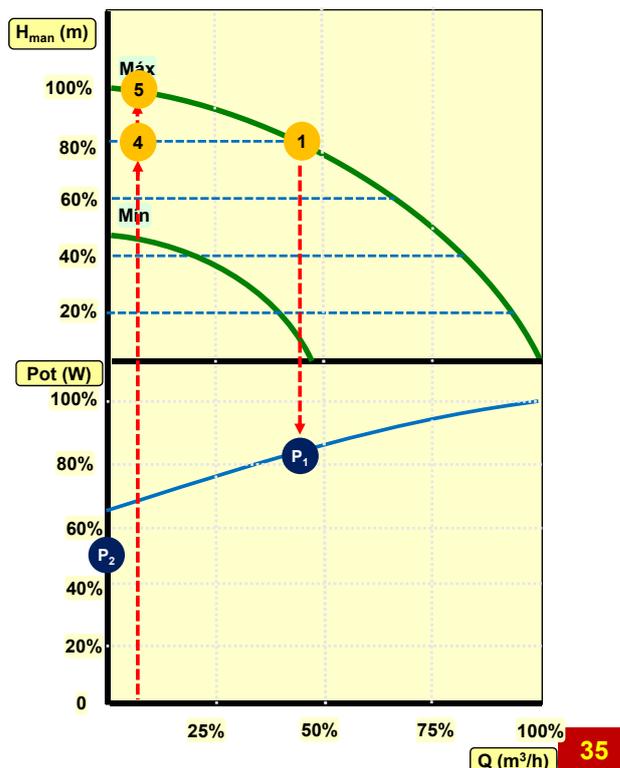


**Punto de Funcionamiento (X):**

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

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

- Pto 1:  $\text{Pot}_1$
- Pto 4:  $Q_4 \approx 0,25 \cdot Q_1$
- Pto 5:  $Q_5 = Q_4$

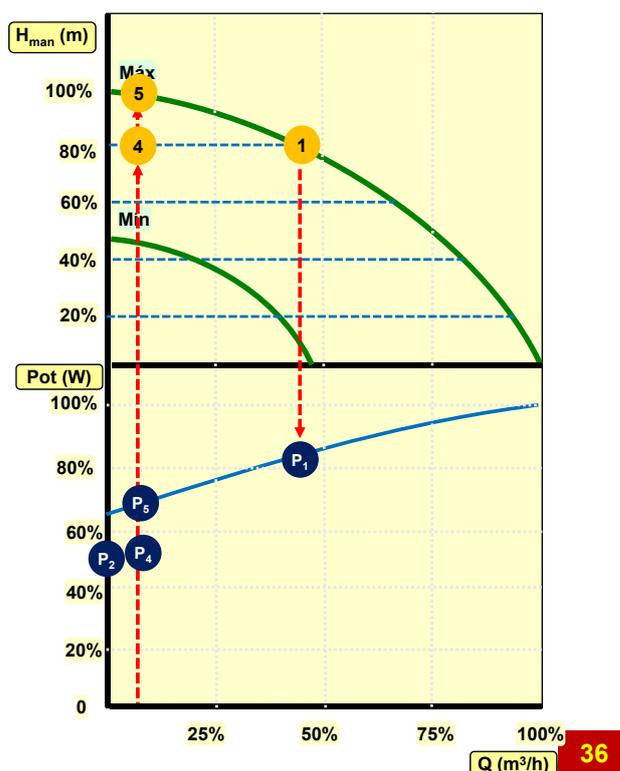


**Punto de Funcionamiento (X):**

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

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

- Pto 1:  $\text{Pot}_1$
  - Pto 4:  $Q_4 \approx 0,25 \cdot Q_1$
  - Pto 5:  $Q_5 = Q_4$
- $H_4 \approx 0,82 \cdot H_5$
- $\left. \begin{array}{l} Q_4 \approx 0,25 \cdot Q_1 \\ H_4 \approx 0,82 \cdot H_5 \end{array} \right\} \text{Pot}_4 \approx 0,82 \text{Pot}_5$

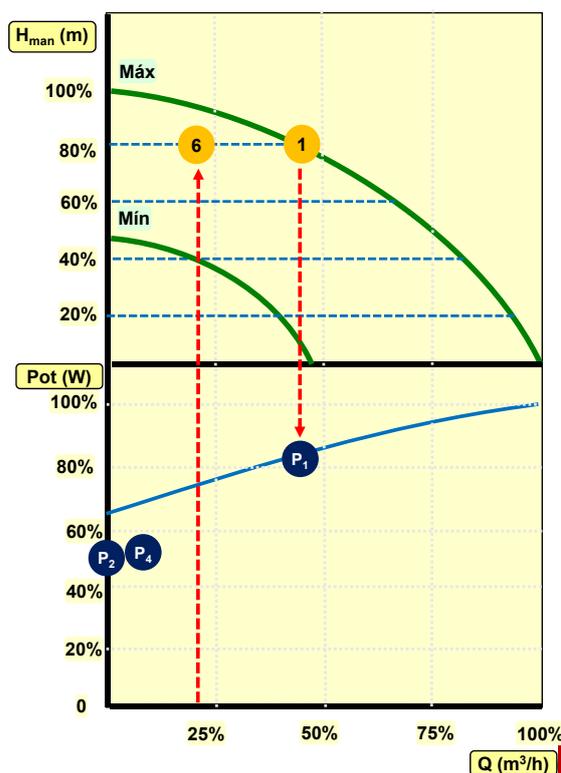


**Punto de Funcionamiento (X):**

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

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

- Pto 1:  $\text{Pot}_1$
- Pto 6:  $Q_6 \approx 0,5 \cdot Q_1$

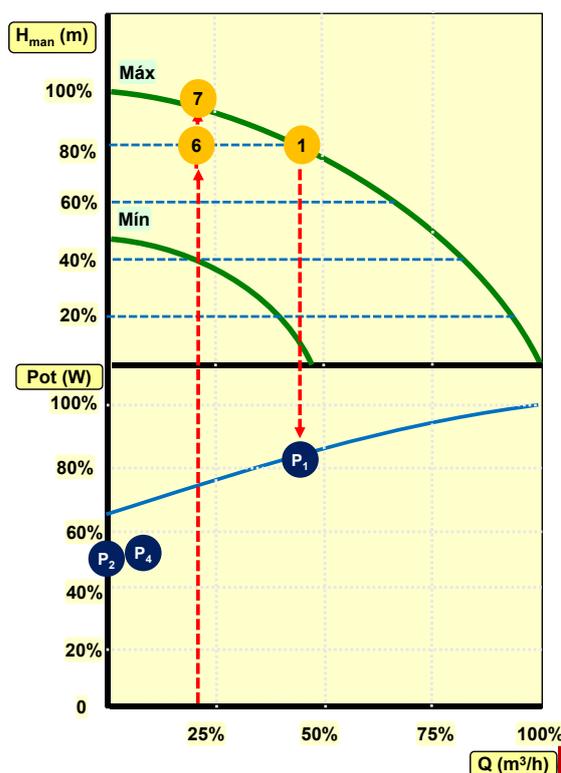


**Punto de Funcionamiento (X):**

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

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

- Pto 1:  $\text{Pot}_1$
- Pto 6:  $Q_6 \approx 0,5 \cdot Q_1$
- Pto 7:  $Q_7 = Q_6$

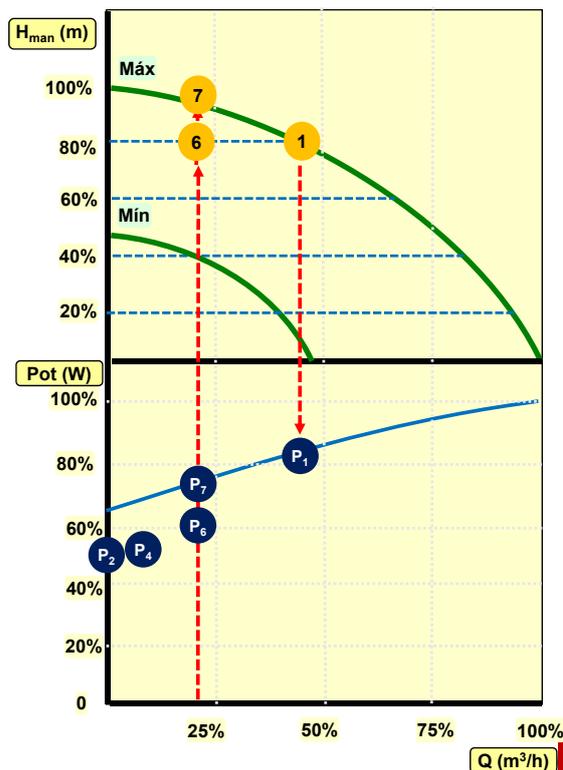


**Punto de Funcionamiento (X):**

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

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

- Pto 1:  $\text{Pot}_1$
  - Pto 6:  $Q_6 \approx 0,5 \cdot Q_1$
  - Pto 7:  $Q_7 = Q_6$   
 $H_6 \approx 0,87 \cdot H_7$
- $\left. \vphantom{\begin{matrix} Q_7 = Q_6 \\ H_6 \approx 0,87 \cdot H_7 \end{matrix}} \right\} \text{Pot}_6 \approx 0,87 \cdot \text{Pot}_7$

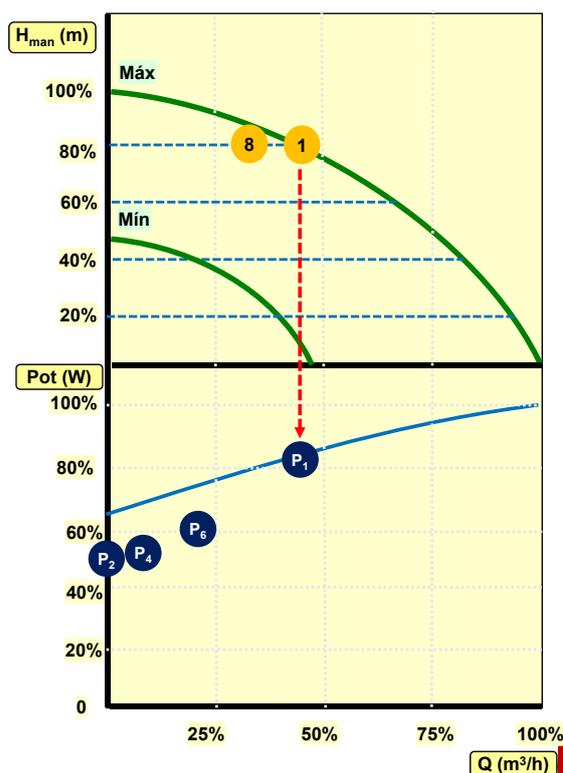


**Punto de Funcionamiento (X):**

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

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

- Pto 1:  $\text{Pot}_1$
- Pto 8:  $Q_8 \approx 0,8 \cdot Q_1$

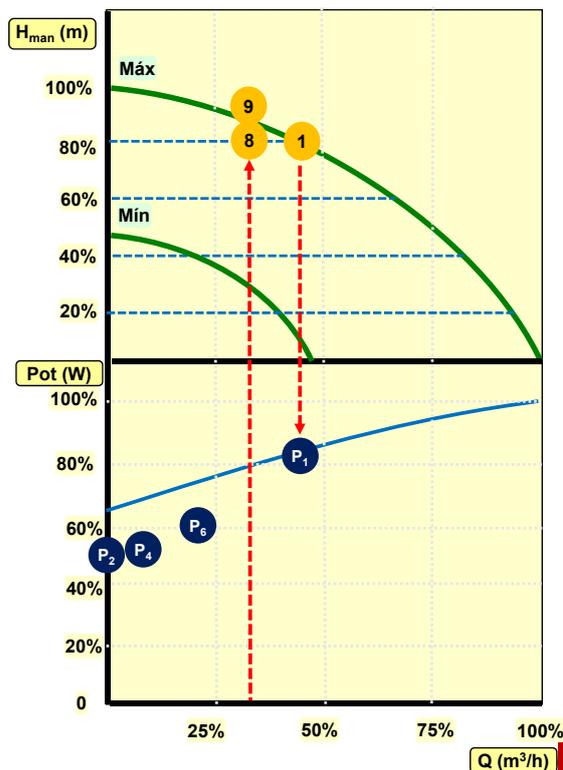


**Punto de Funcionamiento (X):**

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

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

- Pto 1:  $\text{Pot}_1$
- Pto 8:  $Q_8 \approx 0,8 \cdot Q_1$
- Pto 9:  $Q_9 = Q_8$

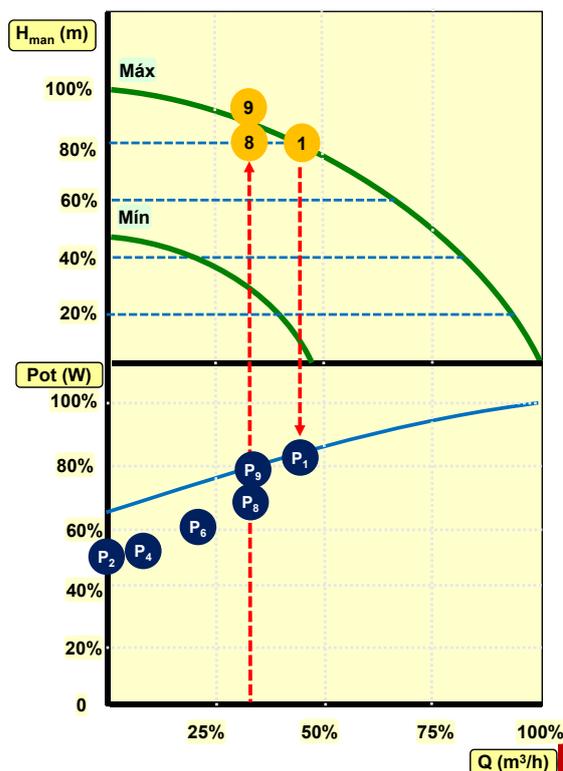


**Punto de Funcionamiento (X):**

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

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

- Pto 1:  $\text{Pot}_1$
  - Pto 8:  $Q_8 \approx 0,8 \cdot Q_1$
  - Pto 9:  $Q_9 = Q_8$   
 $H_8 \approx 0,89 \cdot H_9$
- }  $\text{Pot}_8 \approx 0,89 \cdot \text{Pot}_9$

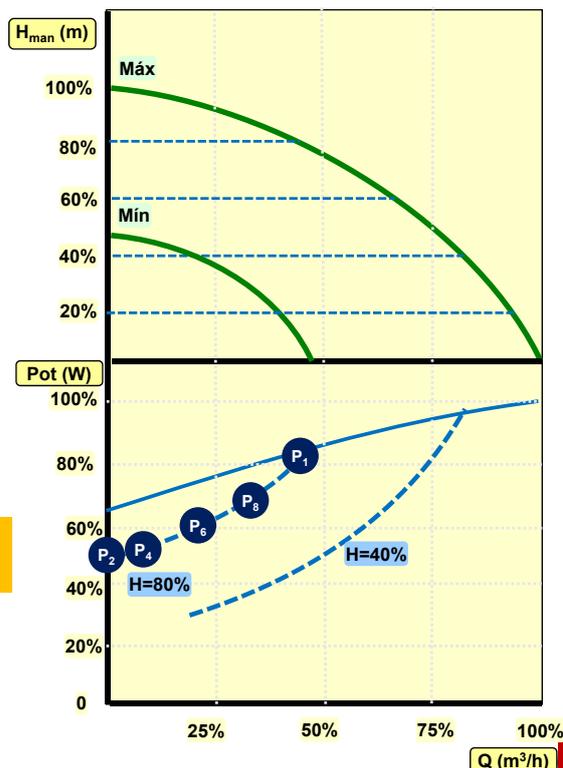


**Punto de Funcionamiento (X):**

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

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

En este caso no está limitado por la curva de velocidad mínima



**Punto de Funcionamiento (X):**

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

