

Impulsores para fluidos incompresibles

¿Por qué tenemos que estudiar sobre BOMBAS?

... porque como ingenieros de procesos, más tarde o más temprano, tendremos que trabajar con este tipo de equipos.

¿A qué tipo de problemas nos vamos a tener que enfrentar?

Diseño de instalaciones

Operación { *Aseguramiento de un flujo*
Salidas de “régimen”, Fallos

El diseño de instalaciones para el escurrimiento de líquidos por tuberías exigirá:

- definir el trazado de la tubería,
- elegir materiales,
- dimensionarla (diámetro, espesor)
- elegir accesorios (relevantes al flujo, y otros –ej, filtros, aislación, sensores,...)
- etc., etc.,...

y:

ELEGIR LA BOMBA

A la hora del diseño de instalaciones
para el escurrimiento de líquidos
no vamos a DISEÑAR BOMBAS...

... vamos a ELEGIR BOMBAS
dentro de las ofertas de los
proveedores

Cosas que “miraremos” en detalle para elegir bien:

- Tipo de bomba, materiales de construcción, propiedades mecánicas... (para eso tendremos que tomar en cuenta propiedades del fluido y condiciones del sistema).



Cosas que “miraremos” en detalle para elegir bien:

- Tipo de bomba, materiales de construcción, propiedades mecánicas... (para eso tendremos que tomar en cuenta propiedades del fluido y condiciones del sistema).
- Tamaño (caudal que debe bombear y la “fuerza” que debe hacer para mover el fluido)



Cosas que “miraremos” en detalle para elegir bien:

- Tipo de bomba, materiales de construcción, propiedades mecánicas... (para eso tendremos que tomar en cuenta propiedades del fluido y condiciones del sistema).
- Tamaño (caudal que debe bombear y la “fuerza” que debe hacer para mover el fluido)
- Otros requerimientos del flujo (por ejemplo, tiene que ser flujo continuo o puede ser en pulsos?,...)
- Costos totales (comprarla, instalarla, consumo de energía, mantenerla, vida útil,..etc....)
- Proveedor (servicio post venta, calidad según referencia de otros usuarios, etc...)

Cosas que “miraremos” en detalle para elegir bien:

- Tipo de bomba, materiales de construcción, propiedades mecánicas, etc. (nosotros veremos que tomamos en cuenta el fluido y condiciones de operación)
- “Fuerza” (presión, potencia, etc.)
- Otros factores (tamaño, peso, etc.)
- Costos totales (costo de compra, costo de consumo de energía, mantenimiento, vida útil, etc....)
- Proveedor (servicio post venta, calidad según referencia de otros usuarios, etc...)

“Selección de bombas” se trata al final

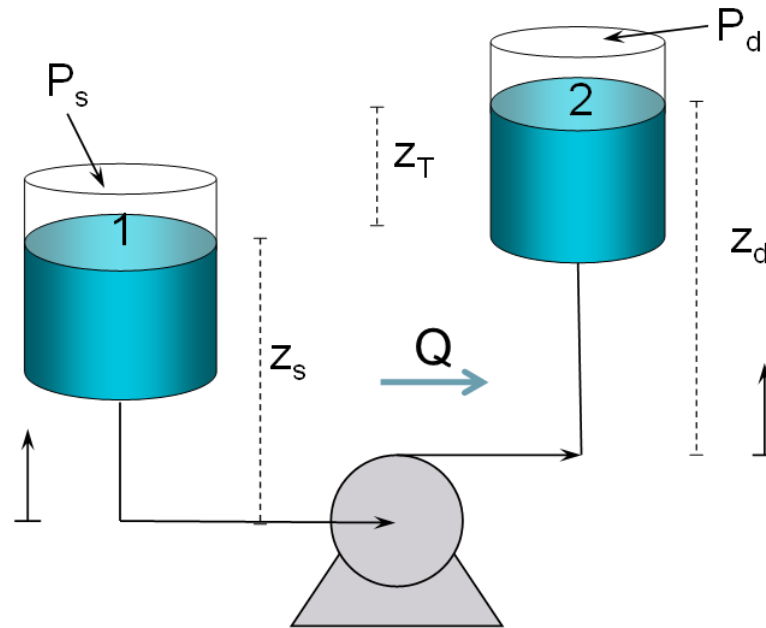
Cosas que “mirare” bien:

- Tipo
pr
qu

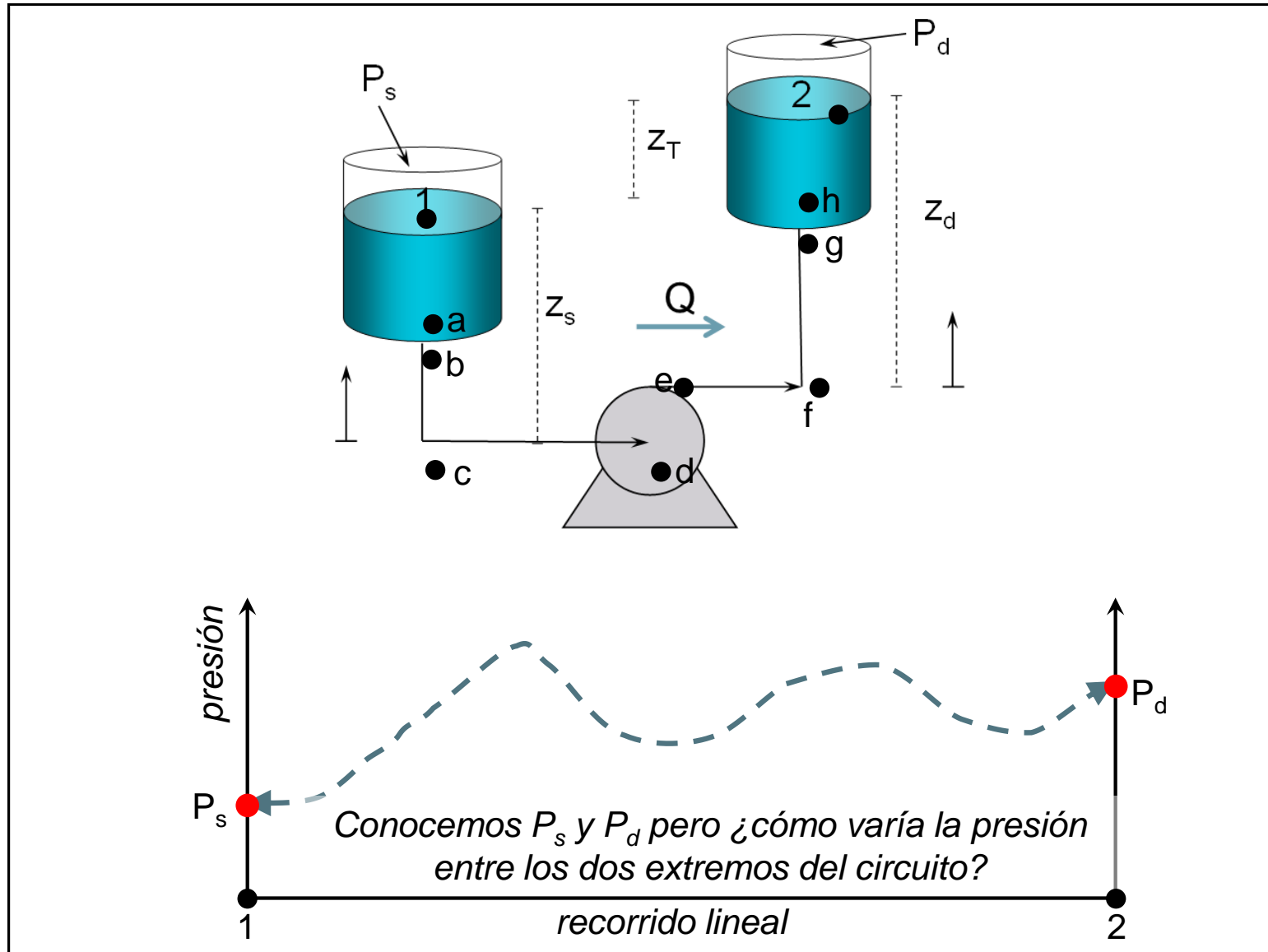
Pero antes tendremos que
aprender conceptos que
son necesarios manejar
para poder elegir la
bomba y trabajar con los
sistemas de impulsión

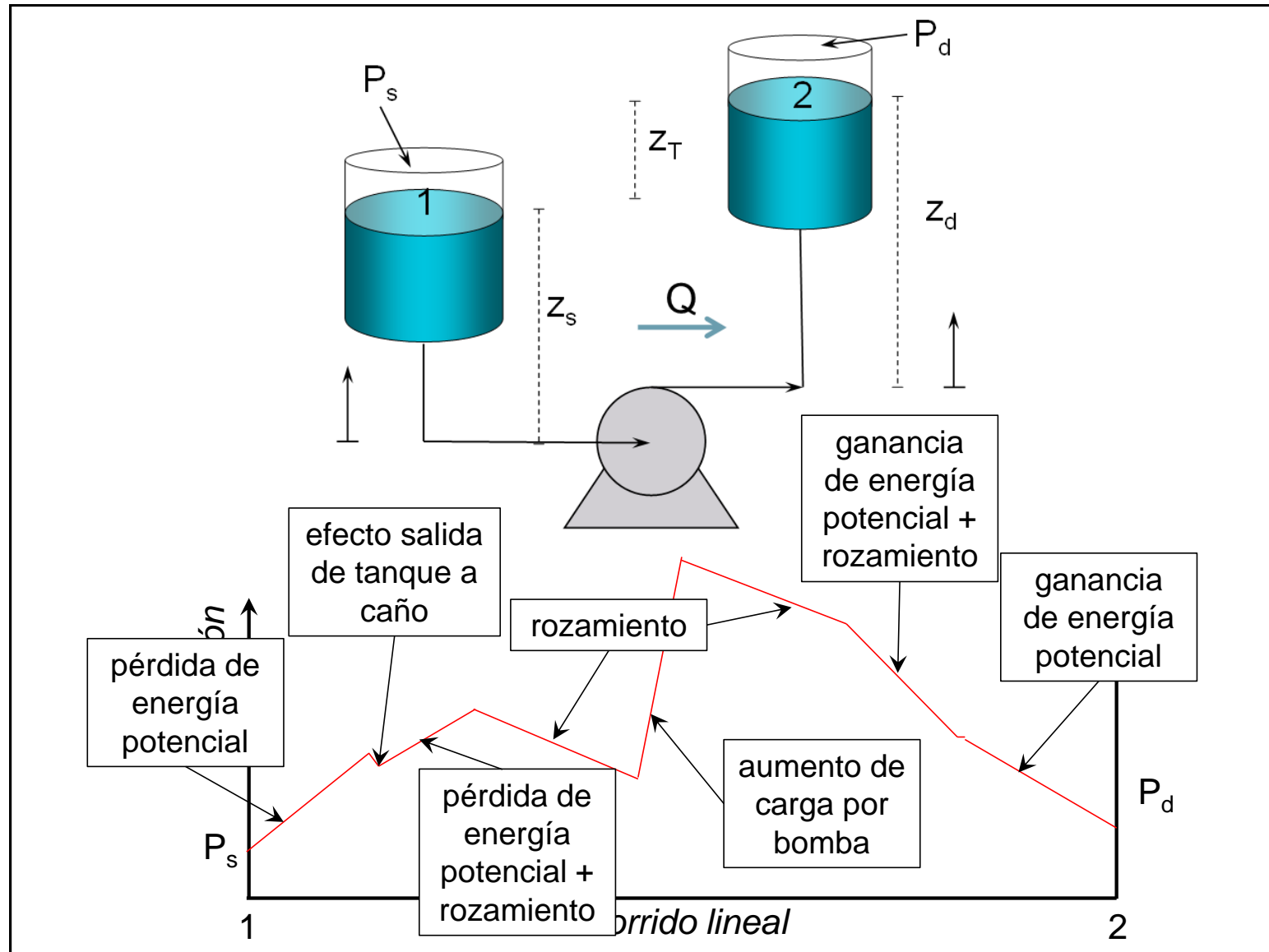
- (...)
- no de
- energ
- Proveedor (calidad según
referencia de otros usuarios, etc...)

Pregunta 1



Análisis “cualitativo” de la variación de la presión a lo largo del circuito desde 1 hasta 2.

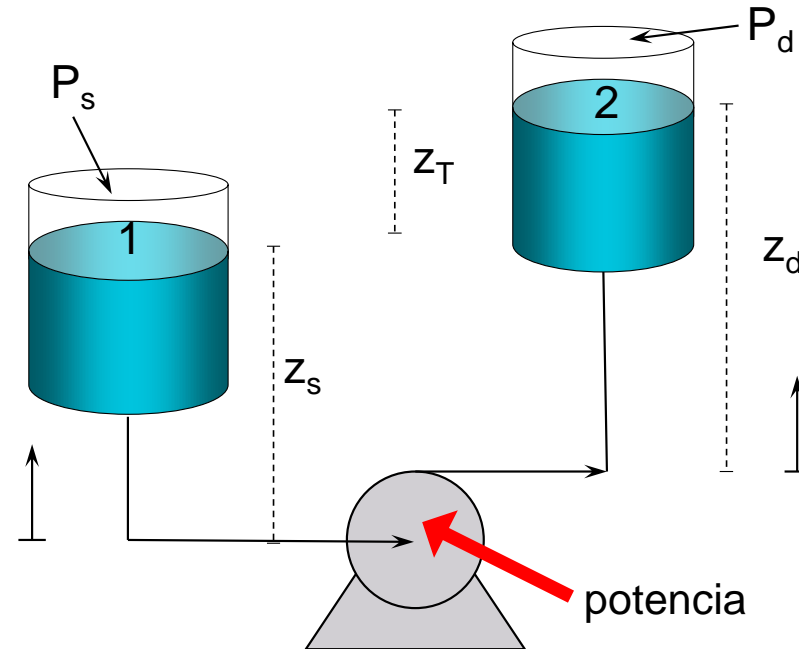




Pregunta 2

En el mismo sistema...

Supongamos que prendemos la bomba y la dejamos encendida de forma permanente, de manera tal que la entrega de energía al fluido es continua y uniforme en el tiempo.

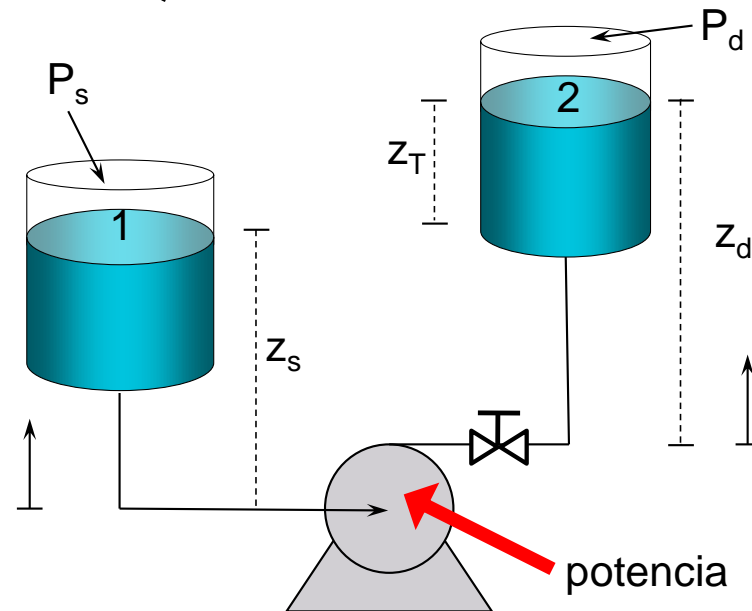


(considere que no hay cambios de velocidad por cambios de sección ni cambios de la densidad ni viscosidad del fluido, y que los niveles y las presiones en los tanques son constantes)

Eso ¿provocará un aumento sostenido de la velocidad del fluido? (¿el fluido se acelerará indefinidamente?) ---Resp: NO

La bomba entrega energía mecánica al fluido y como consecuencia éste resulta impulsado...

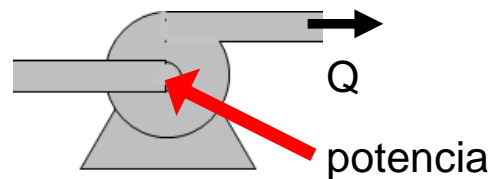
... y como vimos, en general, no hay aceleración uniforme sino que se llega a una condición de equilibrio en la que el fluido circula por el sistema a un caudal definido Q

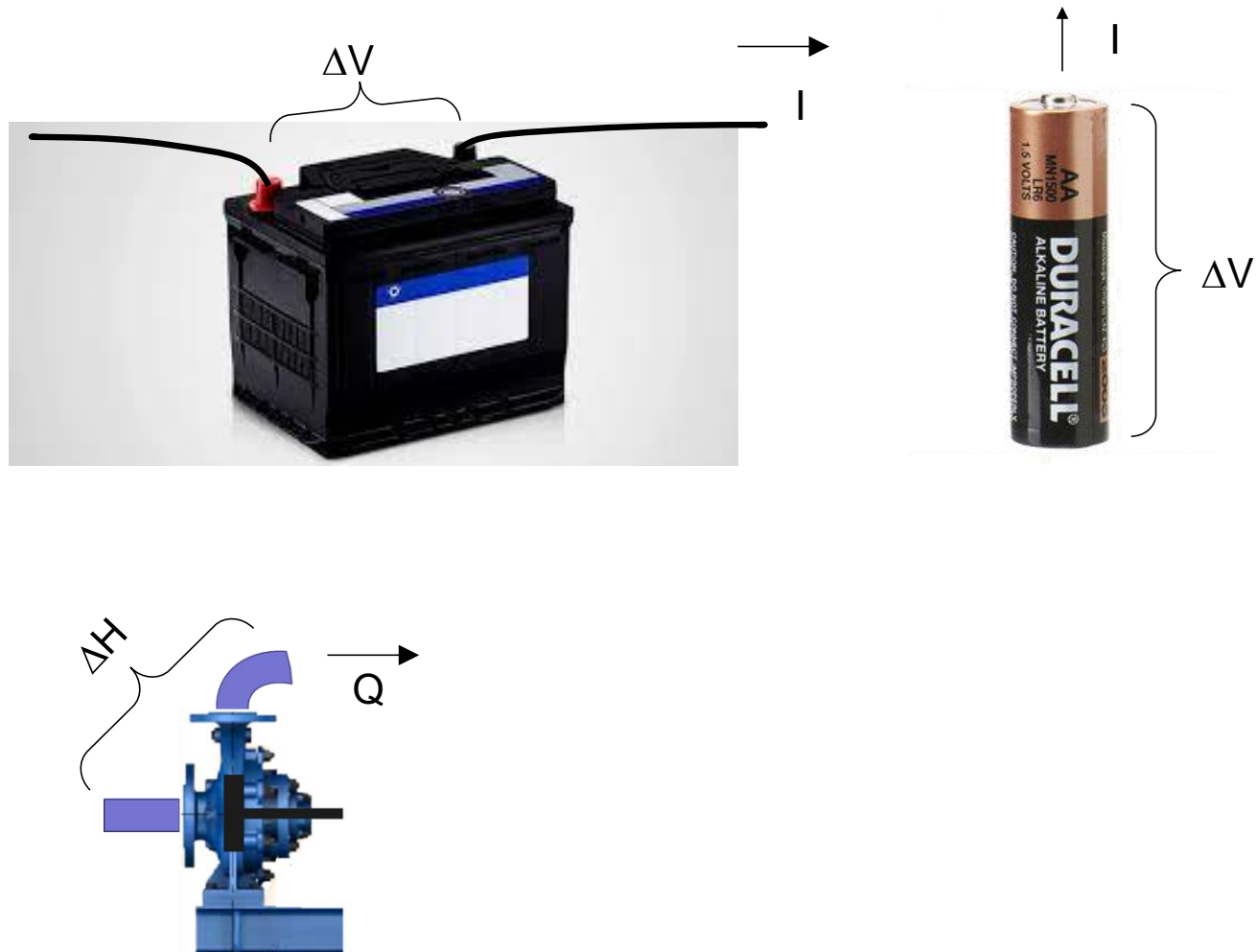


La bomba entrega energía mecánica al fluido y como consecuencia éste resulta impulsado...

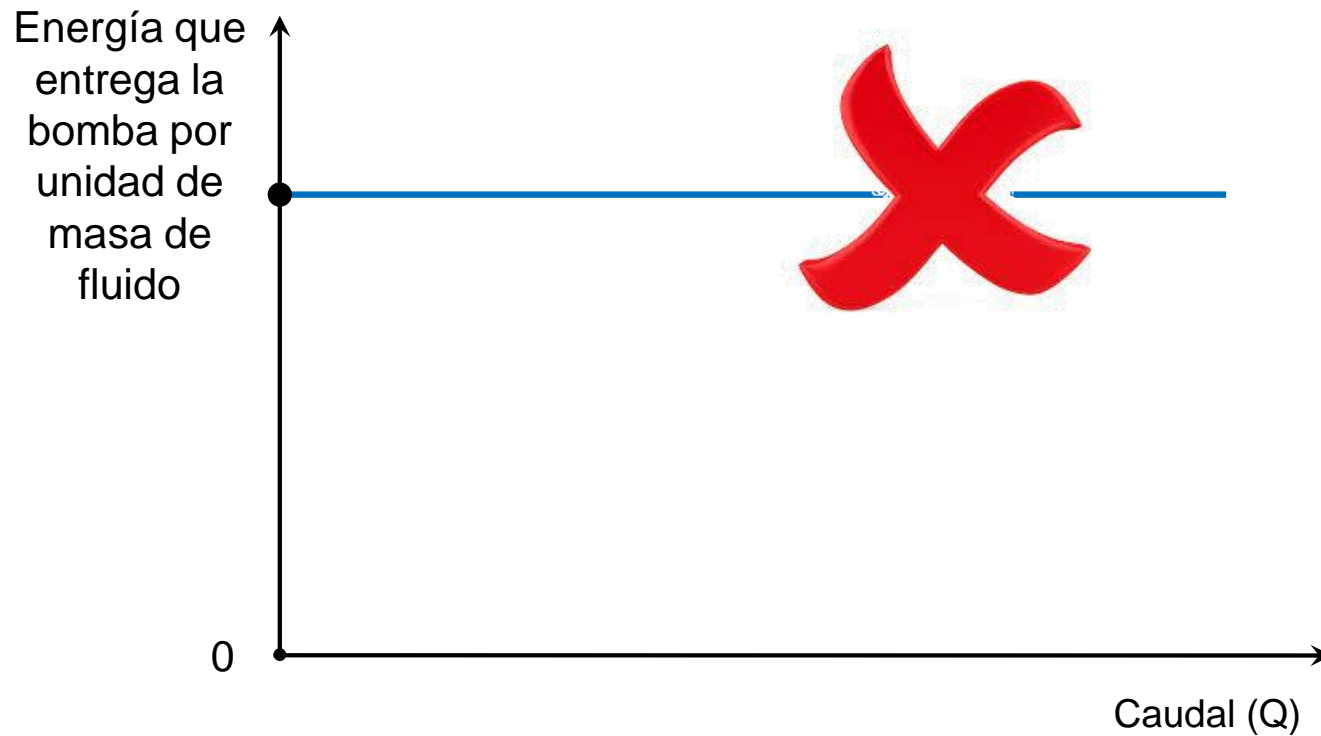
... y como vimos, en general, no hay aceleración uniforme sino que se llega a una condición de equilibrio en la que el fluido circula por el sistema a un caudal definido Q

¿La potencia mecánica entregada por la bomba es siempre la misma?

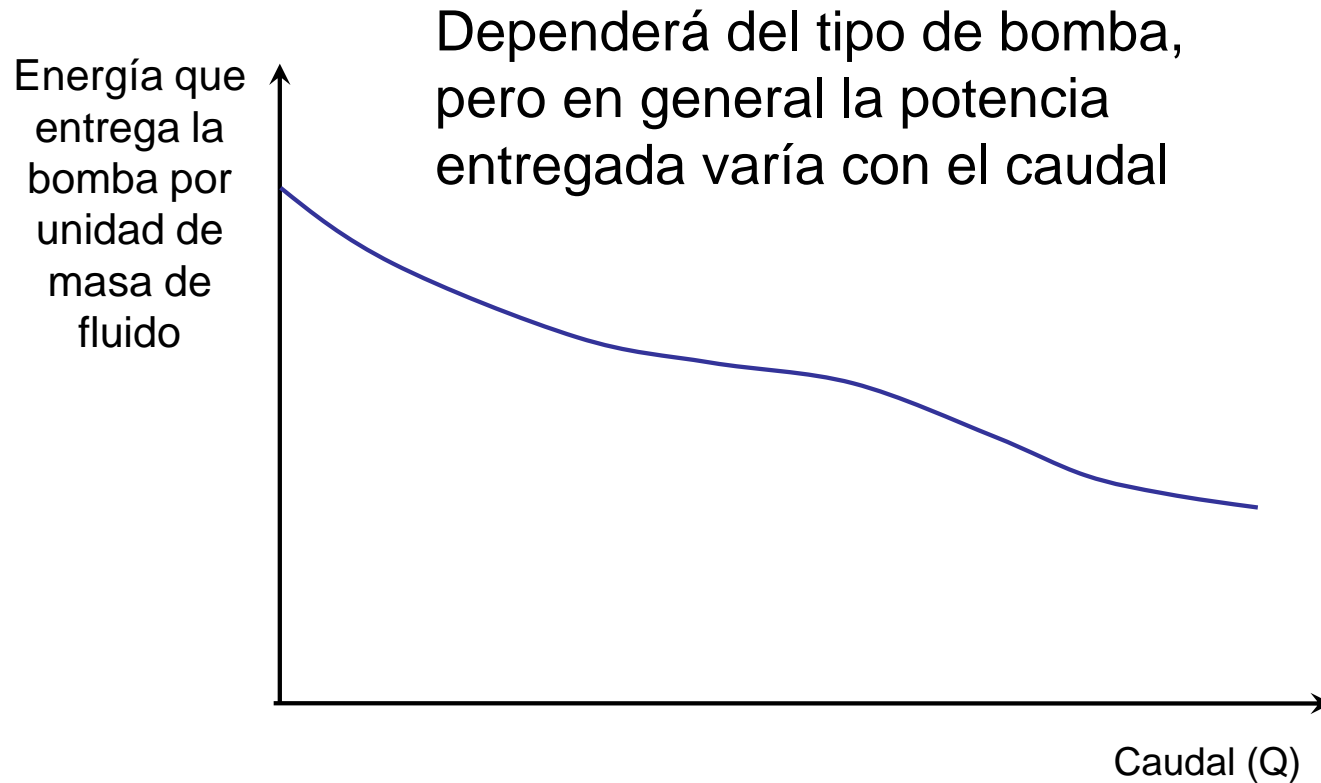




Si graficamos la energía mecánica que entrega la bomba al fluido con el caudal (Q) que impulsa...



Si graficamos la energía mecánica que entrega la bomba al fluido con el caudal (Q) que impulsa...



Más que “la energía por unidad de masa” se suele indicar la energía que entrega al fluido por unidad de peso del fluido (que tiene unidades de longitud) y llamamos “Altura”

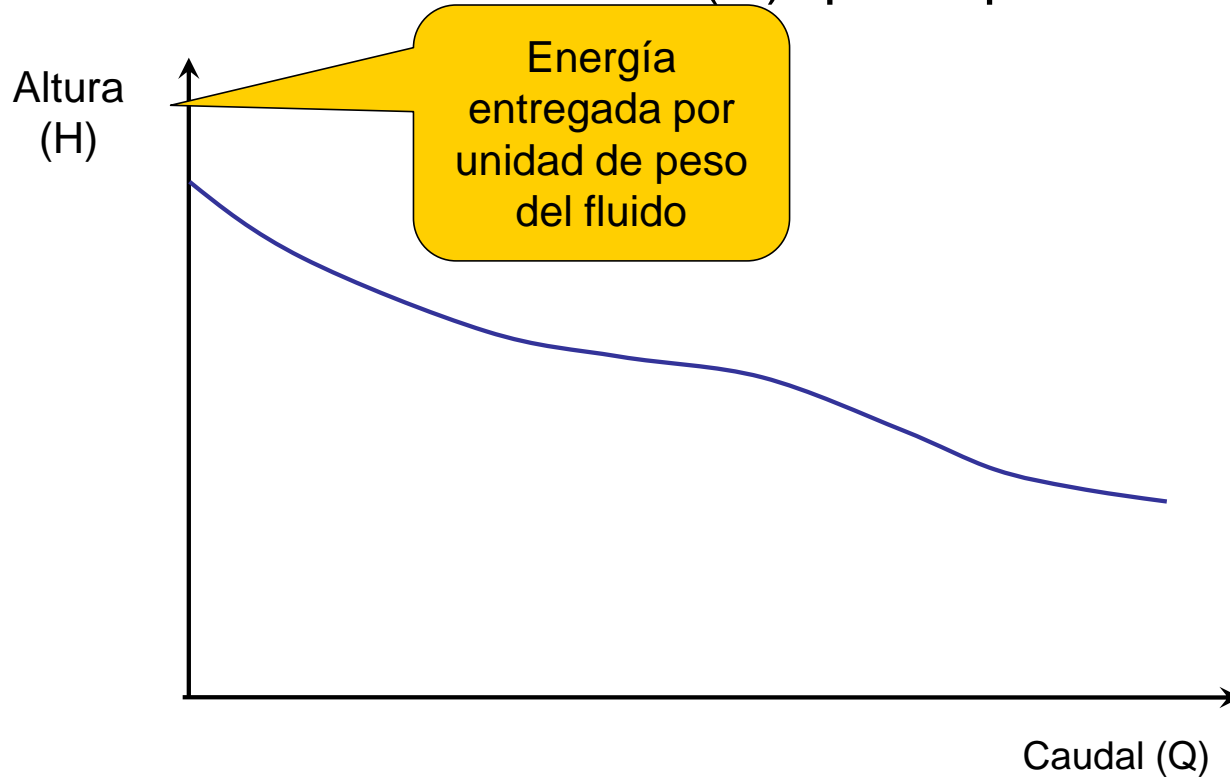
Altura
(H)

...y como la dependencia entre H y Q es una característica propia de cada bomba, nos referiremos a ese gráfico como “curva característica de la bomba”

Caudal (Q)

Curva Característica de la bomba

Es el gráfico que relaciona la altura total (H) que da la bomba con el caudal (Q) que impulsa.



Curva Característica de la bomba

Es el gráfico que relaciona la altura total (H) que da la bomba con el caudal (Q) que impulsa.

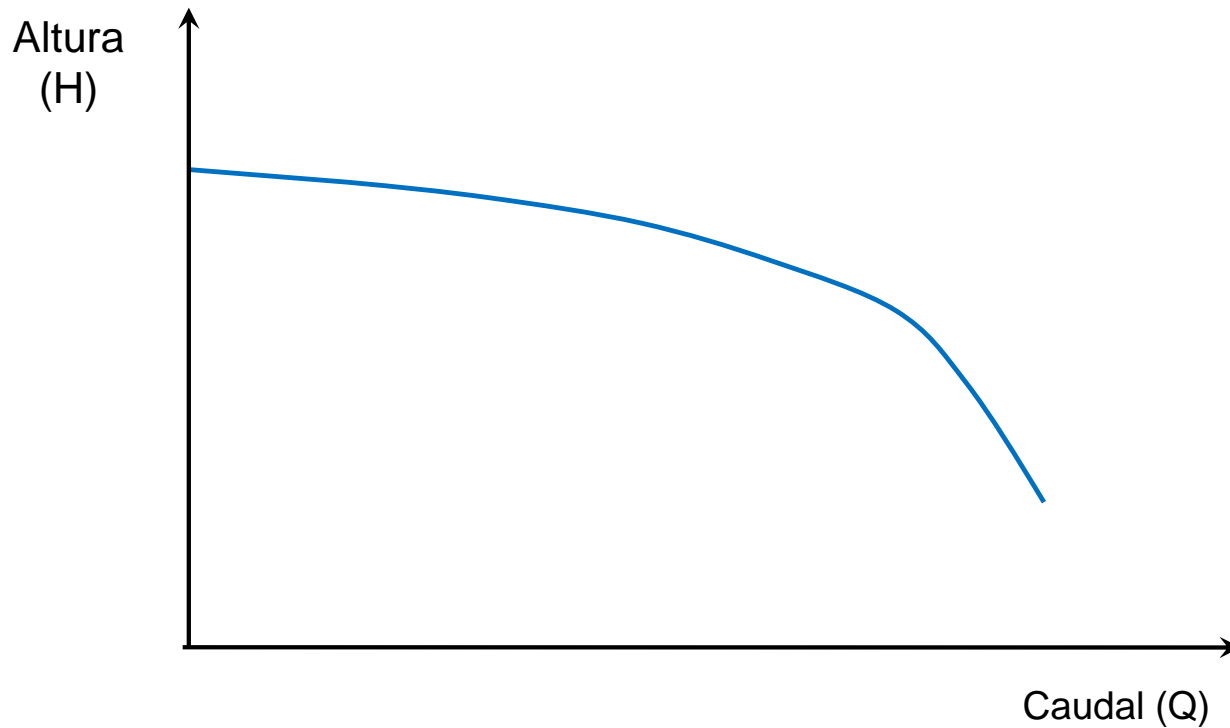
Altura
(H)

Si bien la curva en cuestión es propia de cada bomba, “la forma genérica” es propia de cada tipo de bomba...

Caudal (Q)

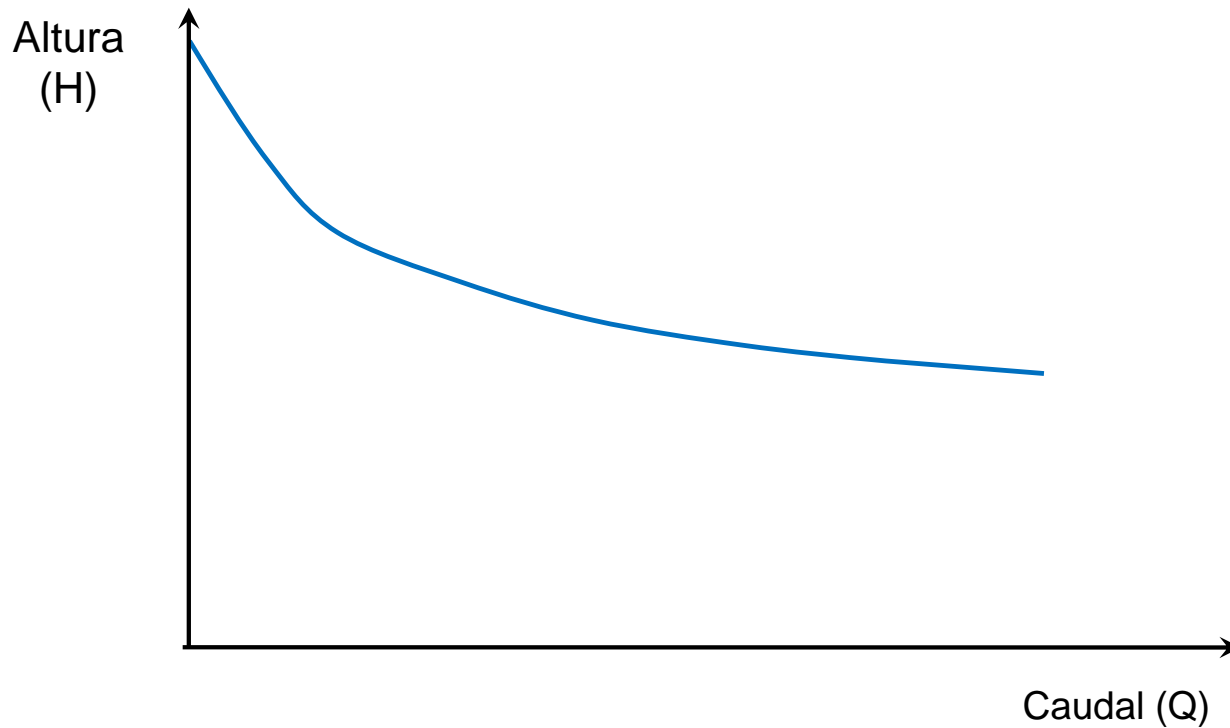
Curva Característica de la bomba

Tipo de curva de un bomba centrífuga



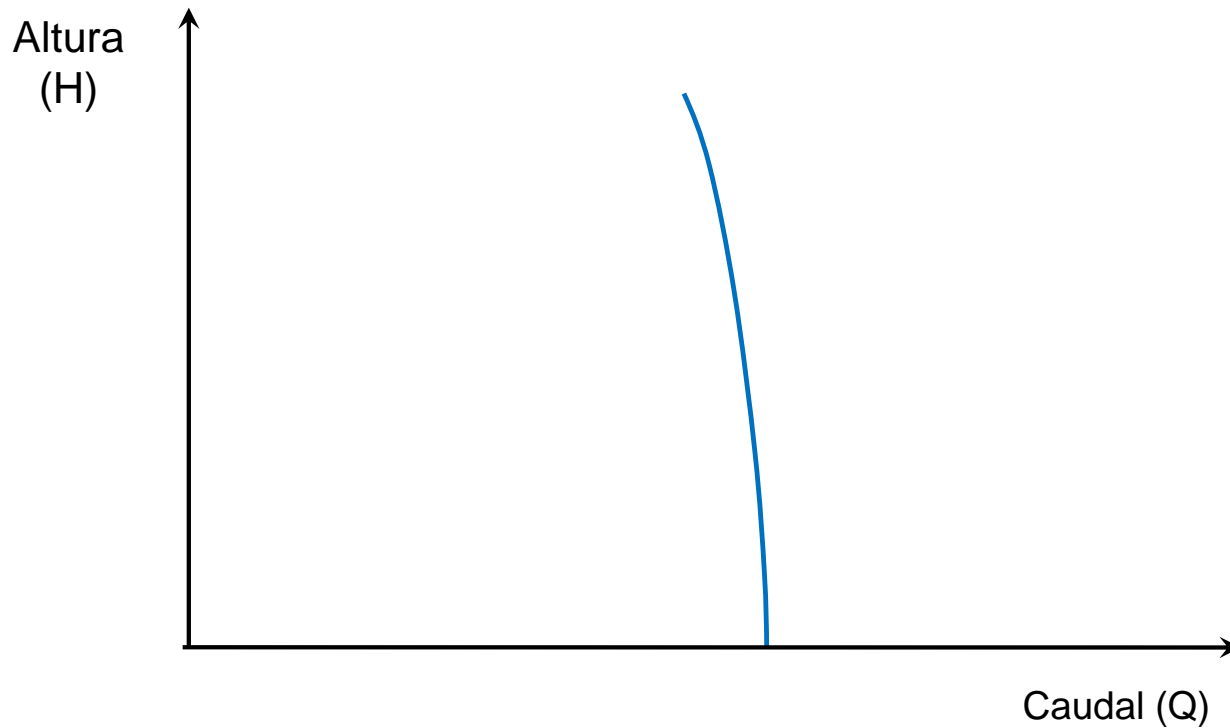
Curva Característica de la bomba

Tipo de curva de un bomba axial



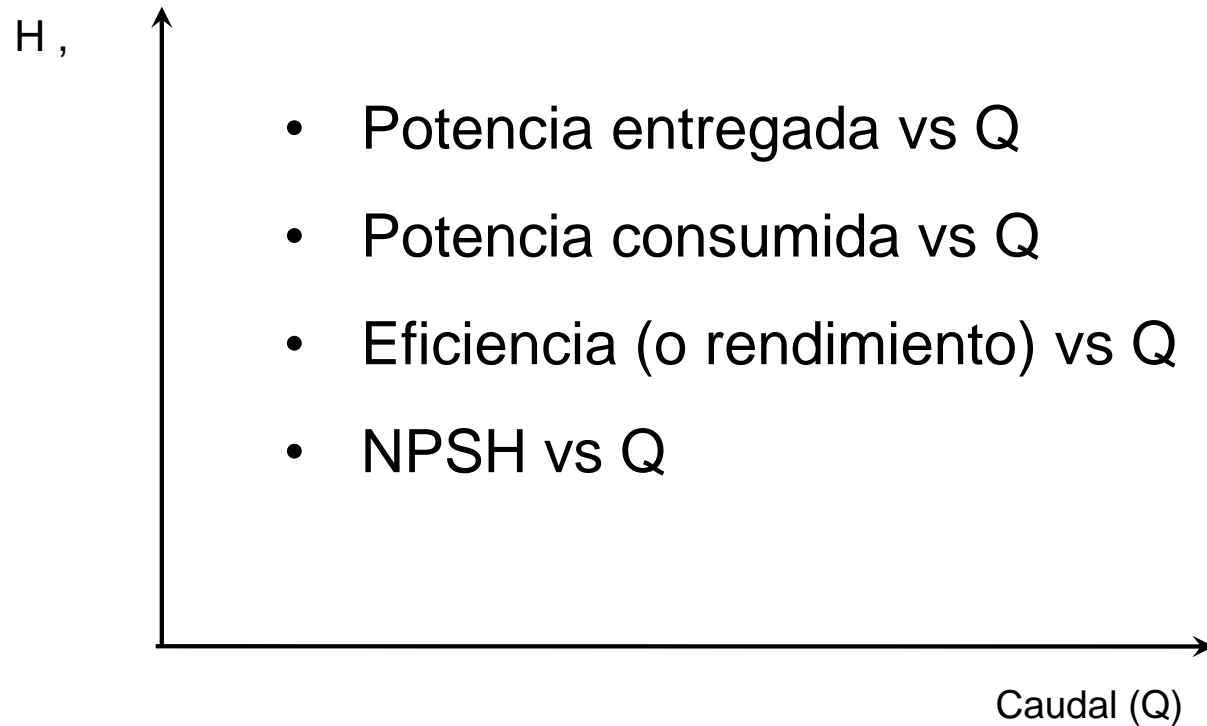
Curva Característica de la bomba

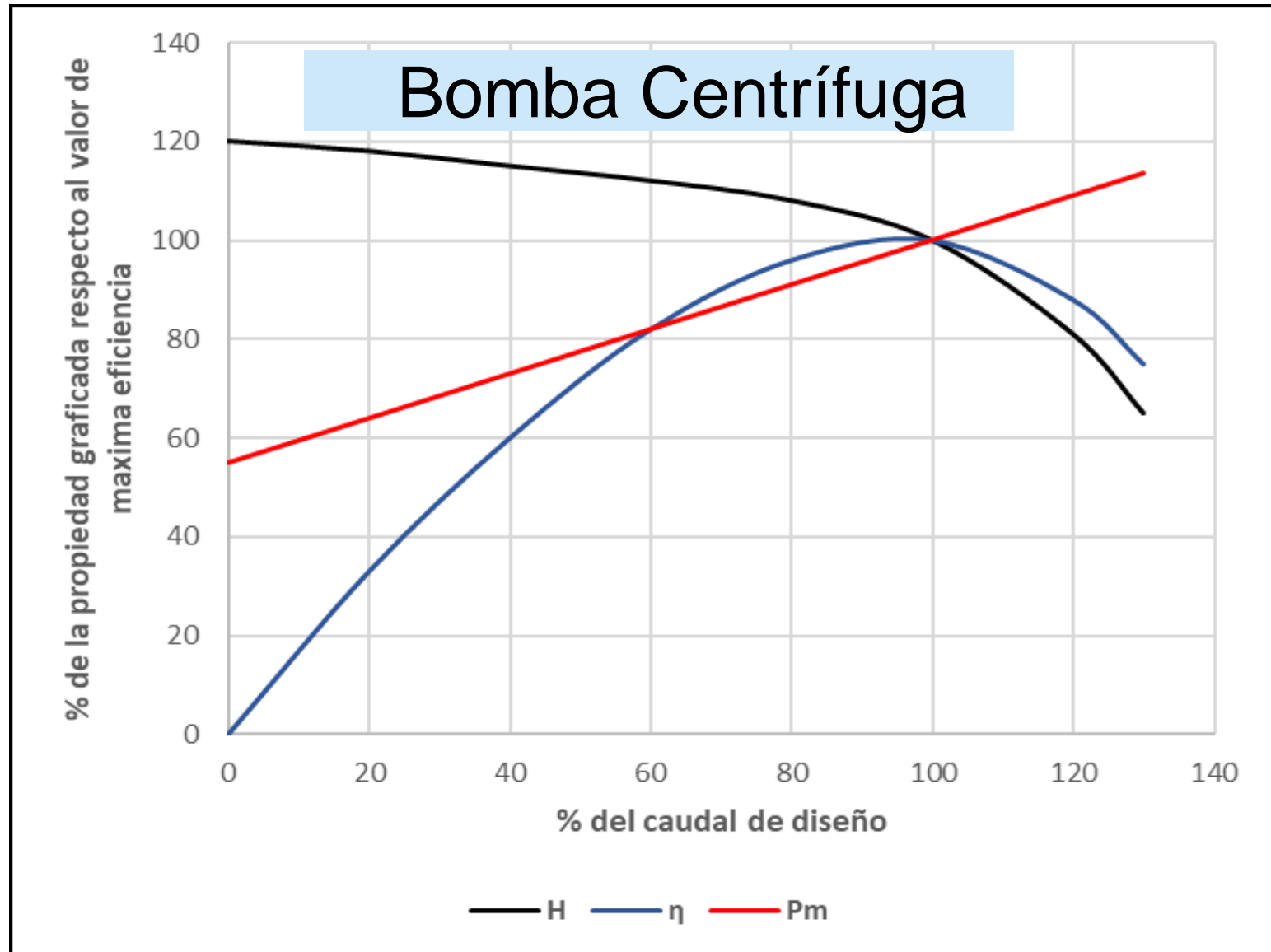
Tipo de curva de un bomba de desplazamiento positivo



Curvas...

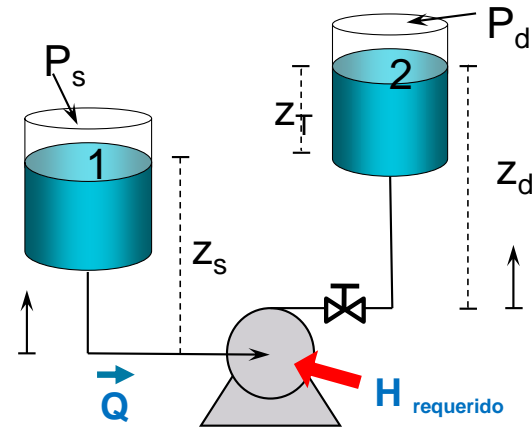
Además de interesarnos por la relación H vs Q , también interesará:





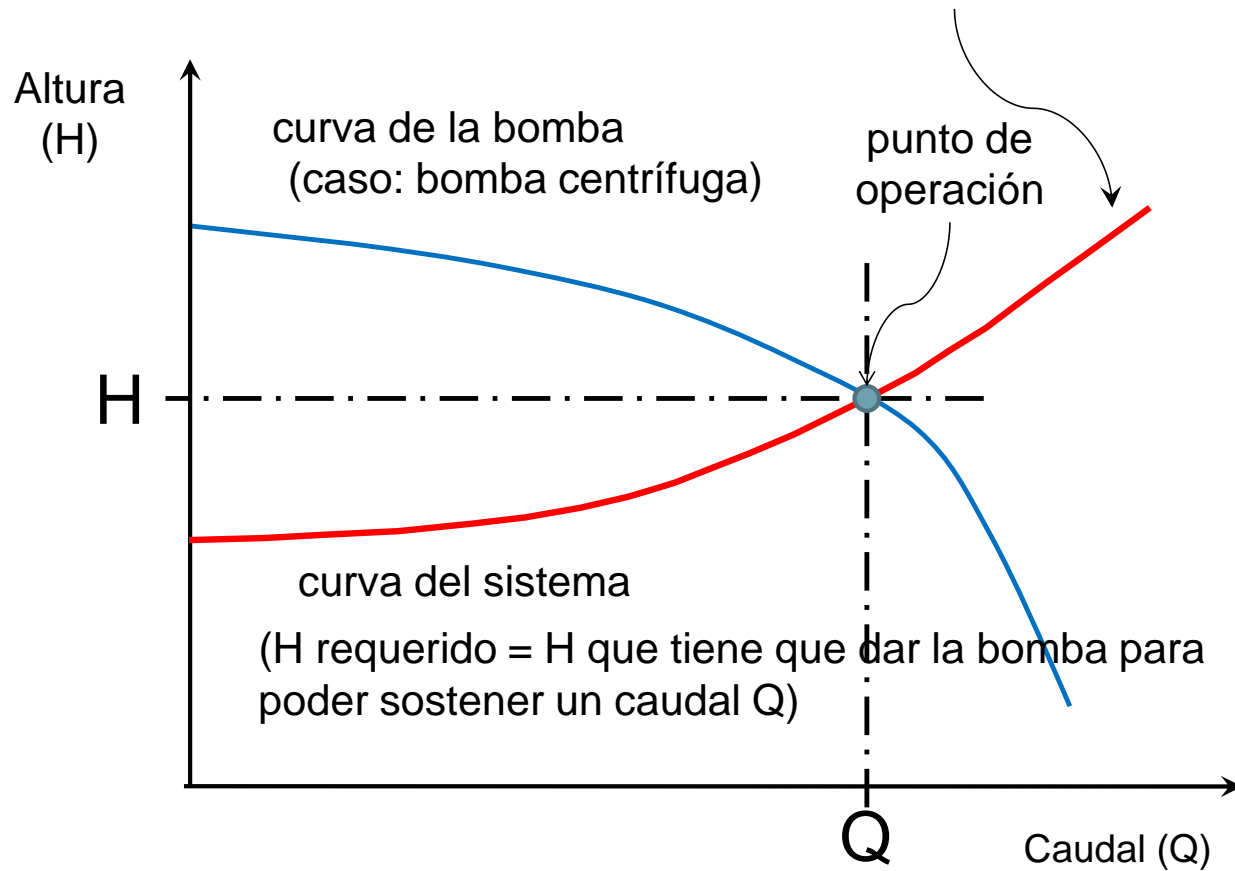
¿Y el Sistema?

Altura
(H)



Caudal (Q)

$$H = z_T + \frac{P_d - P_s}{\rho g} + \left(f \frac{L}{D} + \sum K \right) \frac{8}{g \pi^2 D^4} Q^2$$

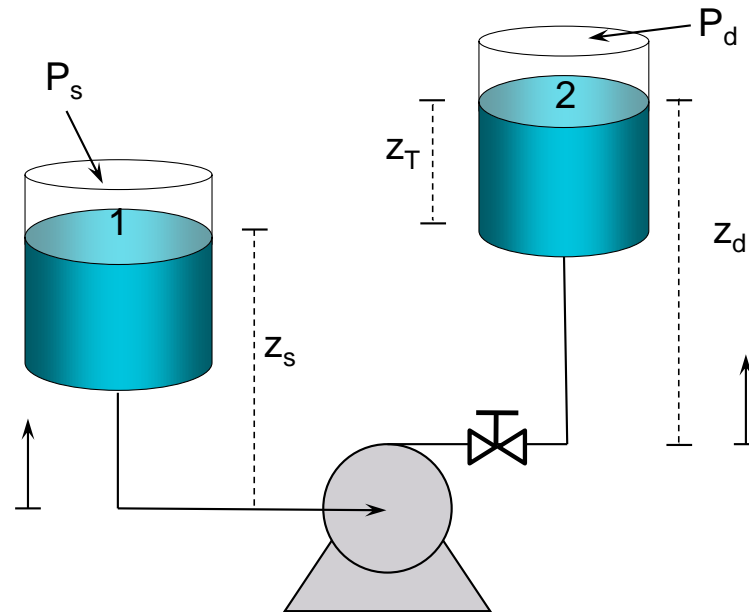


Más preguntas...

1. ¿El caudal que pasa por la bomba centrífuga es continuo o arrachado?
2. ¿Qué pasa con el caudal impulsado por una bomba centrífuga si se cierra alguna válvula en la tubería de salida de la bomba? ¿y qué pasa con la presión en la línea de salida?
3. ¿Qué diferencias hay entre las bombas centrífugas y las axiales respecto a la respuesta a #2?
4. ¿Cómo sería la curva real de una bomba centrífuga con álabes curvados hacia adelante?
5. ¿Cuáles serían sus respuestas a la pregunta #2 si la bomba fuera de desplazamiento positivo?

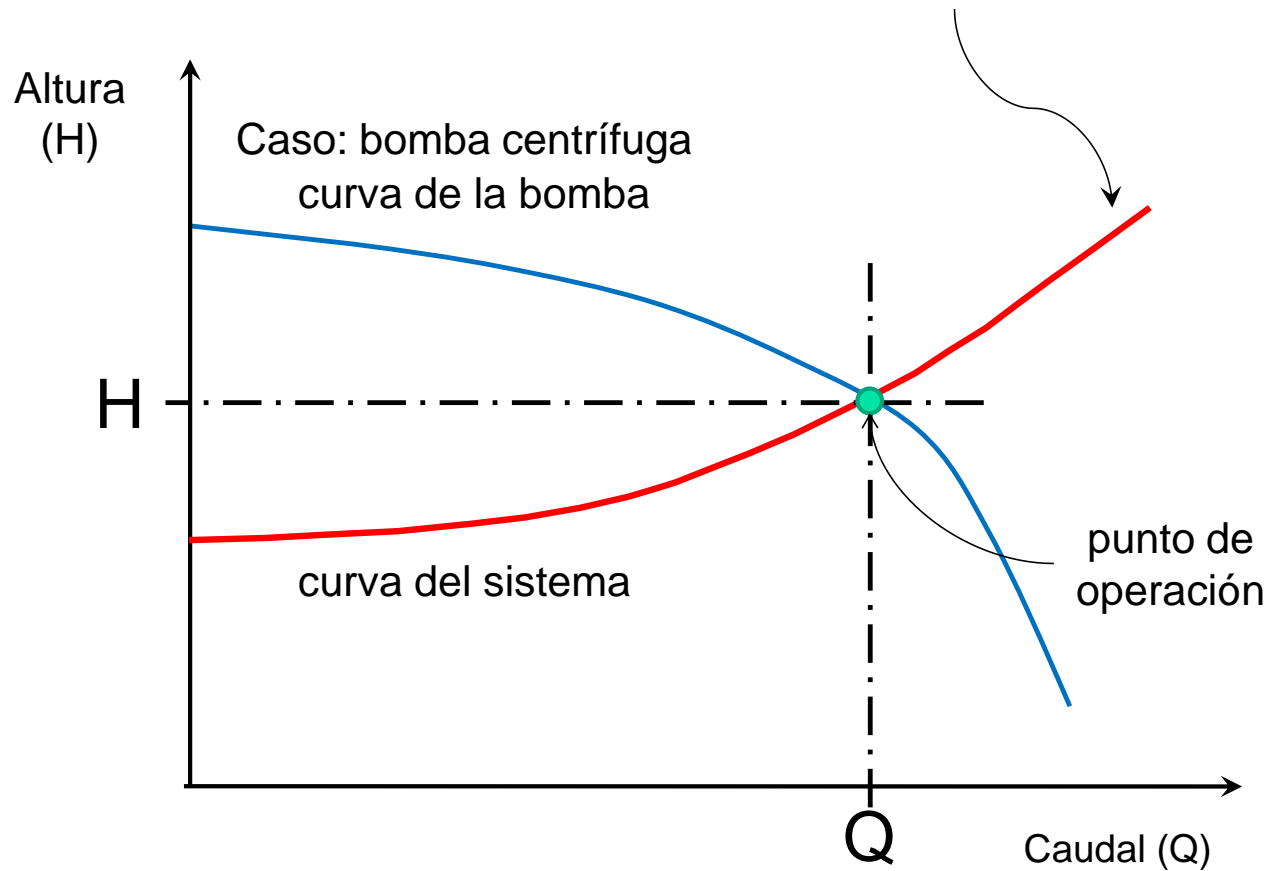
Consideremos una bomba centrífuga...

¿Qué pasa con el caudal si se cierra alguna válvula en la tubería de salida de la bomba? ¿y qué pasa con la presión en la línea de salida?



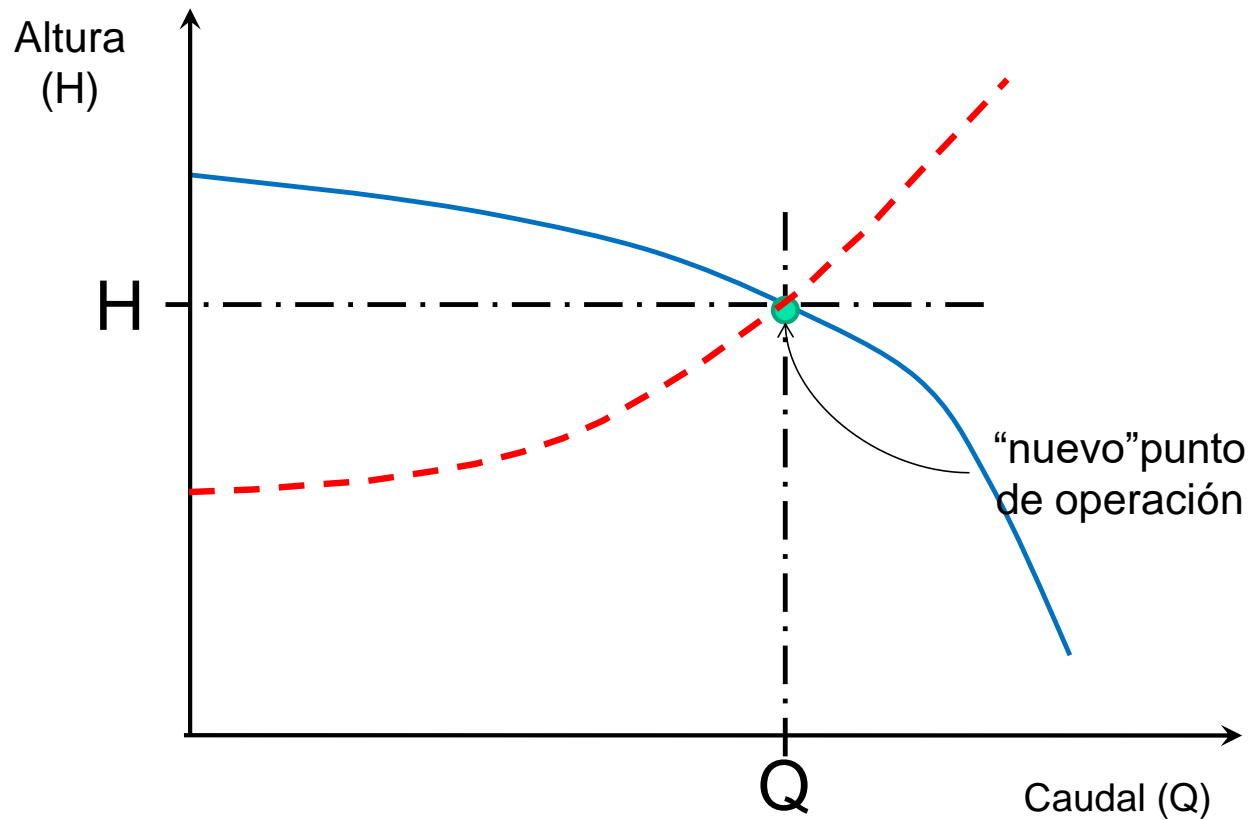
Si por ejemplo, se cierra un poco la válvula?

$$H = z_T + \frac{P_d - P_s}{\rho g} + \left(f \frac{L}{D} + \sum K \right) \frac{8}{g \pi^2 D^4} Q^2$$

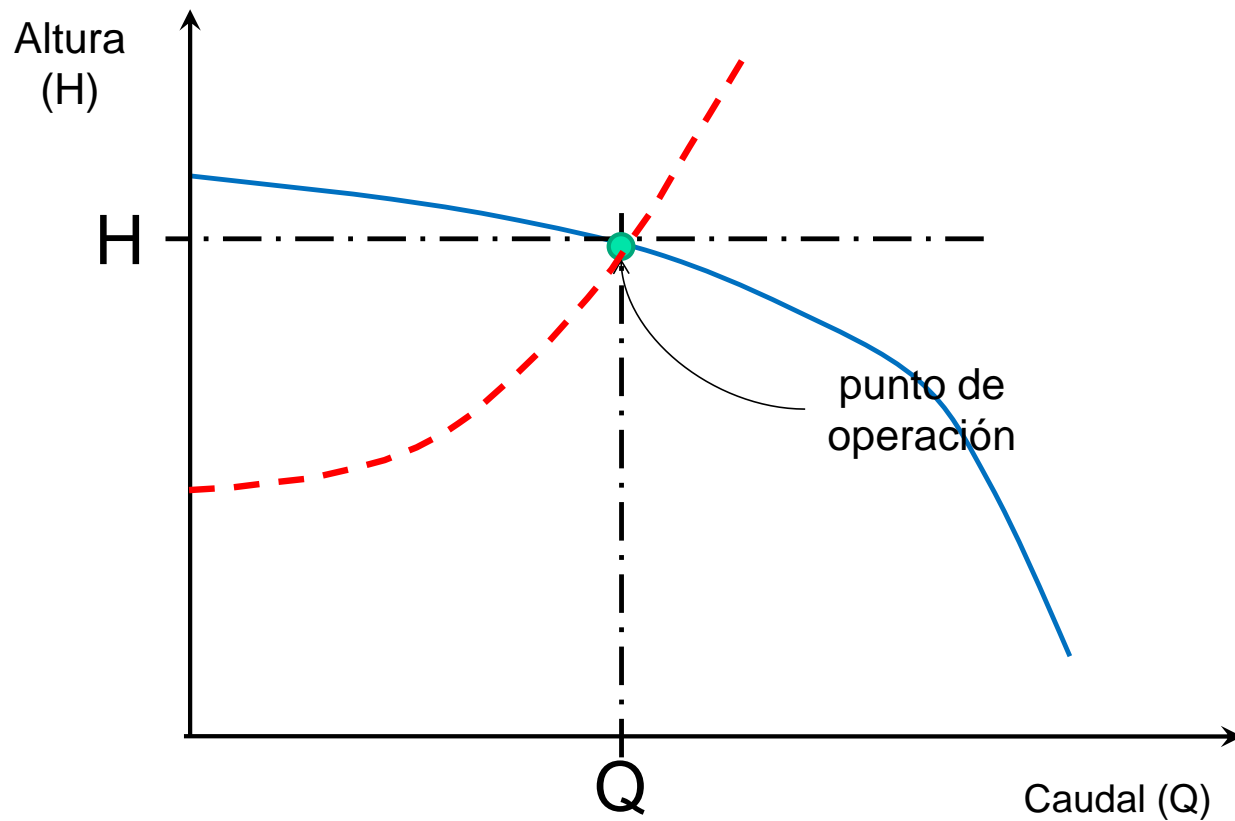


Si por ejemplo, se cierra un poco la válvula?

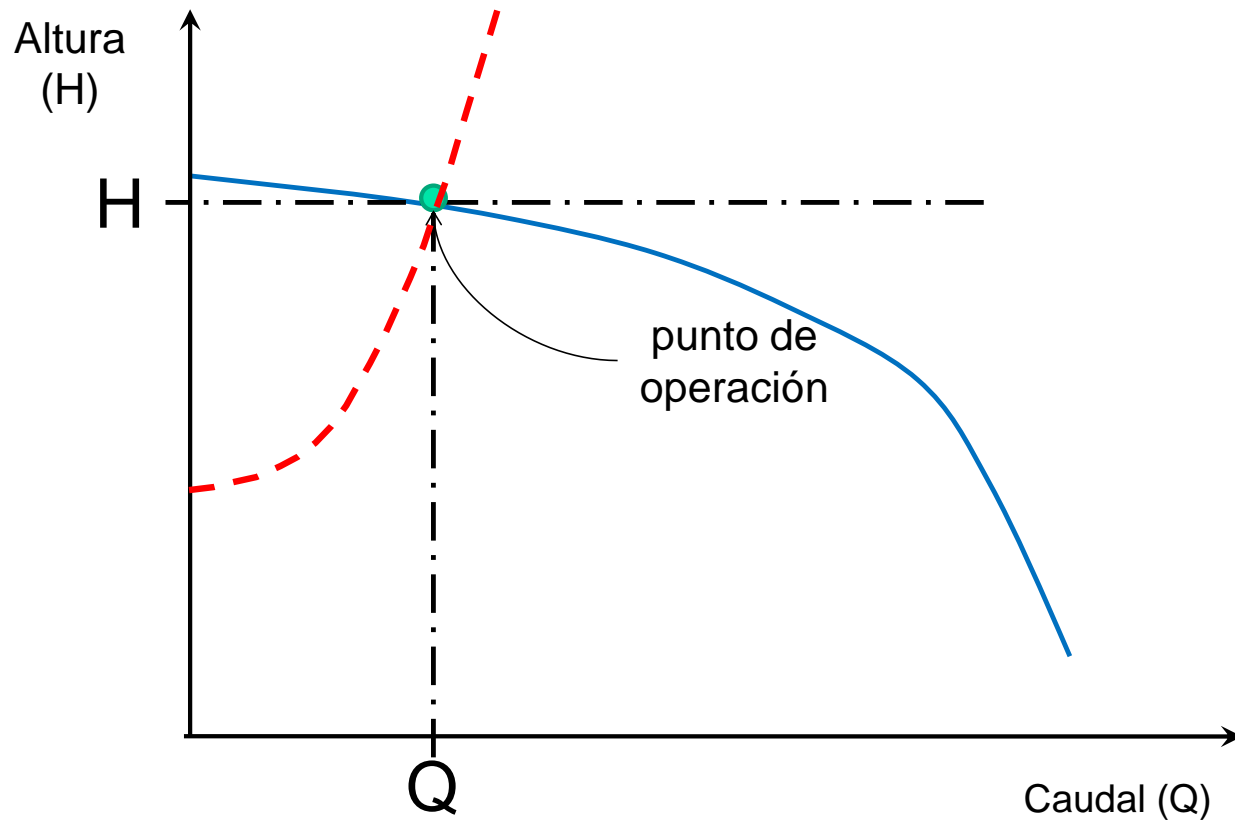
$$H = z_T + \frac{P_d - P_s}{\rho g} + \left(f \frac{L}{D} + \sum K \right) \frac{8}{g \pi^2 D^4} Q^2$$



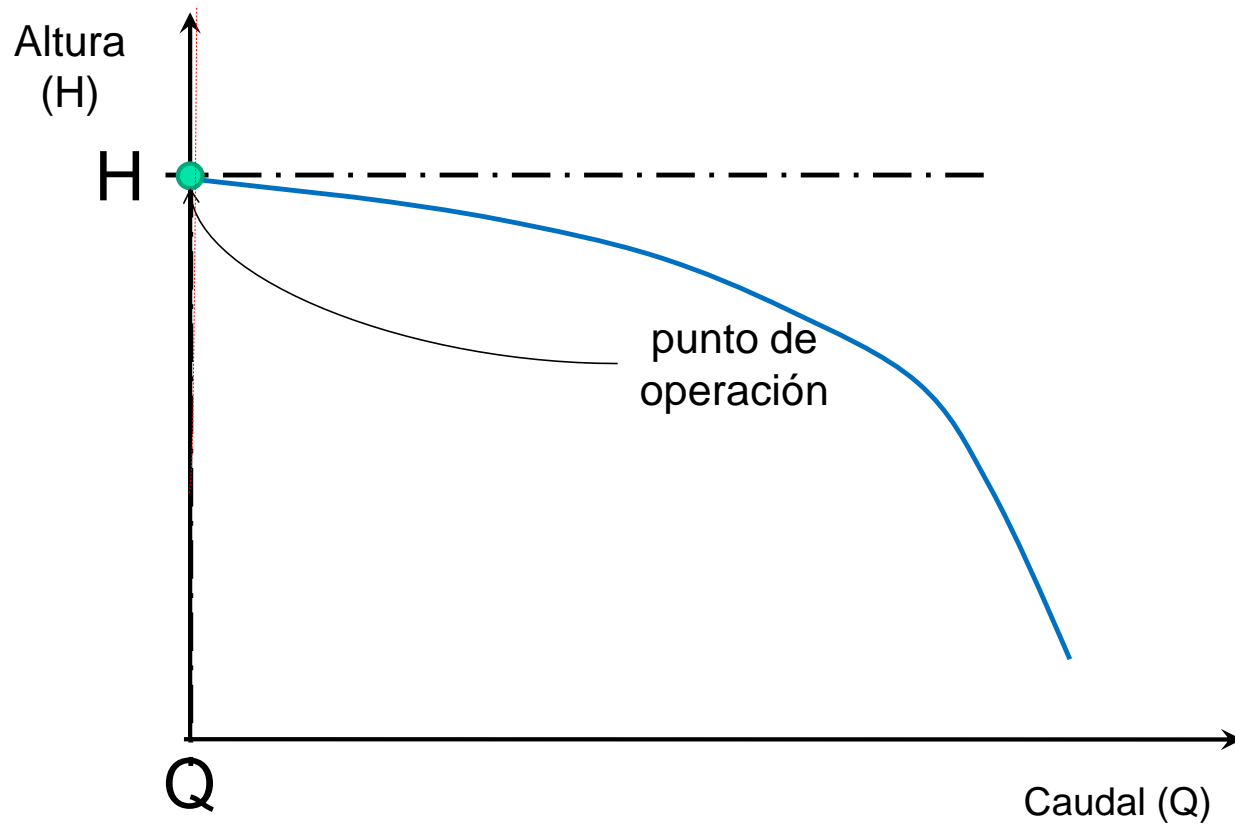
... y, si se sigue cerrando la valvula (K cada vez más grande)..



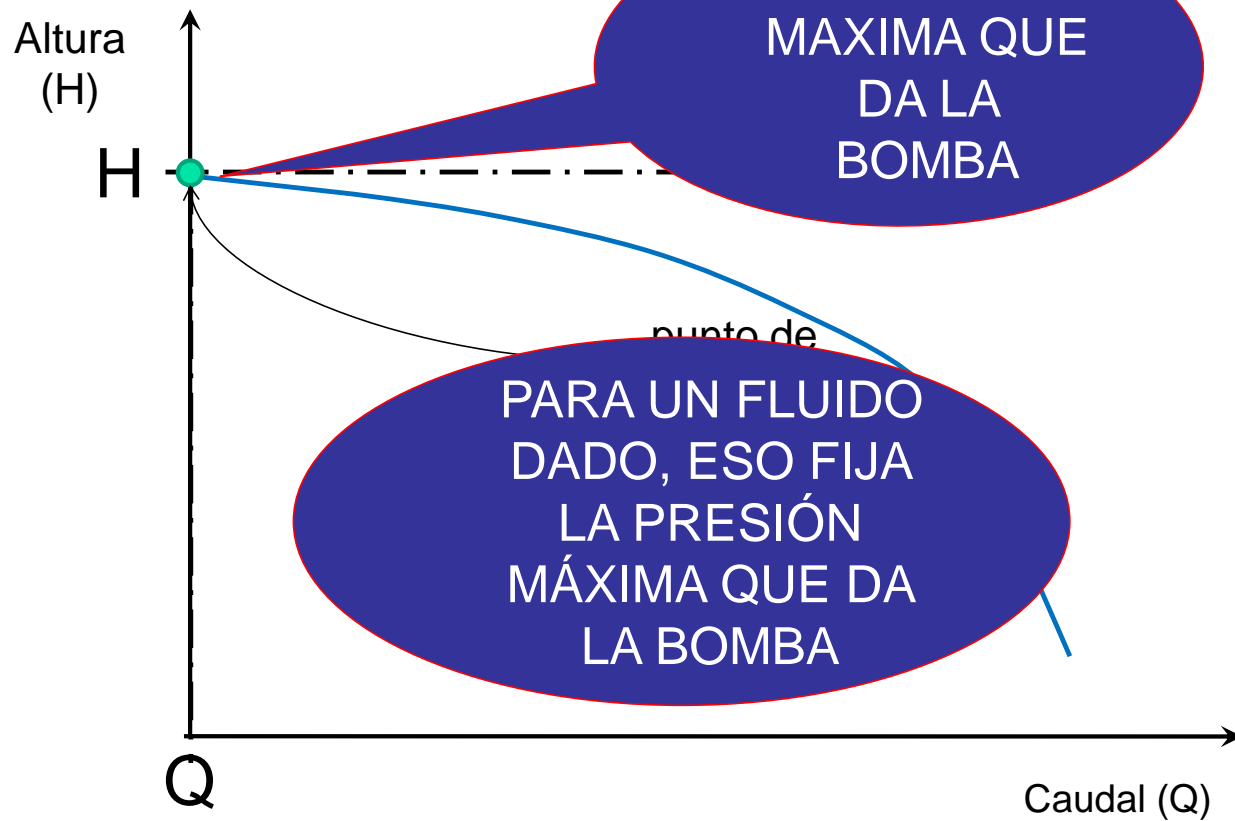
... y, si se sigue cerrando la valvula (K cada vez más grande)..



... hasta que si se cierra del todo:

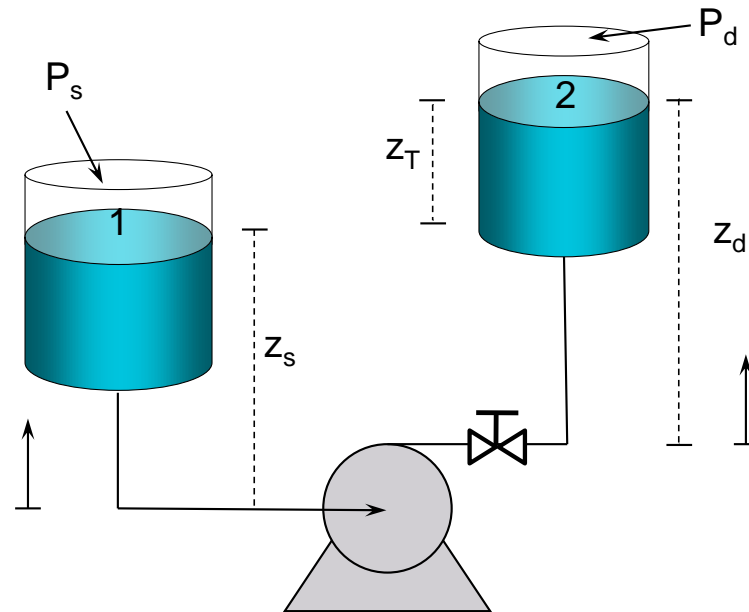


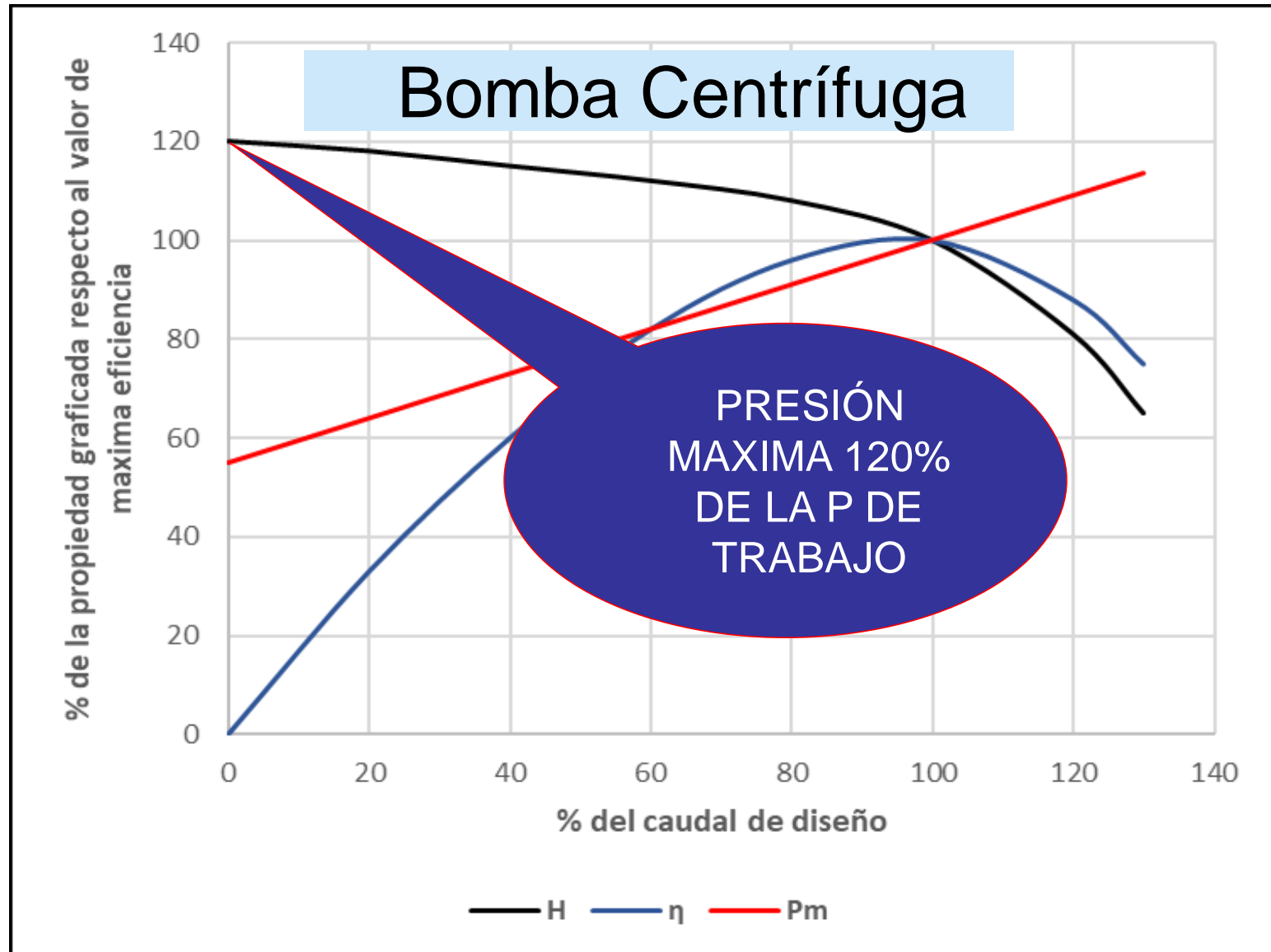
$$H = z_T + \frac{P_d - P_s}{\rho g} + \left(f \frac{L}{D} + \sum K \right) \frac{8}{\pi^2 D^4} Q^2$$



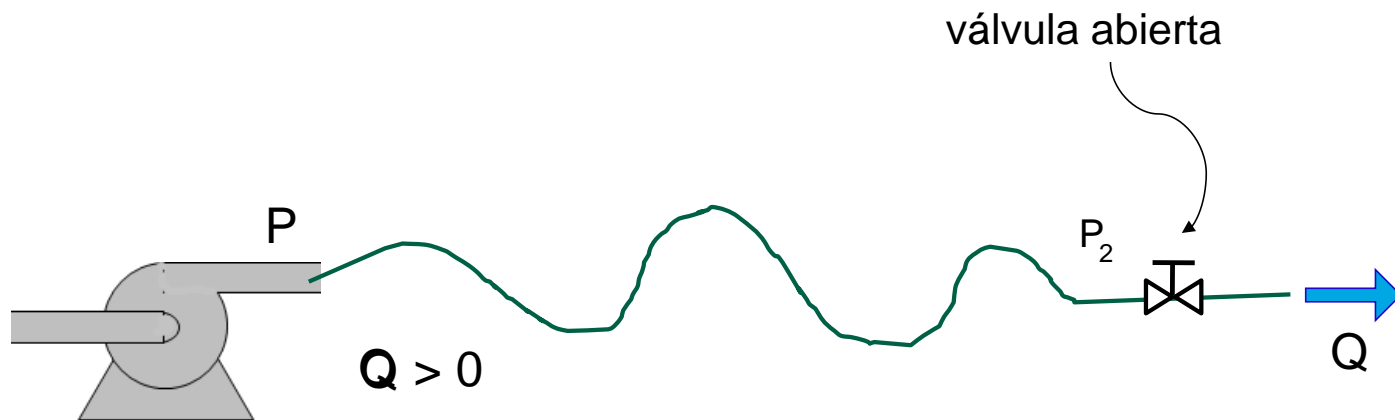
Consideremos una bomba axial...

¿Qué pasa con el caudal si se cierra alguna válvula en la tubería de salida de la bomba? ¿y qué pasa con la presión en la línea de salida?





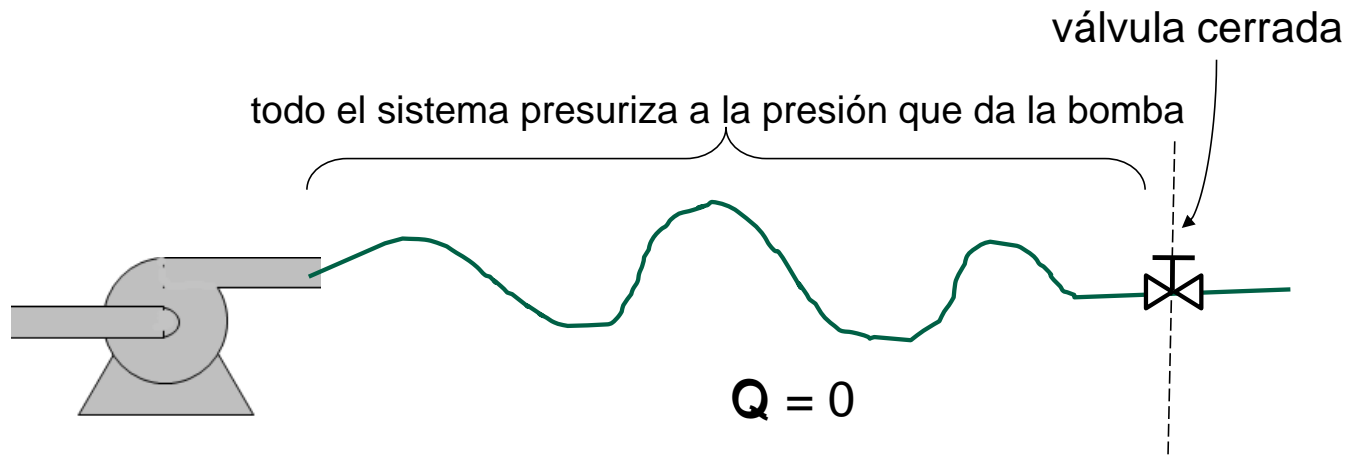
Respuestas a 2 y 3



Respuestas a 2 y 3

Si se cierra una válvula a la salida, el caudal baja a 0.

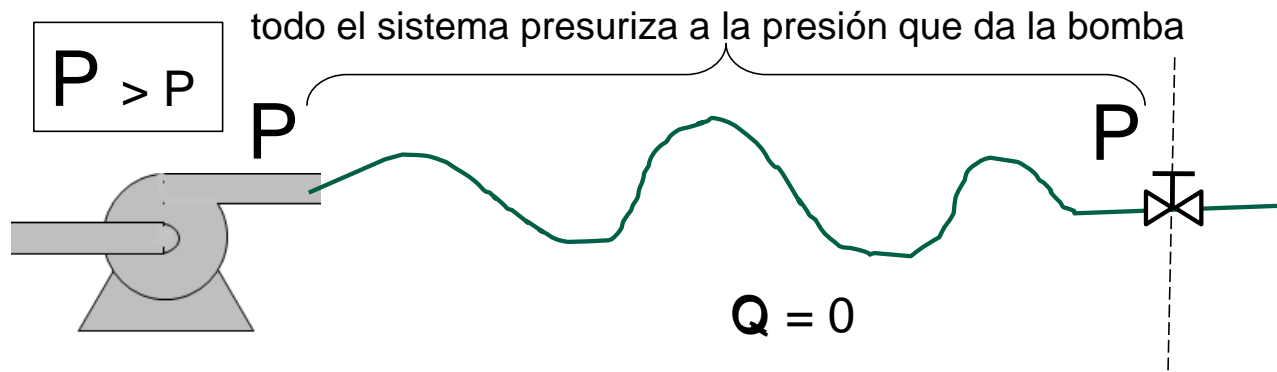
En esas condiciones, la bomba dinámica produce la mayor altura. La presión en el lado de descarga de la bomba y en la tubería hasta la válvula que se cerró será la máxima (la que corresponde a ese $H_{\text{máx}}$).



Respuestas a 2 y 3

Si se cierra una válvula a la salida, el caudal baja a 0.

En esas condiciones, la bomba dinámica produce la mayor altura. La presión en el lado de descarga de la bomba y en la tubería hasta la válvula que se cerró será la máxima (la que corresponde a ese $H_{\text{máx}}$).



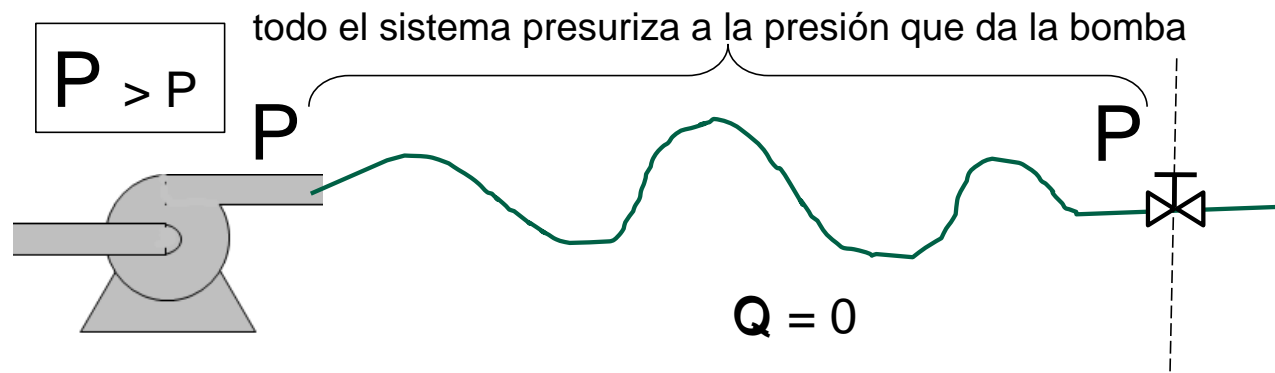
Respuestas a 2 y 3

Si se cierra una válvula a la salida, el caudal baja a 0.

En esas condiciones, la bomba dinámica produce la mayor altura. La presión en el lado de descarga de la bomba y en la tubería hasta la válvula que se cerró será la máxima (la que corresponde a ese $H_{\text{máx}}$).

En el caso de una bomba centrífuga, esa $H_{\text{máx}}$ es del orden del 120 % de la H de diseño, en cambio para una bomba axial esa $H_{\text{máx}}$ es del orden del 300% de la de diseño.

Luego de la válvula, la presión depende de lo que le pase al sistema aguas abajo.



Respuestas a 2 y 3

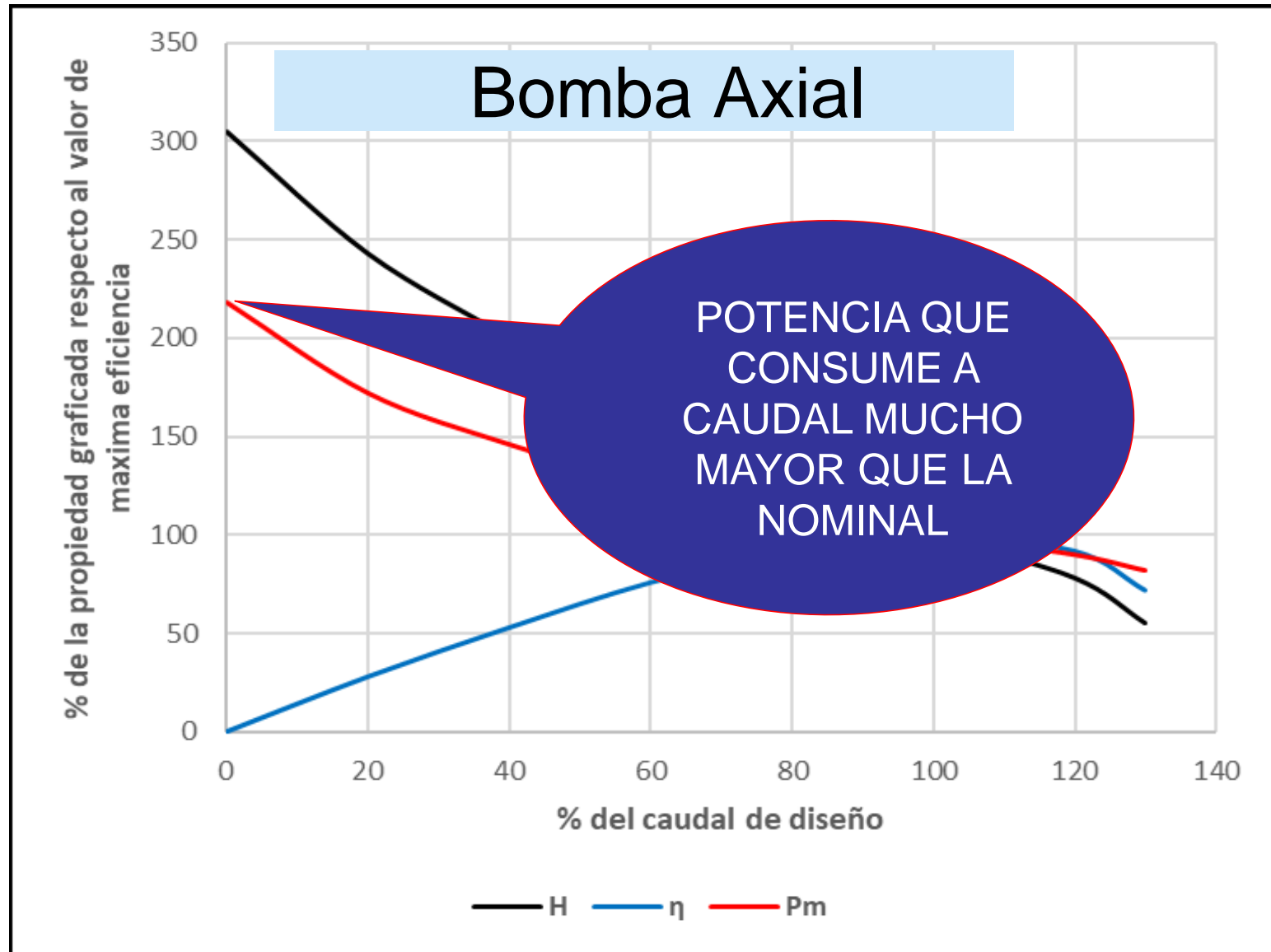
Si se cierra una válvula a la salida, el caudal baja a 0.

En esas condiciones, la bomba dinámica produce la mayor altura. La presión en el lado de descarga de la bomba y en la tubería hasta la válvula que se cerró será la máxima (la que corresponde a ese $H_{\text{máx}}$).

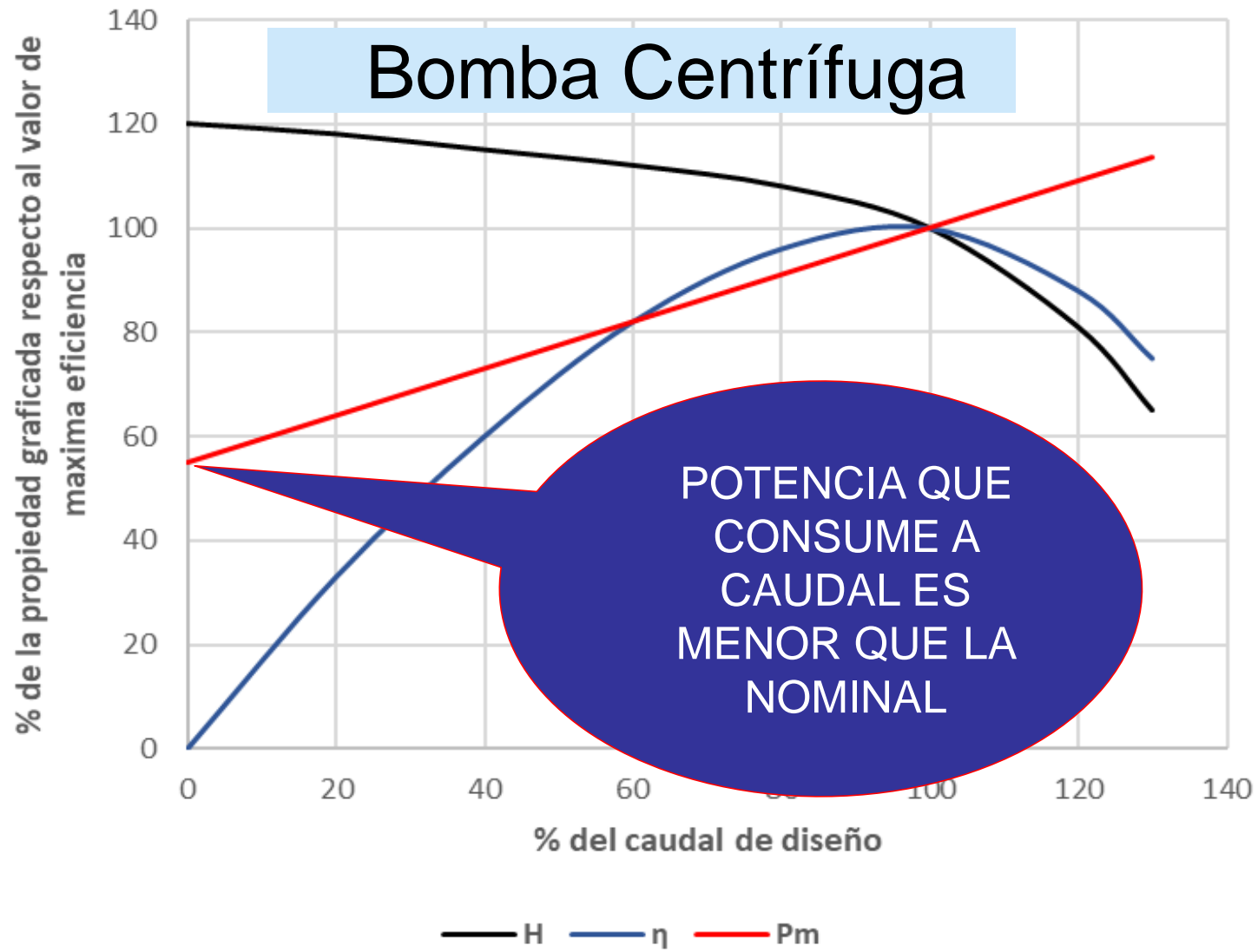
En el caso de una bomba centrífuga, esa $H_{\text{máx}}$ es del orden del 120 % de la H de diseño, en cambio para una bomba axial esa $H_{\text{máx}}$ es del orden del 300% de la de diseño.

Luego de la válvula, la presión depende de lo que le pase al sistema aguas abajo.

Respecto a las potencias, la bomba axial consume la P máxima para caudal 0 y la bomba centrífuga consume una P que crece con el caudal.



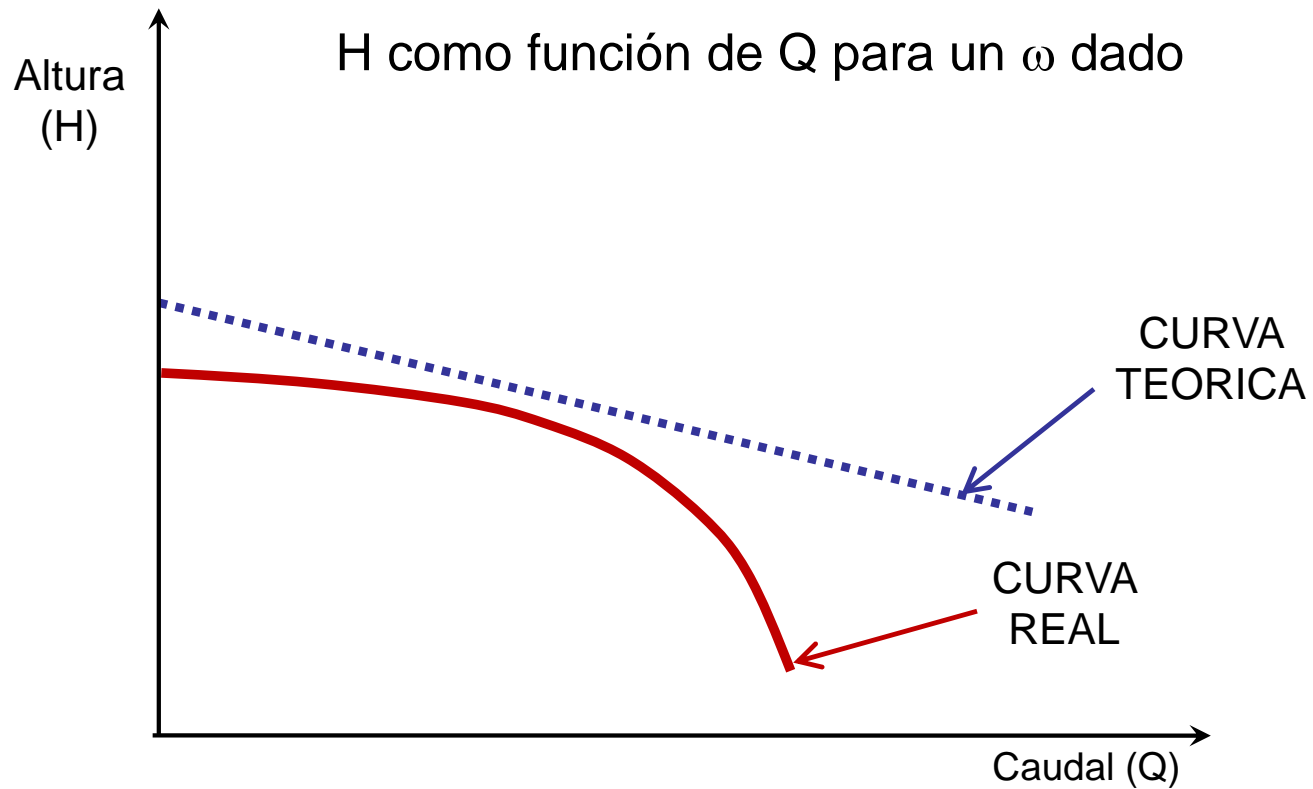
Bomba Centrífuga



Respuesta a 4

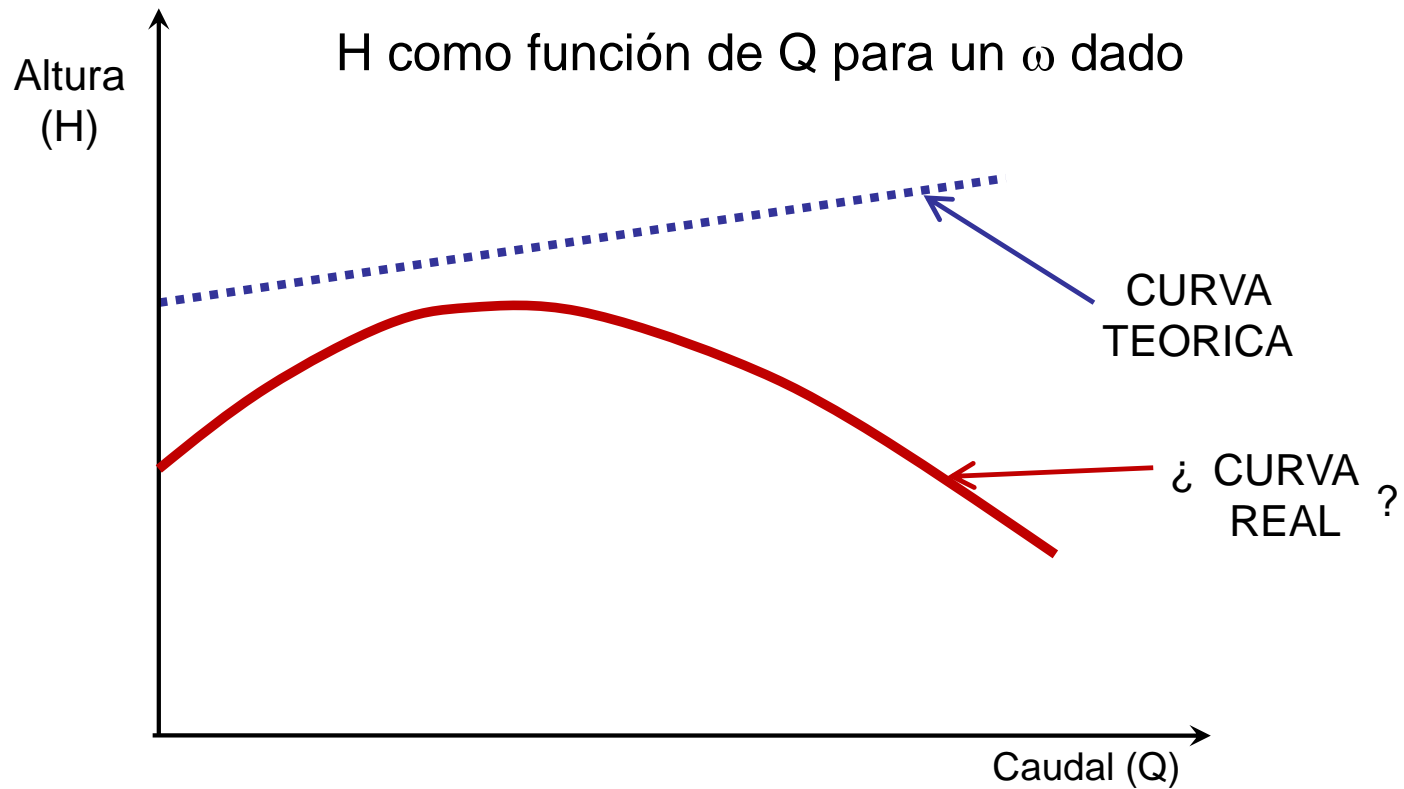
Bomba con álabes curvados hacia atrás y ω cte.

H como función de Q para un ω dado



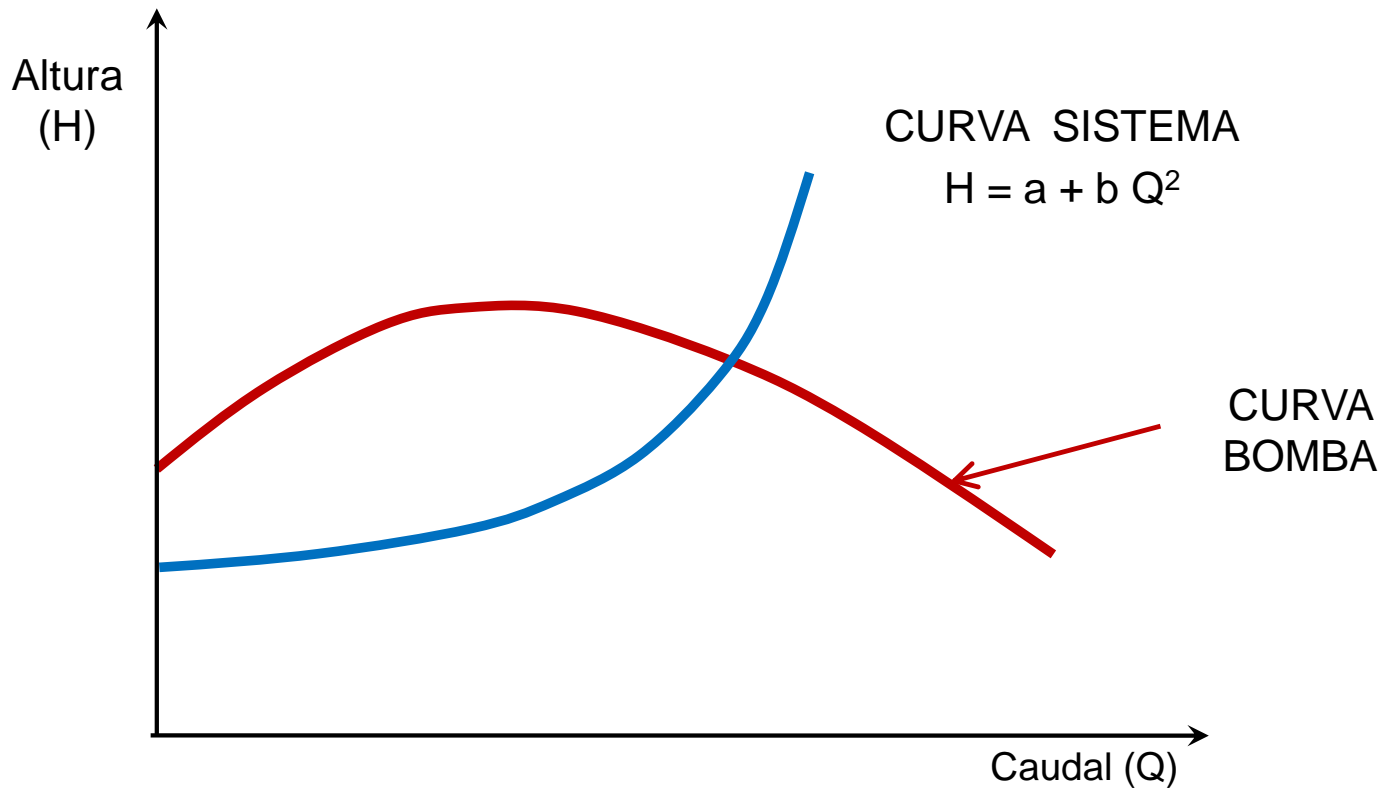
Respuesta a 4

Bomba centrífuga con álabes curvados hacia atrás y
 ω cte.



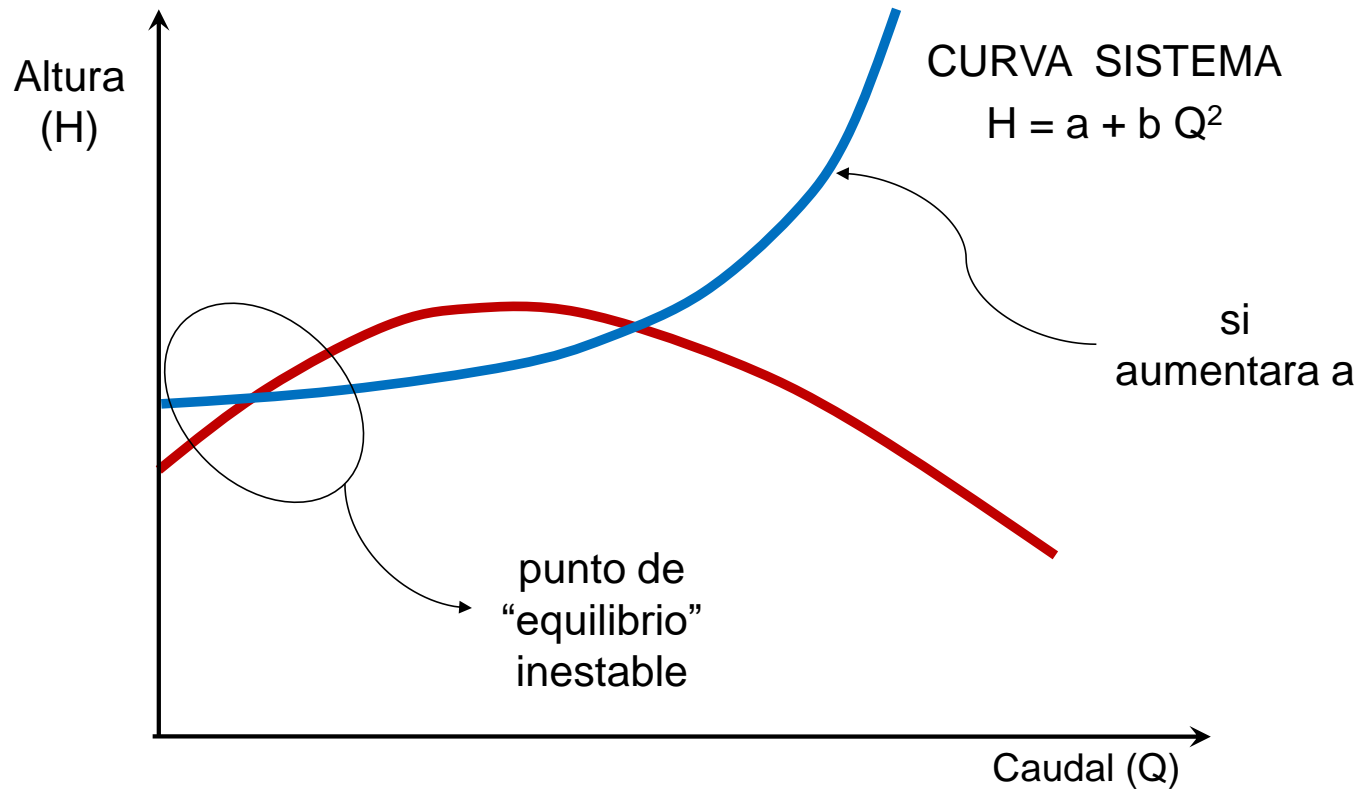
Pregunta 4 b

Supongamos que a y b pueden variar durante la operación
¿Qué problema podría haber el trabajar con esta bomba?



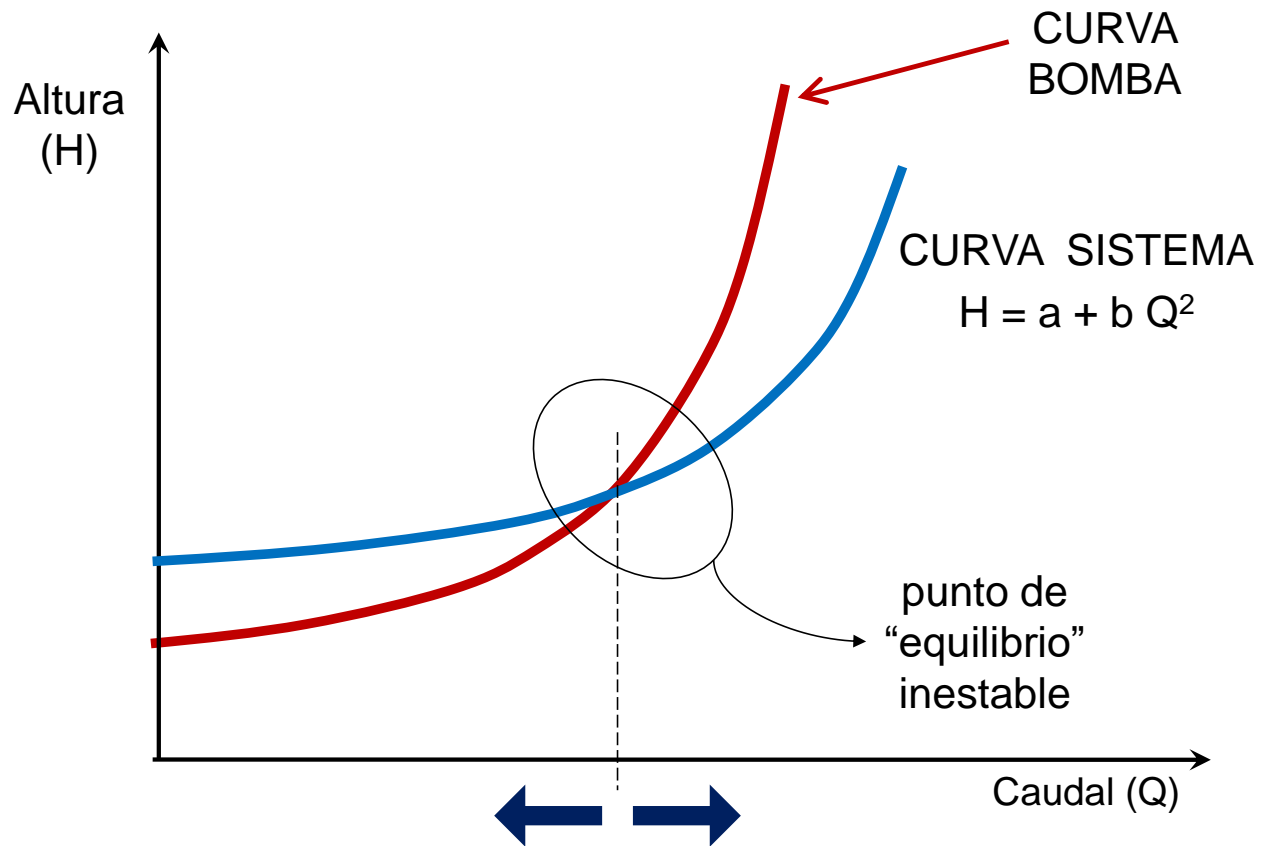
Pregunta 4 b

Supongamos que a y b pueden variar durante la operación
¿Qué problema podría haber el trabajar con esta bomba?



Pregunta 4 c

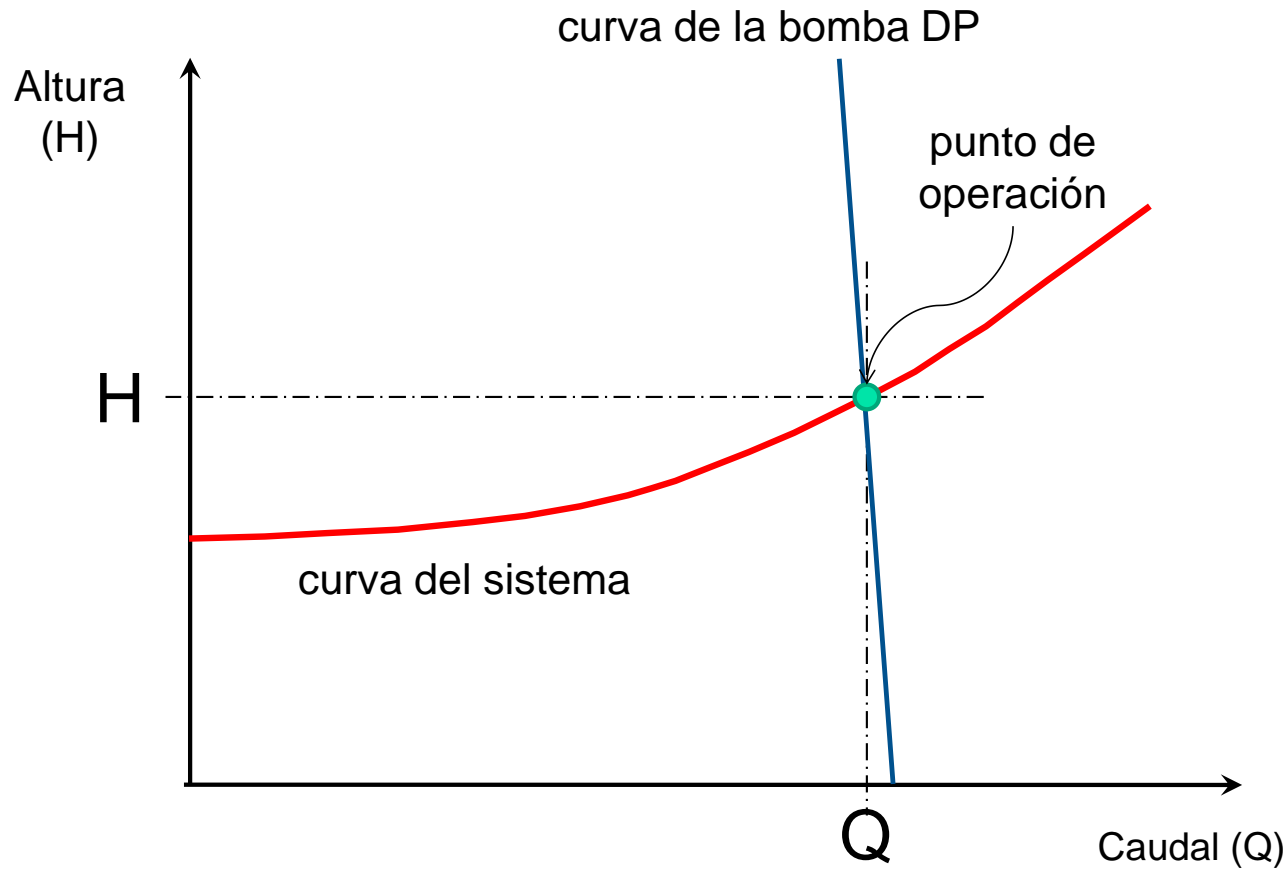
Suponga que tuviéramos una bomba con una curva como la del dibujo ¿Qué implicancias tendría para su operación?



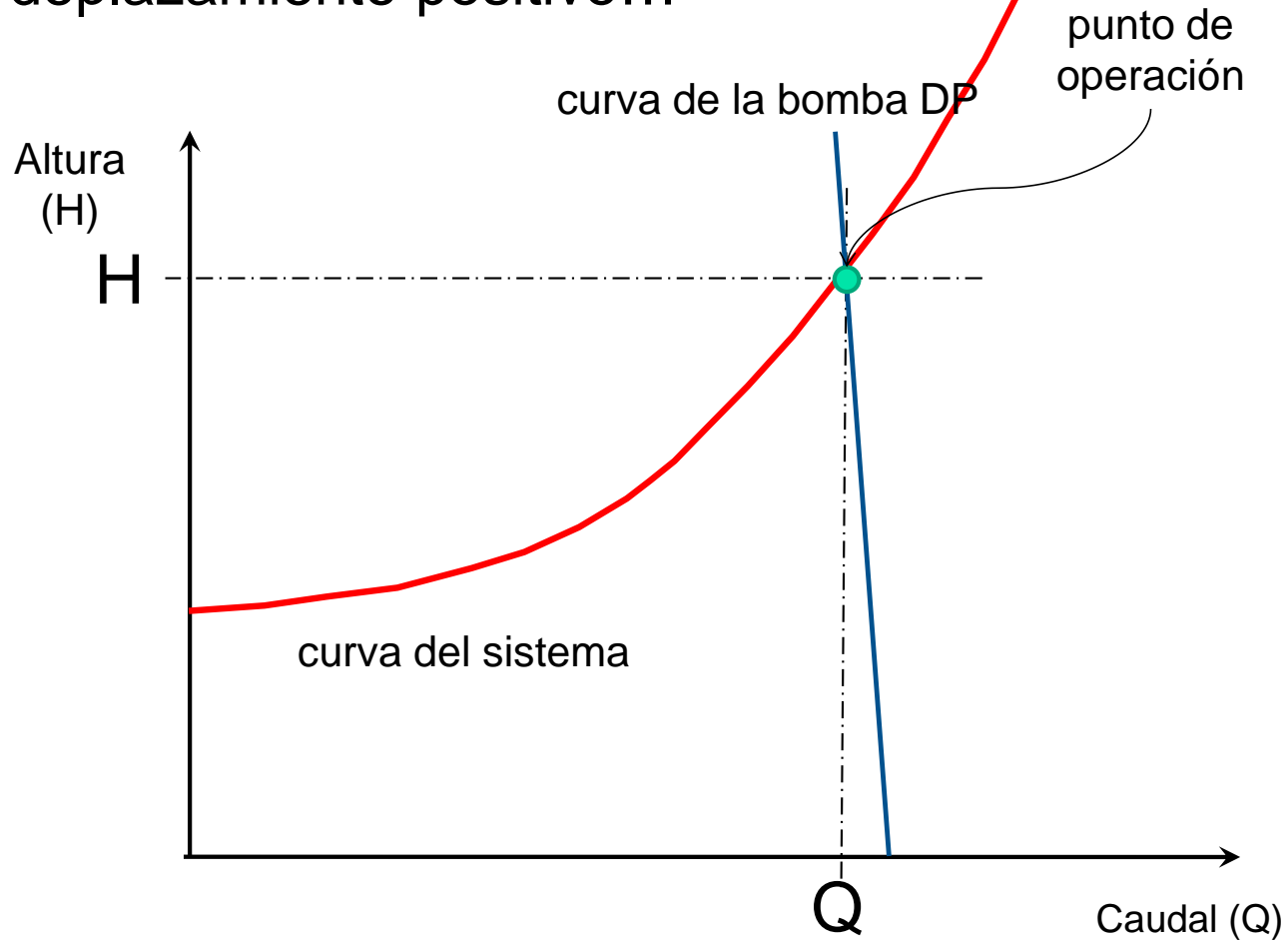
Respuesta a 5

Consideremos el caso de una bomba de
deplazamiento positivo...

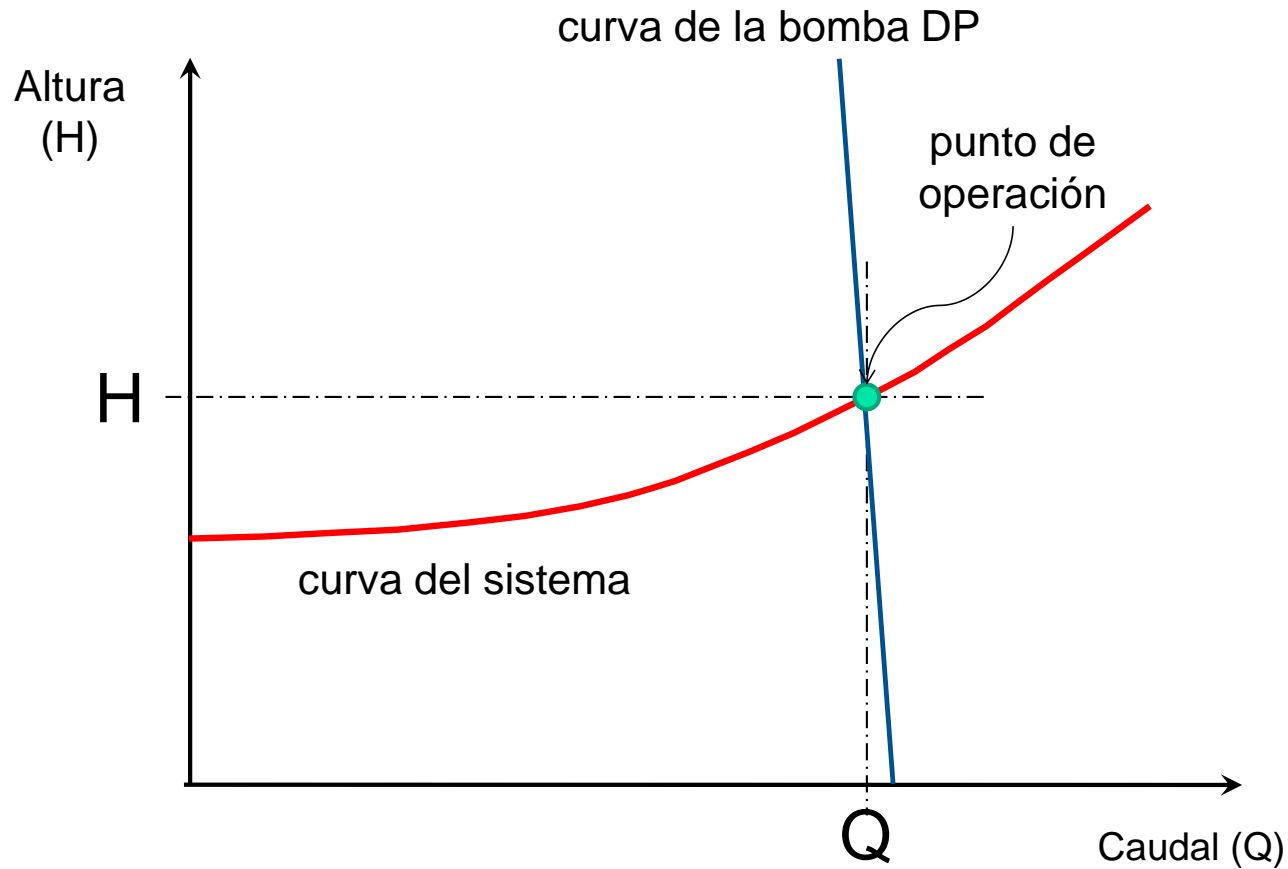
Consideremos el caso de una bomba de desplazamiento positivo...



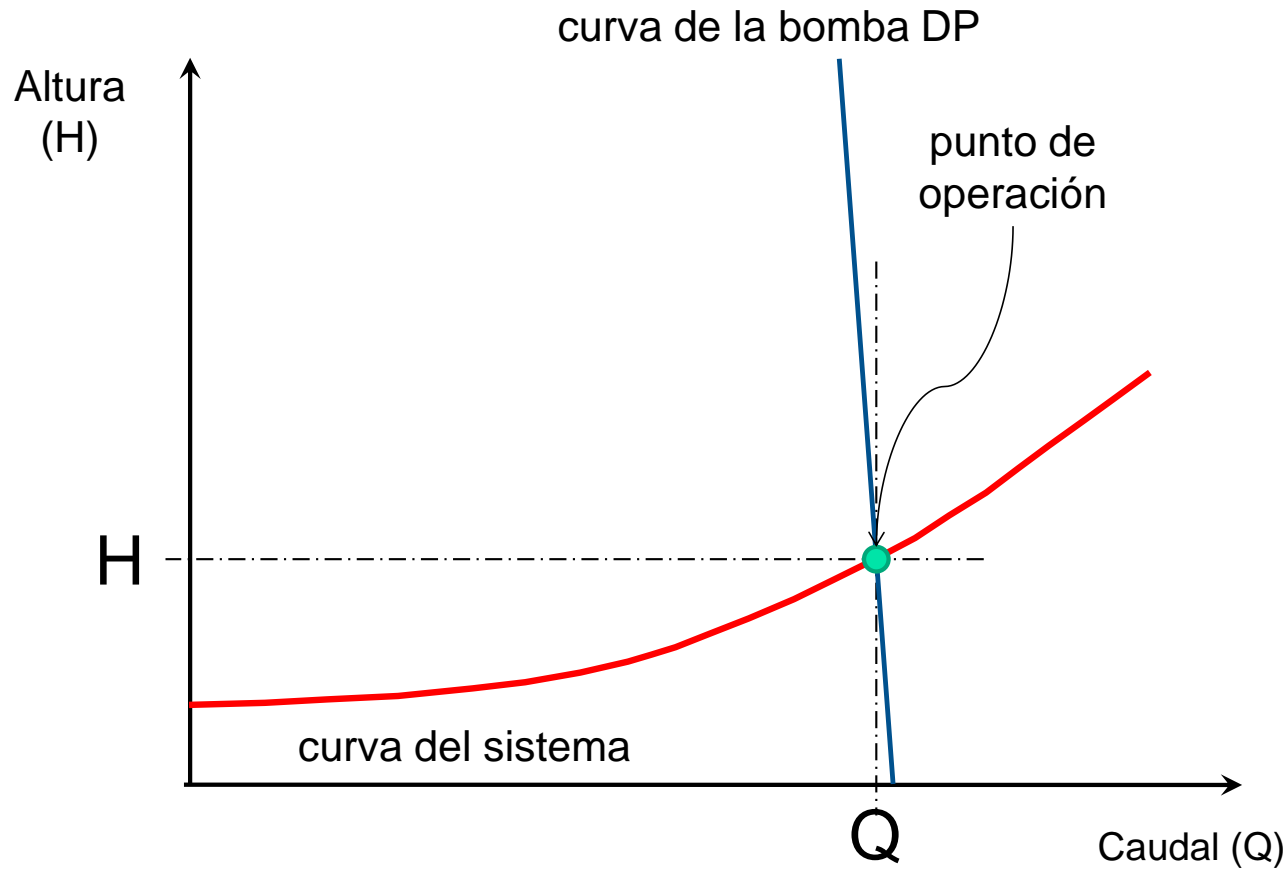
Consideremos el caso de una bomba de desplazamiento positivo...



Grandes variaciones en la curva del sistema no afectarían mucho el Q de operación

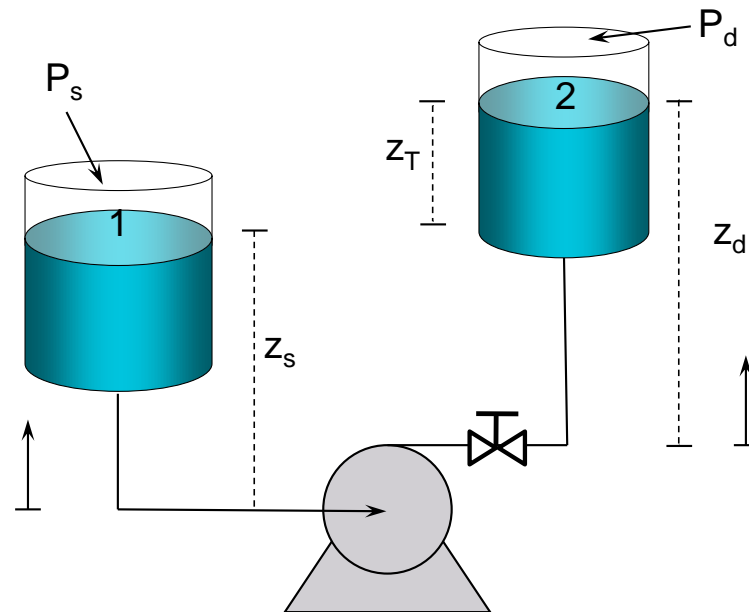


Grandes variaciones en la curva del sistema no afectarían mucho el Q de operación

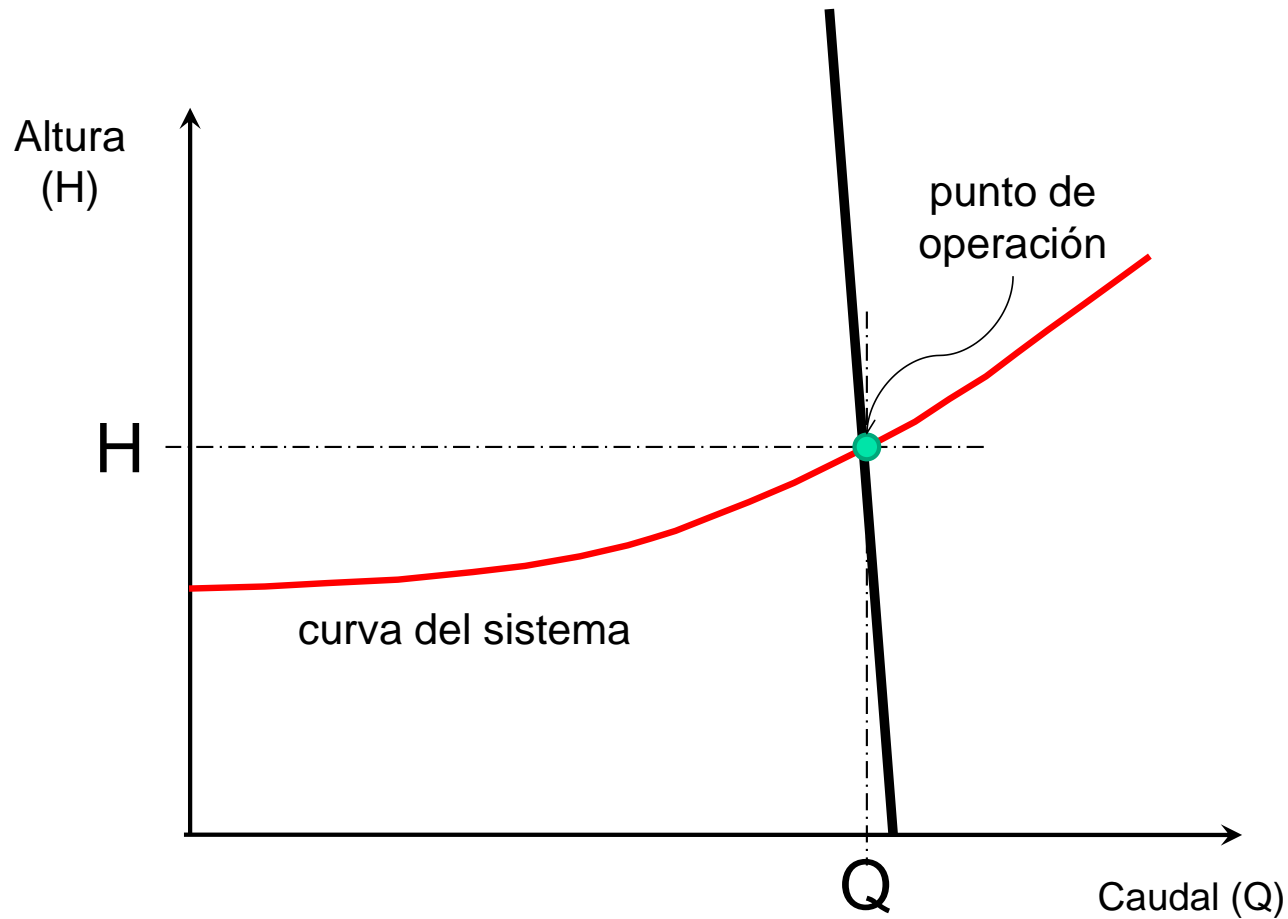


Respuesta a 5

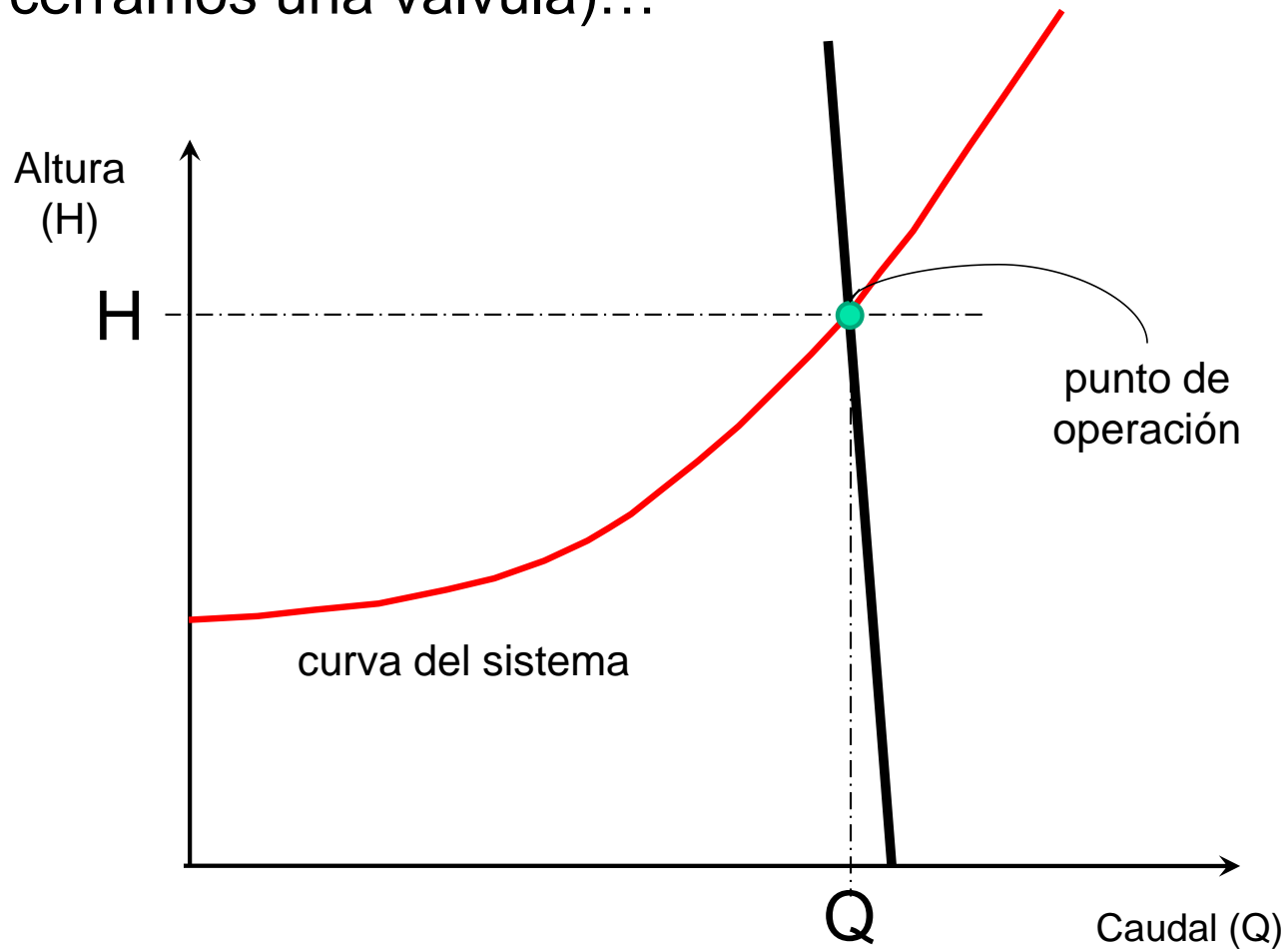
¿Qué pasa con el caudal si se cierra alguna válvula en la tubería de salida de la bomba? ¿y qué pasa con la presión en la línea de salida?



Si ponemos una obstrucción al flujo (por ej. cerramos una válvula)...



Si ponemos una obstrucción al flujo (por ej. cerramos una válvula)...

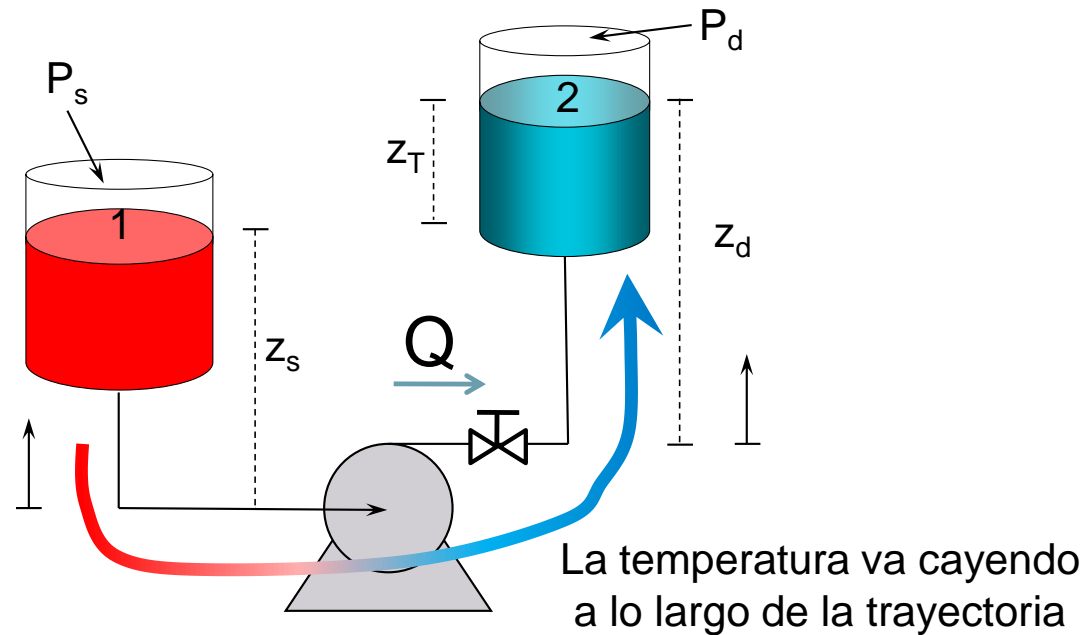


Aumenta tanto la presión previo a la obstrucción
que...



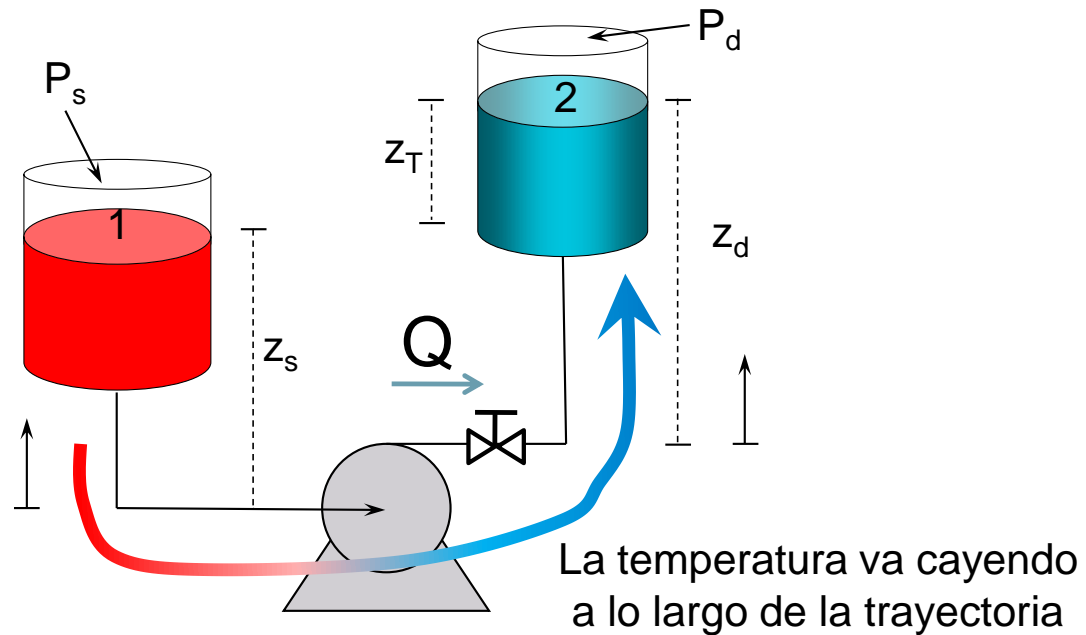
Preguntas “sistema no isotérmico”

Suponga que en el tanque 1 el fluido está muy caliente, y que se va enfriando a lo largo de la tubería y llega al tanque 2 bastante más frío. Y debido a ello, la viscosidad del fluido va aumentando a medida que se mueve desde 1 hasta 2 (despreciamos cambios de densidad)



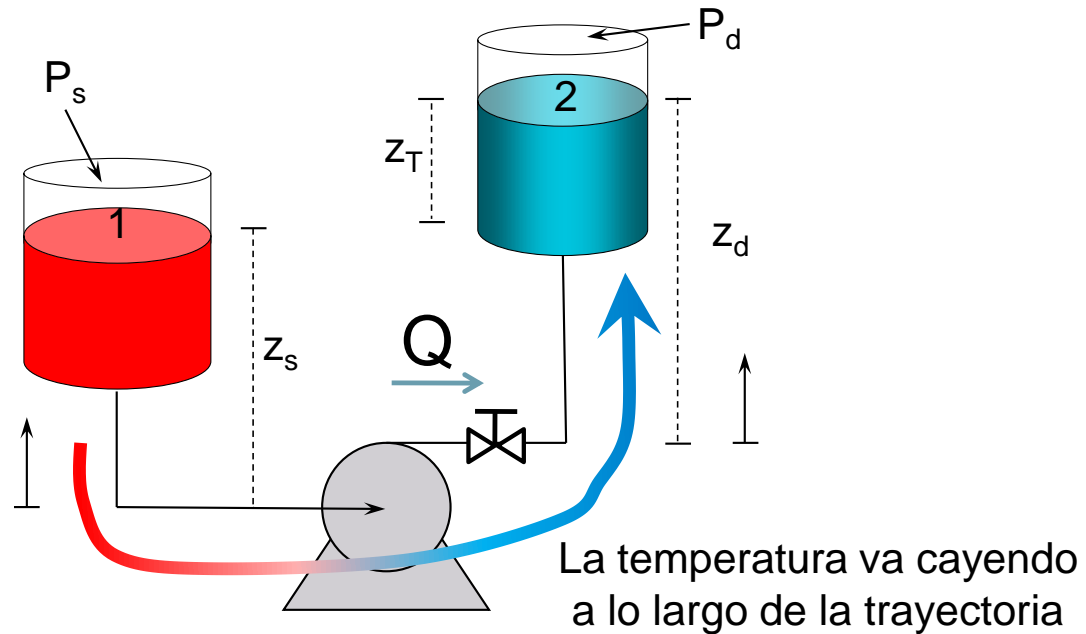
Preguntas “sistema no isotérmico”

1. ¿Es compatible esta condición con el hecho de que el sistema esté en estado estacionario?
2. ¿Cómo afecta el “incremento de viscosidad a lo largo de la tubería” al punto de operación?



¿Cuál de las siguientes es la correcta?

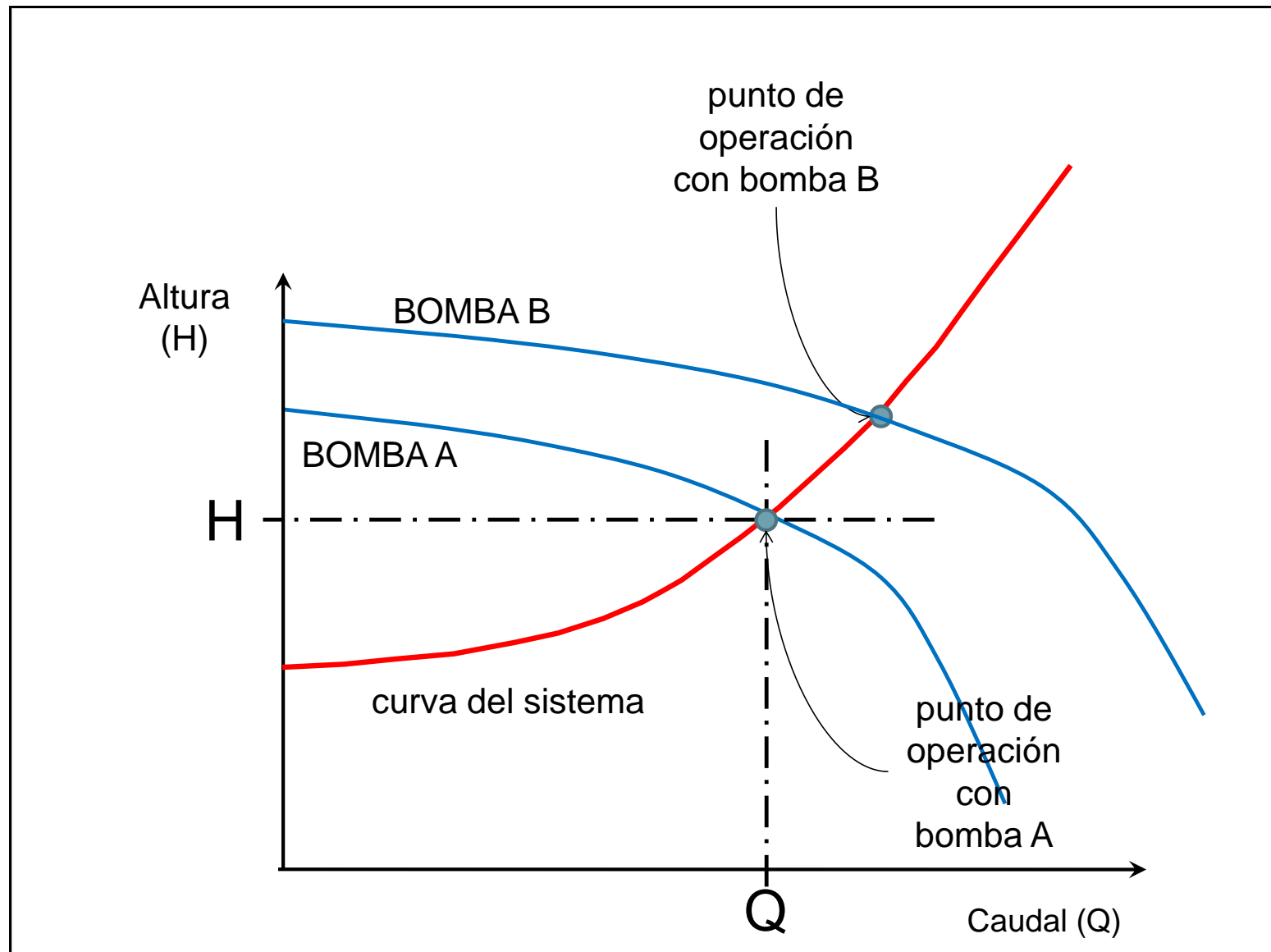
- 1) El caudal va cayendo con el tiempo
- 2) El caudal es fijo en el tiempo pero va cayendo a lo largo de la tubería
- 3) El caudal es único a lo largo y en el tiempo
- 4) El caudal es inestable (oscilante)



Vimos cómo la curva de la bomba y la curva del sistema determinan el punto de operación y en definitiva, el caudal del fluido por el circuito.

Vimos cómo, variaciones en la curva del sistema, pueden afectar el punto de operación.

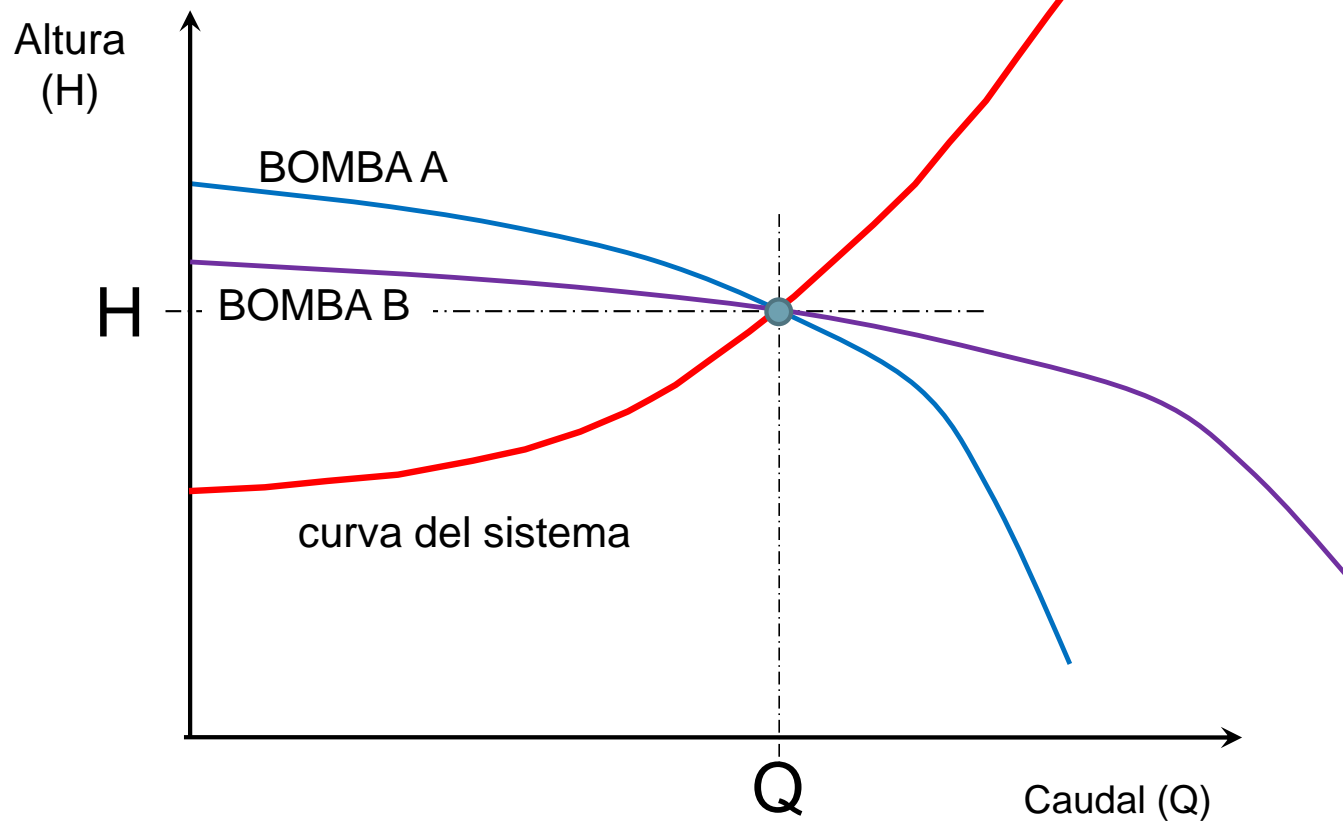
Para un sistema dado, bombas con diferentes “curvas H vs Q ” provocarán diferentes comportamientos del caudal



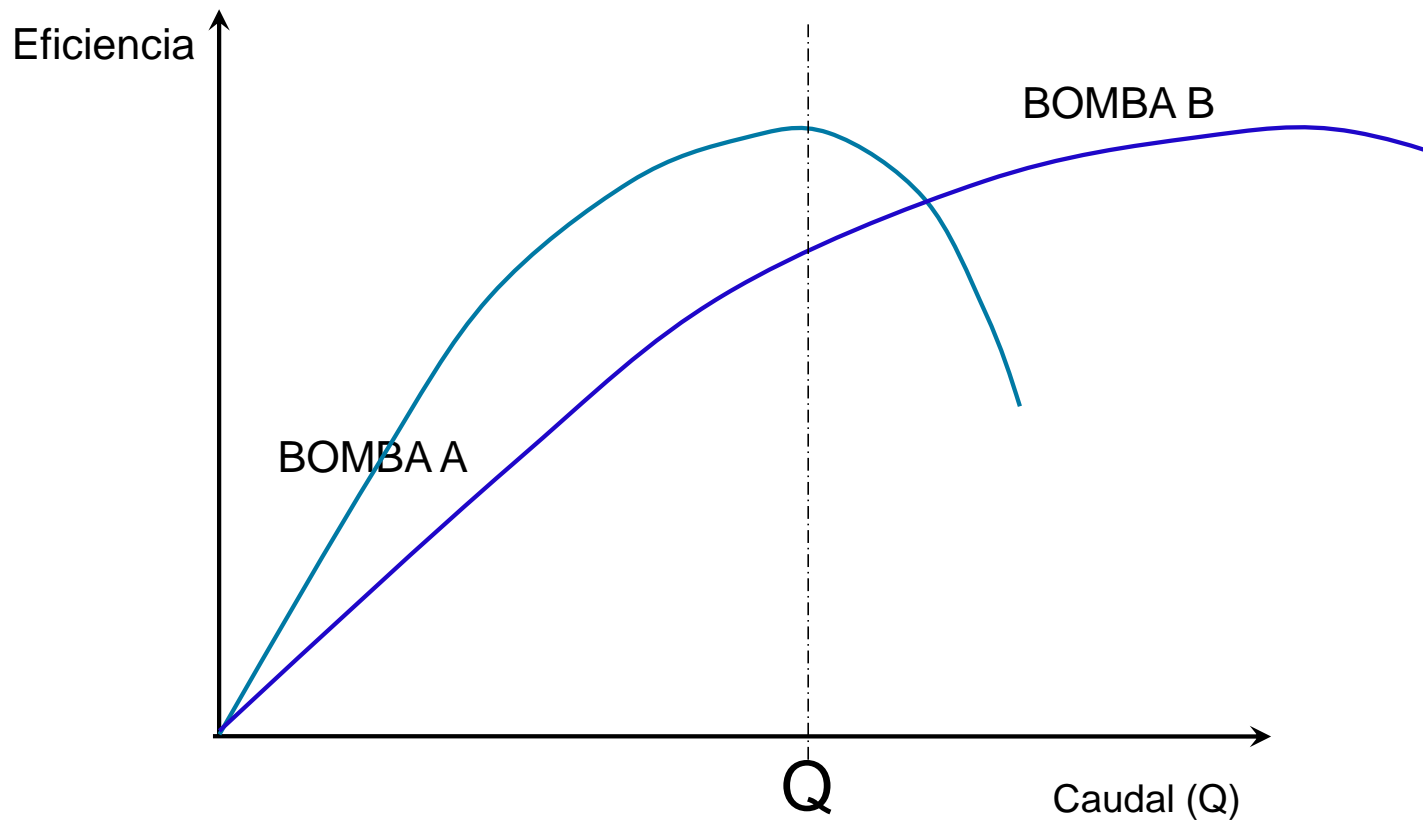
Por eso es MUY IMPORTANTE, conocer la curva CARACTERISTICA (H vs Q) de la bomba o las bombas que estamos considerando.

También son de interés las curvas Potencia vs Caudal, y Eficiencia vs Caudal.

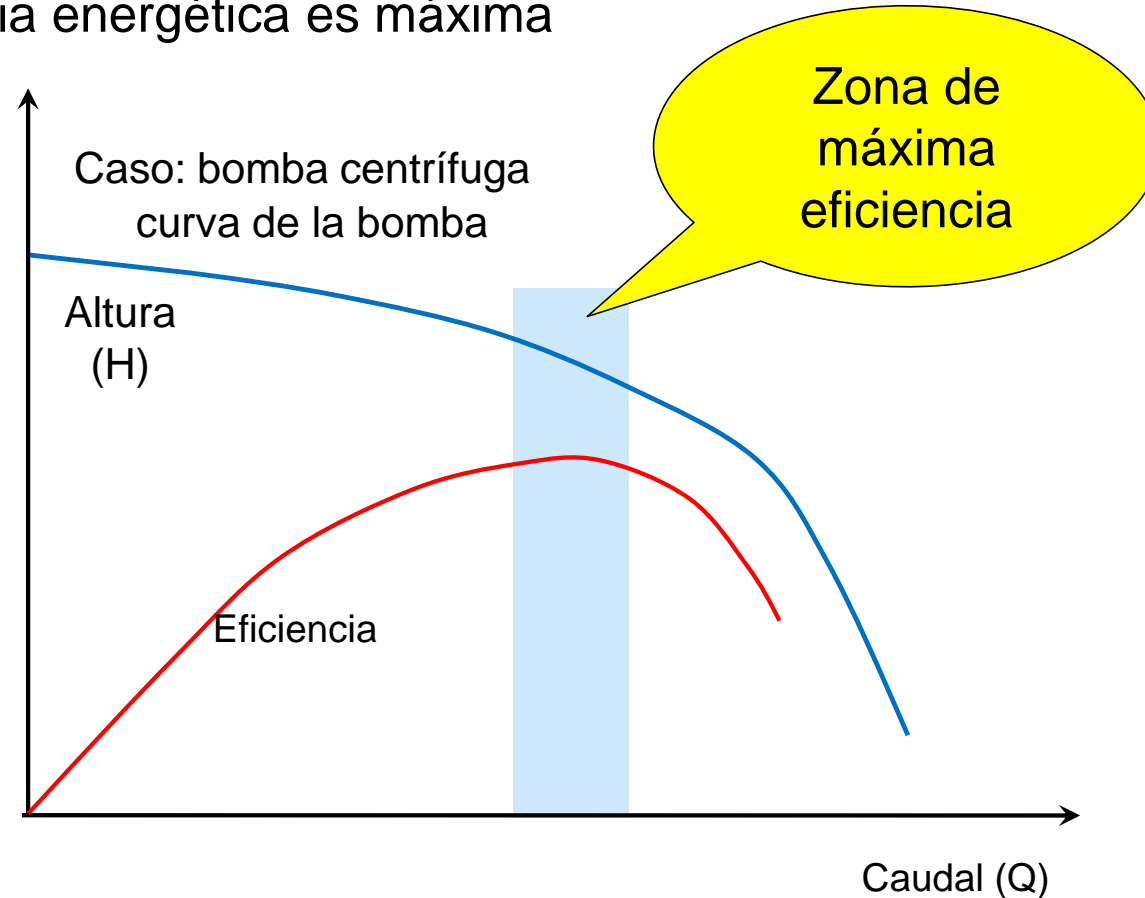
En este ejemplo, las dos bombas podrían dar el servicio requerido (Q , H)...



Pero es preferible la bomba A pues en el punto de operación queda trabajando al máximo de su eficiencia.



Si bien, la bomba puede tener una curva H vs Q que cubra un rango de caudales, en general siempre existe un caudal (o un rango de caudales) para el cual la eficiencia energética es máxima



Pregunta

El fabricante ofrece una bomba e informa su curva H vs Q

Bomba
FING 23

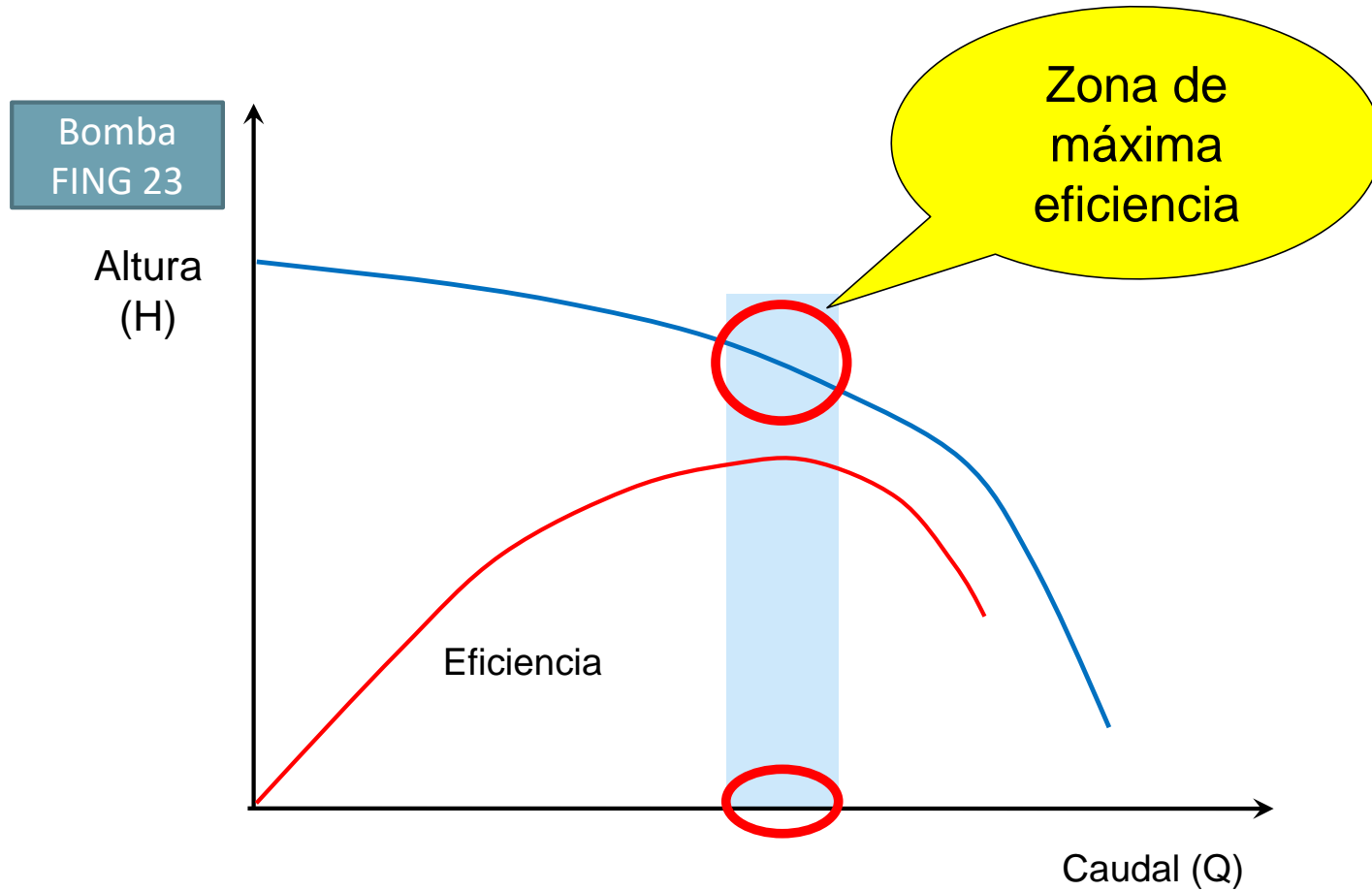
Altura
(H)

Sin embargo, recomienda el
uso de la bomba para un rango
de caudales específico

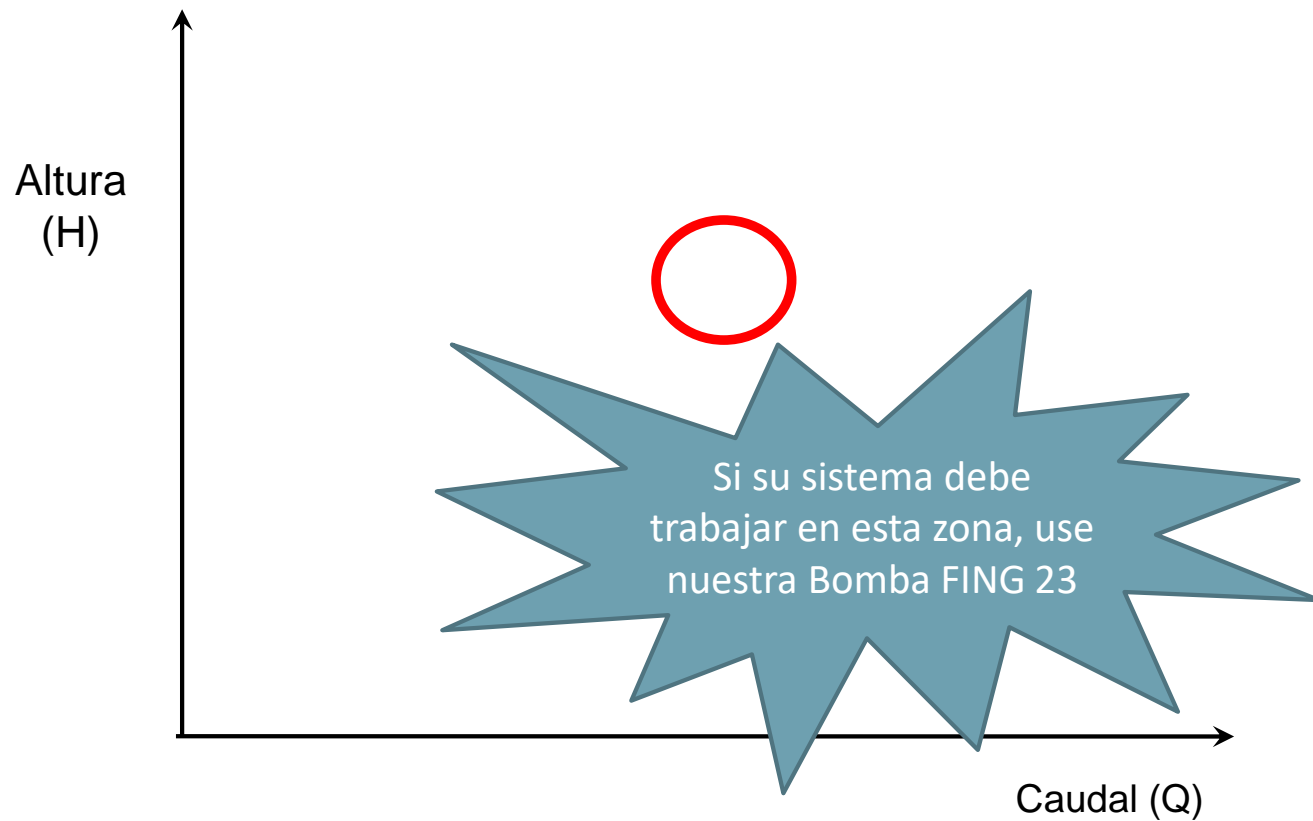
¿Por qué acota el caudal de
trabajo en su recomendación?

Caudal (Q)

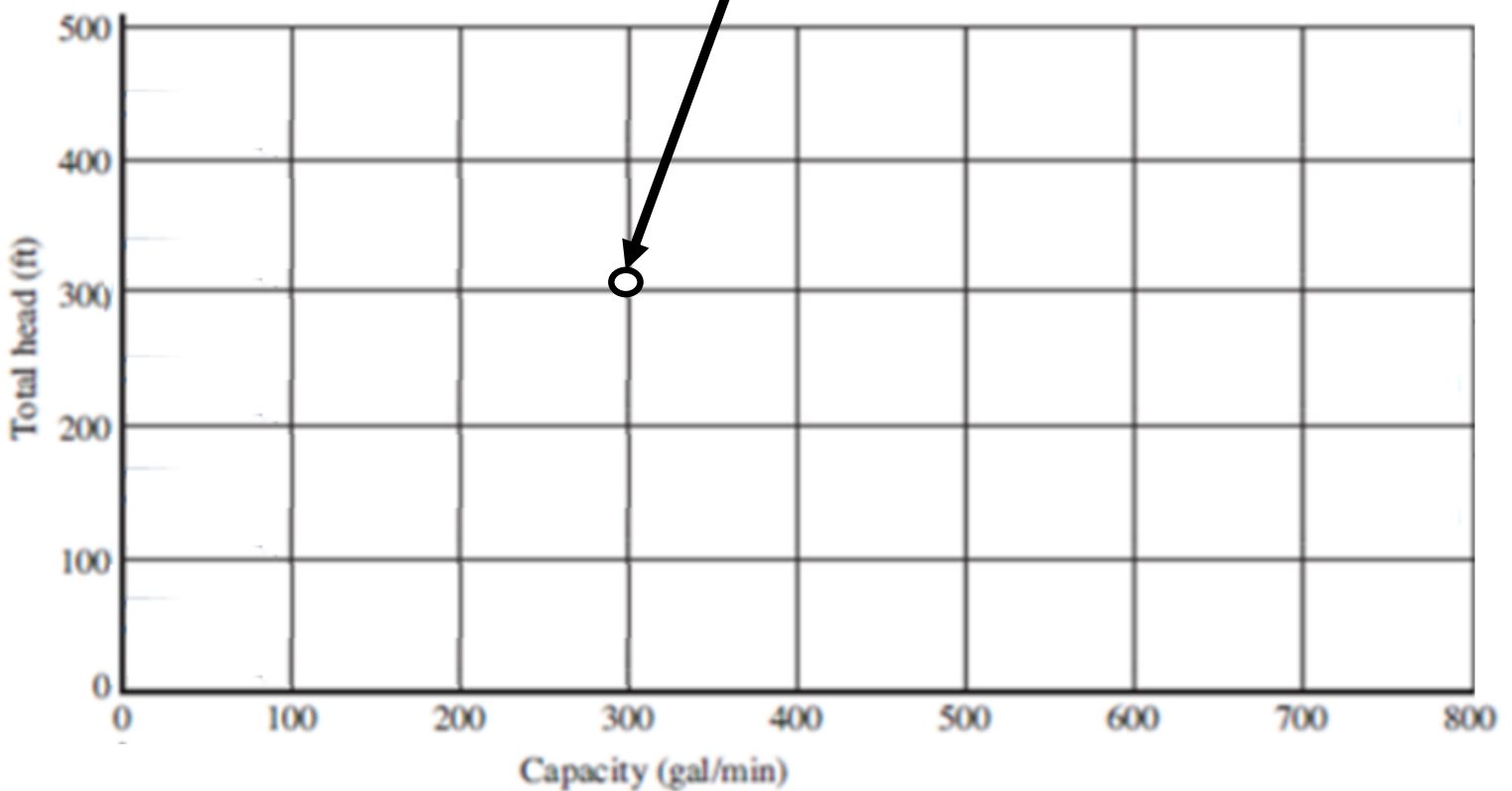
Pues el fabricante recomienda usar “su bomba” en la zona de máxima eficiencia.



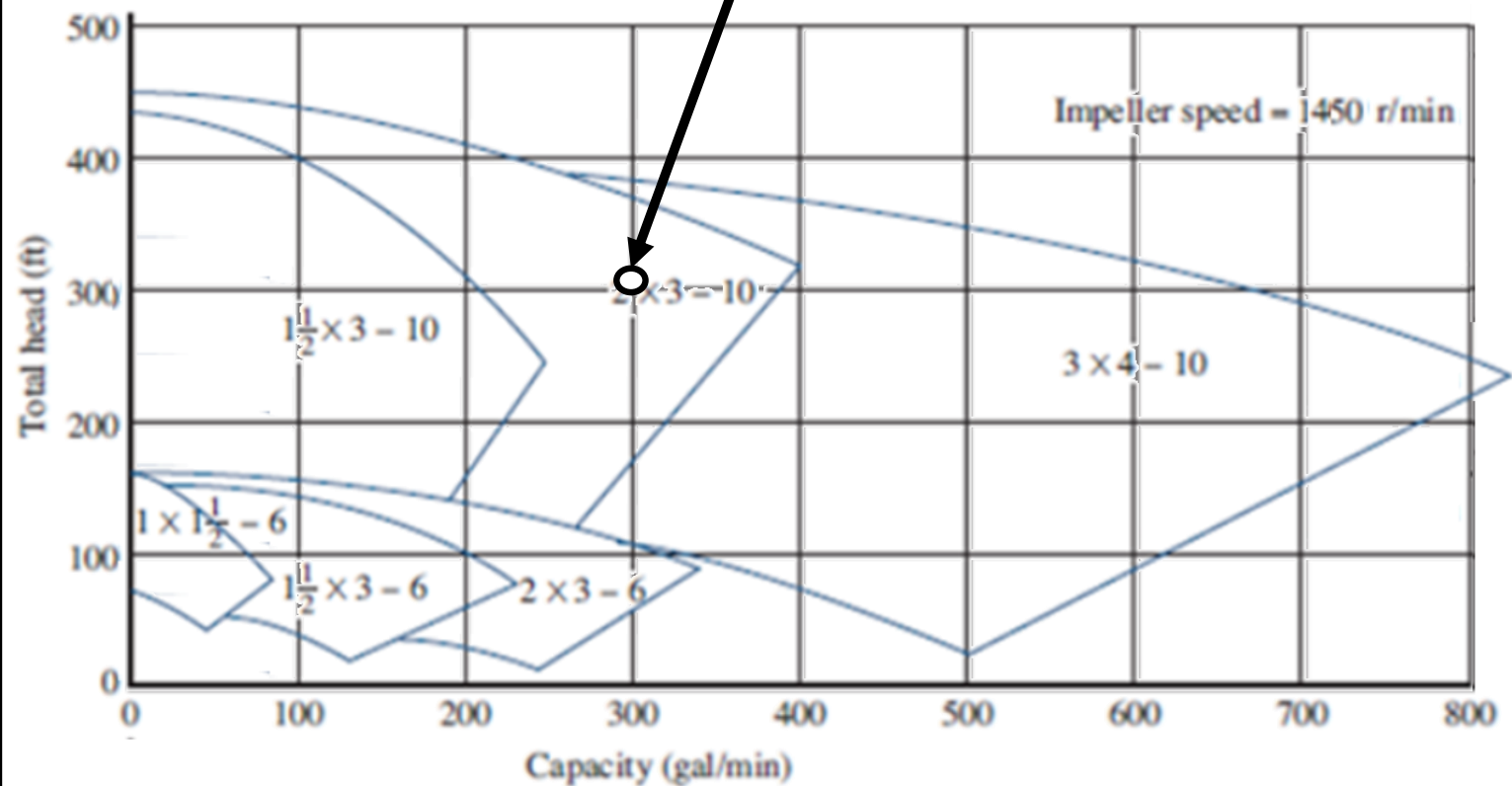
En general los fabricantes de bombas centrífugas recomiendan sus bombas indicando un área en el plano H - Q



Supongamos que estamos buscando una bomba para un bombear un fluido, y hecho los cálculos de caudal de trabajo y altura requerida, conocemos los valores de Q y H necesarios.

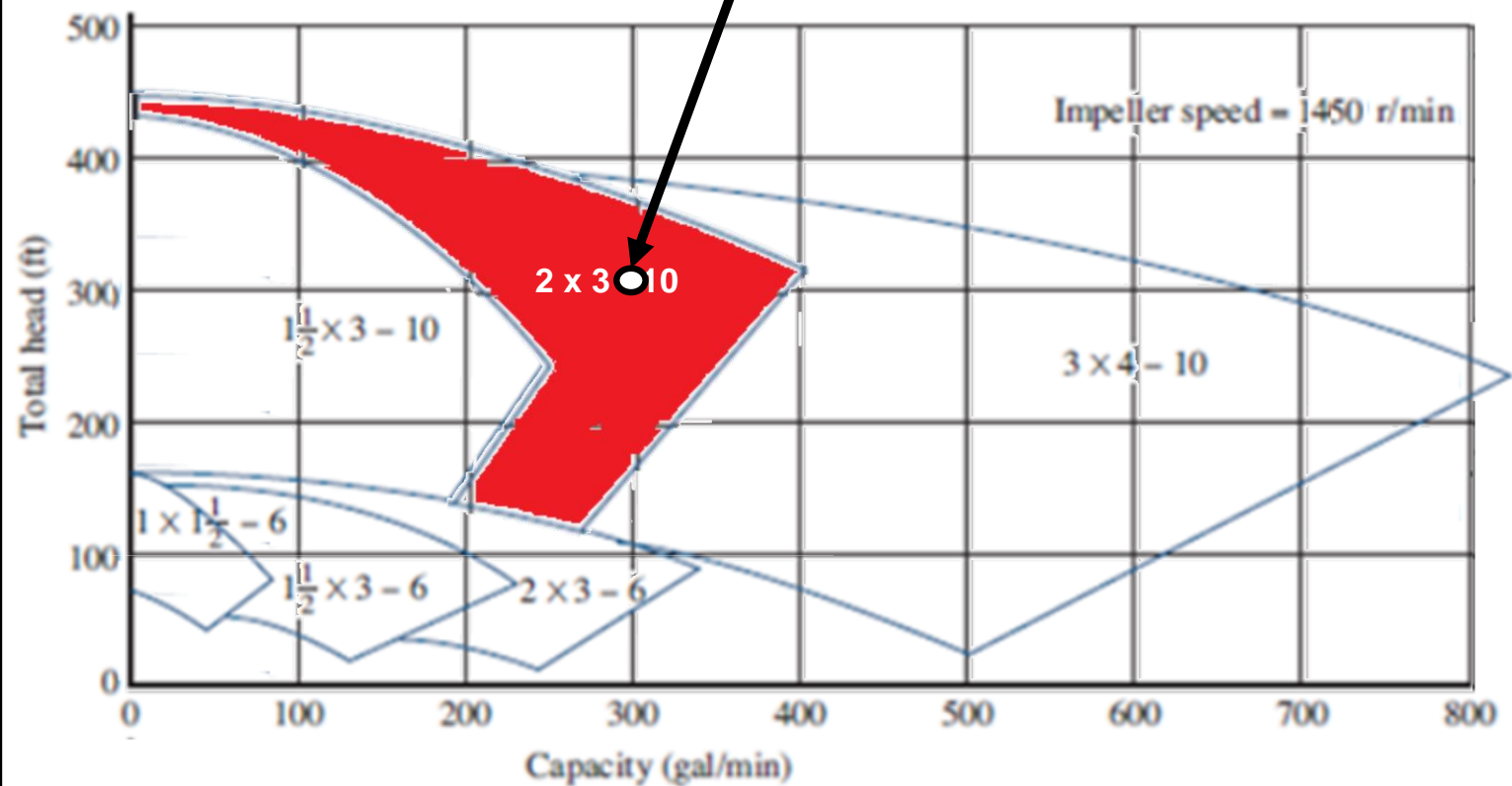


Supongamos que estamos buscando una bomba para un bombear un fluido, y hecho los cálculos de caudal de trabajo y altura requerida, conocemos los valores de Q y H necesarios.



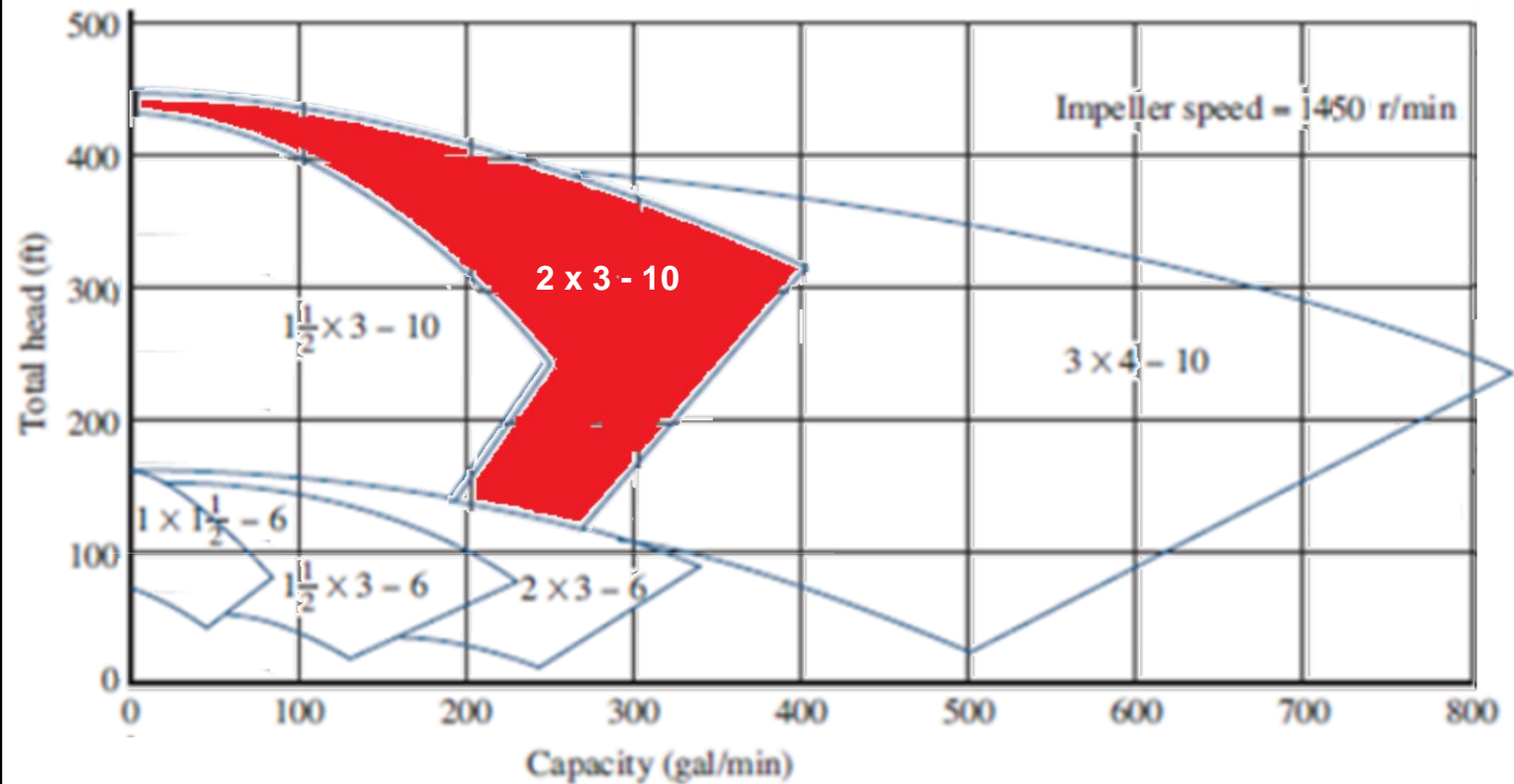
DEL CATÁLOGO DEL PROVEEDOR

Supongamos que estamos buscando una bomba para un bombear un fluido, y hecho los cálculos de caudal de trabajo y altura requerida, conocemos los valores de Q y H necesarios.



DEL CATÁLOGO DEL PROVEEDOR

El catálogo del proveedor nos recomienda usar la bomba modelo 2x3-10, pues en la zona “pintada”, de las bombas fabricadas por el proveedor esa es la bomba que trabaja en las condiciones de máxima eficiencia.



DEL CATÁLOGO DEL PROVEEDOR

Condiciones de succión

Las condiciones de succión deben
asegurar que no ocurra
CAVITACION.

NPSH disponible ($NPSH_D$)

Es el NPSH del sistema bajo las condiciones de flujo y temperaturas de trabajo.

$$NPSH_D = h_s - h_{vap}$$

h_{vap} es la presión de vapor expresada en altura de fluido = $P_{vap} / (\rho g)$

A su vez, la presión de vapor es una propiedad del fluido que depende de la temperatura (y presión)

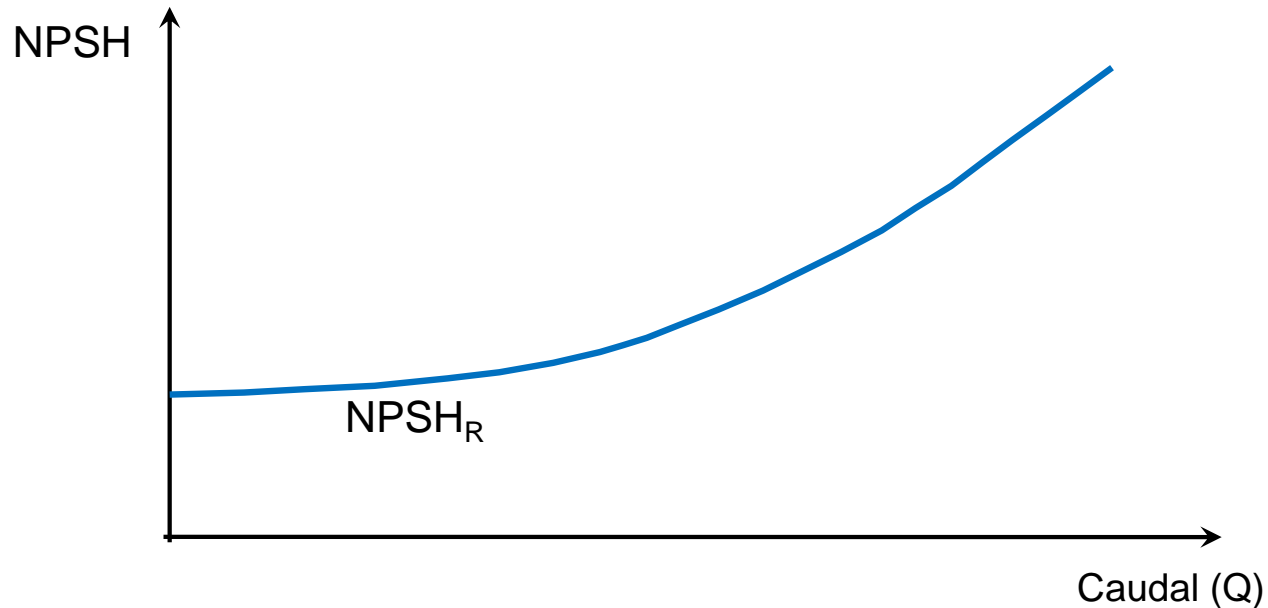
h_s es la carga neta de succión en las condiciones de flujo

NPSH requerido ($NPSH_R$)

Es una propiedad de la bomba.

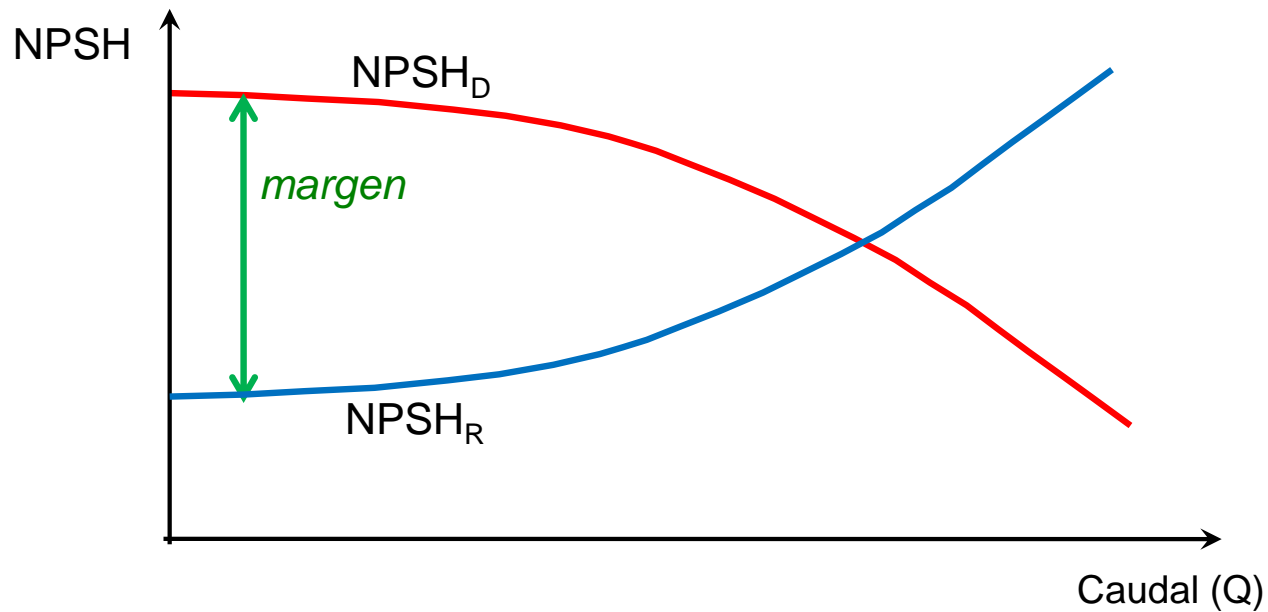
(Guarda relación con la diferencia entre la presión en la admisión y la presión mínima que se desarrolla dentro de la bomba)

$NPSH_R$ depende del caudal.



Margen de NPSH

$$\text{Margen de NPSH} = \text{NPSH}_D - \text{NPSH}_R$$

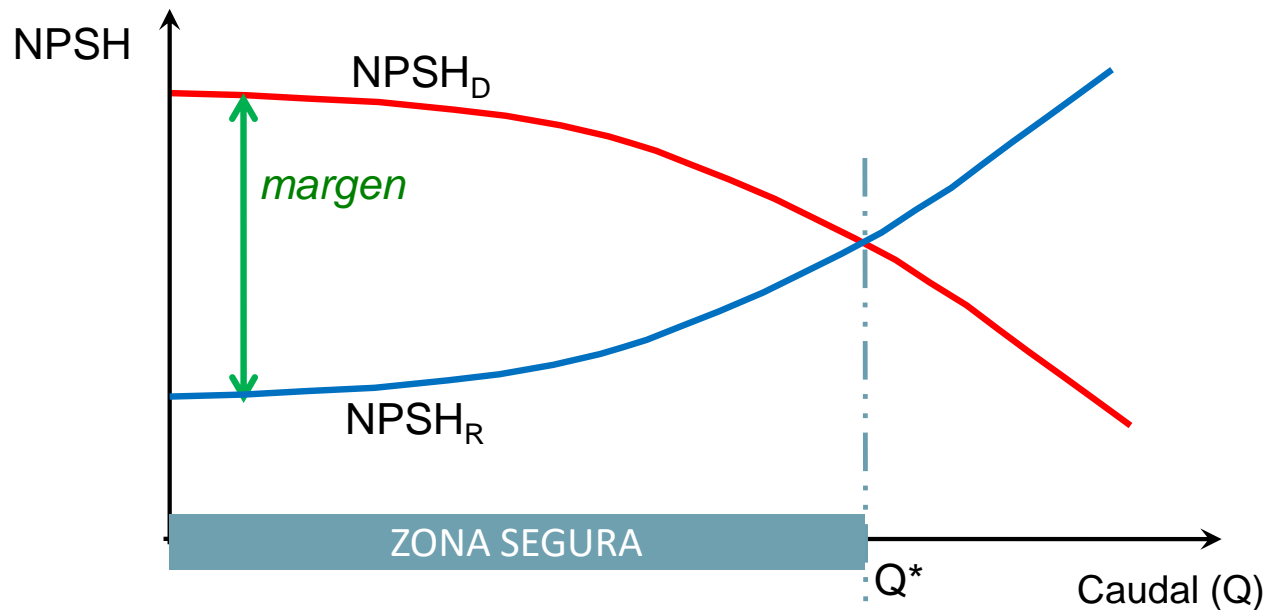


Condición para no cavitación

Teóricamente, para que no haya cavitación:

$$\text{NPSH}_D > \text{NPSH}_R$$

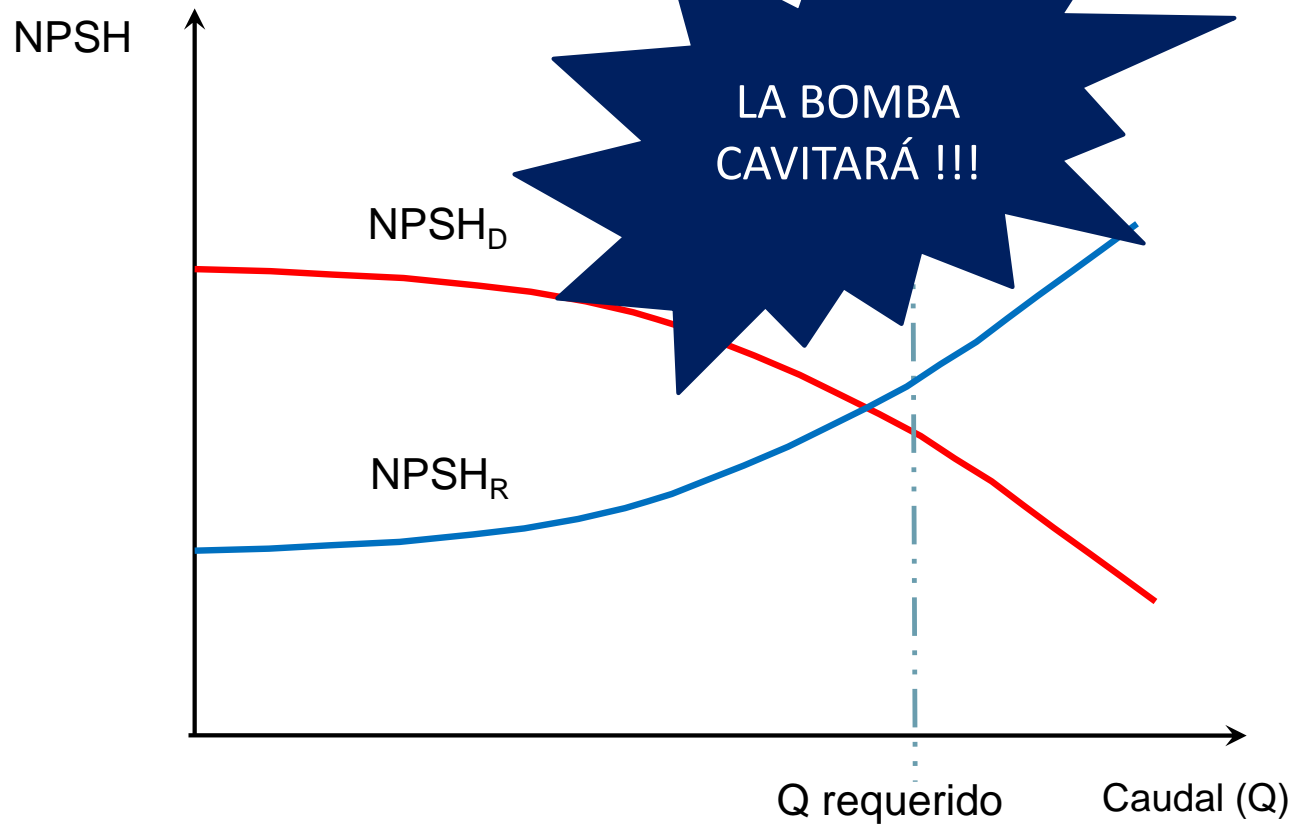
(o bien, margen de NPSH > 0)



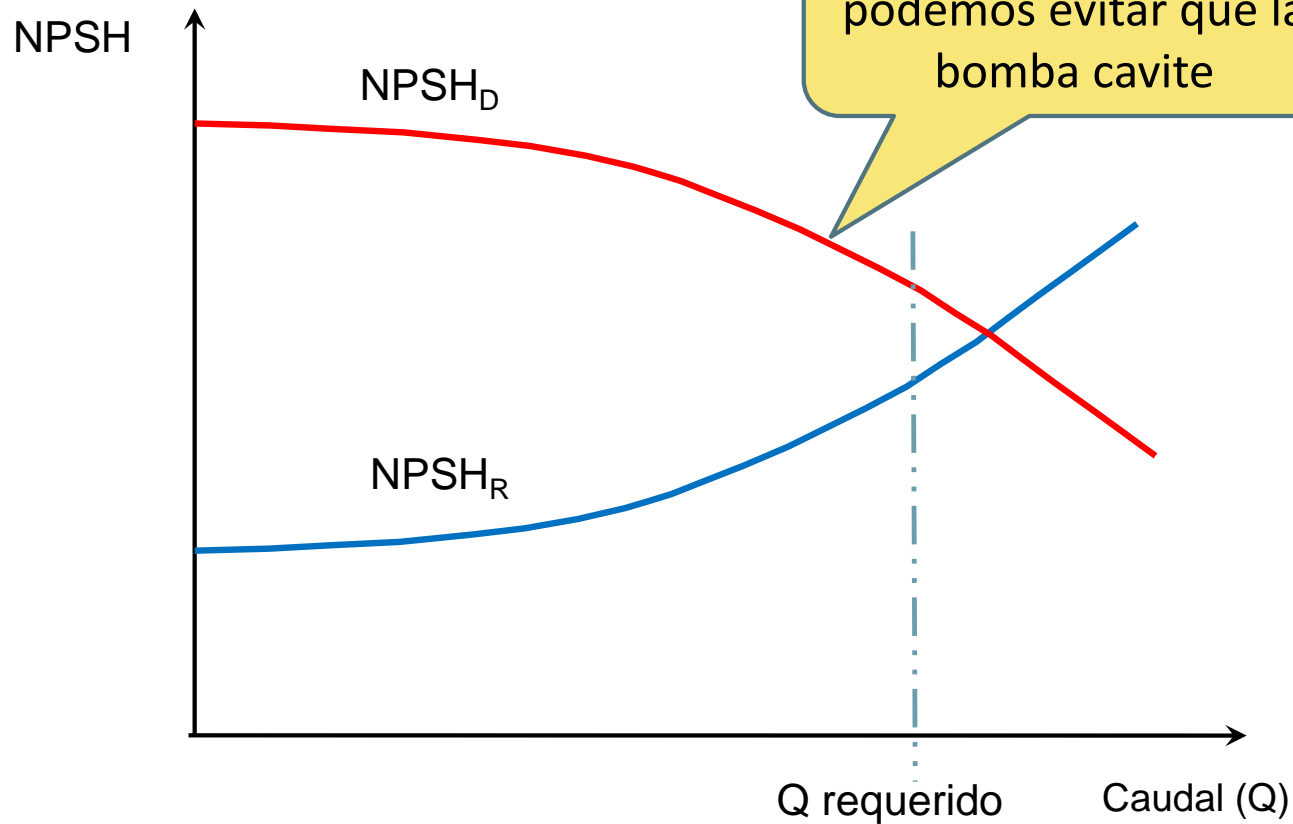
Pregunta (respondida en material)

Si no podemos cambiar la bomba, pero sí podemos modificar cuestiones relativas a la instalación, ¿es posible evitar la cavitación al caudal requerido modificando algo de la instalación?

Supongamos que el Q requerido por el servicio es tal que $NPSH_D < NPSH_R$

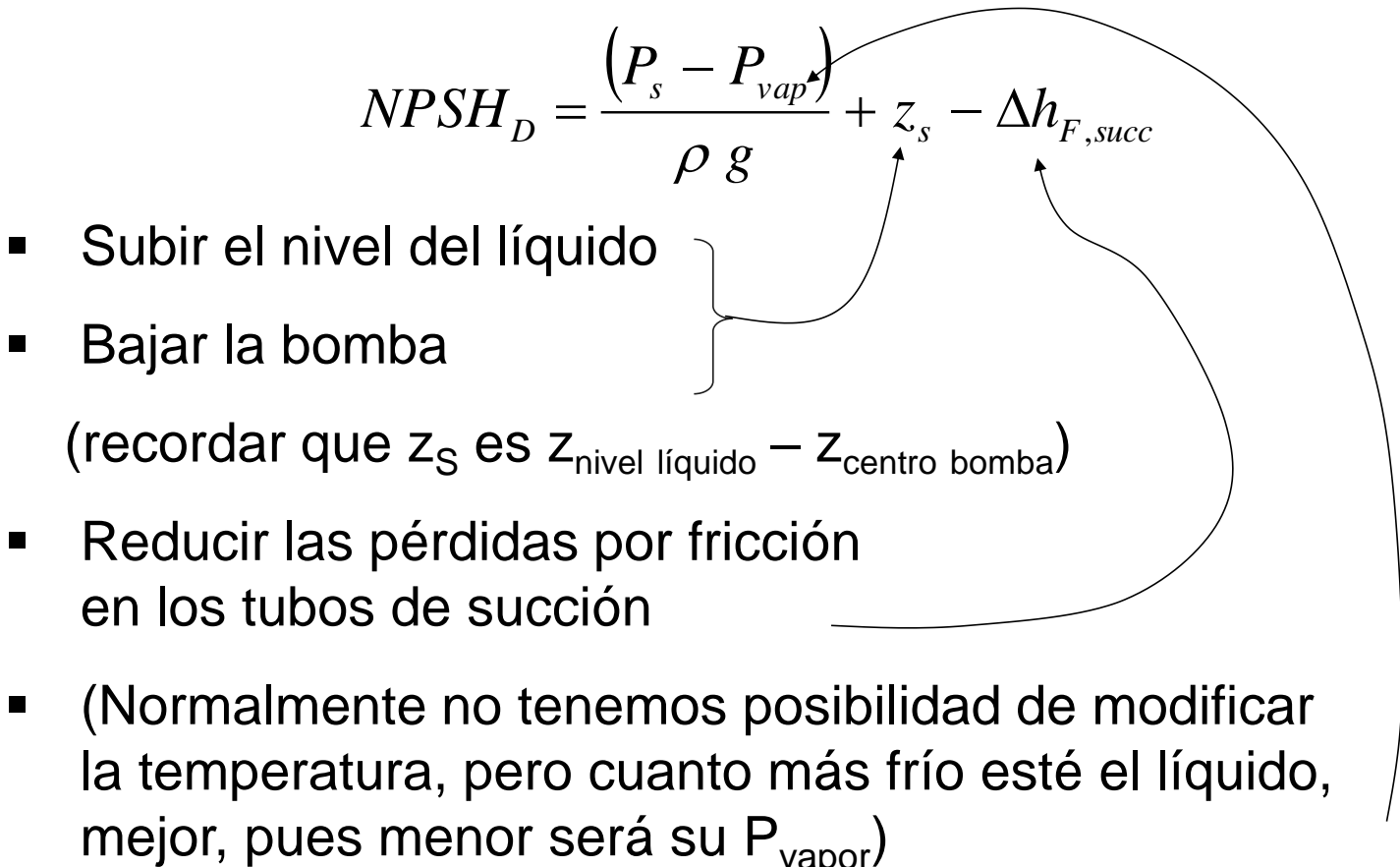


Supongamos que el Q requerido por el servicio es tal que $NPSH_D < NPSH_R$



645

Para aumentar $NPSH_D$:

$$NPSH_D = \frac{(P_s - P_{vap})}{\rho g} + z_s - \Delta h_{F,succ}$$


- Subir el nivel del líquido
 - Bajar la bomba
- (recordar que z_s es $z_{\text{nivel líquido}} - z_{\text{centro bomba}}$)
- Reducir las pérdidas por fricción en los tubos de succión
 - (Normalmente no tenemos posibilidad de modificar la temperatura, pero cuanto más frío esté el líquido, mejor, pues menor será su P_{vapor})

Más temprano, decíamos es MUY IMPORTANTE, conocer la curva CARACTERISTICA (H vs Q) de la bomba o las bombas que estamos considerando.

Y que también son de interés las curvas Potencia vs Caudal, y Eficiencia vs Caudal.

Ahora agregó que también es IMPORTANTE conocer la curva NPSH requerido vs Q

Potencia y Eficiencia

P_h potencia suministrada por la bomba al fluido
(si es agua se habla de *Potencia Hidráulica*)

$$P_h = H \rho g Q$$

P_m potencia suministrada por el motor a la bomba:
potencia al freno (potencia necesaria para mover la bomba)

P_e potencia suministrada al motor

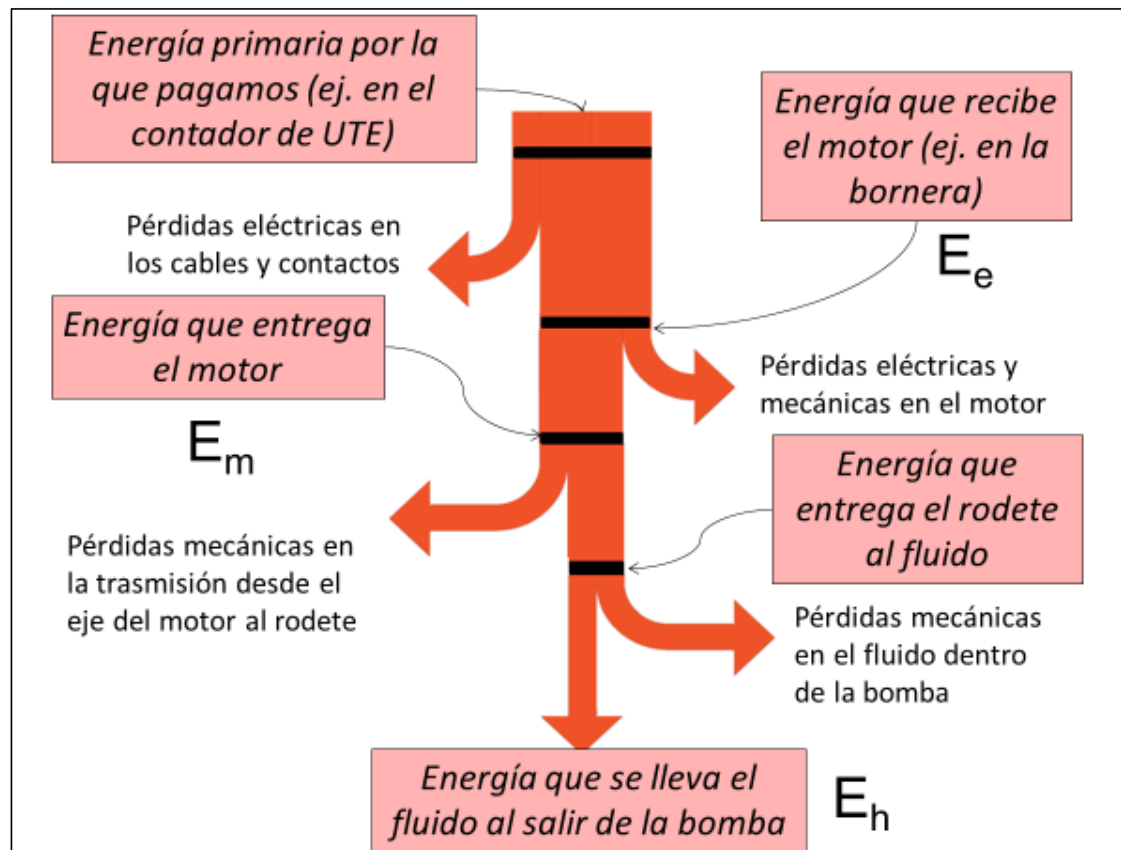
Eficiencia del
motor

$$\eta' = \frac{P_m}{P_e}$$

Eficiencia de
la bomba

$$\eta = \frac{P_h}{P_m}$$

En el primer video se presentó este gráfico para ilustrar cómo se va perdiendo energía por diversas “ineficiencias” entre la alimentación y lo que se entrega al fluido



Hemos simbolizado con E la energía entregada en las diferentes fronteras... (y con P la potencia)

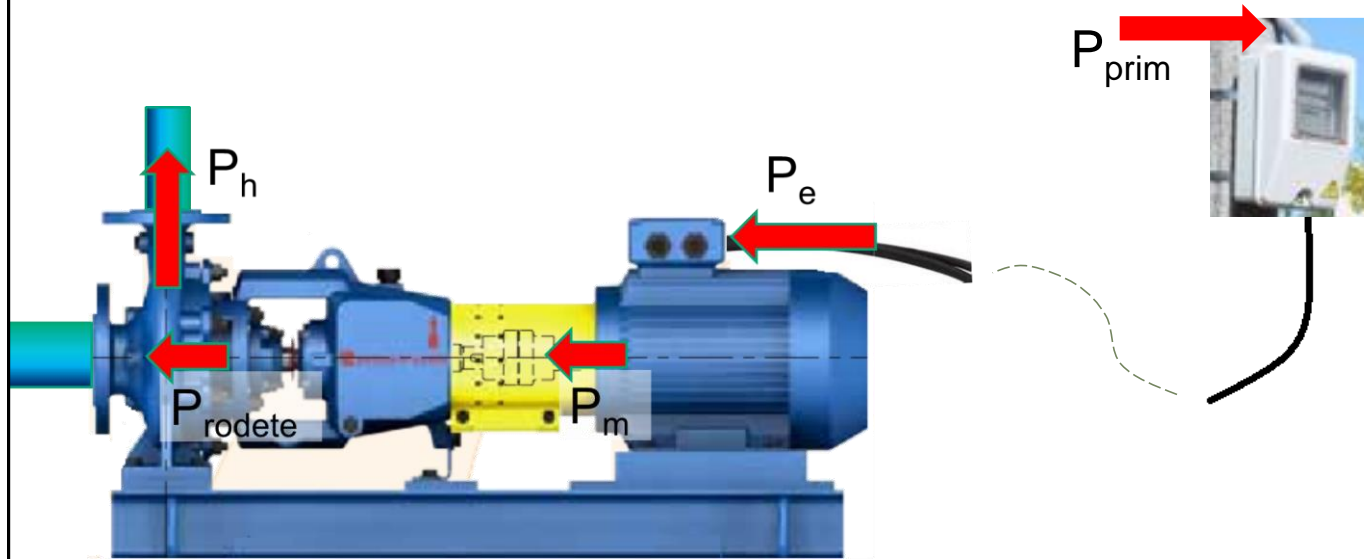
E_{prim} la energía por la que “pagamos”

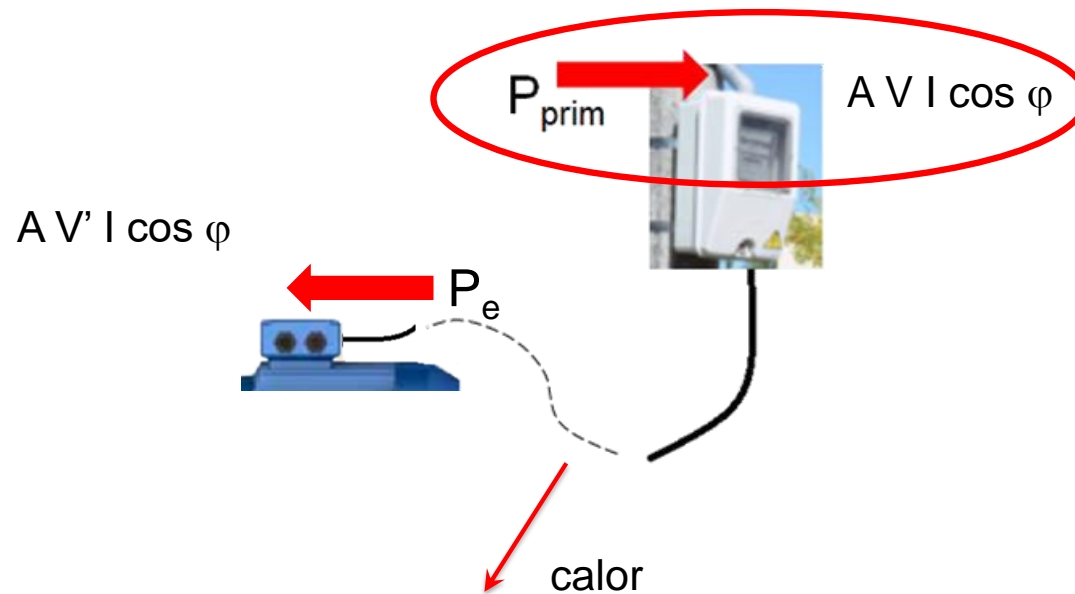
E_e la energía recibida por el motor

E_m la energía que le da el motor a la bomba

E_{rod} la energía que le da la bomba al fluido (dentro de la bomba)

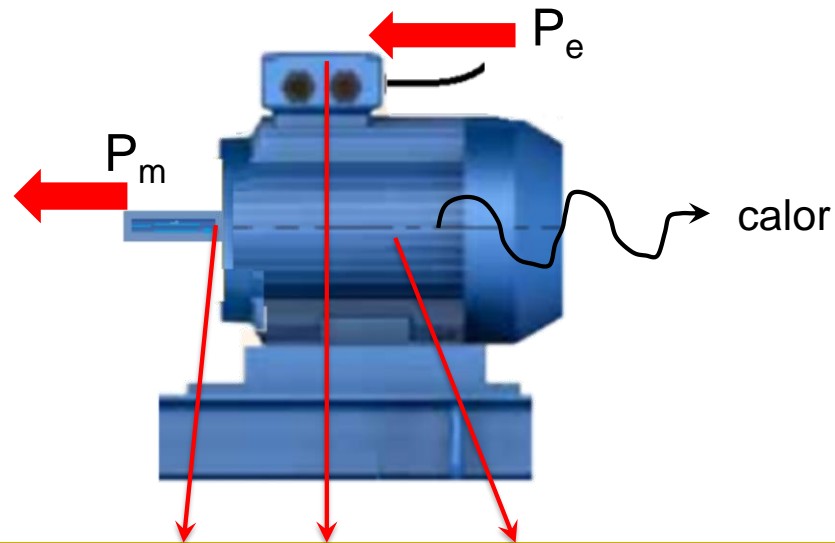
E_h la ganancia de energía del fluido al pasar por la bomba





Pérdidas de energía por la resistencia eléctrica en los cables, los contactos, ...

- Pagamos por la energía que nos entrega UTE en el contador.
- Las pérdidas en la transmisión eléctrica son nuestro problema.
- La conexión eléctrica del motor no es directa al tablero, normalmente hay varios tableros intermedios y grandes extensiones de cable.
- De todas maneras, estas pérdidas son en general despreciables frente a las otras.

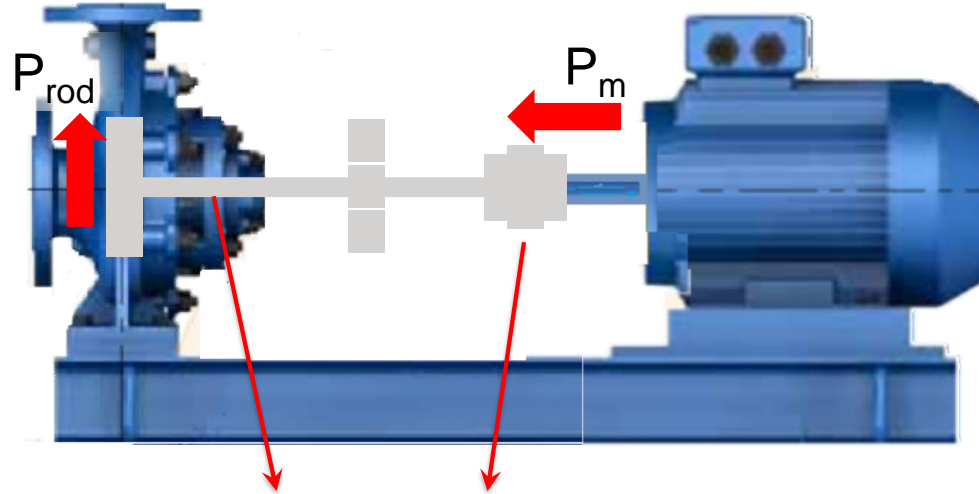


Pérdidas de energía por la resistencia eléctrica en los conductores, los contactos en la bornera + Pérdidas mecánicas por rozamiento de las partes móviles

$$P_m = P_e - \text{pérdidas} = P_e * (\text{eficiencia}) = A V I \cos \phi \mathbf{e}$$

Factor de potencia del motor $\rightarrow 0,75 / 0,85$

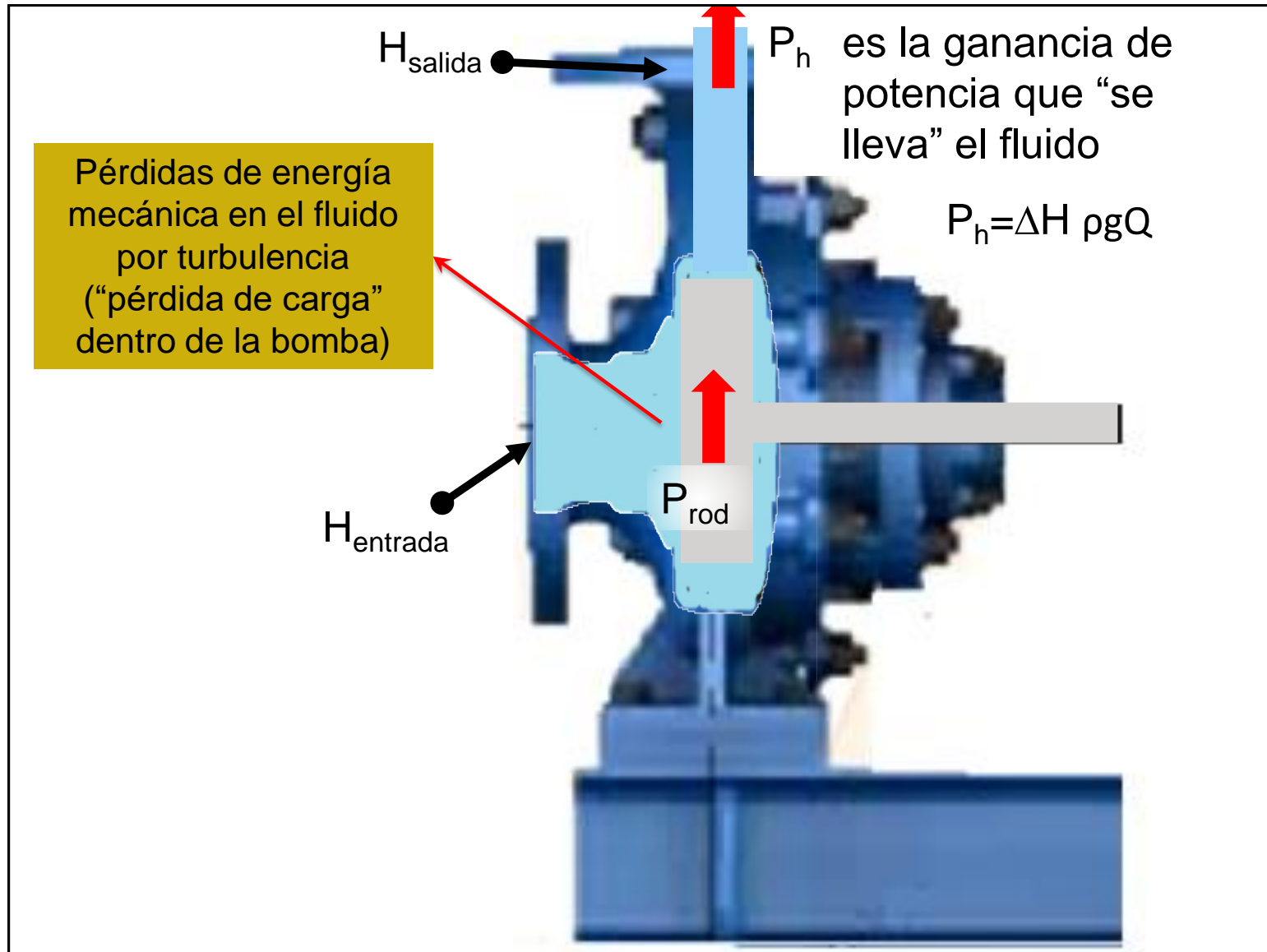
Eficiencia del motor $\rightarrow 0,75 / 0,90$

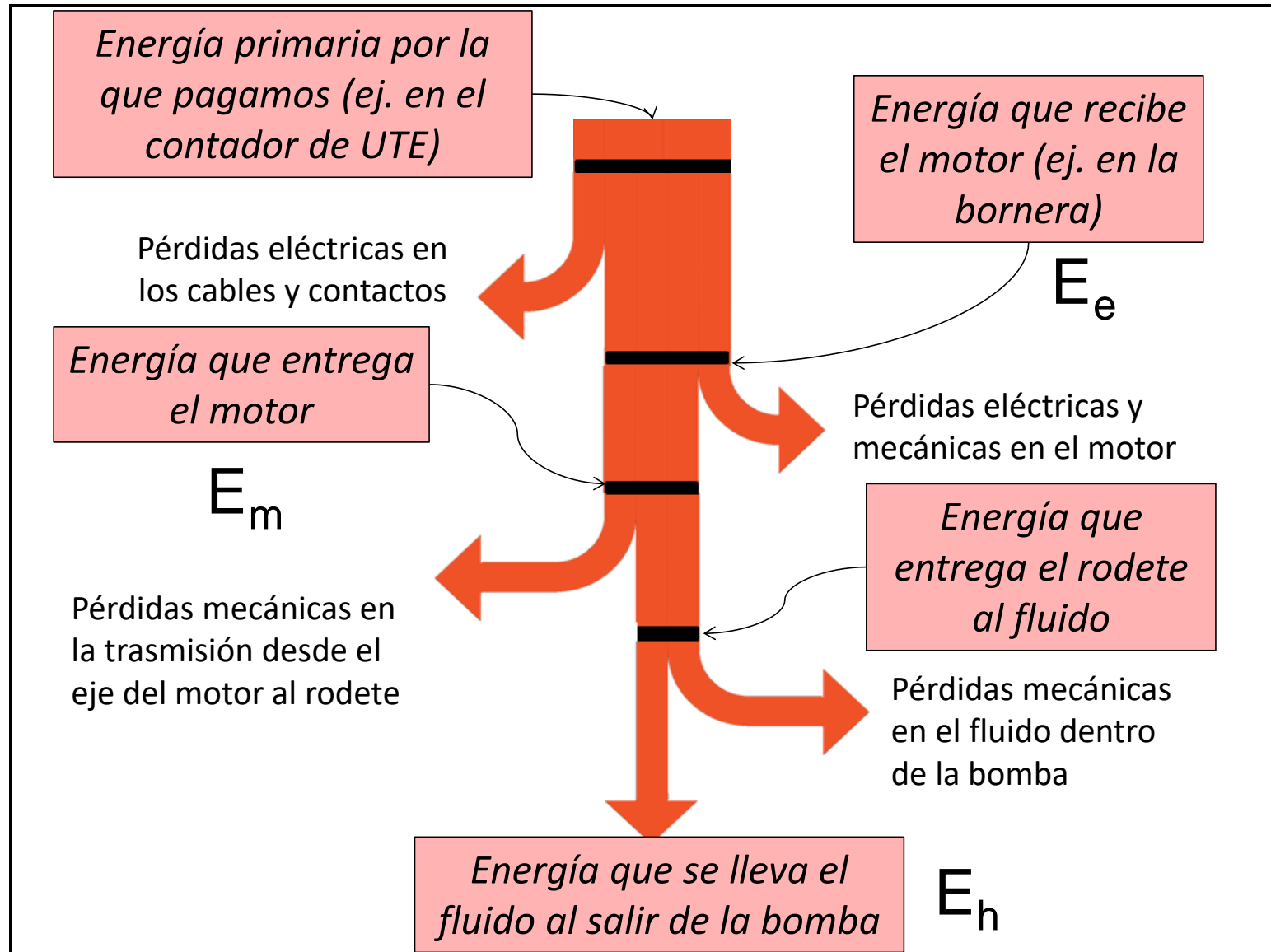


Pérdidas de energía mecánica por rozamiento (en acople de transmisión, en rodamientos, en el sello de la bomba, en flexiones del eje, vibraciones, etc...)

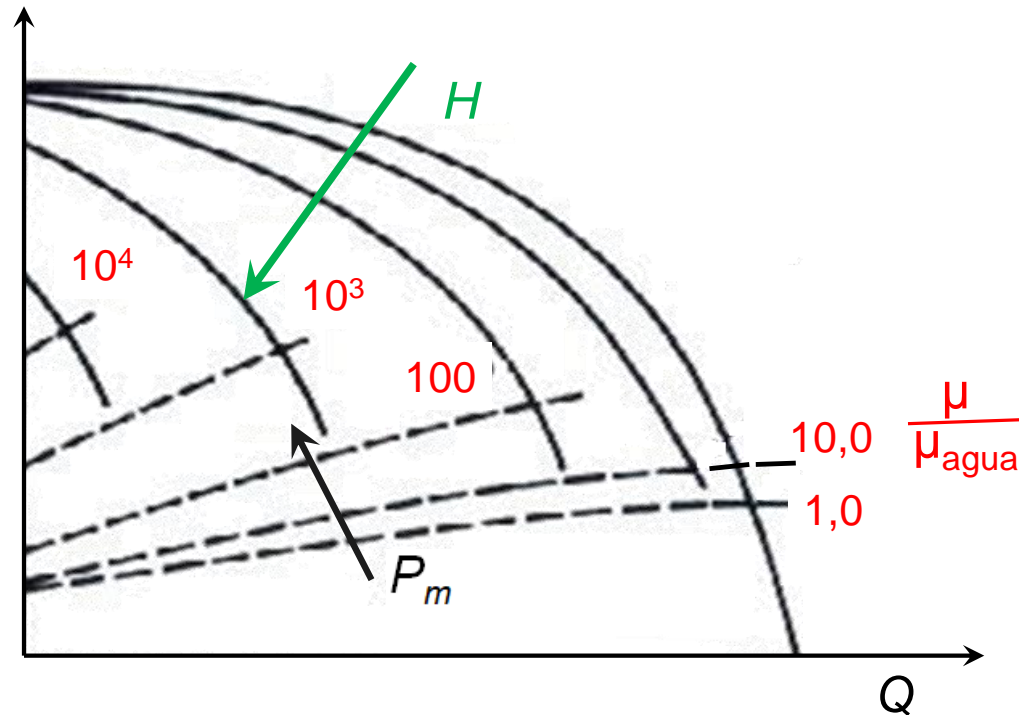
$$P_{rod} = P_m - \text{pérdidas mecánicas}$$

P_{rod} es la potencia que entrega la bomba al fluido





Influencia de la viscosidad



Las μ altas originan una caída dramática en H y un aumento en la P_m (para un Q dado).

720

Ajuste de las curvas características por viscosidad

En general, las curvas características que informan los fabricantes son válidas para agua.

A partir de las curvas de la bomba para agua se puede “determinar” las curvas de la bomba para un fluido que tenga otra viscosidad.

Veremos aquí un nomograma del Hydraulic Institute que permite efectuar dicho ajuste.

Consultar también:

<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/pump-performance>

Factores de corrección por viscosidad (Hydraulic Institute)

1. Partimos de los datos conocidos (H y η vs. Q) de la bomba para agua.
2. Determinamos el caudal $Q_{1.0}$ correspondiente a $\eta_{m\acute{a}x}$ (eficiencia máxima) y a partir de éste los caudales:

$$Q_{1.2} = 1.2 Q_{1.0}$$

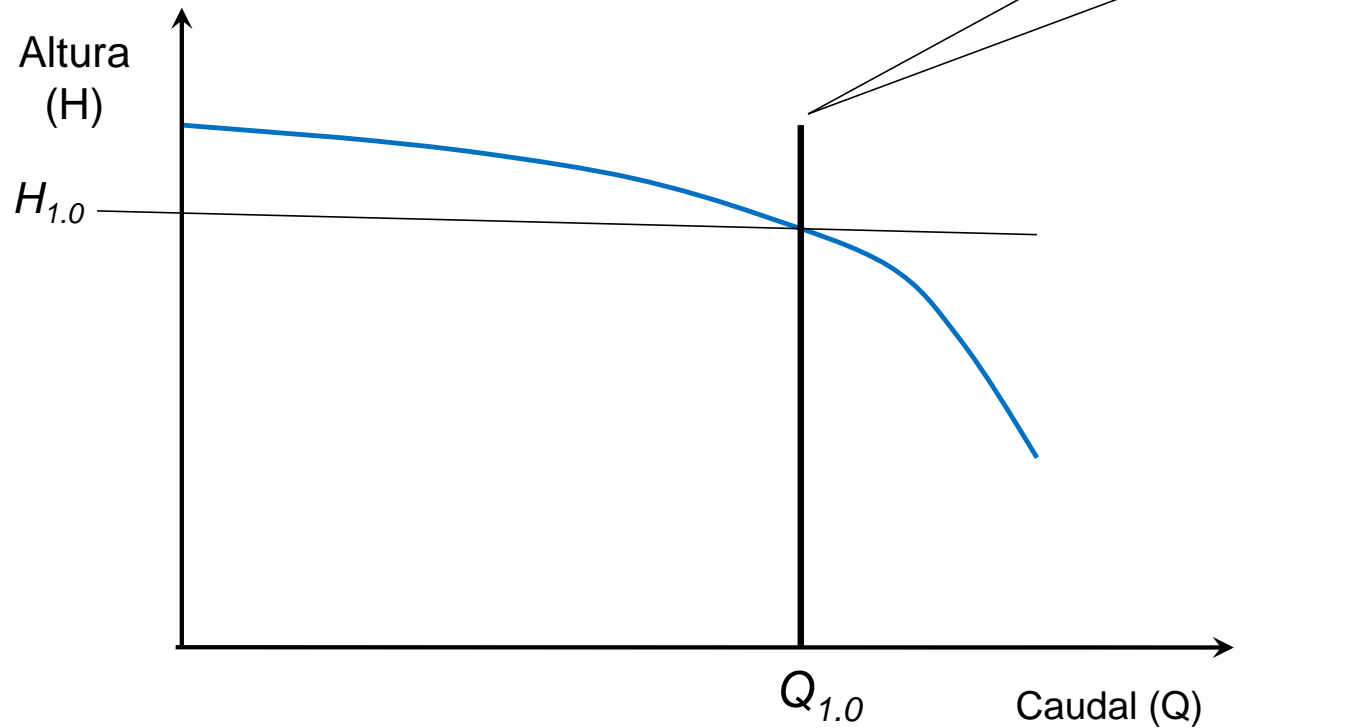
$$Q_{0.8} = 0.8 Q_{1.0}$$

$$Q_{0.6} = 0.6 Q_{1.0}$$

3. Determinamos las alturas H_w correspondientes a esos caudales (según los datos disponibles en §1)
4. Para cada uno de esos pares H , Q usamos el nomograma según se explica a continuación.

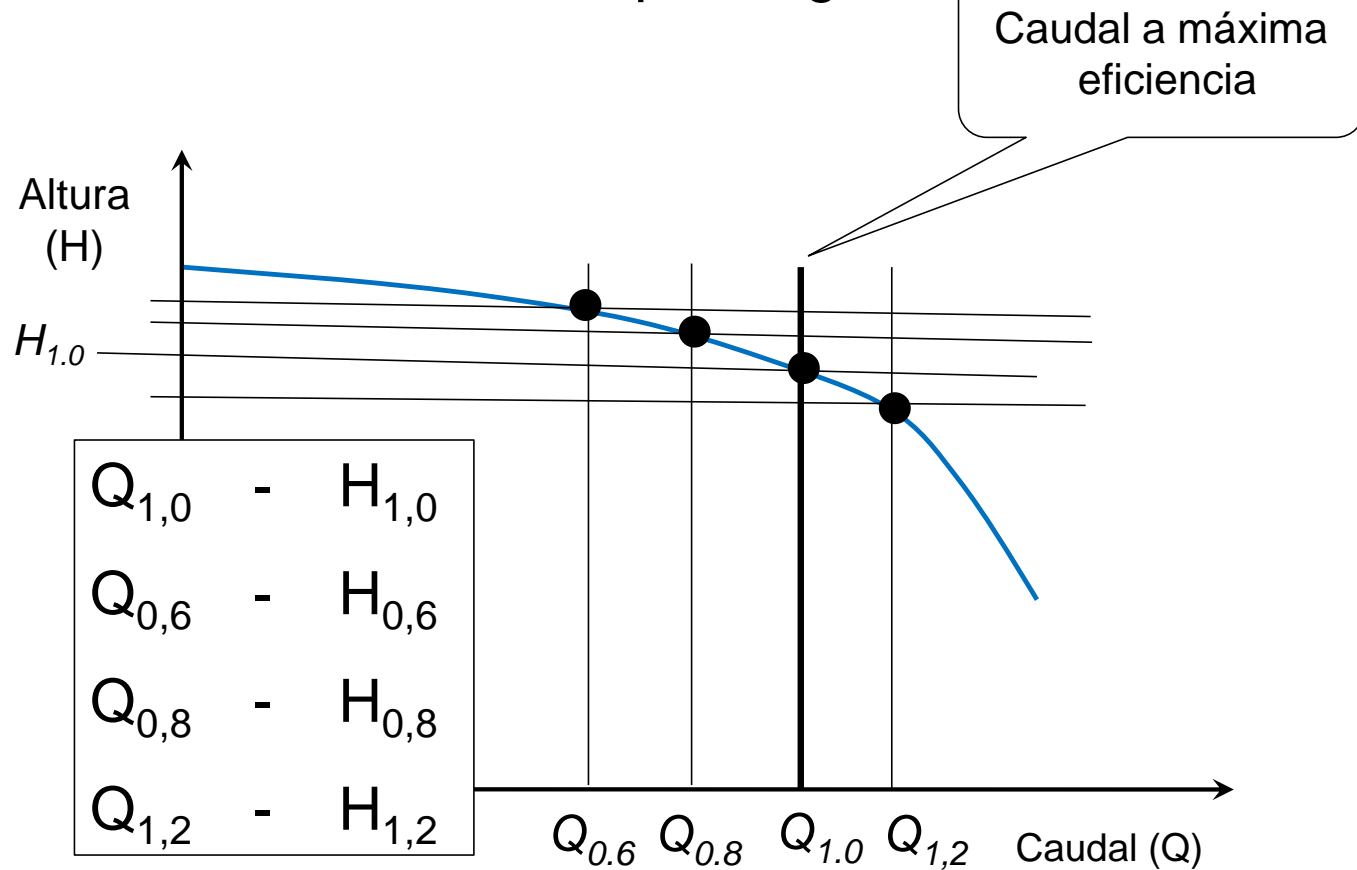
Ajuste por viscosidad

Partimos de la curva real para agua



Ajuste por viscosidad

Partimos de la curva real para agua



Ajuste por viscosidad

Hacemos lo mismo con la curva de eficiencia vs caudal

... y obtenemos 4 tríos de valores:

$Q_{1,0}$	-	$H_{1,0}$	-	$\eta_{1,0}$
$Q_{0,6}$	-	$H_{0,6}$	-	$\eta_{0,6}$
$Q_{0,8}$	-	$H_{0,8}$	-	$\eta_{0,8}$
$Q_{1,2}$	-	$H_{1,2}$	-	$\eta_{1,2}$

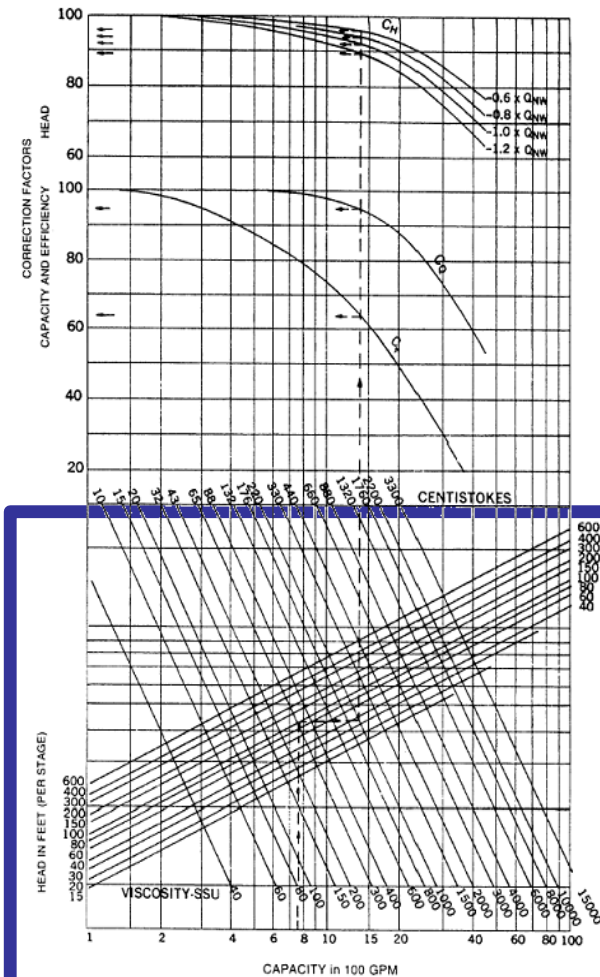
Ubicamos en el nomograma las rectas correspondientes a la altura H , al caudal Q y a la viscosidad μ del líquido en cuestión

$Q_{1,0} - H_{1,0} - \eta_{1,0}$

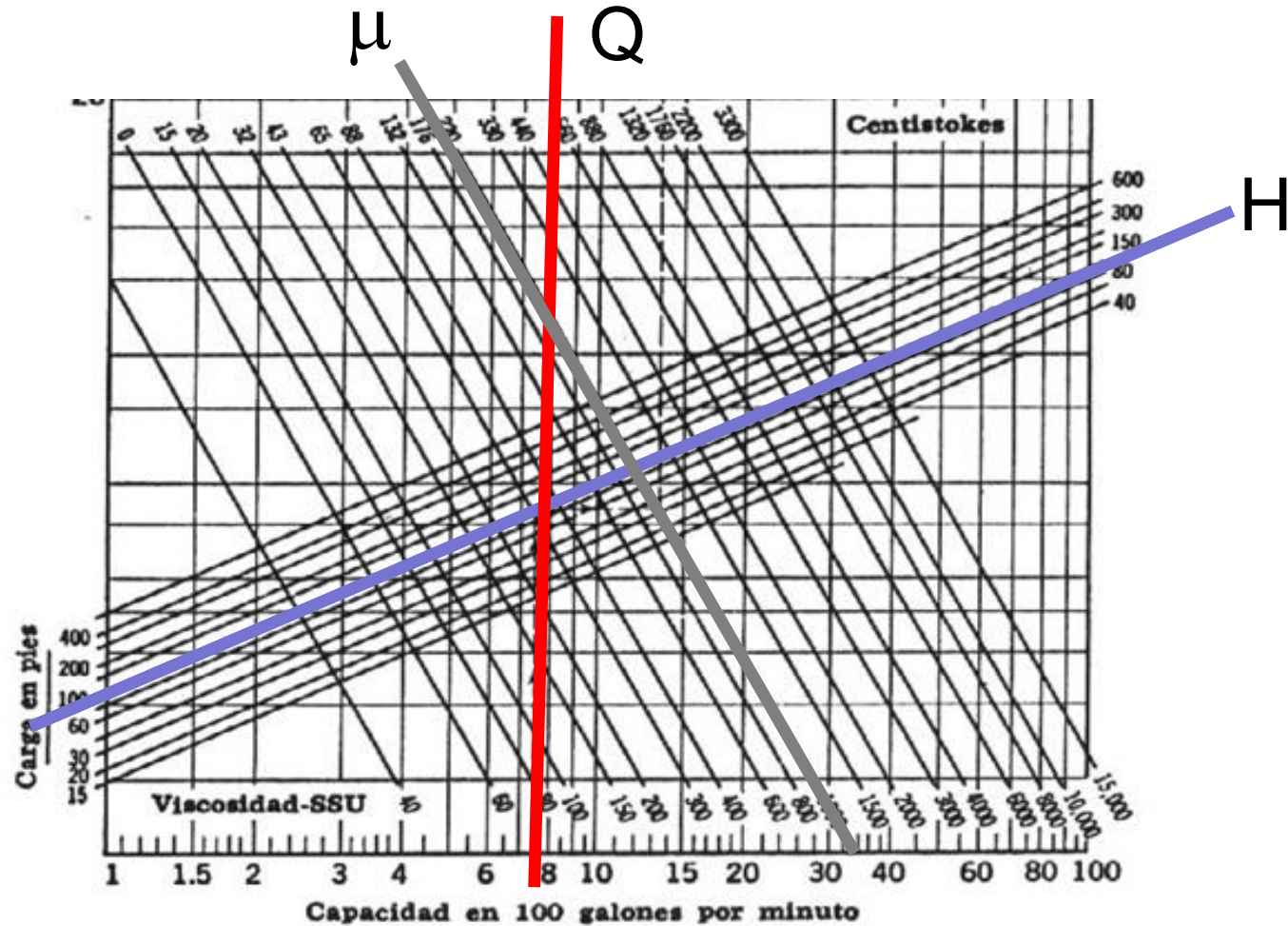
$Q_{0,6} - H_{0,6} - \eta_{0,6}$

$Q_{0,8} - H_{0,8} - \eta_{0,8}$

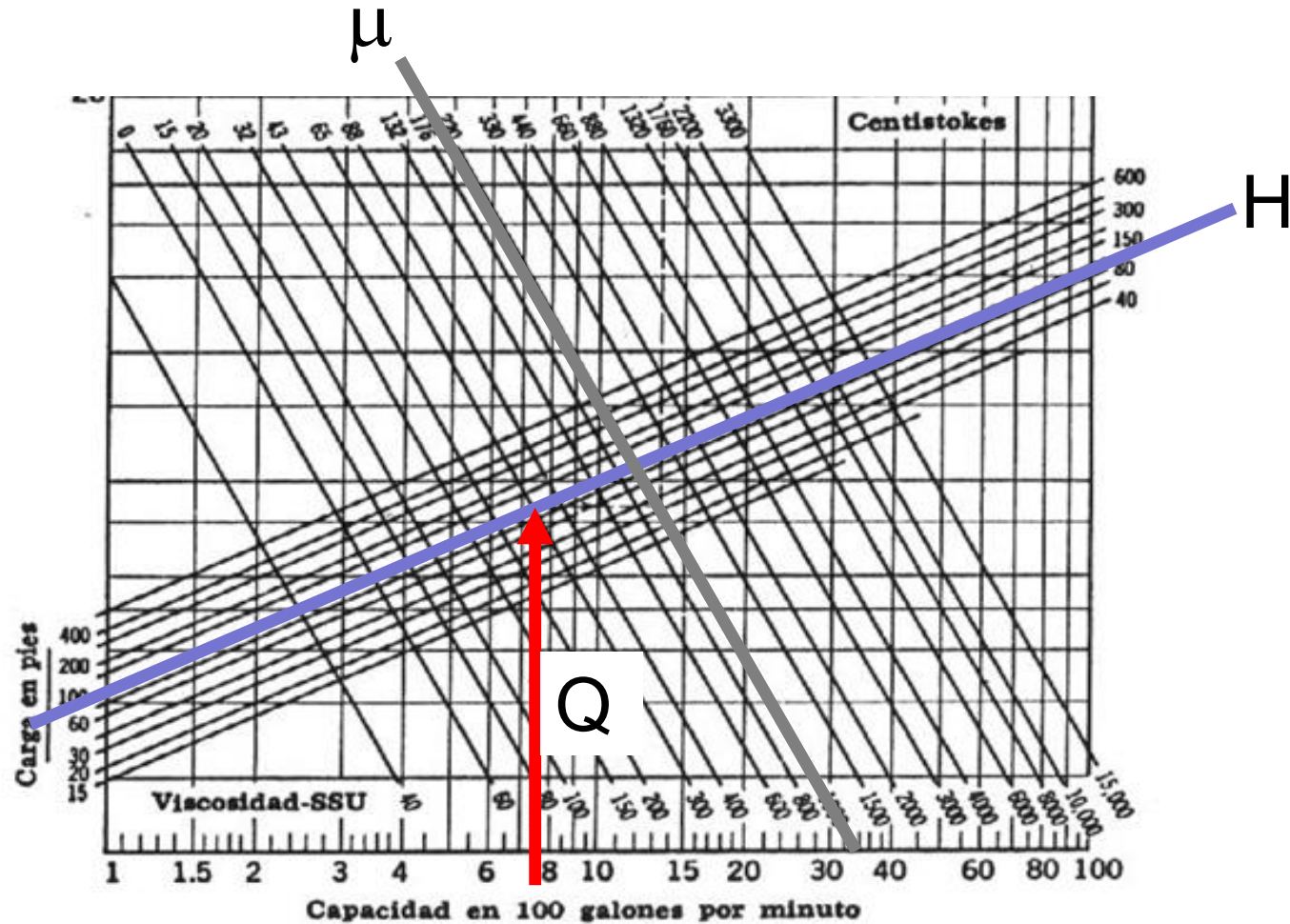
$Q_{1,2} - H_{1,2} - \eta_{1,2}$



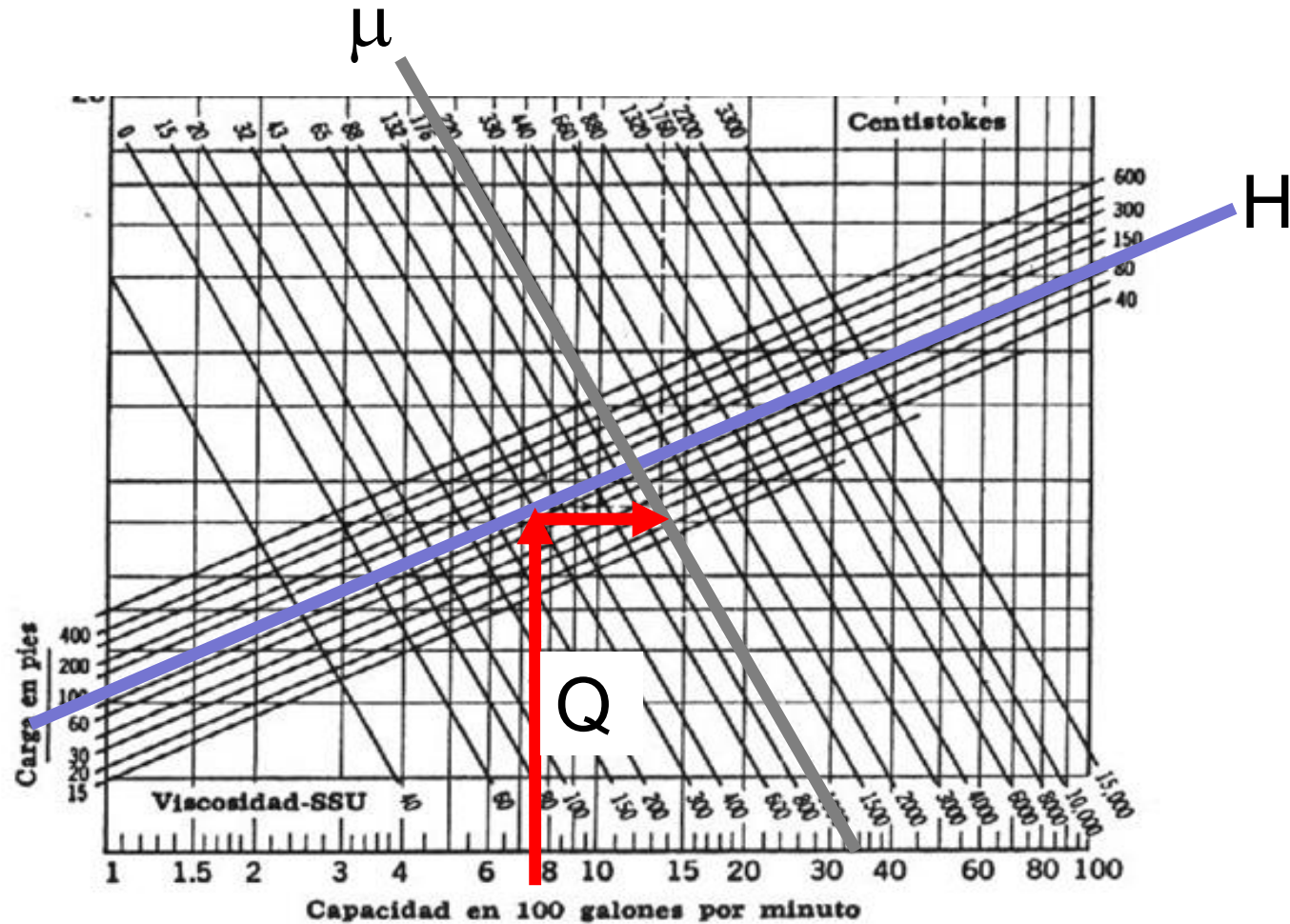
Ubicamos en el nomograma las rectas correspondientes a la altura H , al caudal Q y a la viscosidad μ del líquido en cuestión



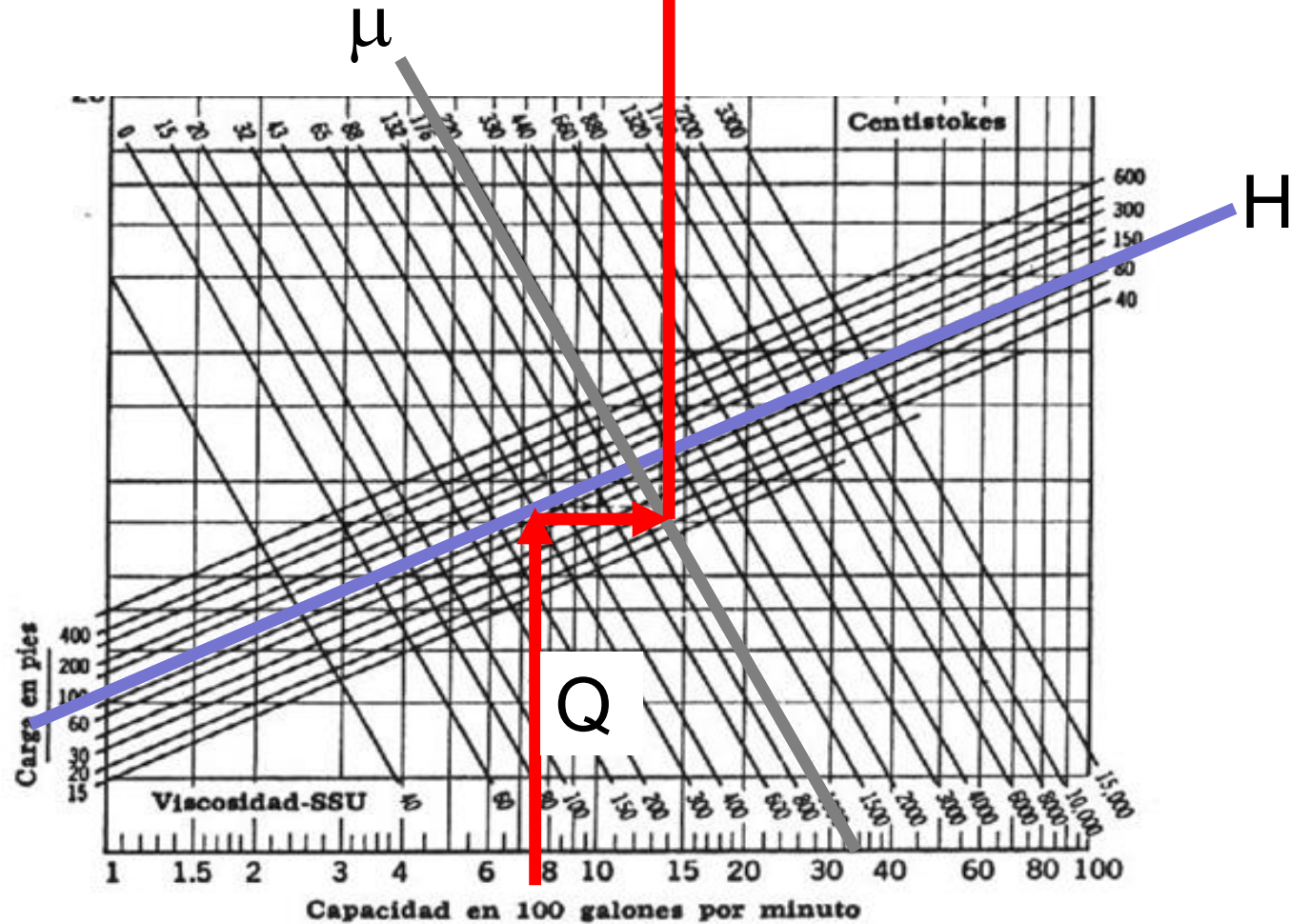
Ubicamos en el nomograma las rectas correspondientes a la altura H , al caudal Q y a la viscosidad μ del líquido en cuestión



Ubicamos en el nomograma las rectas correspondientes a la altura H , al caudal Q y a la viscosidad μ del líquido en cuestión



Ubicamos en el nomograma las rectas correspondientes a la altura H , al caudal Q y a la viscosidad μ del líquido en cuestión



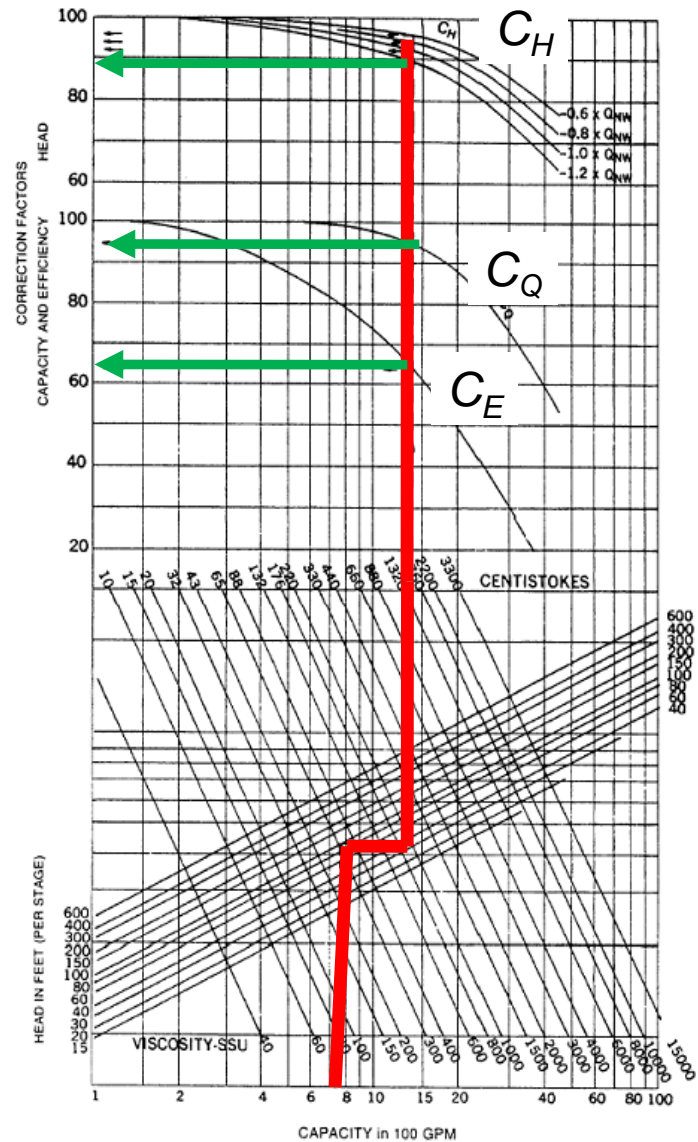
C_E = factor de corrección de η ,

C_Q = factor de corrección de Q

C_H = factor de corrección de H

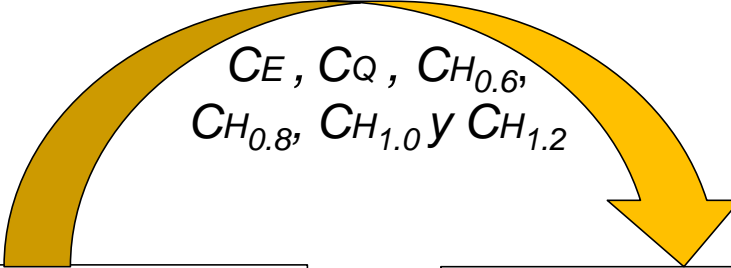
(hay 4 valores, correspondientes a los caudales $Q_{0.6}$, $Q_{0.8}$, $Q_{1.0}$ y $Q_{1.2}$)

Estos factores de corrección se utilizan para obtener los nuevos Q , H , η para la nueva viscosidad a partir de los puntos correspondientes en las curvas para agua



*multiplicando por los factores
respectivos obtenidos del nomograma*

$C_E, C_Q, C_{H_{0.6}},$
 $C_{H_{0.8}}, C_{H_{1.0}} \text{ y } C_{H_{1.2}}$



$Q_{1,0} - H_{1,0} - \eta_{1,0}$

$Q_{0,6} - H_{0,6} - \eta_{0,6}$

$Q_{0,8} - H_{0,8} - \eta_{0,8}$

$Q_{1,2} - H_{1,2} - \eta_{1,2}$

*de las curvas
originales para
agua*

$Q_{1,0} - H_{1,0} - \eta_{1,0}$

$Q_{0,6} - H_{0,6} - \eta_{0,6}$

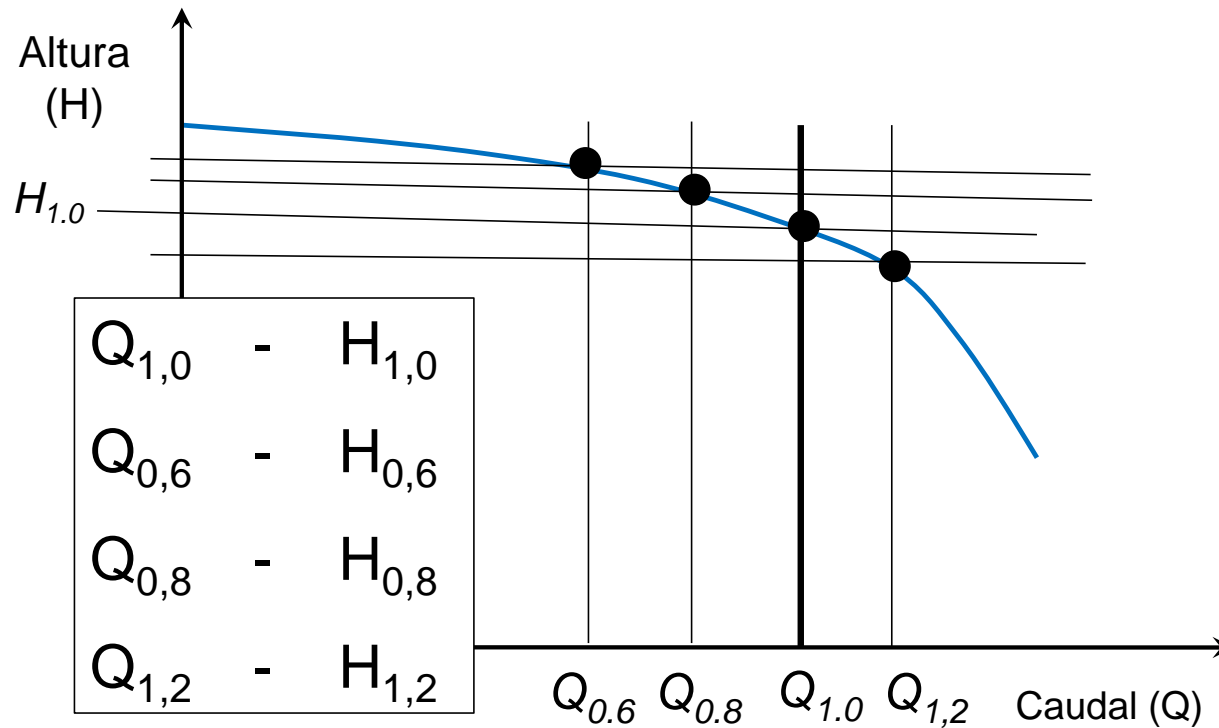
$Q_{0,8} - H_{0,8} - \eta_{0,8}$

$Q_{1,2} - H_{1,2} - \eta_{1,2}$

*para construir las
curvas para
viscosidad μ*

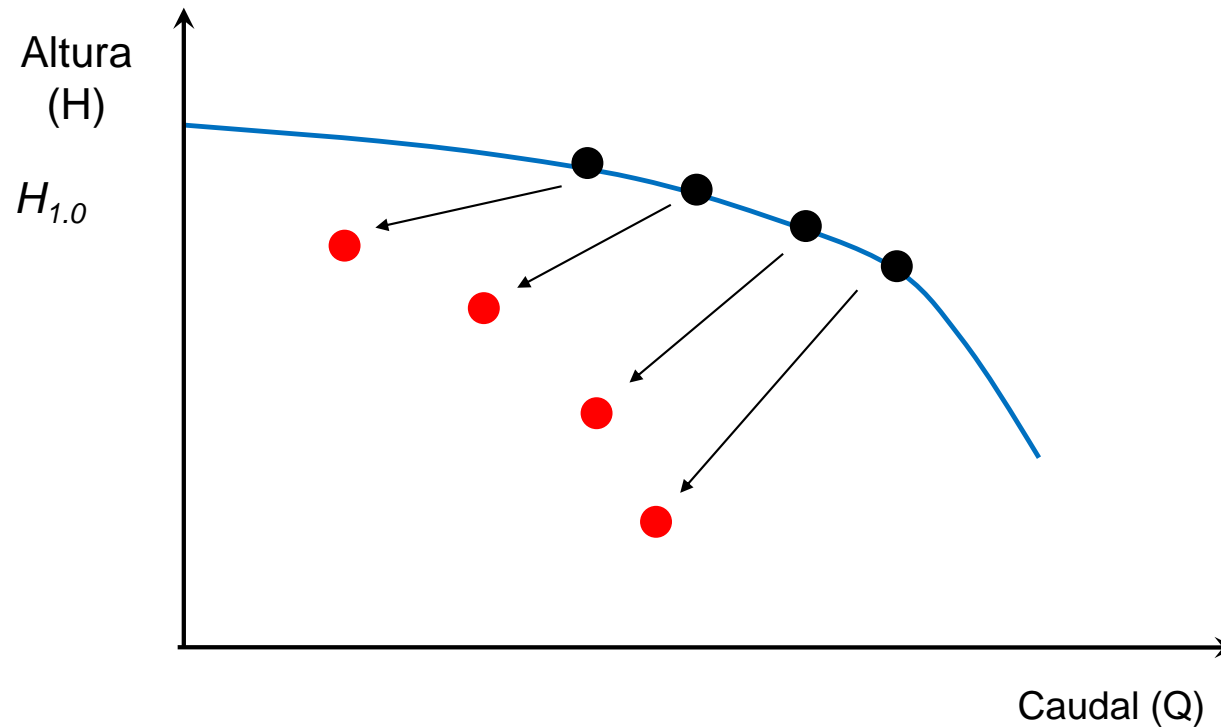
Ajuste por viscosidad

Partimos de la curva real para agua



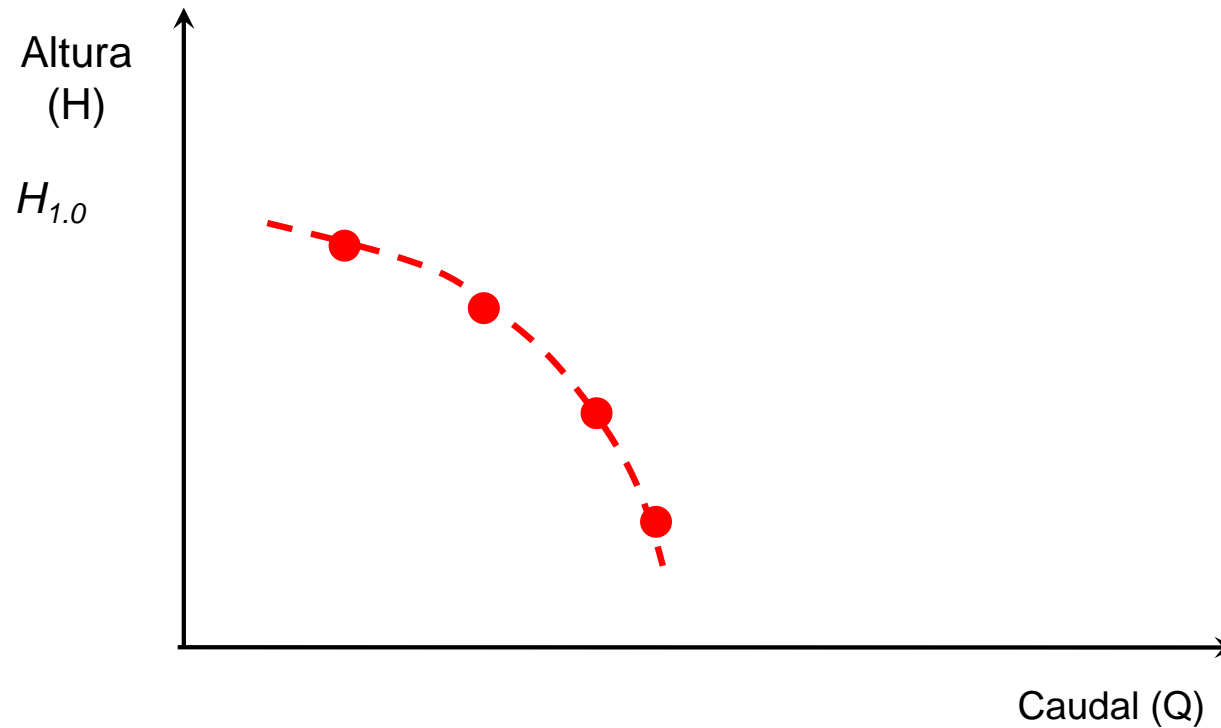
Ajuste por viscosidad

Partimos de la curva real para agua



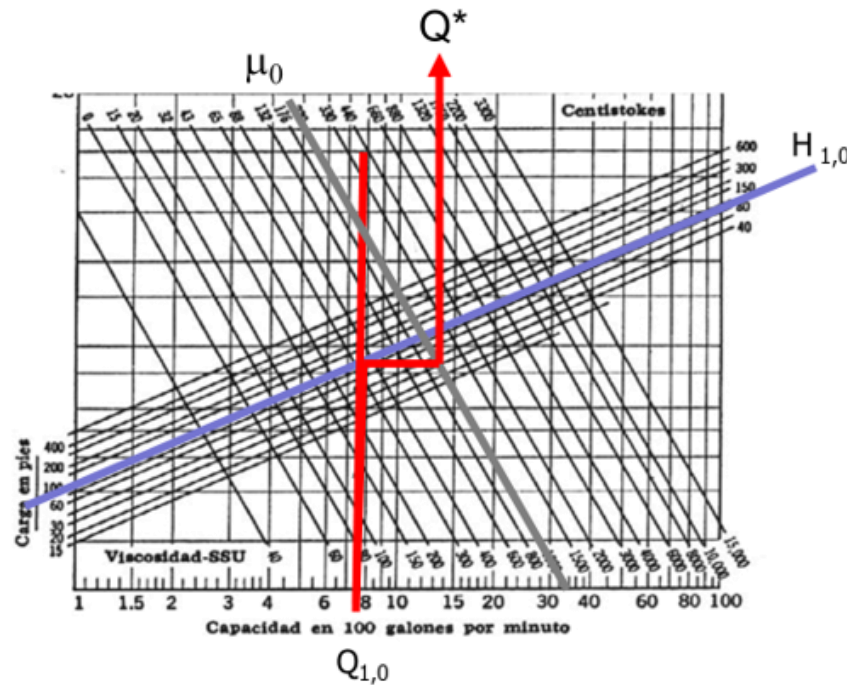
Ajuste por viscosidad

Curva “estimada” para el fluido más viscoso



Uso de ecuaciones para “reemplazar” uso del nomograma

Ver: https://www.researchgate.net/profile/Gabor-Takacs-4/publication/297703555_Equations_correct_centrifugal_pump_curves_for_viscosity/links/59ec4a8caca272cddddf104c/Equation-s-correct-centrifugal-pump-curves-for-viscosity.pdf



Uso de ecuaciones para “reemplazar” uso del nomograma

Ver: https://www.researchgate.net/profile/Gabor-Takacs-4/publication/297703555_Equations_correct_centrifugal_pump_curves_for_viscosity/links/59ec4a8caca272cddddf104c/Equation-s-correct-centrifugal-pump-curves-for-viscosity.pdf

Partimos de $H_{1,0}$ y $Q_{1,0}$ (son los valores de altura en ft y caudal en 100 gpm, para agua, en el punto de máxima eficiencia de la bomba), y μ_0 (la viscosidad cinemática a la que se pretende obtener la curva, en cst)

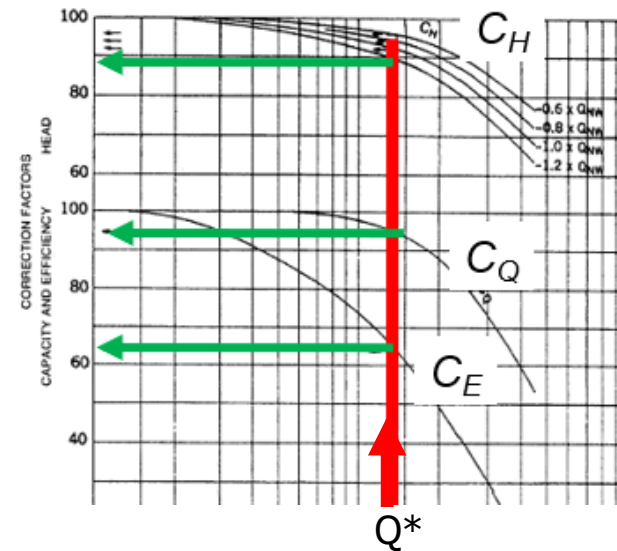
Calculamos el parámetro y , según:

$$y = -7,5946 + 6,6504 - \ln H_{1,0} + 12.8429 \ln Q_{1,0}$$

Calculamos el parámetro Q^* , según:

$$Q^* = \exp [839,5276 + 26,5605 \ln (\mu_0) - y] / 51,6565]$$

Con el valor de Q^* , se calculan C_Q , $C_{H 0,6}$, $C_{H 0,8}$, $C_{H 1,0}$, $C_{H 1,2}$ y C_E con las ecuaciones que siguen:



$$C_Q = 1,0 - 4,0327 \times 10^{-3} Q^* - 1,7240 \times 10^{-4} Q^{* 2}$$

$$C_{H 0,6} = 1,0 - 3,6800 \times 10^{-3} Q^* - 4,3600 \times 10^{-5} Q^{* 2}$$

$$C_{H 0,8} = 1,0 - 4,4723 \times 10^{-3} Q^* - 4,1800 \times 10^{-5} Q^{* 2}$$

$$C_{H 1,0} = 1,0 - 7,00763 \times 10^{-3} Q^* - 1,4100 \times 10^{-5} Q^{* 2}$$

$$C_{H 1,2} = 1,0 - 9,0100 \times 10^{-3} Q^* + 1,3100 \times 10^{-5} Q^{* 2}$$

$$C_E = 1,0 - 3,3075 \times 10^{-2} Q^* + 2,8875 \times 10^{-4} Q^{* 2}$$