

# Análisis Operacional

## Bombas Centrífugas

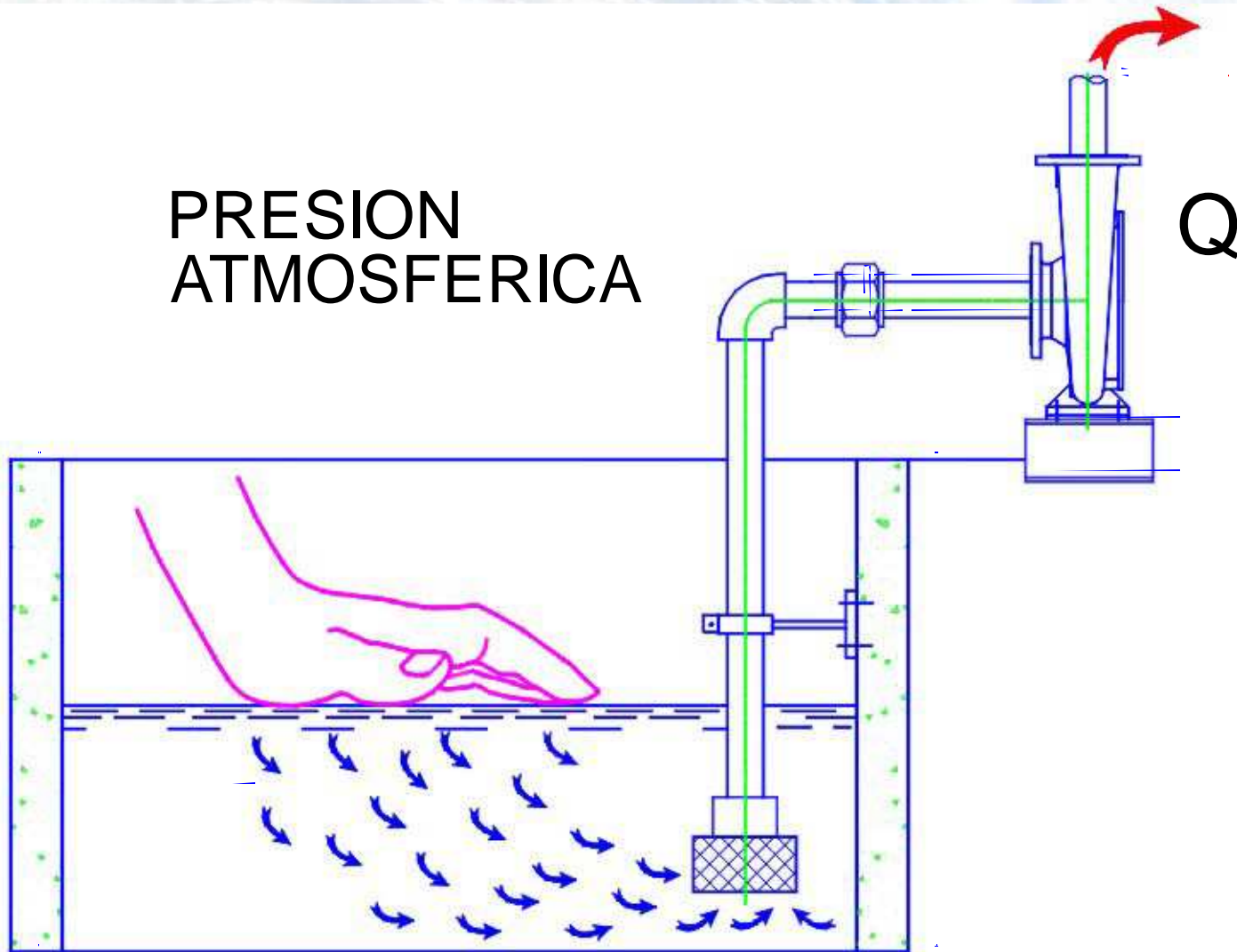
- NPSH
- CAVITACION



---

# **NET POSITIVE SUCTION HEAD**

# PRESION ATMOSFERICA



---

## **NPSH:**

- ▶ Es la cantidad de energía que dispone el líquido al ingreso de la bomba centrífuga.

## **NPSH DISPONIBLE :**

- ▶ Es la cantidad de energía que dispone el líquido sobre la presión de vapor en la brida de succión de la bomba a la temperatura de bombeo.
- ▶ Depende de las características del sistema en el cual opera la bomba, del caudal y de las condiciones del líquido que se bombea tales como: clase de líquido, temperatura, gravedad específica, entre otras.

---

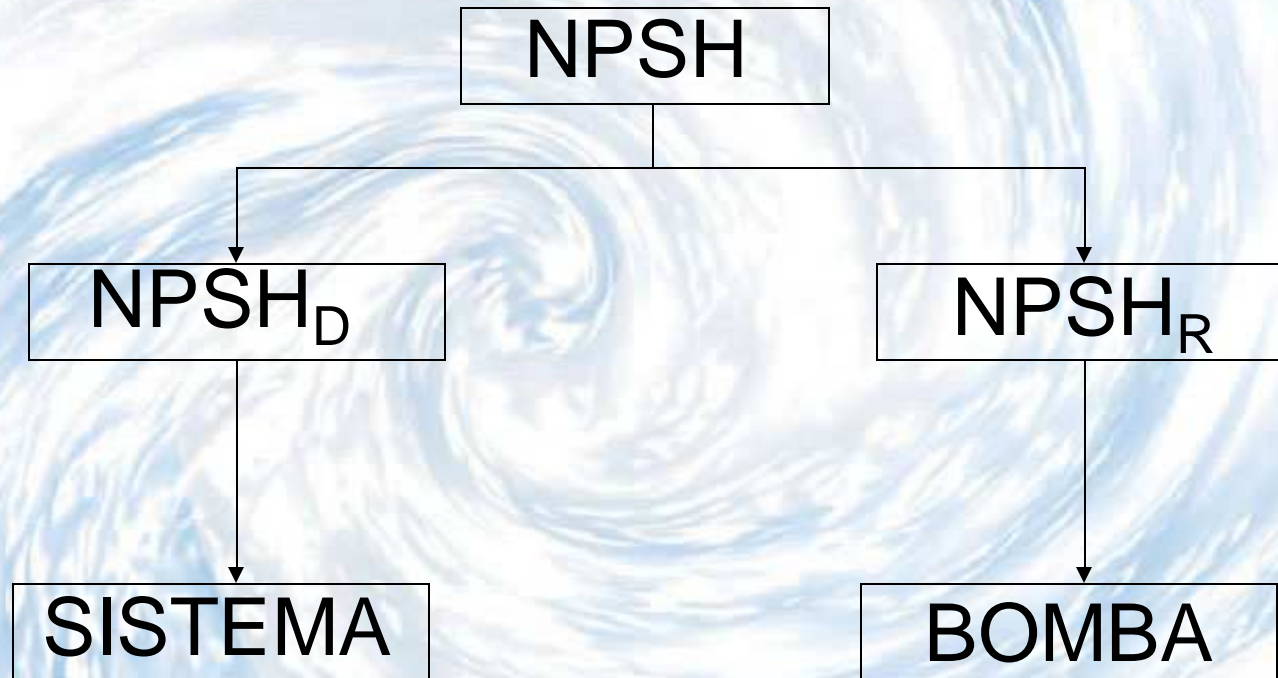
## **NPSH REQUERIDO :**

- ▶ Es el valor mínimo de energía requerido en la brida de succión de la bomba que debe tener el líquido sobre la presión de vapor a la temperatura de bombeo para permitir que opere satisfactoriamente.
- ▶ Depende exclusivamente del diseño de la bomba y de las condiciones de operación (velocidad, caudal, ADT, etc.), siendo su valor proporcionado por el fabricante.

Para que no cavite una bomba centrífuga:

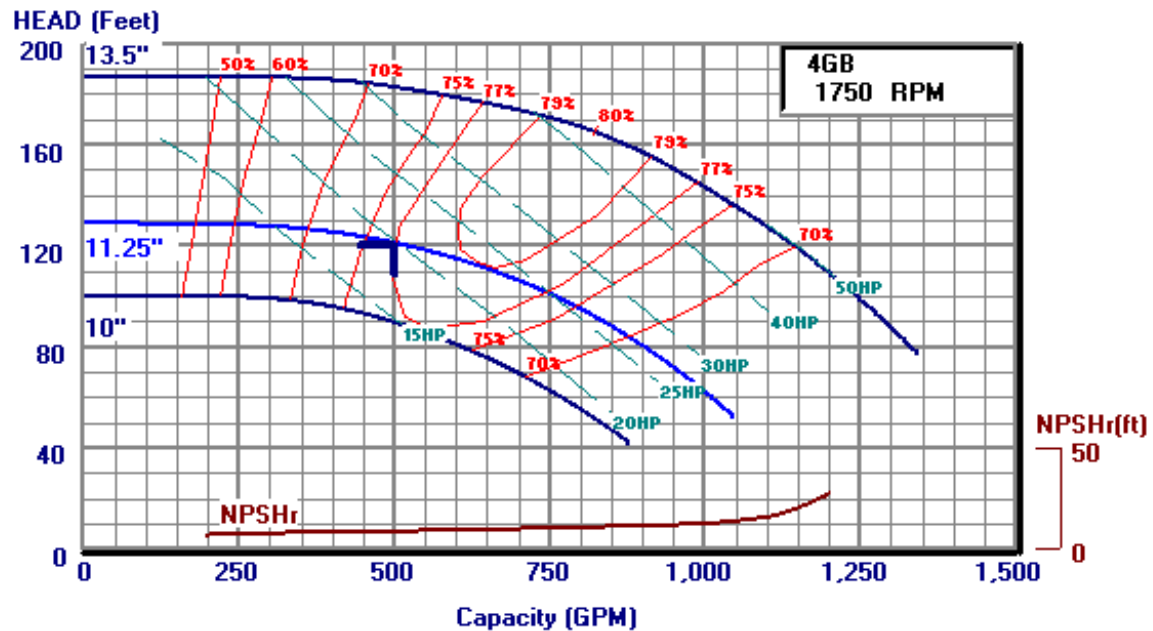
$$\mathbf{NPSH_D > NPSH_R}$$

## NET POSITIVE SUCTION HEAD



$$\mathbf{NPSH_D > NPSH_R}$$

# Curvas Características



Pump Series: 1510  
Suction Size = 5 "  
Discharge Size = 4 "

Min Imp Dia = 10 "  
Max Imp Dia = 13.5 "  
Cut Dia = 11.25 "

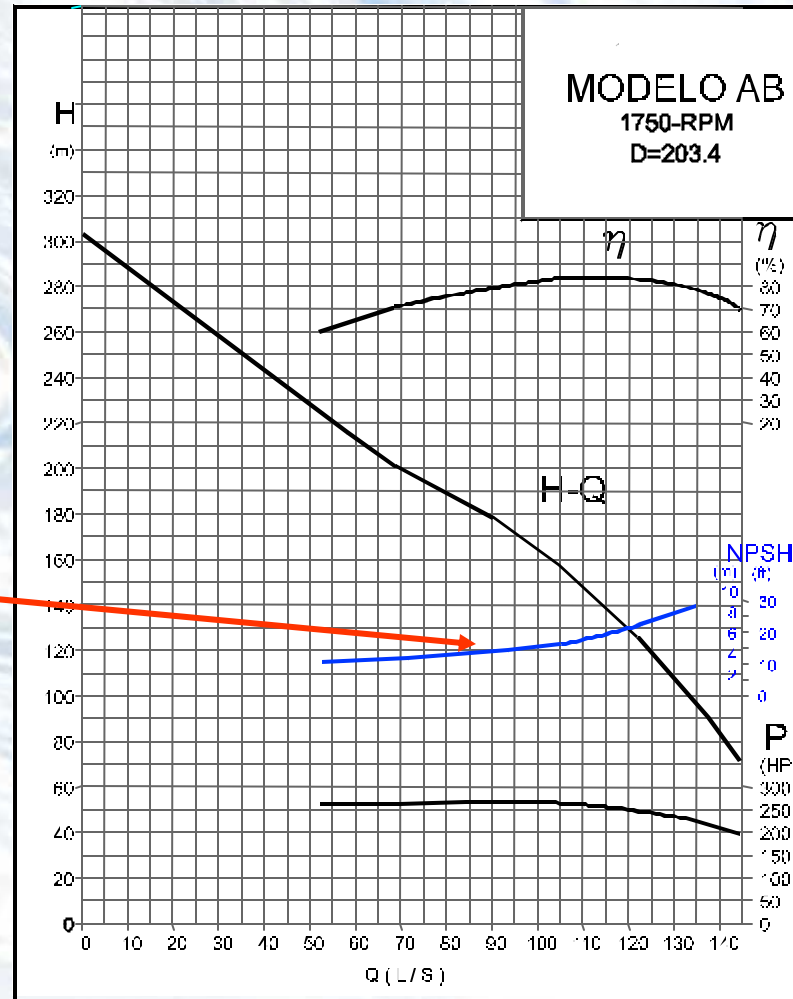
Design Capacity = 500.0  
Design Head = 120.0  
Motor Size = 20 HP

ITT Bell & Gossett  
8200 N. Austin  
Morton Grove, IL 60053

## SUCCION DE LA BOMBA

NPSHrequerido:

**NPSRreq**



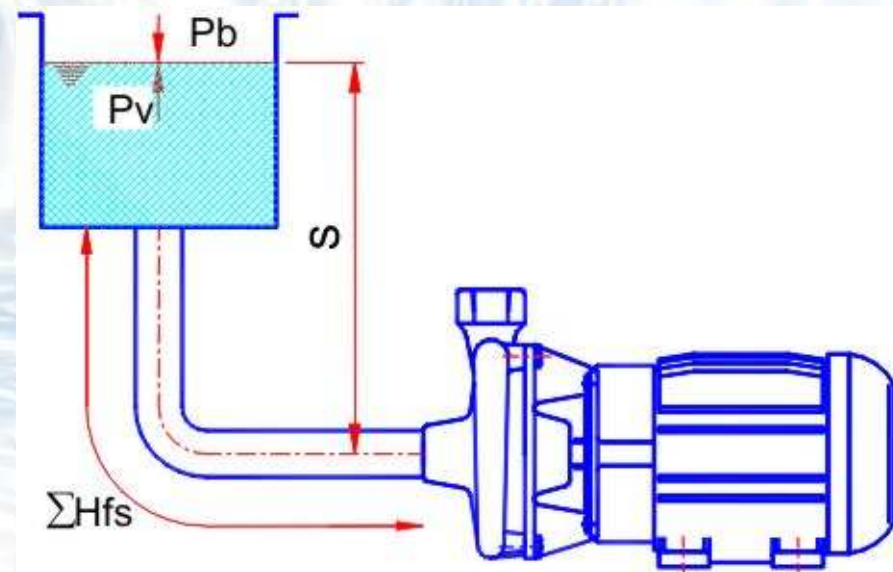


## CALCULO DEL NPSH DISPONIBLE :

$$\text{NPSHd} = (P_b - P_v) \times 0.7 / \text{GE} \pm S - \Sigma H_{fs}$$

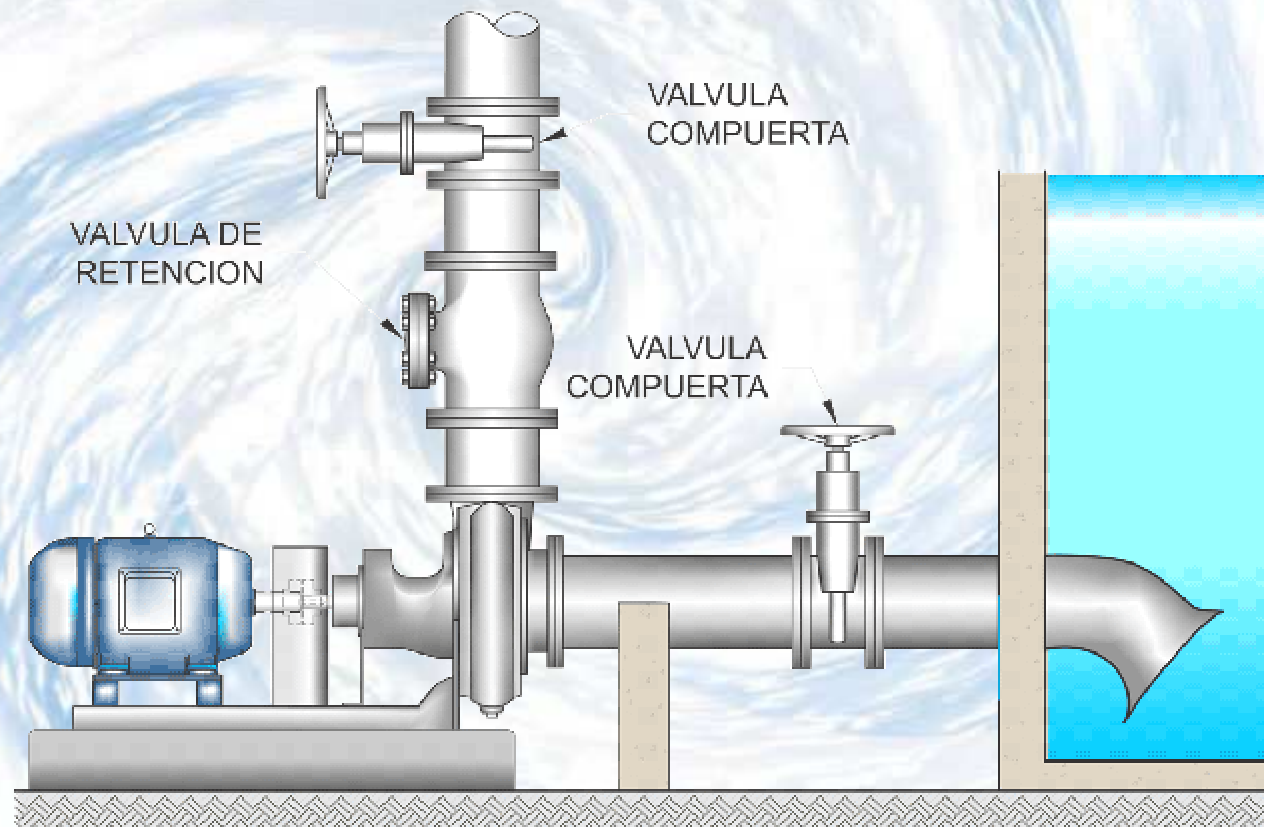
Donde:

- $\text{NPSH}_D$  :NPSH disponible en metros.  
 $P_b$  :Presión absoluta en el recipiente de succión en psi.  
 $P_v$  :Presión de vapor absoluta del líquido en psi a la temperatura de bombeo.  
 $\text{GE}$  :Gravedad específica del líquido a la temperatura de bombeo.  
 $S$  :Altura estática de succión en metros.  
 $\Sigma H_{fs}$  :Pérdida de energía por fricción en la línea de succión expresada en metros del líquido bombeado.



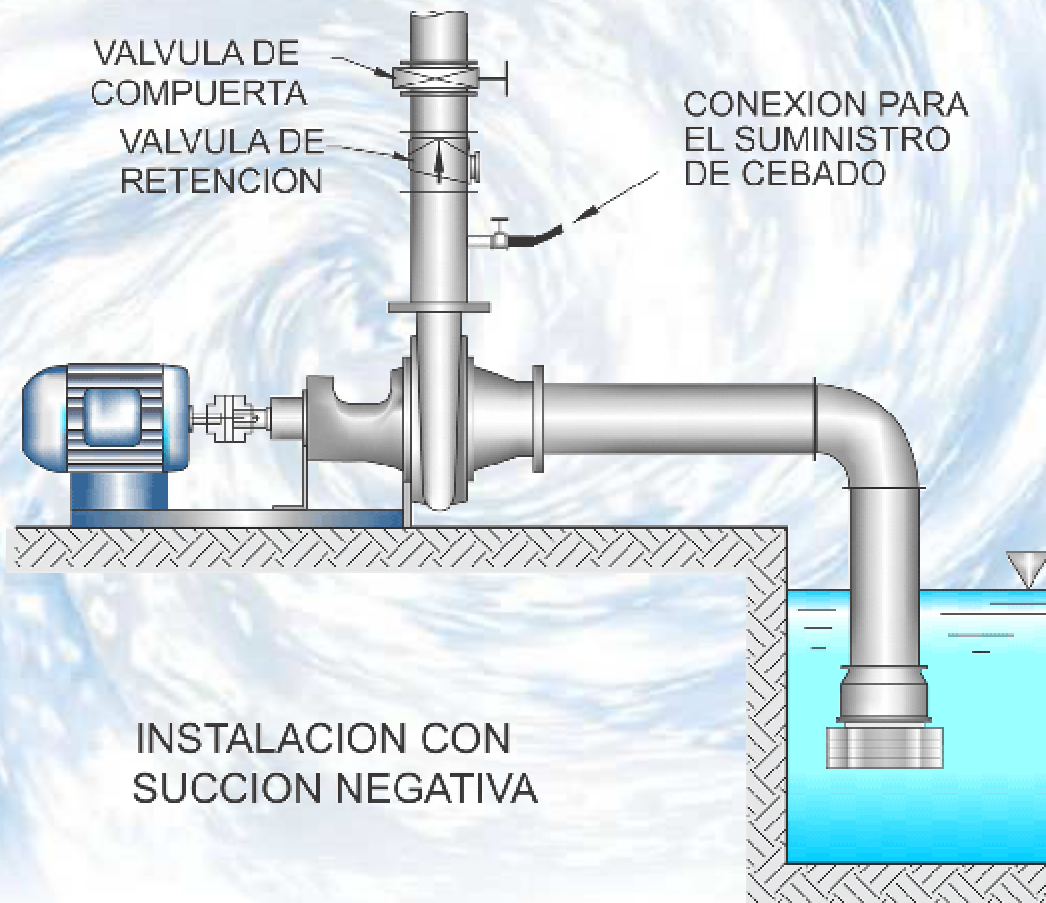
## SUCCION DE LA BOMBA

### ESQUEMA DE INSTALACION:

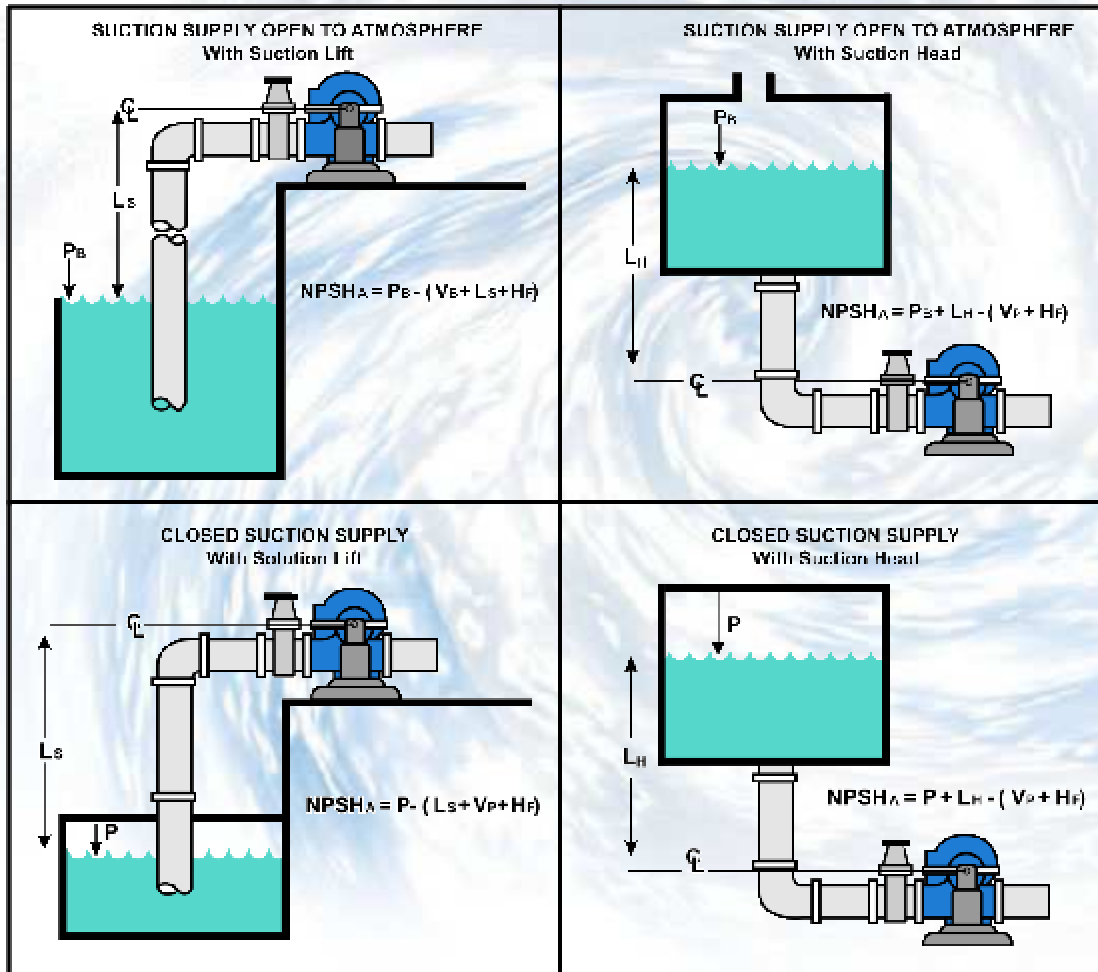


INSTALACION CON SUCCION POSITIVA

## CURSO DE BOMBAS CENTRIFUGAS



# Cálculo de NPSH disponible para succiones típicas



- $P_B$  = Presión barométrica en pie.
- $V_P$  = Presión de vapor en líquido a la máxima temperatura de bombeo en pies.
- $P$  = Presión sobre la superficie del líquido en succión en tanque cerrado en pies.
- $L_S$  = Máxima altura de succión estática en pies.
- $L_H$  = Mínima altura de succión estática en pies.
- $H_f$  = Pérdida por fricción en pies en la tubería de succión a la capacidad requerida(Q).

PRESION ATMOSFERICA A  
VARIAS ALTITUDES

ALTITUD METROS	PRESION ATMOSFERICA PSI
0	14.7
152.4	14.4
304.8	14.2
457.2	13.9
609.6	13.7
762	13.4
914.4	13.2
1066.8	12.9
1219.2	12.7
1371.6	12.4
1524	12.2
1676.4	12
1828.8	11.8
1981.2	11.5
2133.6	11.3
2286	11.1
2438.4	10.9
2590.8	10.7
2743.2	10.5
2895.6	10.3
3048	10.1
4572	8.3

PROPIEDADES DEL AGUA A VARIAS  
TEMPERATURAS

TEMPERATURA °C	GE REF. 15,6 °C	PRESION VAPOR ABSOLUTA (PSI)
0	1.002	0.0885
4.4	1.001	0.1217
7.2	1.001	0.1475
10	1.001	0.1781
12.8	1	0.2141
15.6	1	0.2563
18.3	0.999	0.3056
21.1	0.999	0.3631
23.9	0.998	0.4298
26.7	0.998	0.5069
29.4	0.997	0.5959
32.2	0.996	0.6982
35	0.995	0.8153
37.8	0.994	0.9492
43.3	0.992	1.275
48.9	0.99	1.692
54.4	0.987	2.223
60	0.985	2.889
65.6	0.982	3.718
71.1	0.979	4.741
76.7	0.975	5.992
82.2	0.972	7.51
87.8	0.968	9.339
93.3	0.964	11.526
100	0.959	14.696

# Propiedades del Agua

Altitud En pies	Presión Atmosférica psia / pies agua	Agua Hierve en Grados F.
- 1,000	15.2 / 35.2	213.8
sea level 0	14.7 / 33.9	212.0
+1,000	14.2 / 32.8	210.2
2,000	13.7 / 31.5	208.4
3,000	13.2 / 30.4	206.5
4,000	12.7 / 29.2	204.7
5,000	12.2 / 28.2	202.9
6,000	11.8 / 27.2	201.0
7,000	11.3 / 26.2	199.2
8,000	10.9 / 25.2	197.4
9,000	10.5 / 24.3	195.5
10,000	10.1 / 23.4	193.7
15,000	8.3 / 19.2	184.0

## Propiedades Del Agua

Altitud en Mts.	Pres. Atmos. psia / pies agua	Pres. Atmos. Kg/cm <sup>2</sup> abs./Mts agua	Agua Hierve Grados C.
-300	15.2 / 35.2	1.03 / 10.72	101
0	14.7 / 33.9	1.00 / 10.33	100
300	14.2 / 32.8	.96 / 9.99	99
600	13.7 / 31.5	.93 / 9.59	98
900	13.2 / 30.4	.89 / 9.26	97
1,220	12.7 / 29.2	.86 / 8.89	96
1,525	12.2 / 28.2	.82 / 8.59	95
1,830	11.8 / 27.2	.80 / 8.28	94
2,133	11.3 / 26.2	.76 / 7.98	93
2,440	10.9 / 25.2	.74 / 7.67	92
2,745	10.5 / 24.3	.71 / 7.40	91
3,050	10.1 / 23.4	.68 / 7.10	90
4,575	8.3 / 19.2	.56 / 5.85	84

## Propiedades del Agua

Temp. F / C	Gravedad Específica	Densidad lbs./cu.ft.	Hvp psia	Hvp ft. abs.
32 / 0.0	1.002	62.42	0.0885	0.204
40 / 4.4	1.001	62.42	0.1217	0.281
50 / 10.0	1.001	62.38	0.1781	0.411
60 / 15.6	1.000	62.34	0.2563	0.591
70 / 21.1	0.999	62.27	0.3631	0.839
80 / 26.7	0.998	62.19	0.5069	1.172
90 / 32.2	0.996	62.11	0.6982	1.617
100 / 37.8	0.994	62.00	0.9492	2.203
120 / 48.9	0.990	61.73	1.6920	3.943
140 / 60.0	0.985	61.39	2.8890	6.766
160 / 71.1	0.979	61.01	4.7410	11.172
180 / 82.2	0.972	60.57	7.5100	17.825
200 / 93.3	0.964	60.13	11.5260	27.584
212 / 100.0	0.959	59.81	14.6960	35.353
220 / 104.4	0.956	59.63	17.1860	41.343
240 / 115.6	0.948	59.10	24.9700	60.77
260 / 126.7	0.939	58.51	35.43	87.05
280 / 137.8	0.929	58.00	49.20	122.18
300 / 148.9	0.919	57.31	67.01	168.22



## Propiedades del Agua

Temp. F / C	Gravedad Específica	Densidad Kg/cu mt.	Hvp kg / cm <sup>2</sup>	Hvp Mts abs.
32 / 0.0	1.002	999.84	0.00622	0.062
40 / 4.4	1.001	999.84	0.0085	0.0856
50 / 10.0	1.001	999.20	0.0125	0.1252
60 / 15.6	1.000	998.56	0.0180	0.180
70 / 21.1	0.999	997.44	0.0255	0.2557
80 / 26.7	0.998	996.15	0.0357	0.3572
90 / 32.2	0.996	994.87	0.0490	0.492
100 / 37.8	0.994	993.11	0.0667	0.671
120 / 48.9	0.990	988.79	0.1189	1.201
140 / 60.0	0.985	983.34	0.2030	2.062
160 / 71.1	0.979	977.25	0.3332	3.405
180 / 82.2	0.972	970.21	0.5279	5.433
200 / 93.3	0.964	963.16	0.8102	8.410
212 / 100.0	0.959	958.03	1.0331	10.775
220 / 104.4	0.956	955.15	1.2555	12.601
240 / 115.6	0.948	946.66	1.7427	18.52
260 / 126.7	0.939	937.21	2.4907	26.53
280 / 137.8	0.929	929.04	3.4587	37.24
300 / 148.9	0.919	917.99	4.7108	51.27

# La Fórmula De La NPSHd

$$\text{NPSHd} = H_a + H_s - H_{vp} - H_f - H_i$$

donde:

$H_a$  = Pres. atmos. en mts. de elev. encima del mar..

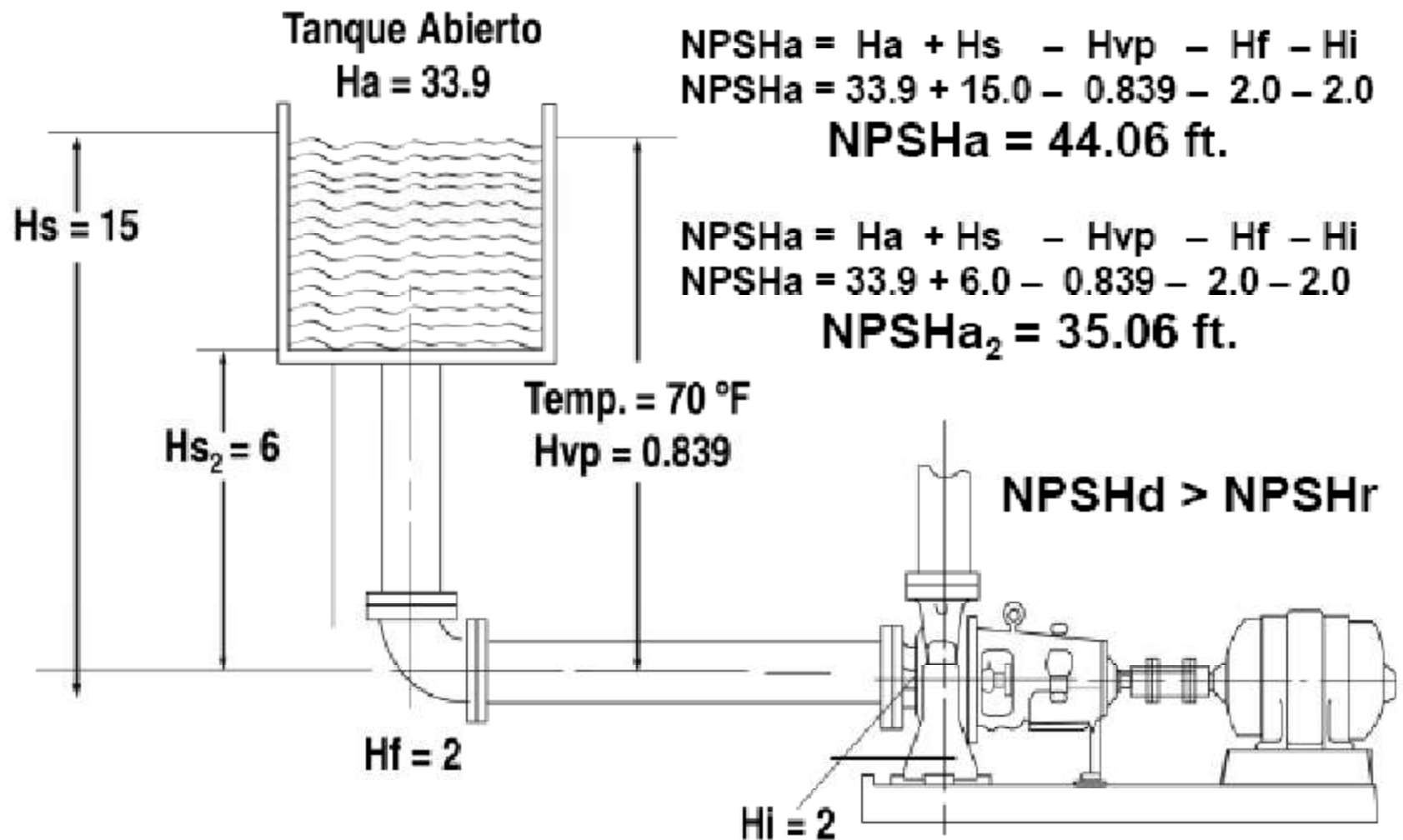
$H_s$  = alt. estática en mts. (pos. o neg.) del líquido en la succión, ref. la línea central de la bomba.

$H_{vp}$  = La pres. del vapor expresado en mts. Es función de la temp. del líquido.

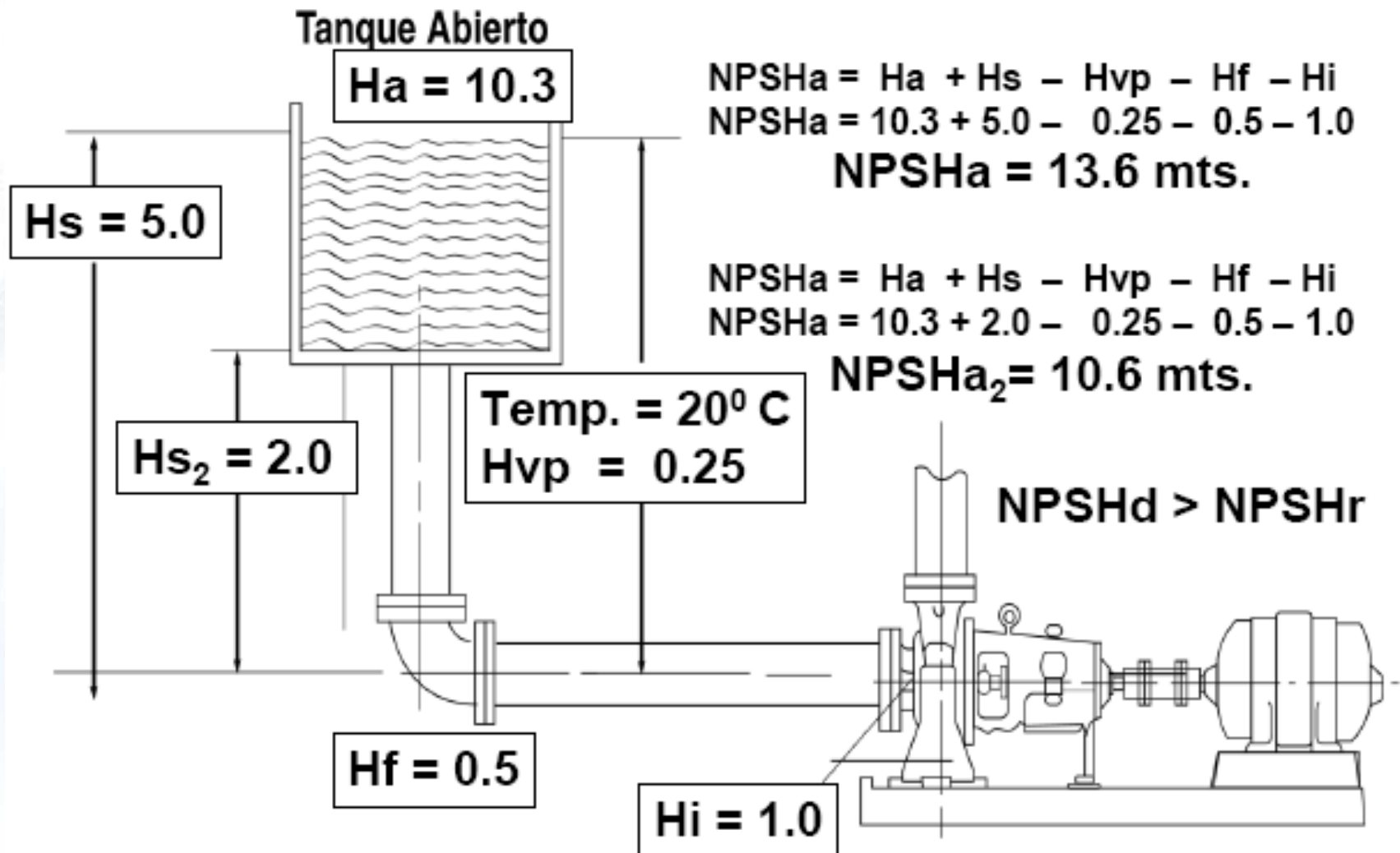
$H_f$  = Las pérdidas de fricción en la tubería y conexiones de la succión expresados en mts.

$H_i$  = La alt. de entrada, o pérdidas que ocurren en la boquilla de succión hasta el ojo del impulsor.  
Si no se sabe, llamámosle 1 mt.

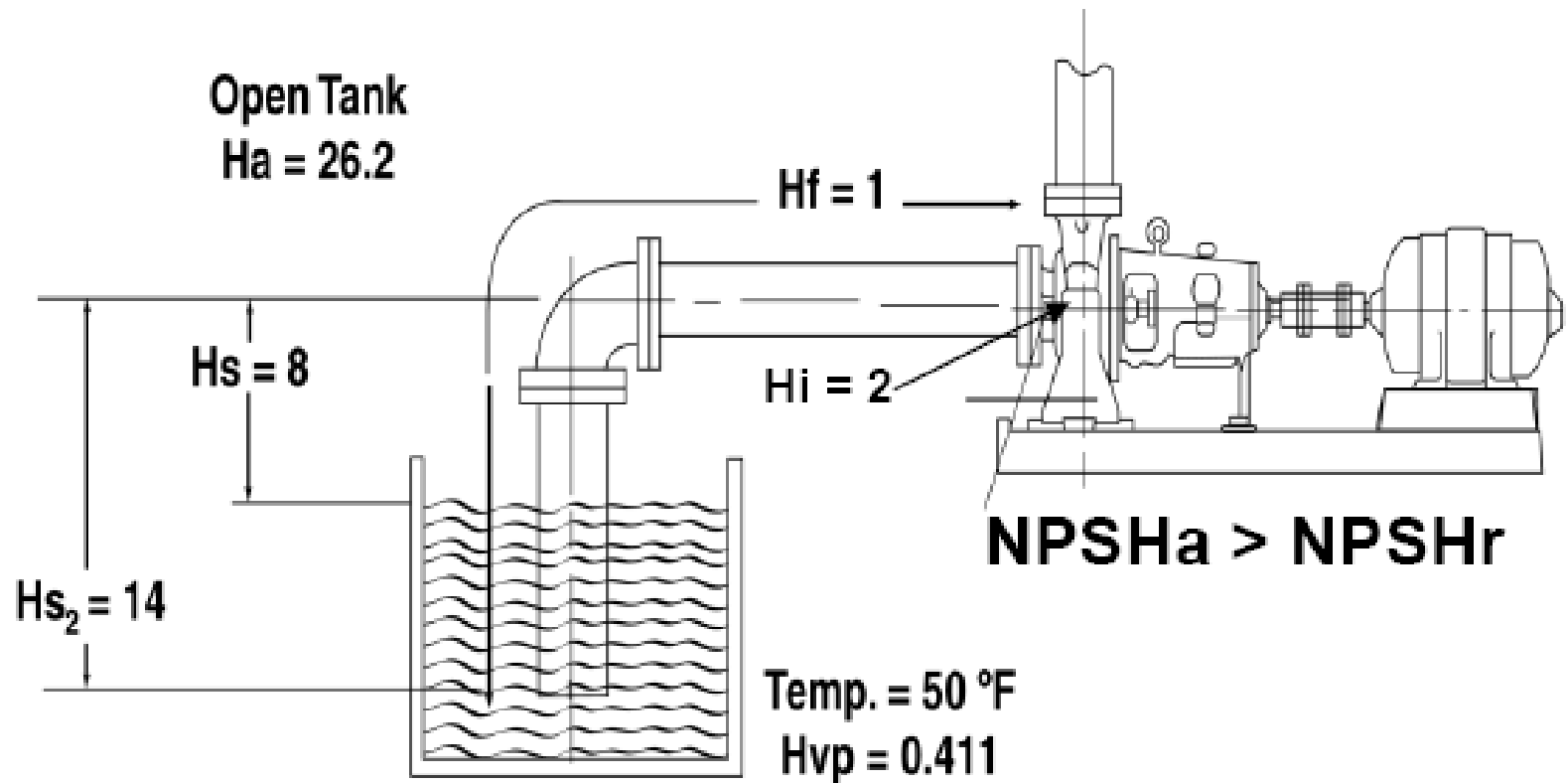
# Sistema Abierto a Nivel Mar 70° F



# Sistema Abierto a Nivel Mar 20° C



# Sistema Abierto a 7,000 Ft, 50° F

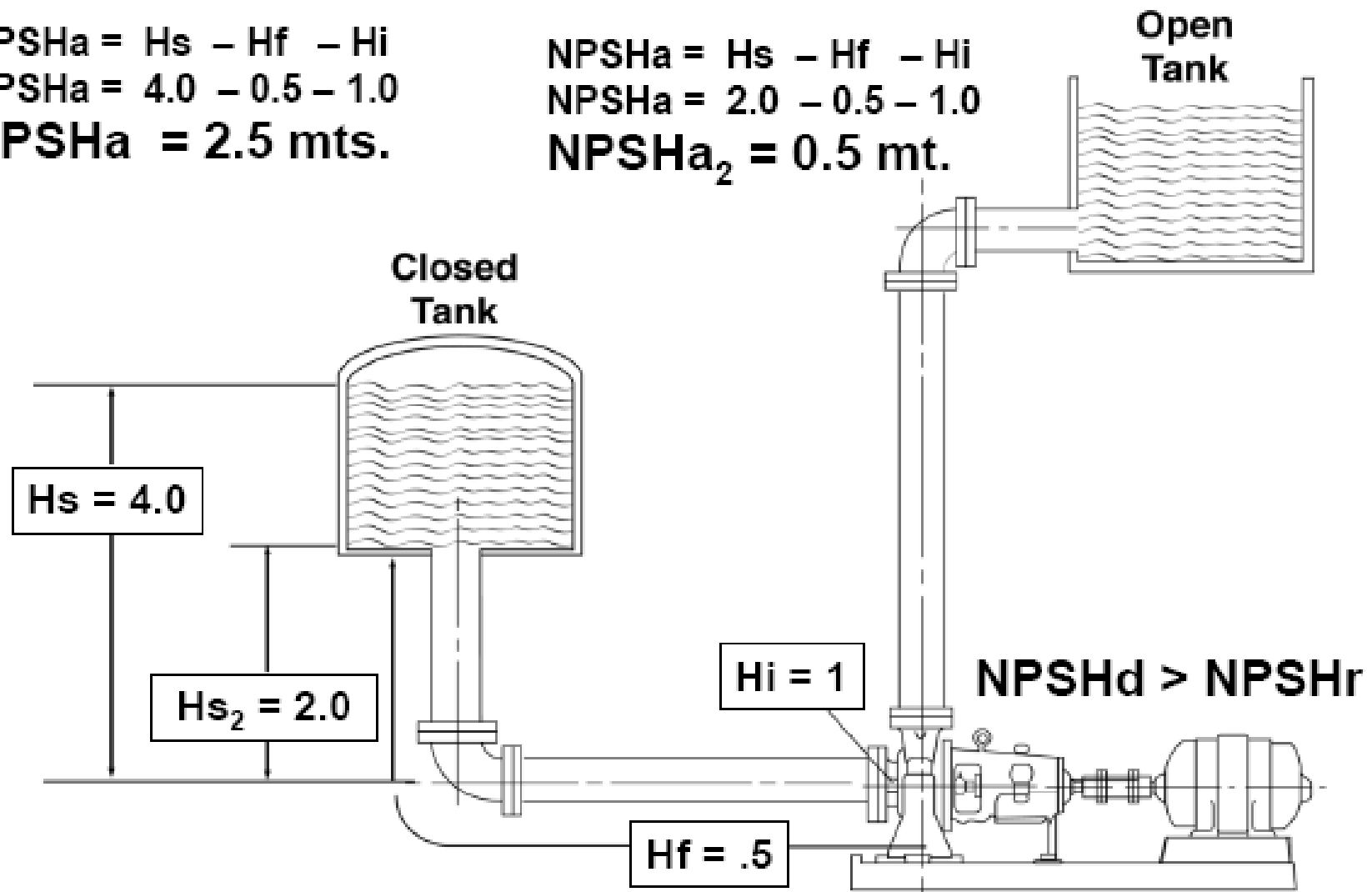


$$\begin{aligned} \text{NPSHa} &= H_a + H_s - H_{vp} - H_f - H_i & \text{NPSHa} &= H_a + H_s - H_{vp} - H_f - H_i \\ \text{NPSHa} &= 26.2 + (-8.0) - 0.411 - 1.0 - 2.0 & \text{NPSHa} &= 26.2 + (-14.0) - 0.411 - 1.0 - 2.0 \\ \text{NPSHa} &= 14.8 \text{ ft.} & \text{NPSHa}_2 &= 8.8 \text{ ft.} \end{aligned}$$

# Sistema Cerrado, $H_a = H_{vp}$

$$\begin{aligned} \text{NPSHa} &= H_s - H_f - H_i \\ \text{NPSHa} &= 4.0 - 0.5 - 1.0 \\ \text{NPSHa} &= 2.5 \text{ mts.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{NPSHa} &= H_s - H_f - H_i \\ \text{NPSHa} &= 2.0 - 0.5 - 1.0 \\ \text{NPSHa}_2 &= 0.5 \text{ mt.} \end{aligned}$$



# CAVITACION



---

## CAVITACION:

- ▶ Es un fenómeno que ocurre cuando la presión absoluta dentro del impulsor se reduce hasta alcanzar la presión de vapor del líquido bombeado y se forman burbujas de vapor.
- ▶ Estas burbujas colapsan en la zona de alta presión originando erosión del material con el que está en contacto.
- ▶ La cavitación se manifiesta como ruido, vibración; reducción del caudal y de la presión de descarga.



# Definición De La Cavitación

La cavitación es la formación e implosión de burbujas de vapor en la bomba.

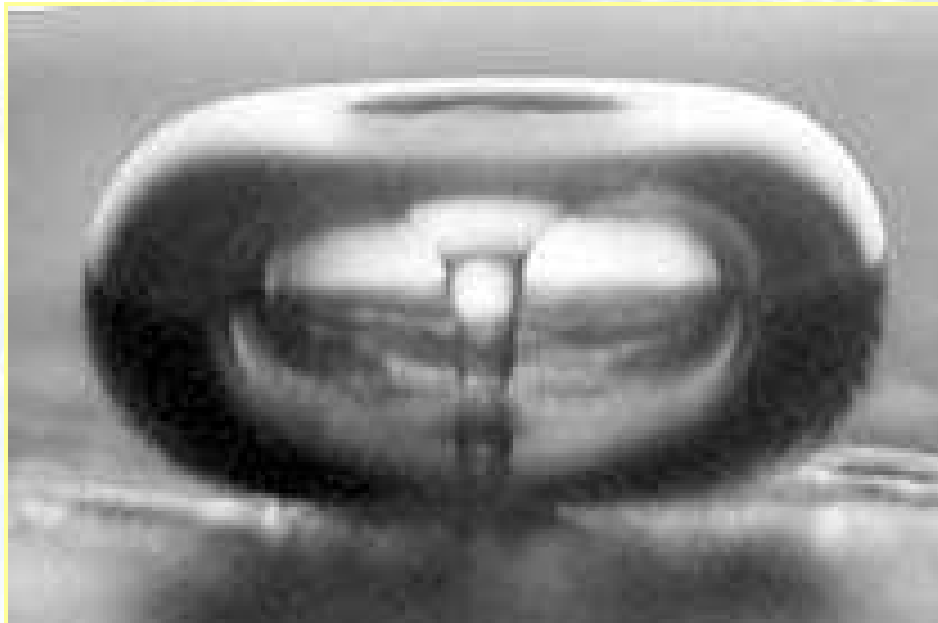
Suena como canicas o piedras en la bomba.

El daño aparenta como golpes de martillos grandes.

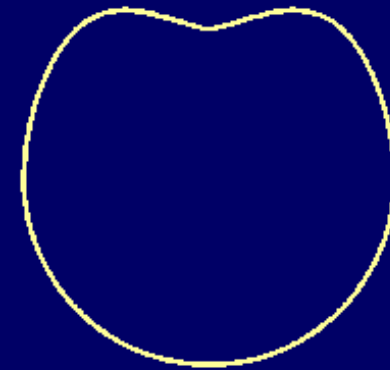
## Cavitación Causa:

1. Falla prematura del sello.
2. Falla prematura de los rodamientos.
3. Hoyos y desgarrados en el impulsor y otras partes internas de la bomba.
4. Eje roto (fracturado) y otras fallas de fatiga en la bomba.

# CAVITACION.



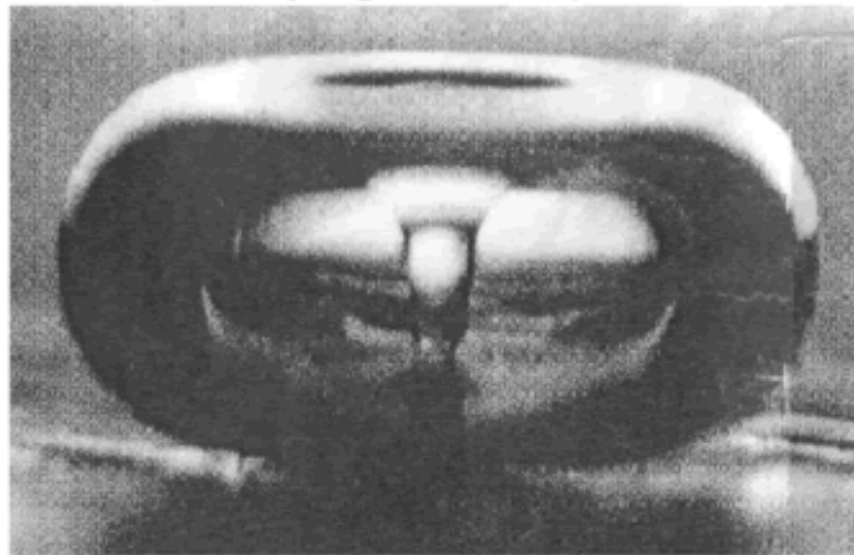
Cavitation Collapse Near a Surface



# Un Hoyo En El Líquido

Una burbuja de cavitación es un hoyo en el líquido. Las bombas mueven líquidos, pero no aire o gases, que no se pueden centrifugar. Las burbujas ocupan espacio dentro de la bomba y reducen la presión y flujo. Las burbujas colapsan en zonas de alta presión dentro de la bomba. Cuando la burbuja colapsee, el líquido pega a las partes metálicas a la velocidad del sonido. El sonido viaja a 4,800 pies / seg. en el agua. La fórmula del Hv aproxima la energía de cavitación.

Foto amplificado 45 X.  
La velocidad es a 560-mph  
(920-knh)



Copyrighted Photos Co. Inc.

27

# Implosión es Explosión En Retroceso.

Usando la fórmula de altura de velocidad:

$$H_v = \frac{V^2}{2g}$$

$$H_v = \frac{(4,800 \text{ ft./seg.})^2}{2 \times 32.16}$$

$$H_v = \frac{23,040,000}{64.32}$$

$$H_v = 358,209 \text{ ft.}$$

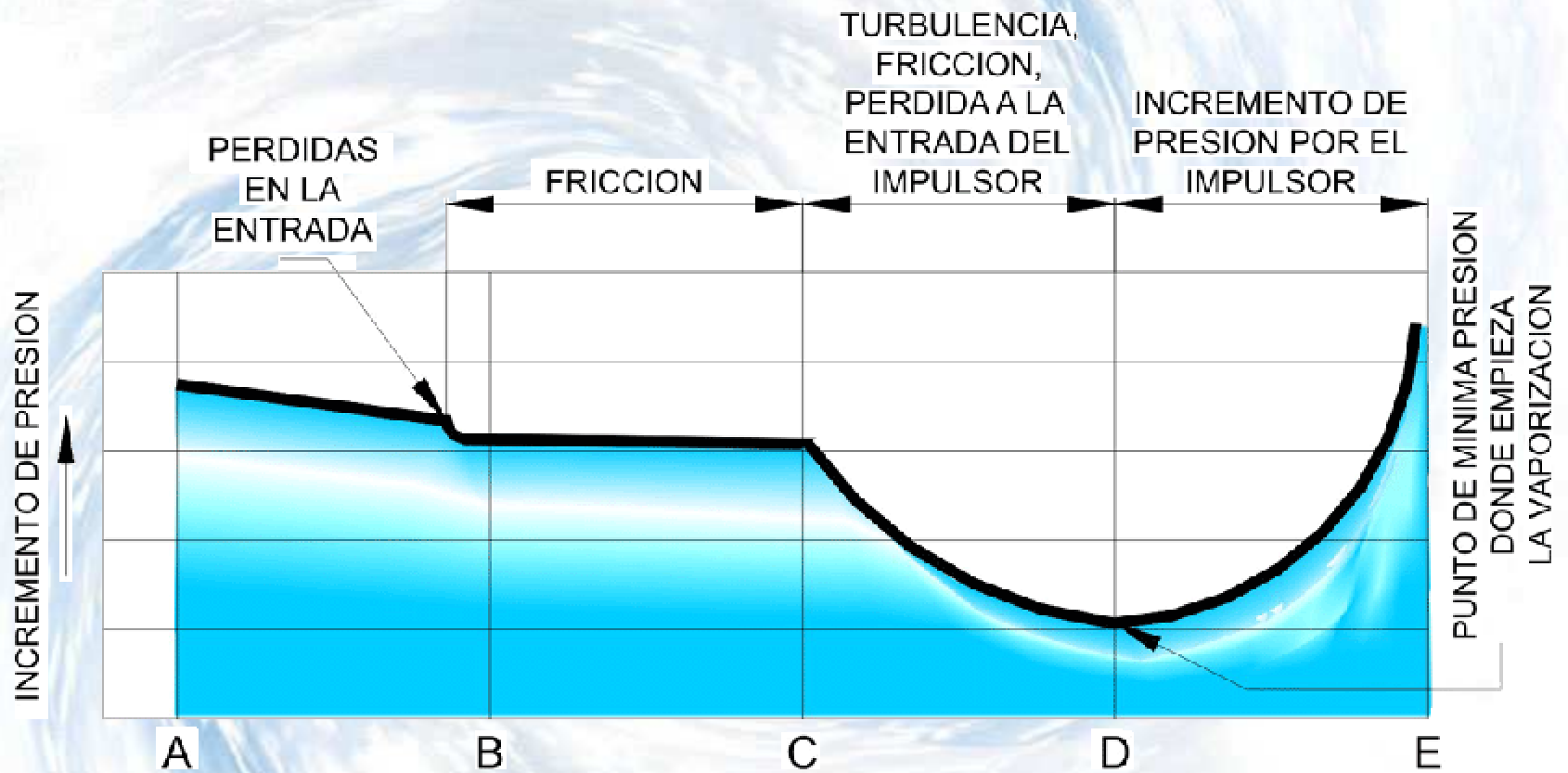
Para convertir esta energía a presión:

$$\text{psi} = \frac{\text{Altura} \times \text{gr. esp.}}{2.31}$$

$$\frac{358,209 \times 1.0}{2.31}$$

$$\text{psi} = 155,069 \text{ psi}$$
$$10,600.2 \text{ kg/cm}^2$$

Una burbuja de cavitación golpea a la bomba a 155,069 psi. Estas ondas de choque dañan a la bomba, el sello, y los rodamientos.



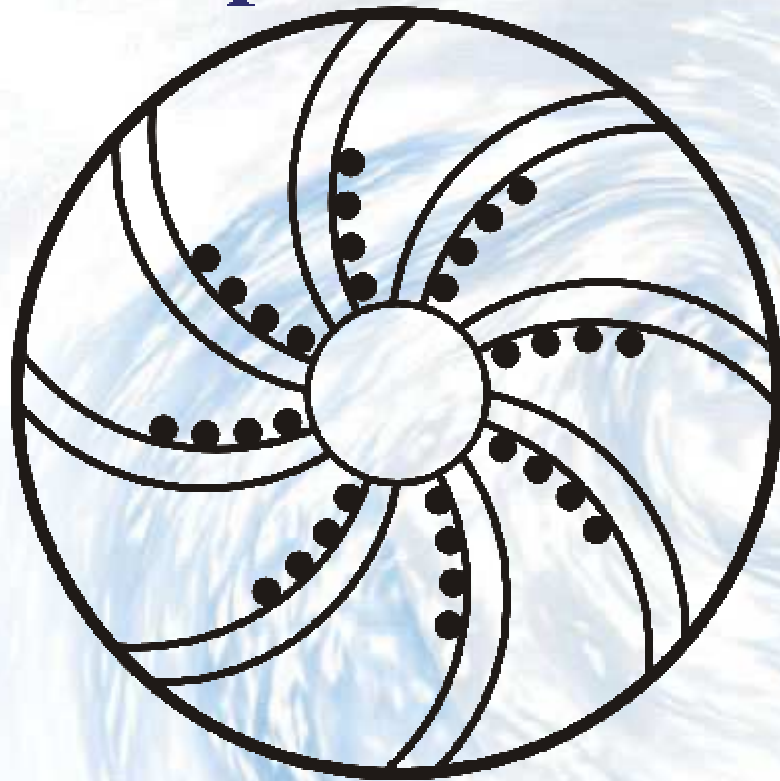
# **Tipos de cavitación.**

- 1. Vaporización o la cavitación clásica y también llamado NPSHD inadecuado.**
- 2. La recirculación interna.**
- 3. El síndrome de la aleta pasante.**
- 4. La aspiración de aire.**
- 5. La turbulencia.**

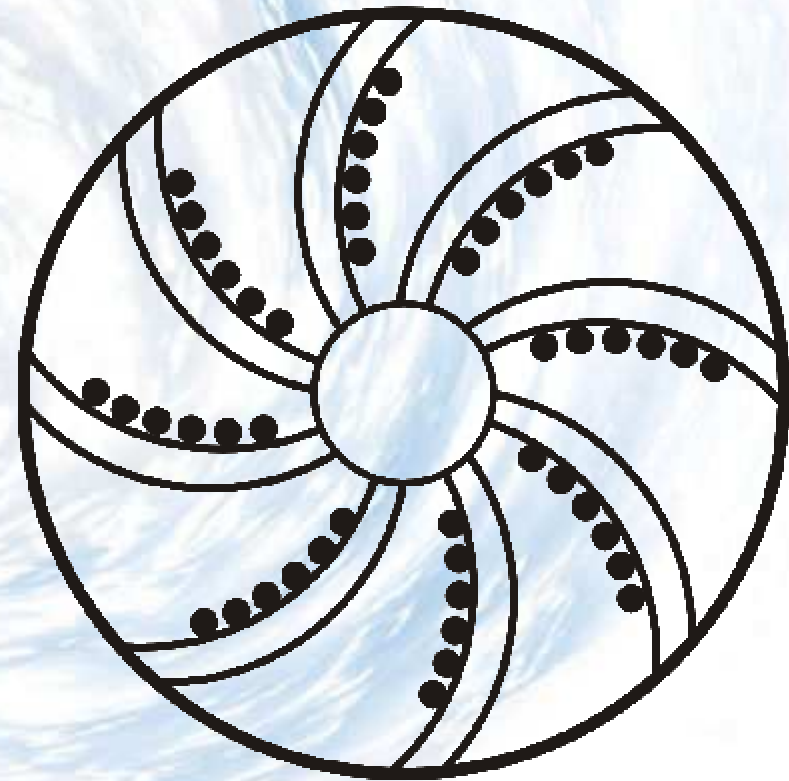


# VIDEO A

## Vaporización



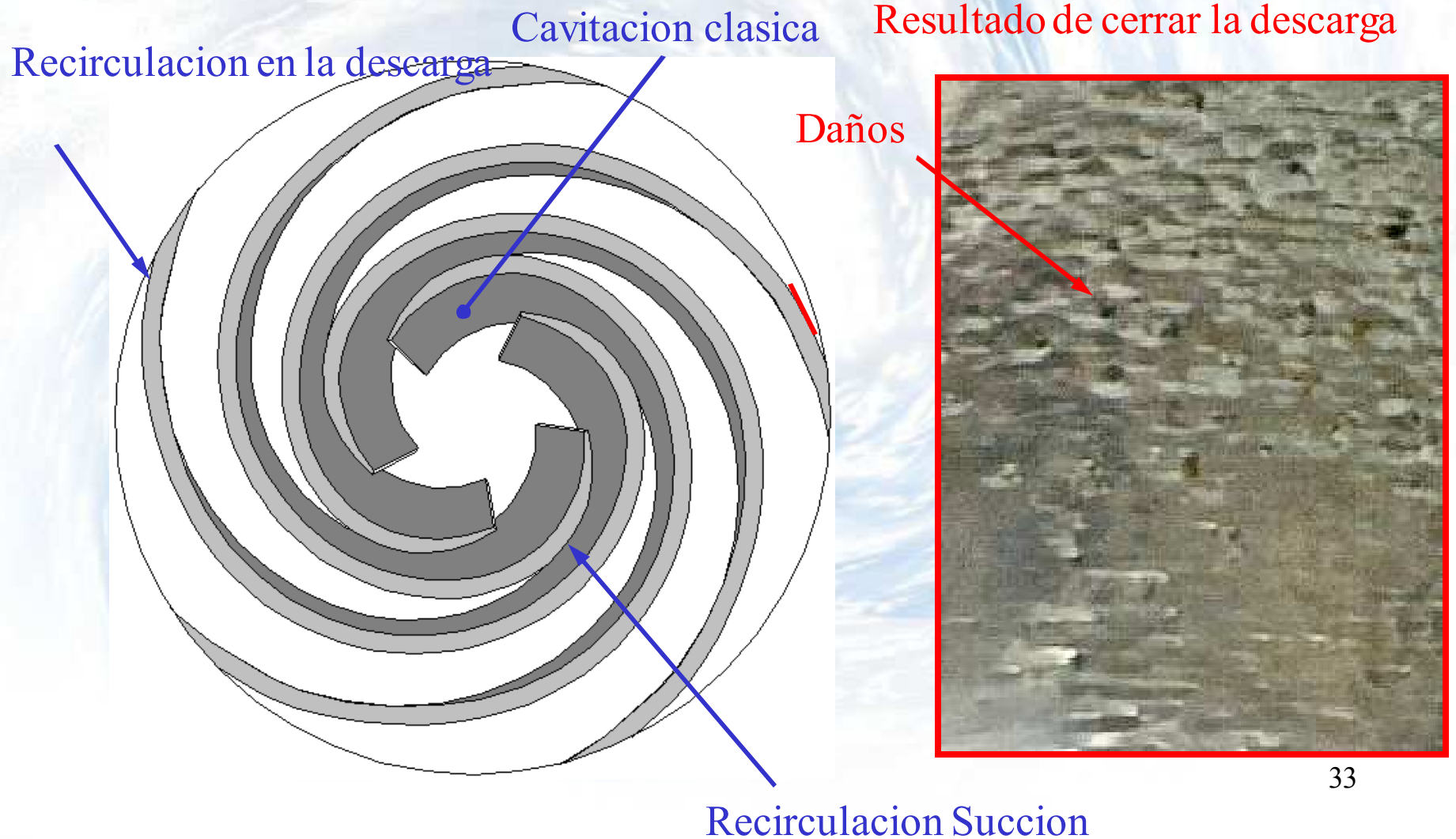
## Recirculación Interna





# Cavitacion Clasica

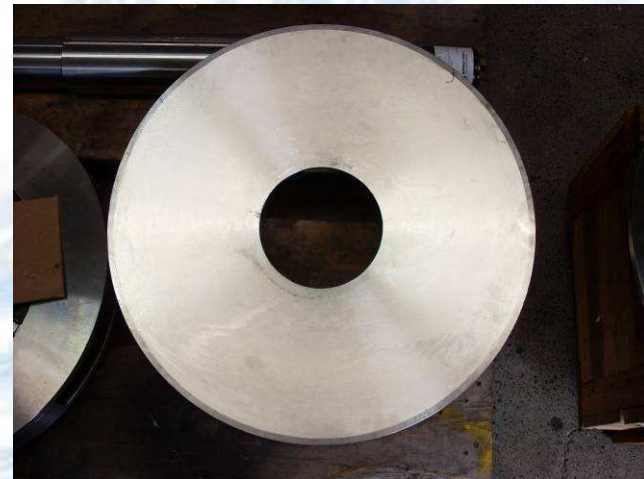
## **Daños por Cavitacion**



 ***Cavitacion por recirculacion en la succion***



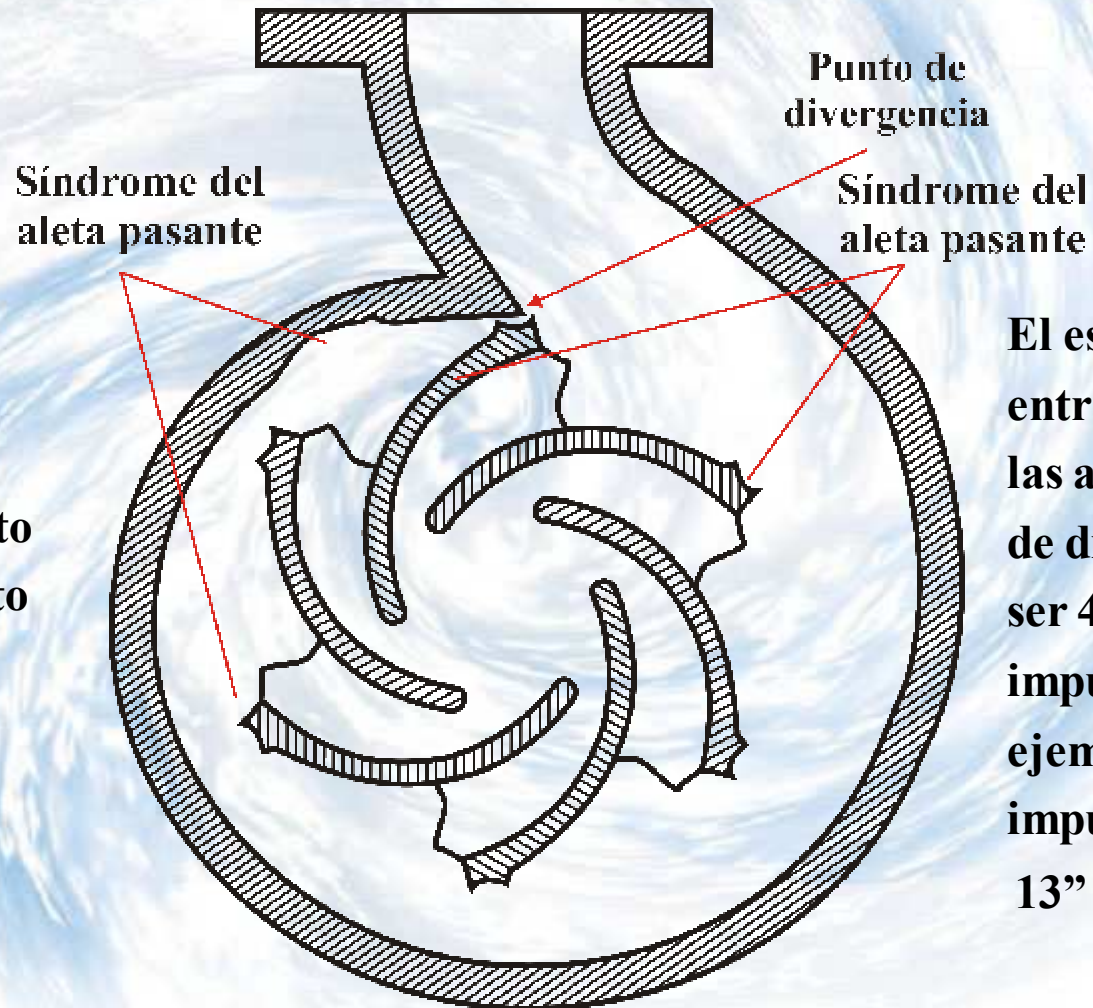
***Plato de desgaste nuevo***



 ***Cavitacion por recirculacion en la descarga***



# Síndrome de la aleta pasante



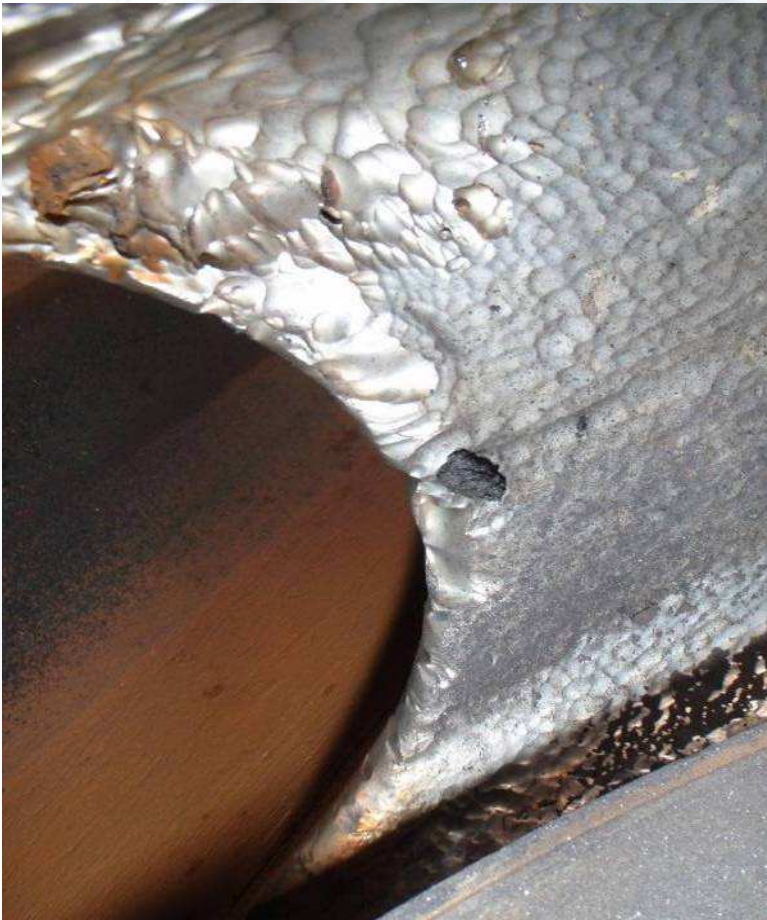
El daño se ve en las puntas externas del Impulsor y justo detrás del punto de divergencia en la carcasa interna.

El espacio libre entre las puntas de las aletas y el punto de divergencia debe ser 4% del diám. Del impulsor. Por ejemplo, en un impulsor de 13".

$$13'' \times 0,04 = 0,520 \\ = 14\text{mm}$$

 **Cavitacion por el Sindrome de la aleta pasante**

***Punto de divergencia o cutwater***



# La aspiración de aire

Con bombas de levantada y bombas de vacío:

- A. El aire puede entrar por:**
  - 1. Las empaquedauras**
  - 2. O-rings & caras de sellos mec. Sencillos**
  - 3. Empaquetaduras de vástagos de válvulas.**
  - 4. Juntas y láminas en tubería de succión.**
  - 5. O-rings y sellos de rosca de instrumentación.**
- B. Burbujas y aire en la tubería de succión.**
- C. Líquidos que forman espuma.**

**El daño se parece a la cavitación clásica ... Se ve detrás de las aletas ...**

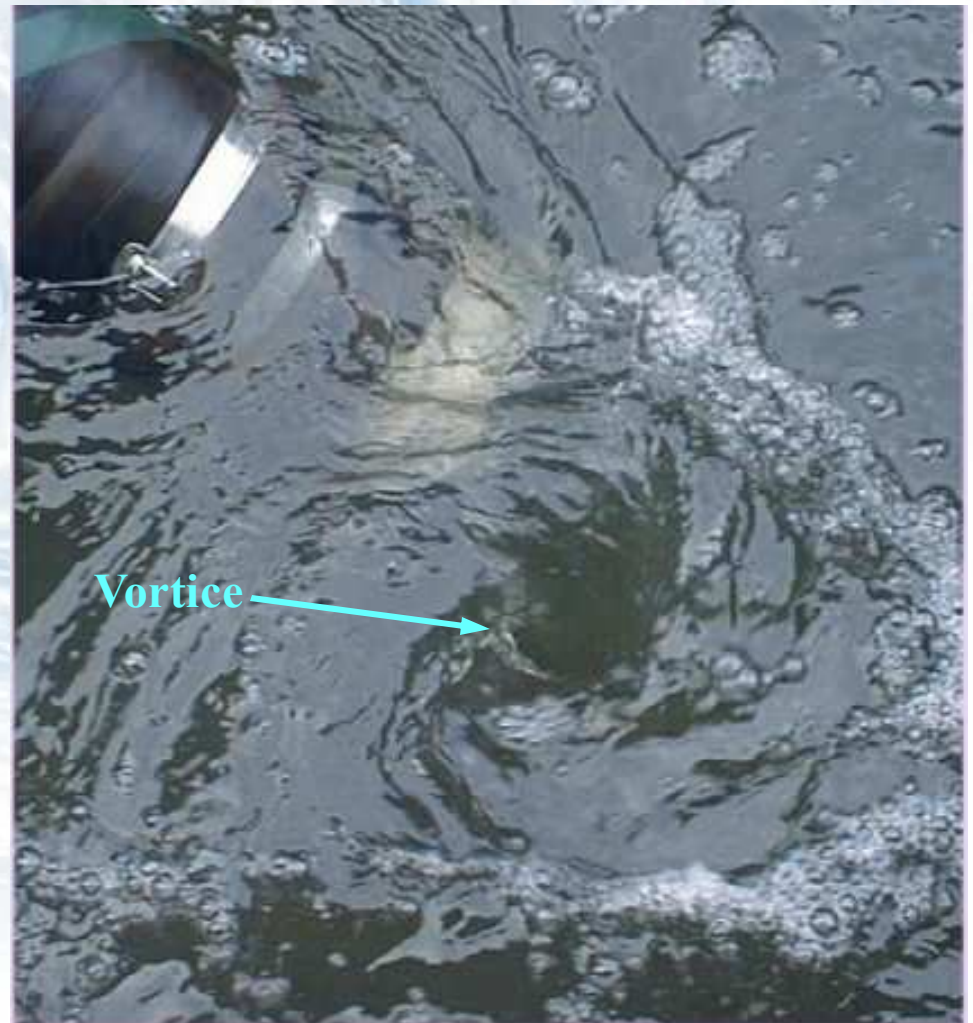
**Pero la resolución es distinta.**

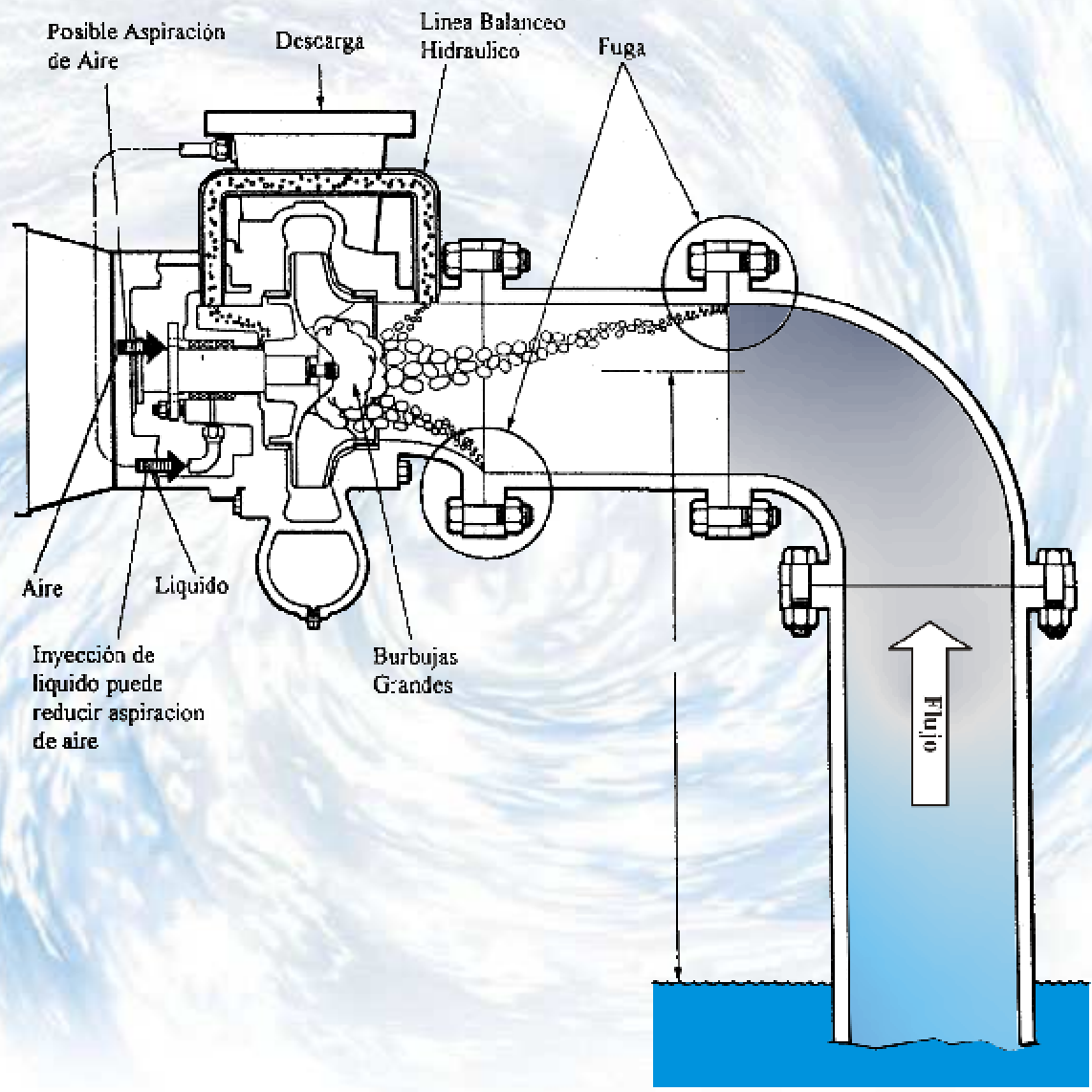
# Aspiracion de aire

Vortices creados por sumergencia inadecuada

## ➤ *Por vortice*

- Razones para evitar los vortices
  - Aire dentro del sistema
  - Creacion de golpeteo
  - Baja eficiencia
  - Cavitacion
  - Vibraciones





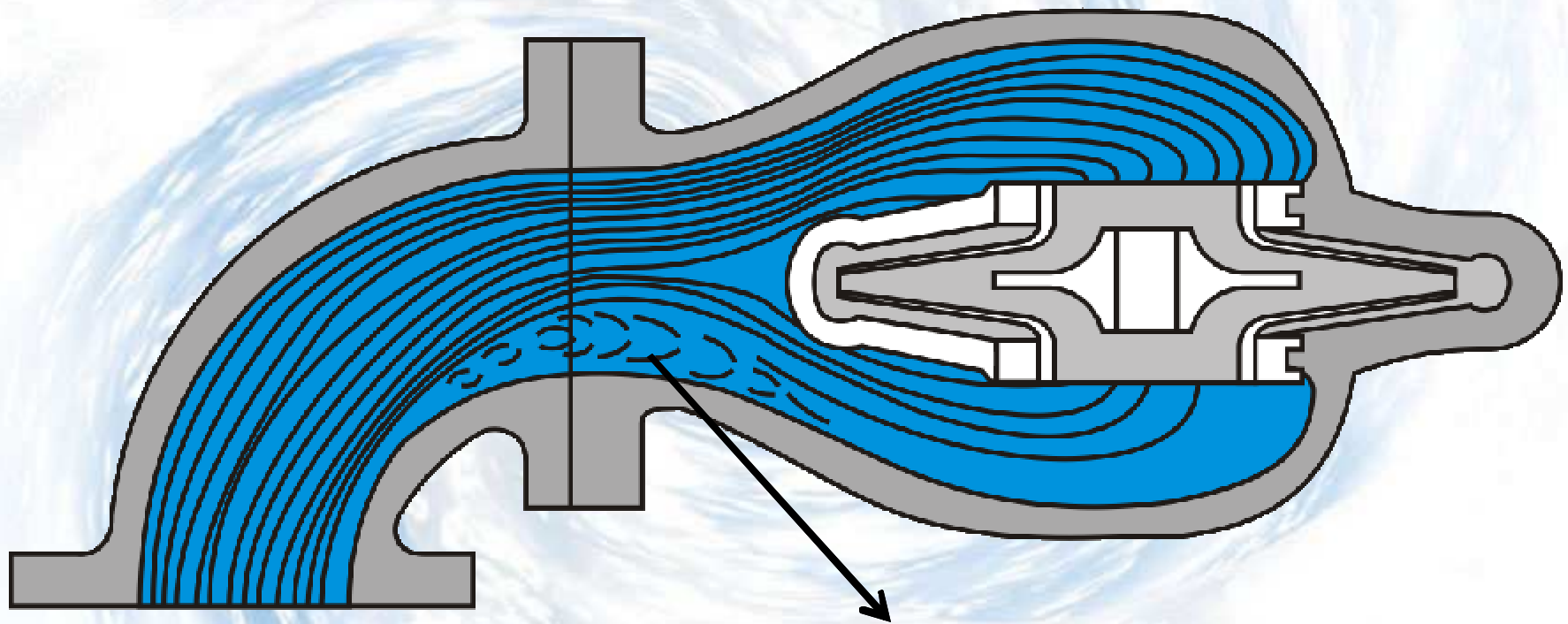


# La turbulencia

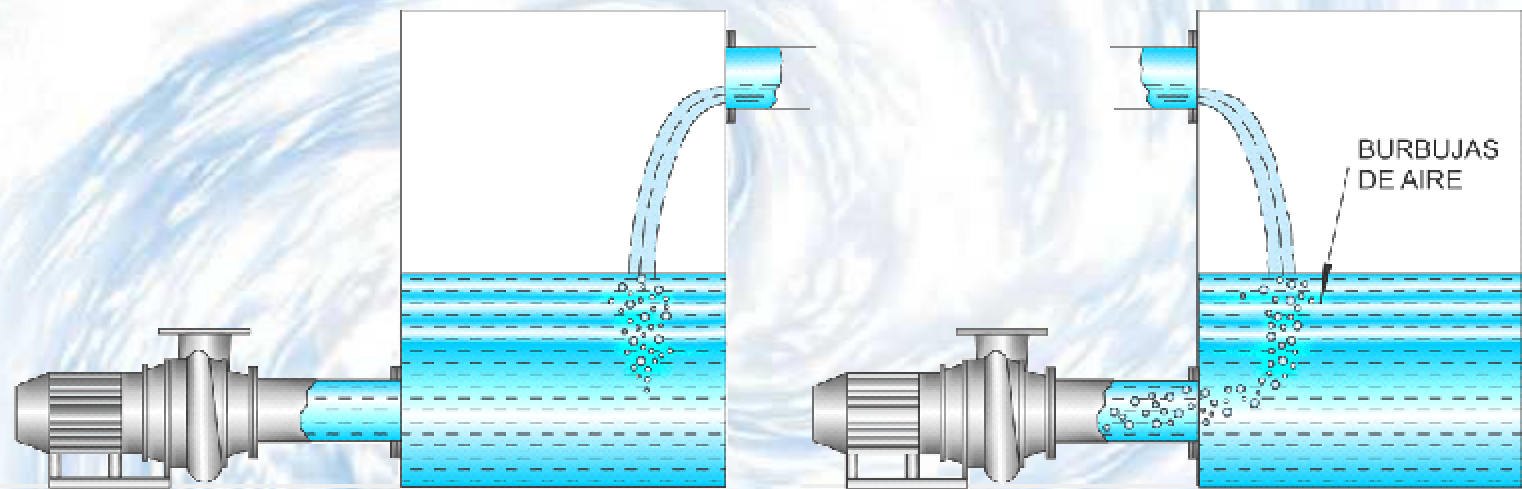
**Causado por:**

- A. Vórtices en el flujo de succión**
- B. Tubería de succión . Inadecuado, codos agudos, restricciones, coladeras.**
- C. El efecto “catarata” en tanques a drenar.**
- D. Sumergencia inadecuada.**

## Efectos De Un Codo Directo En La Succión



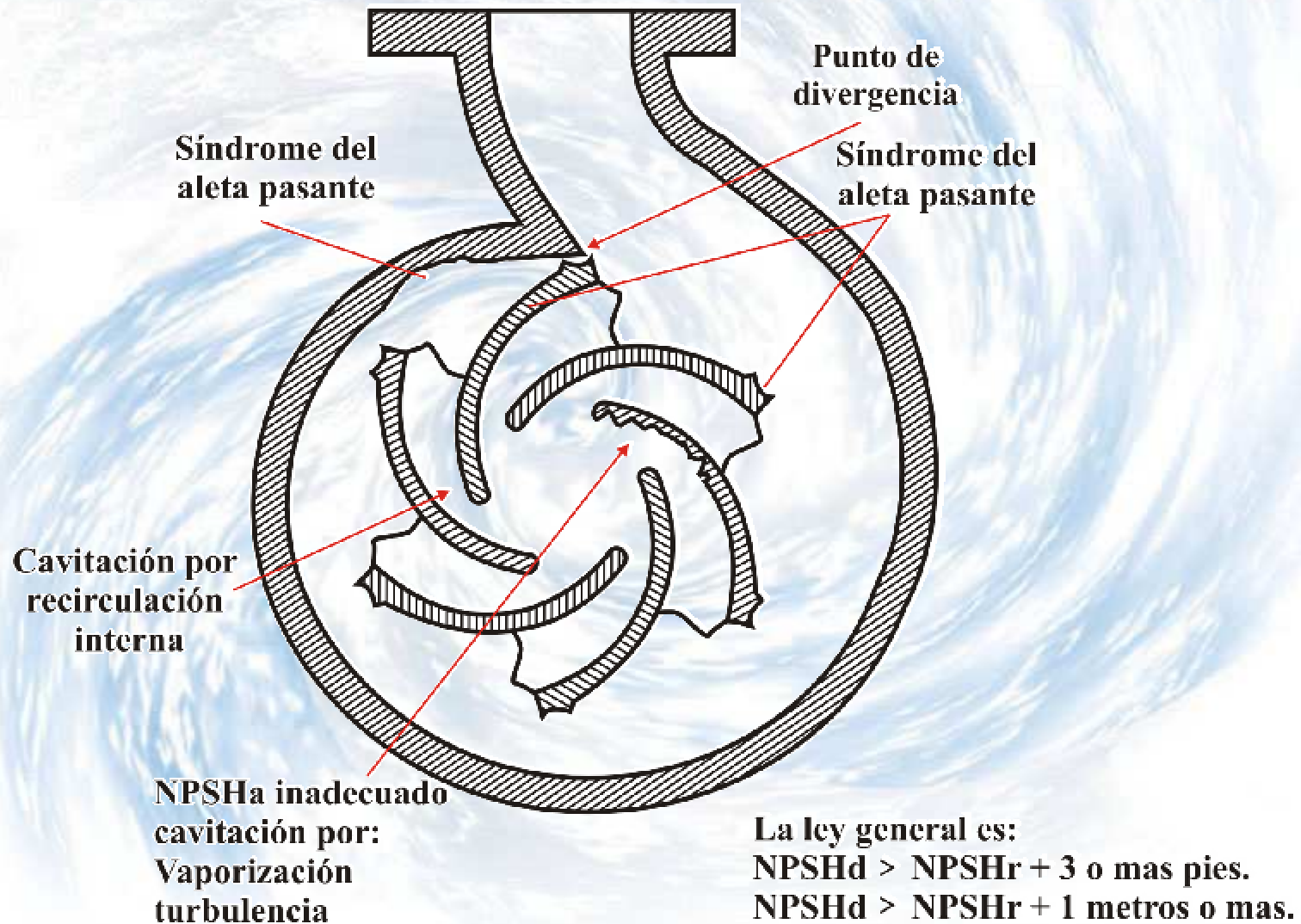
Area de turbulencia al ingreso



**BIEN**

**MAL**

## Efectos de los diferentes tipos de cavitación



# La Cavitación

La cavitación causa problemas con:

- empaquetaduras y sellos
- la alineación
- los rodamientos
- el impulsor
- la carcasa y bandas de desgaste
- la eficiencia
- fugas, derrames, y emisiones



# VIDEO B

# Prevenga La Cavitación

por  
aumentar  
el NPSHd



1. Levante el nivel en el tanque a drenar.
2. Eleve el tanque.
3. Rebaja la bomba.
4. Reduce la fricción en la tub. de succión.
5. Rebaja la temperatura del líquido.
6. Aumente la presión en el tanque a drenar.

por  
disminuir  
el NPSHr



1. Use una bomba mas grande.
2. Maquine/pula la garganta de succión.
3. Abra el diám. interno del ojo del impulsor.
4. Use una bomba mayor tamaño / más lento.
5. Añada una bomba que alimente la principal.
6. Use 2 bombas de menor tamaño en paralelo.
7. Use una bomba /impulsor de doble succión.
8. Use un inductor de impulsor.

# Prevenega la Cavitación:

Por aumentar la presión externa sobre el líquido:

- **Aumentar la presión en la succión de la bomba.**
- **Reducir las pérdidas de energía (fricción) en la succión.**
- **Use una bomba más grande / despacio.**

Por reducir la presión de vapor del líquido:

- **Rebaja la temp. del líquido.**
- **Cambia a un líquido con una presión de vapor menor. (Por eso usamos anticongelante.)**



# OPERACIÓN BOMBAS

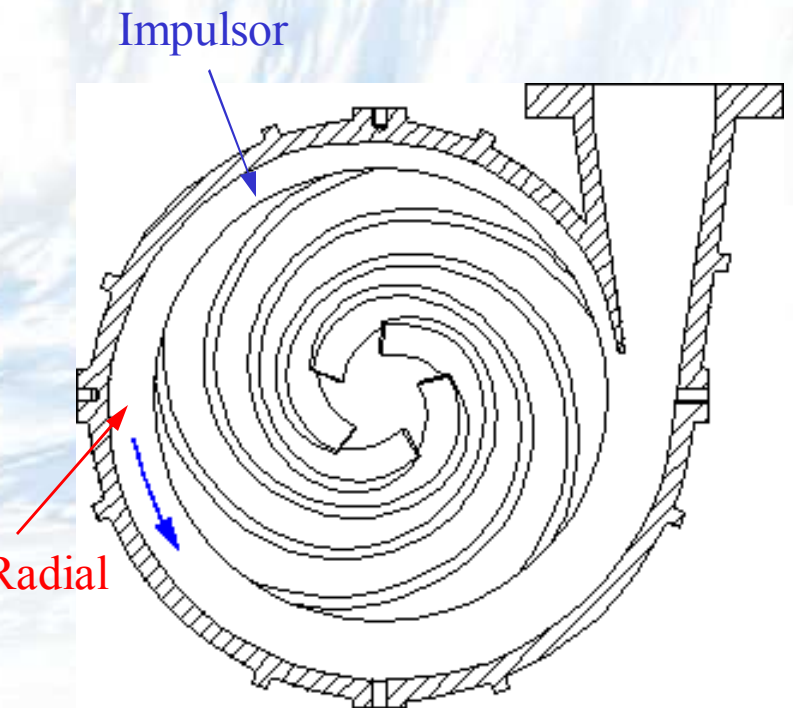
**Las bombas deben contar con una región de operación preferida del 80-110% de su mejor capacidad de eficiencia con el impulsor suministrado. La capacidad establecida se debe encontrar dentro de la región de operación permisible de la bomba del 70-120% de la mejor capacidad de eficiencia del impulsor suministrado.**

**El punto de mejor eficiencia de operación de la bomba para el impulsor suministrado se debe encontrar preferiblemente en la región de operación preferida de la bomba (Identificado en la curva de una bomba con una flecha) Ver gráfica siguiente.**

# BOMBAS CENTRIFUGAS

## ➤ *Concepto*

- El impulsor transfiere la energía mecánica al líquido
- La energía de velocidad se convierte en energía de presión
- El punto de máxima eficiencia BEP es la combinación ideal de Cabeza y Caudal
- Cuando la bomba opera en el BEP, las fuerzas radiales sobre el impulsor se balancean



## ➤ Terminología de la Curva Característica

- Cabeza
  - Presion convertida de (kPa) a (m)
  - $\frac{\text{Presion} \times 1000}{\text{Densidad} \times \text{Gravedad}} = \text{Cabeza (m)}$
- Caudal
  - En (L/s)
- Velocidad bomba
  - Revoluciones por Minuto (RPM)

Head (m)

RPM

RPM

RPM

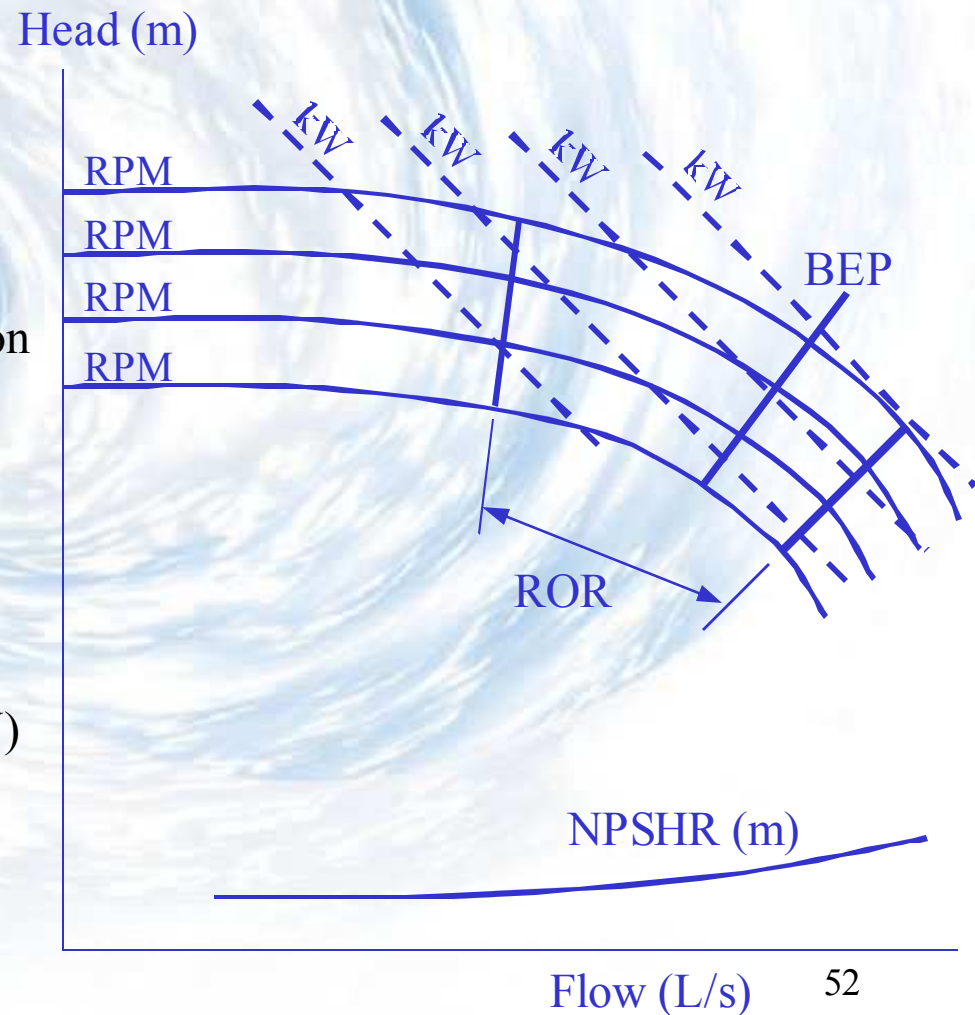
RPM

Flow (L/s)

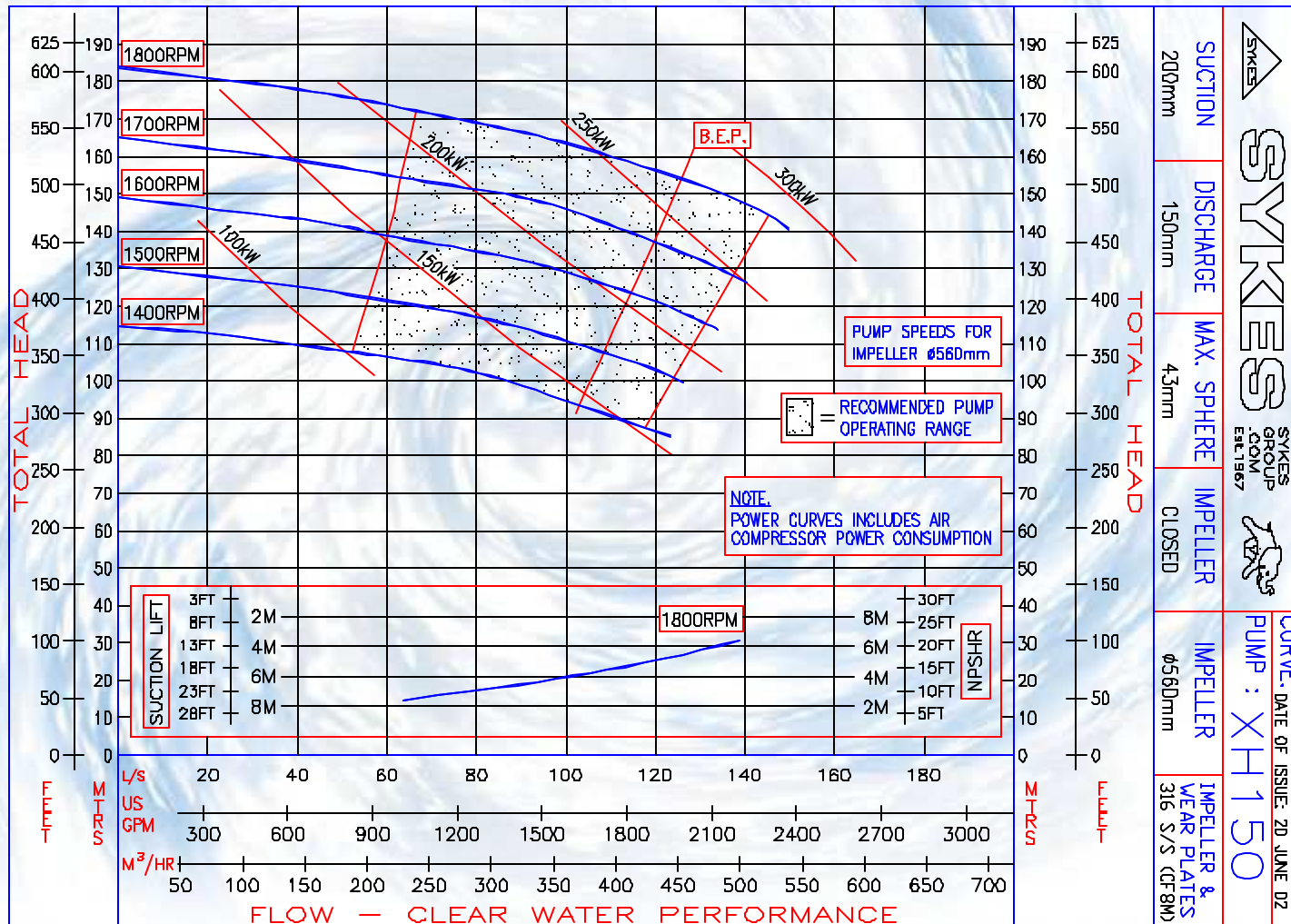
51

## ➤ Terminología de la Curva Característica

- BEP
  - Punto de máxima eficiencia (%)
- ROR
  - Rango Recomendado de operacion
- NPSHR
  - Cabeza neta de Succion ( m)
- Potencia
  - Requerimiento de la bomba (kW)



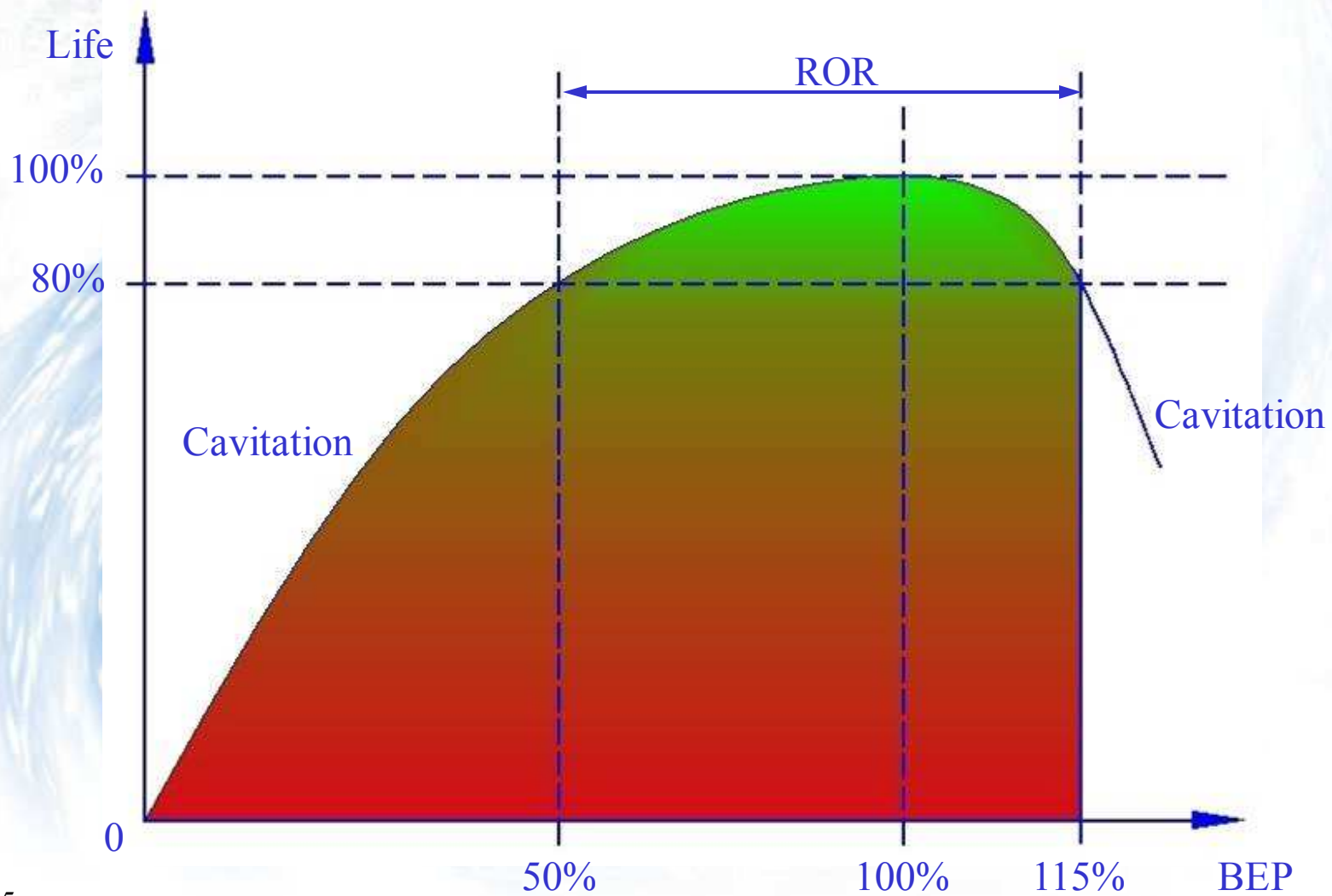
## ➤ Curva Tipica Bomba Sykes XH150



## 👍 **Operacion en el BEP – Por que es importante !**

- Presiones uniformes actuan sobre el impeller (balanced radial forces)
- El Impeller & voluta estan operando como fueron diseñadas
- Los costos de energia son mas economicos
- Los costos de mantenimiento son minimos **NO DEBEN SUPERAR EL 5% DEL VALOR DEL EQUIPO POR AÑO.**
- Se minimiza
  - Ruido
  - Vibracion
  - Temperatura
  - Fuerzas actuantes sobre los rodamientos
- Maximiza la vida util del equipo

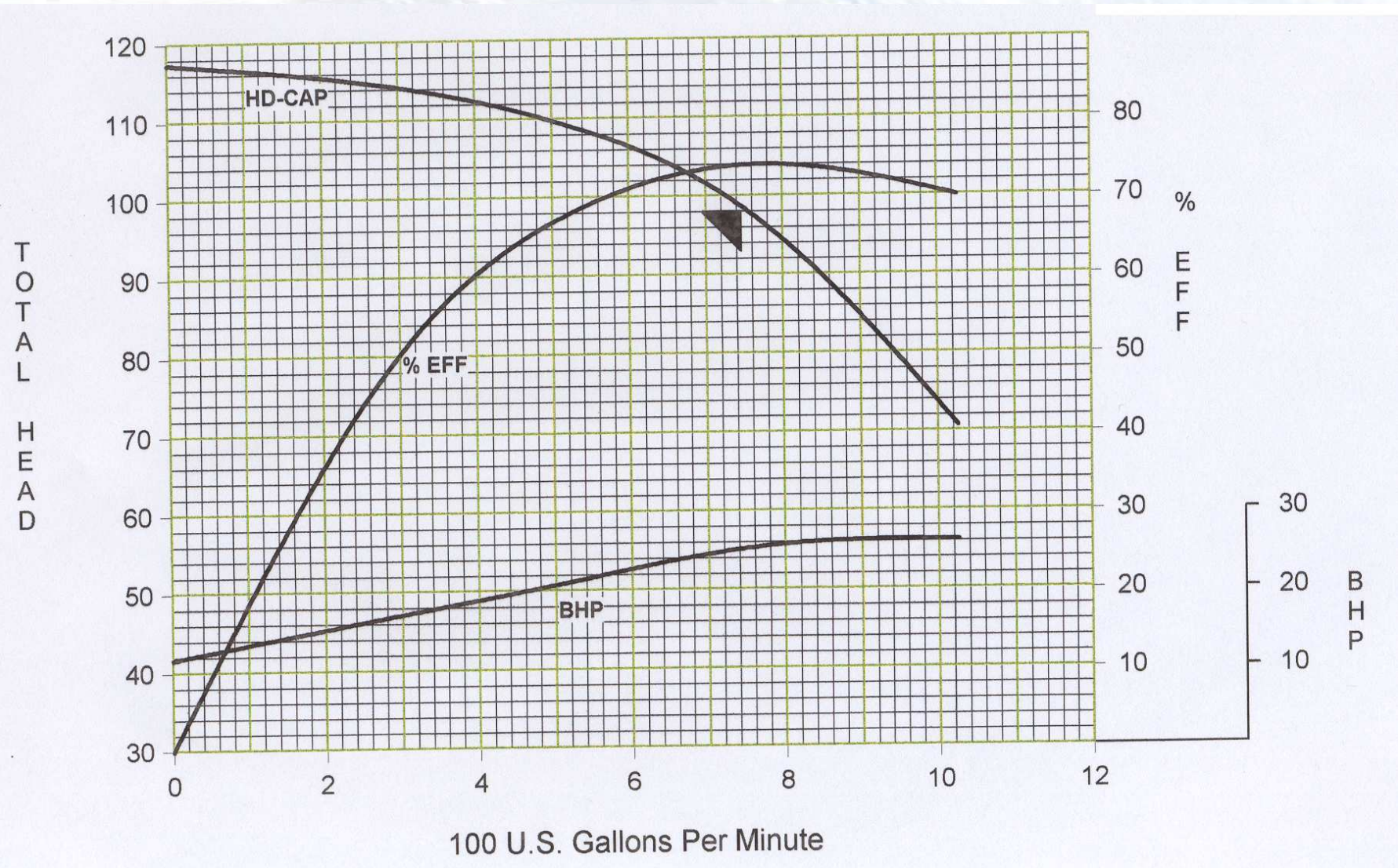
👍 **Maximiza vida util de la bomba**



## 👉 Operando fuera del Rango Recomendado de Operacion ROR

- Dramatic reduction of the useful life of the pump
- Imbalance of the radial forces generates friction between the components and deflection of the shaft
- Shaft deflection damages the mechanical seal or packing
- The flow is turbulent
- Damage to the impeller, volute and wear plates
- Vibration & Noise
- Low efficiency
- Increase in Temperature
- Recirculation & Cavitation
- High loads on the bearings
- Excessive maintenance costs not planned.
- Loss of equipment in question of hours

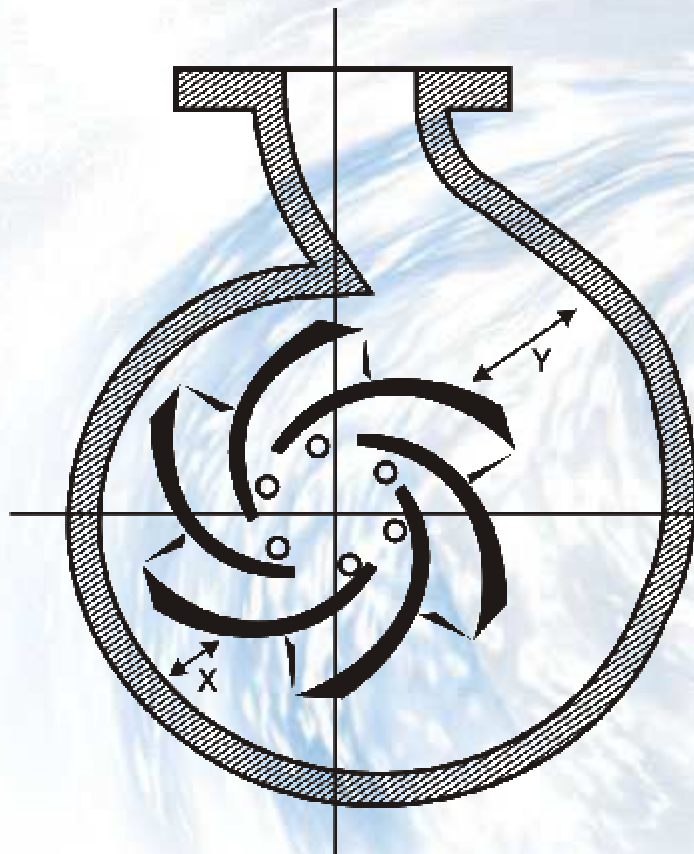




# DEFLEXIÓN DEL EJE

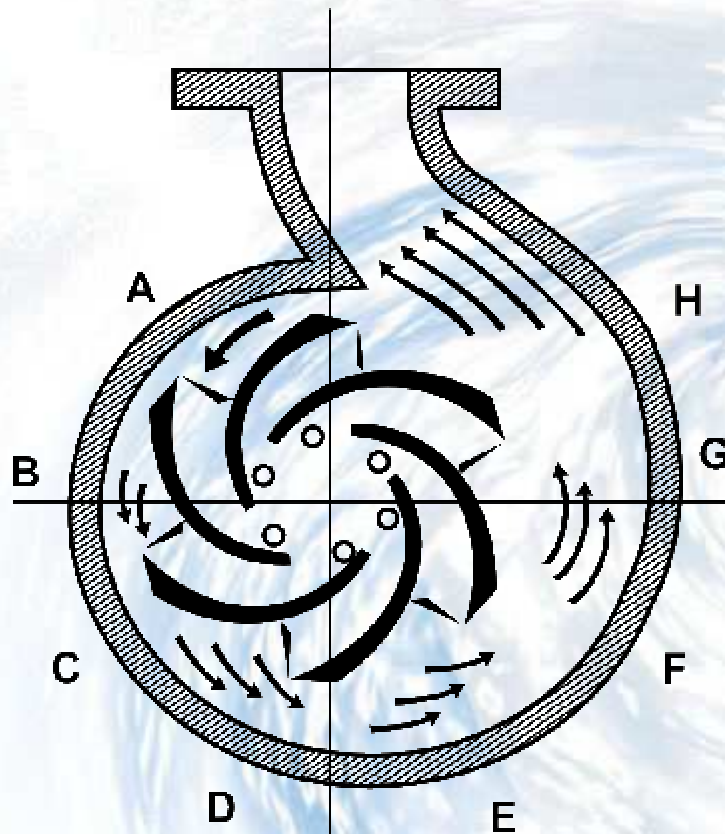
**60° y 240°**

La bomba tipo voluta, tiene el impulsor ubicado excéntricamente dentro de la voluta. El grado de excentricidad gobierna la presión que la bomba puede generar. Si el impulsor es concéntrico en la voluta, o equidistante, la bomba va a generar flujo pero no mucha presión.



Distancia  $X < Y$

Impulsor Excéntrico



ARMONÍA ALREDEDOR DE LA VOLUTA

El impulsor tira el líquido contra la pared de la voluta a una velocidad constante, que es la velocidad del motor eléctrico. El diámetro interno de la voluta convierte la velocidad en presión o altura.

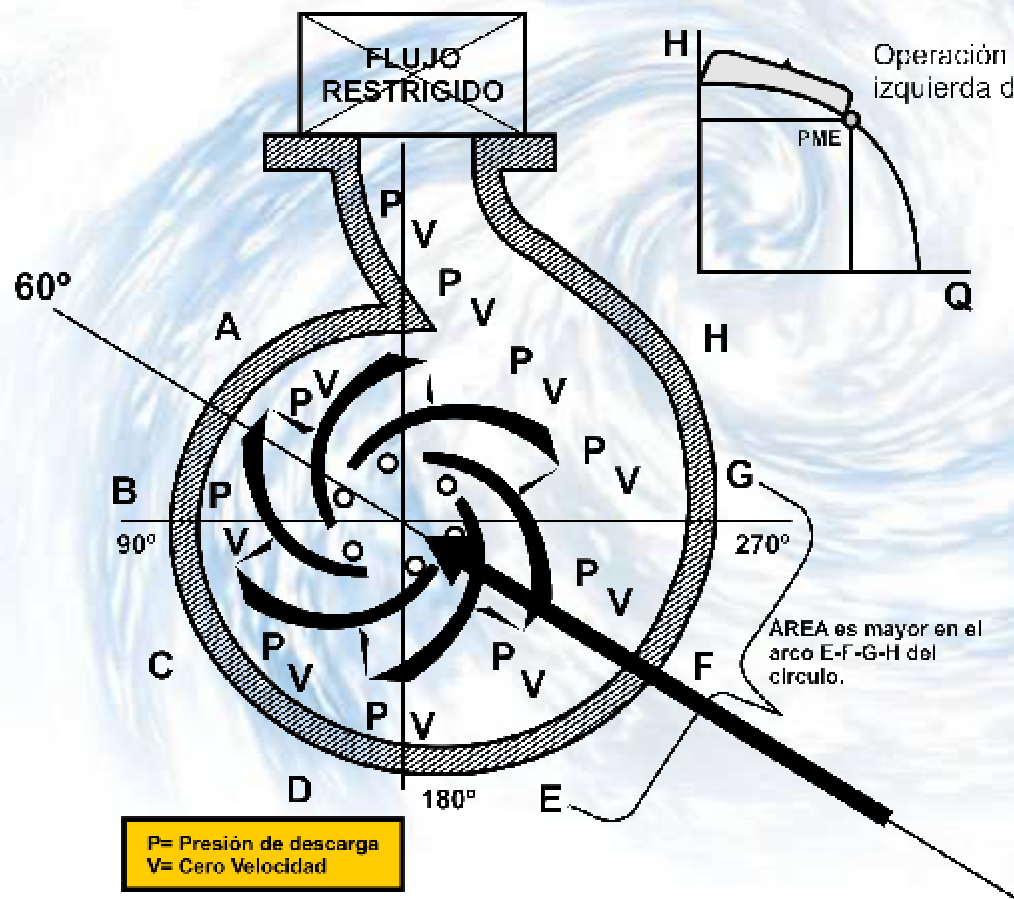
Distancia  $X < Y$

Al rededor de la carcasa de la voluta ocurre:

EN EL PUNTO	PRESIÓN	VELOCIDAD	ÁREA
A	Baja	Alta	Pequeña
B	Mas Alta	Mas Baja	Mas Grande
C	Mas Alta	Mas Baja	Mas Grande
D	Mas Alta	Mas Baja	Mas Grande
E	Mas Alta	Mas Baja	Mas Grande
F	Mas Alta	Mas Baja	Mas Grande
G	Mas Alta	Mas Baja	Mas Grande
H	La Presión Mayor	La Presión Menor	El Área Mas Grande

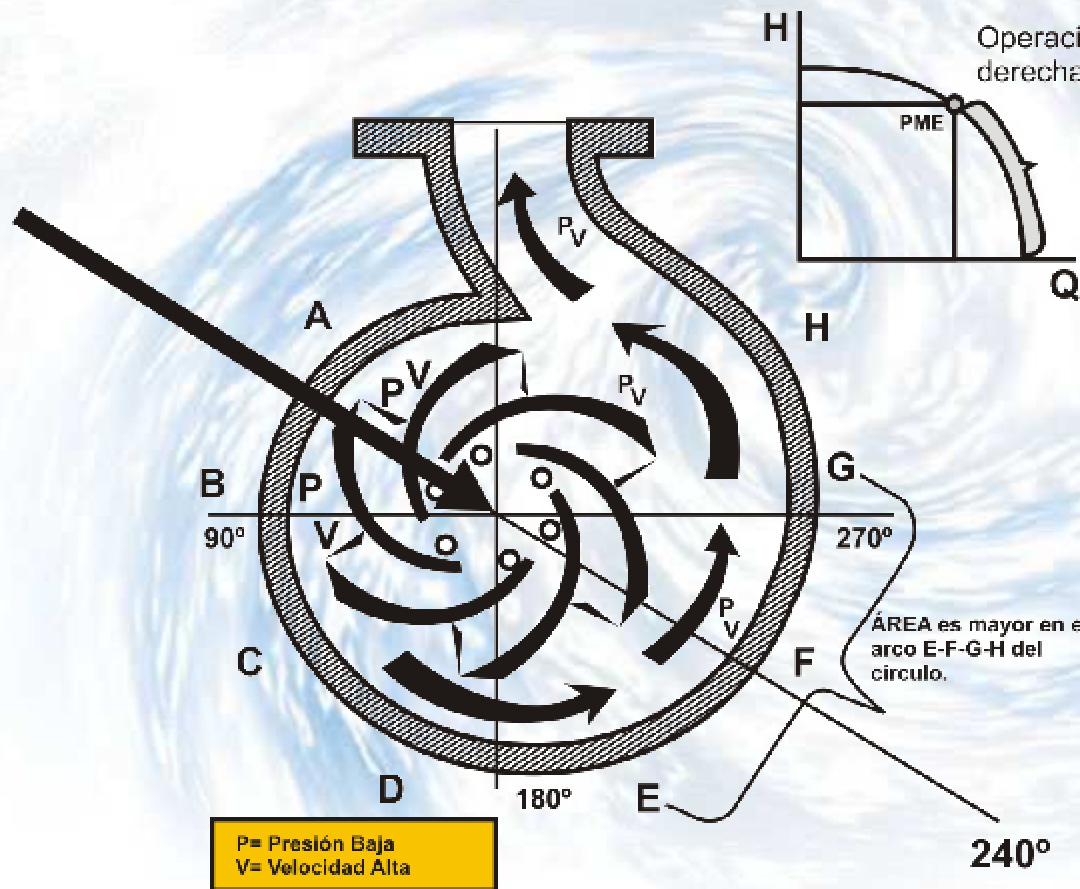
En el punto de mejor eficiencia de la bomba, todas las fuerzas radiales son iguales al rededor de la voluta. Los factores de presión, velocidad y el área en la voluta están en armonía.

# DEFLEXIÓN A 60°



Si la válvula de descarga se restringe o se estrangula, y en el peor caso, si la válvula se cierra, las presiones se igualan alrededor de la voluta a la presión de descarga. El punto de operación de la bomba se mueve en su curva a la izquierda del punto de su mejor eficiencia. La velocidad cae a cero (porque ningún líquido se está moviendo a través de la bomba y la única variable es el área, que es mayor en el arco E-F-G-H del círculo de la bomba.

# DEFLEXION A 240 °

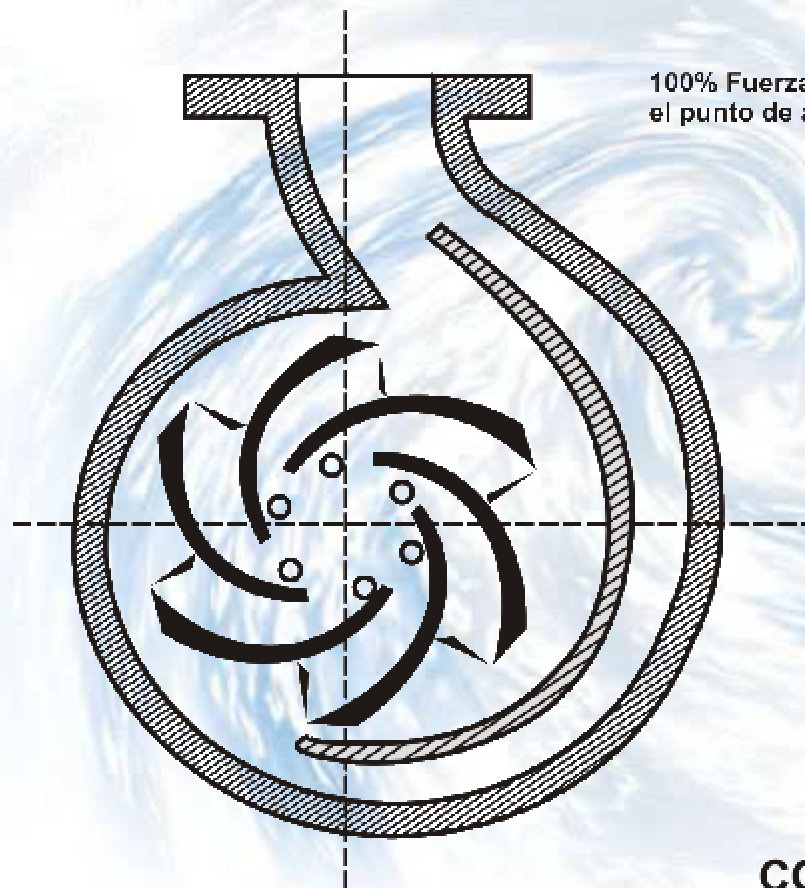


El otro caso es cuando hay demasiado flujo, entonces la bomba está operando a la derecha de su punto de mejor eficiencia de curva.

El mismo problema ocurre, pero en la Otra dirección. Con los aumentos de velocidad, la presión cae dramáticamente en el arco E-f-G-H del círculo de la voluta (la ley Bernouli dice que cuando la velocidad sube la presión baja). Ahora ese eje se deformará, incluso puede romperse, en la dirección

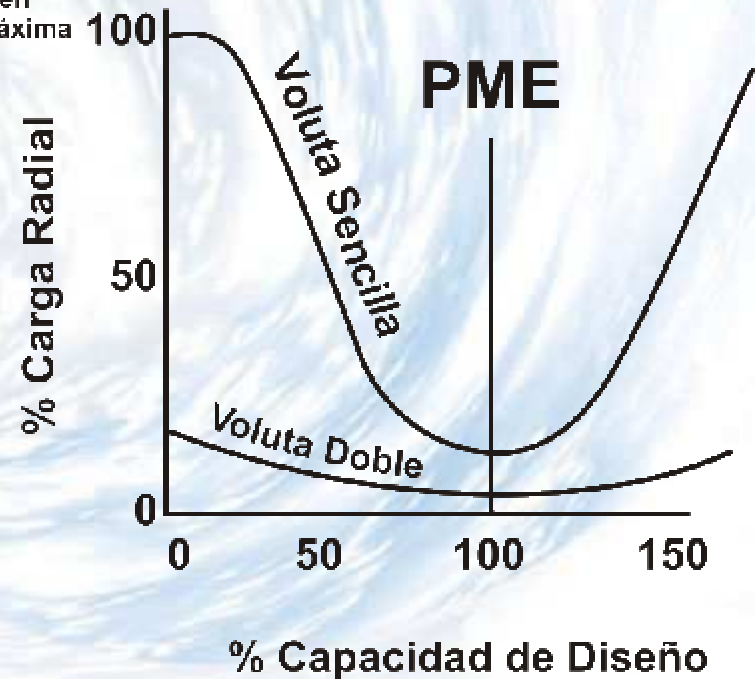
contraria... a 240° de divergencia.

# DEFLEXIÓN DEL EJE



CARCAZA DOBLE VOLUTA

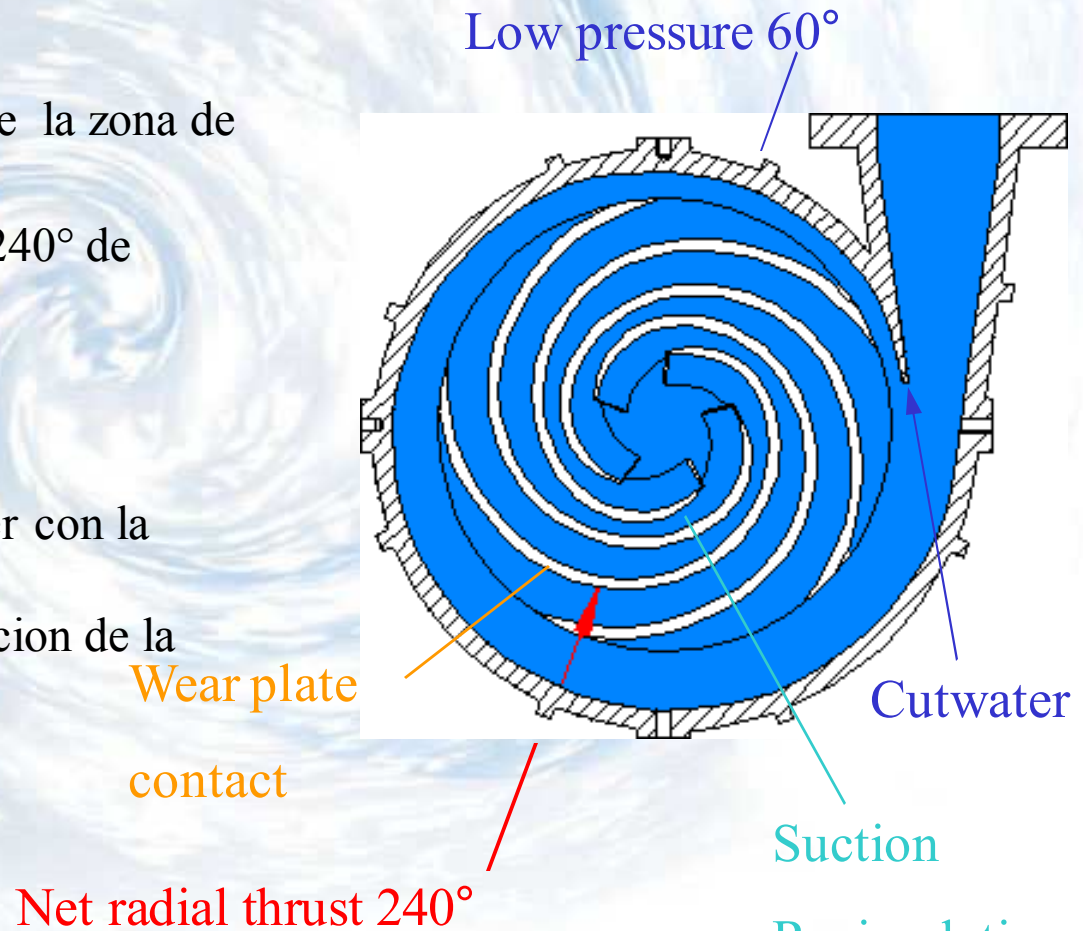
100% Fuerza Radial en el punto de altura máxima



CONSIDERE UNA BOMBA CON CARCAZA DOBLE VOLUTA

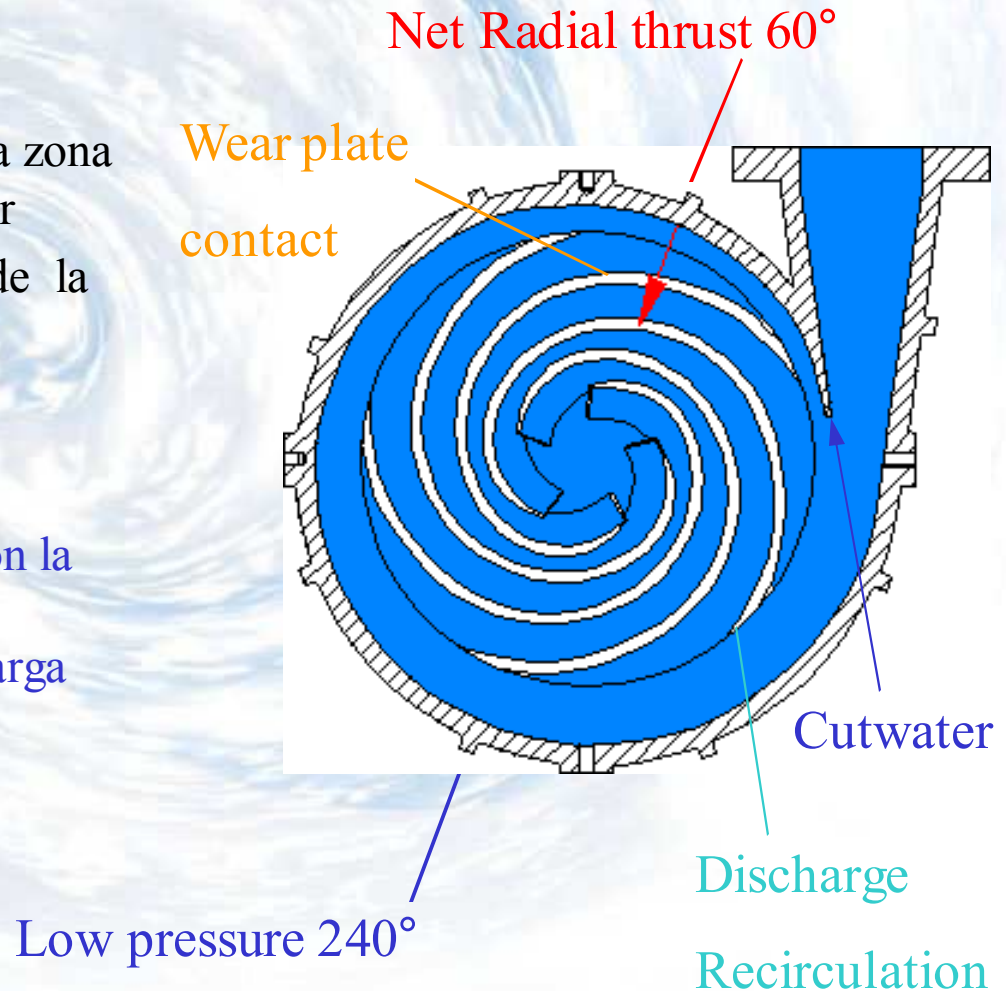
## 👉 **Consecuencias de operar a la izquierda del ROR**

- Baja rata de caudal
  - Baja presion a  $60^\circ$  de la zona de divergencia cutwater
  - Fuerza radial neta a  $240^\circ$  de cutwater
- Potential issues
  - Deflexion del eje
  - Contacto del impeller con la carcaza
  - Inicio de la recirculacion de la succion cavitacion



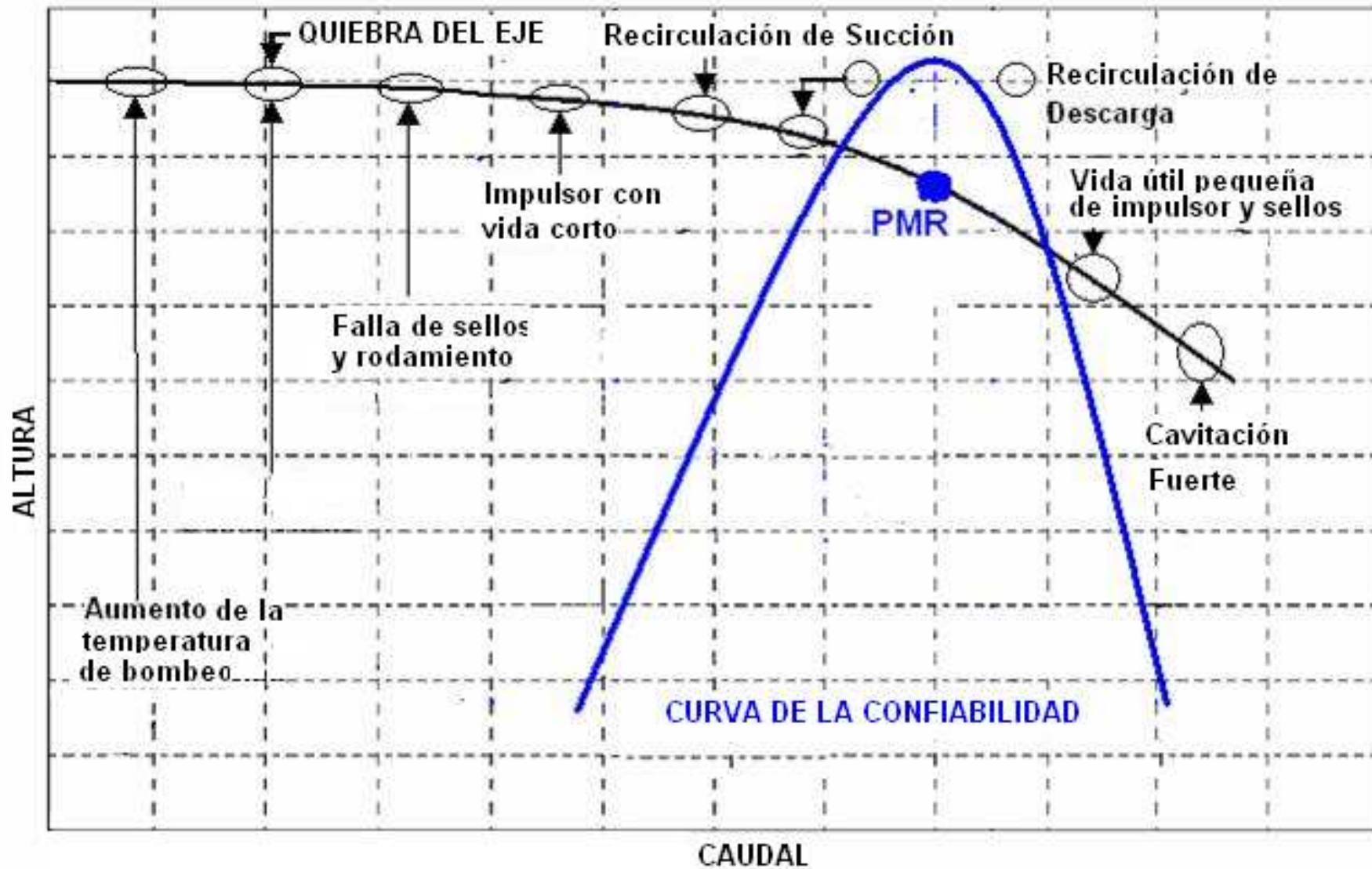
## 👉 **Consecuencias de trabajar a la derecha de ROR**

- Alta rata de caudales
  - Baja presión a  $240^\circ$  de la zona de divergencia o cutwater
  - Fuerza radial neta a  $60^\circ$  de la cutwater
- Potential Issues
  - Deflexion del eje
  - Contacto del impeller con la carcaza
  - Recirculacion en la descarga
  - Inicia la cavitacion
  - Incrementa el NPSHR





# CURVA DE FALLAS EN BOMBAS CENTRÍFUGAS

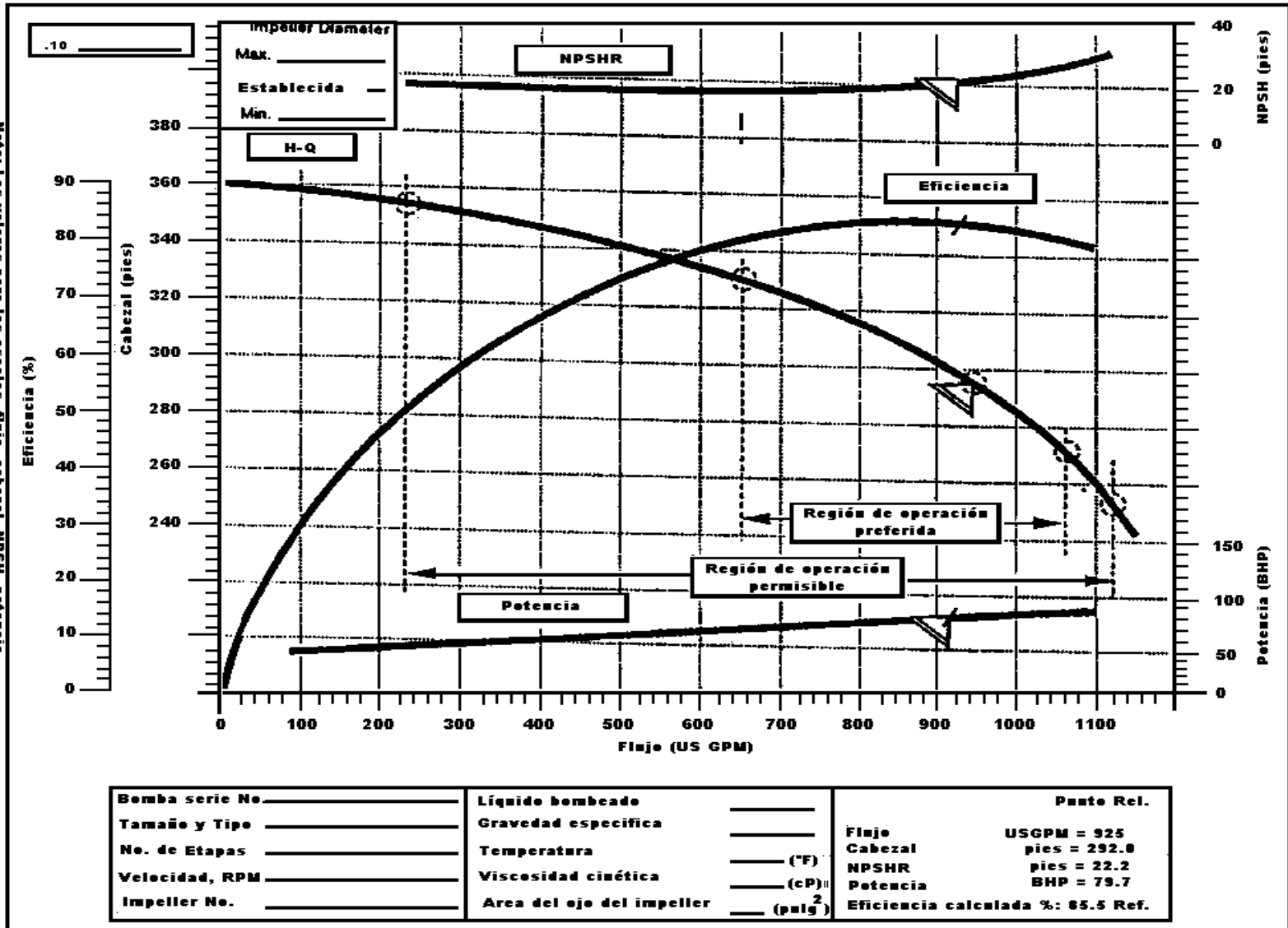


## **VIBRACION**

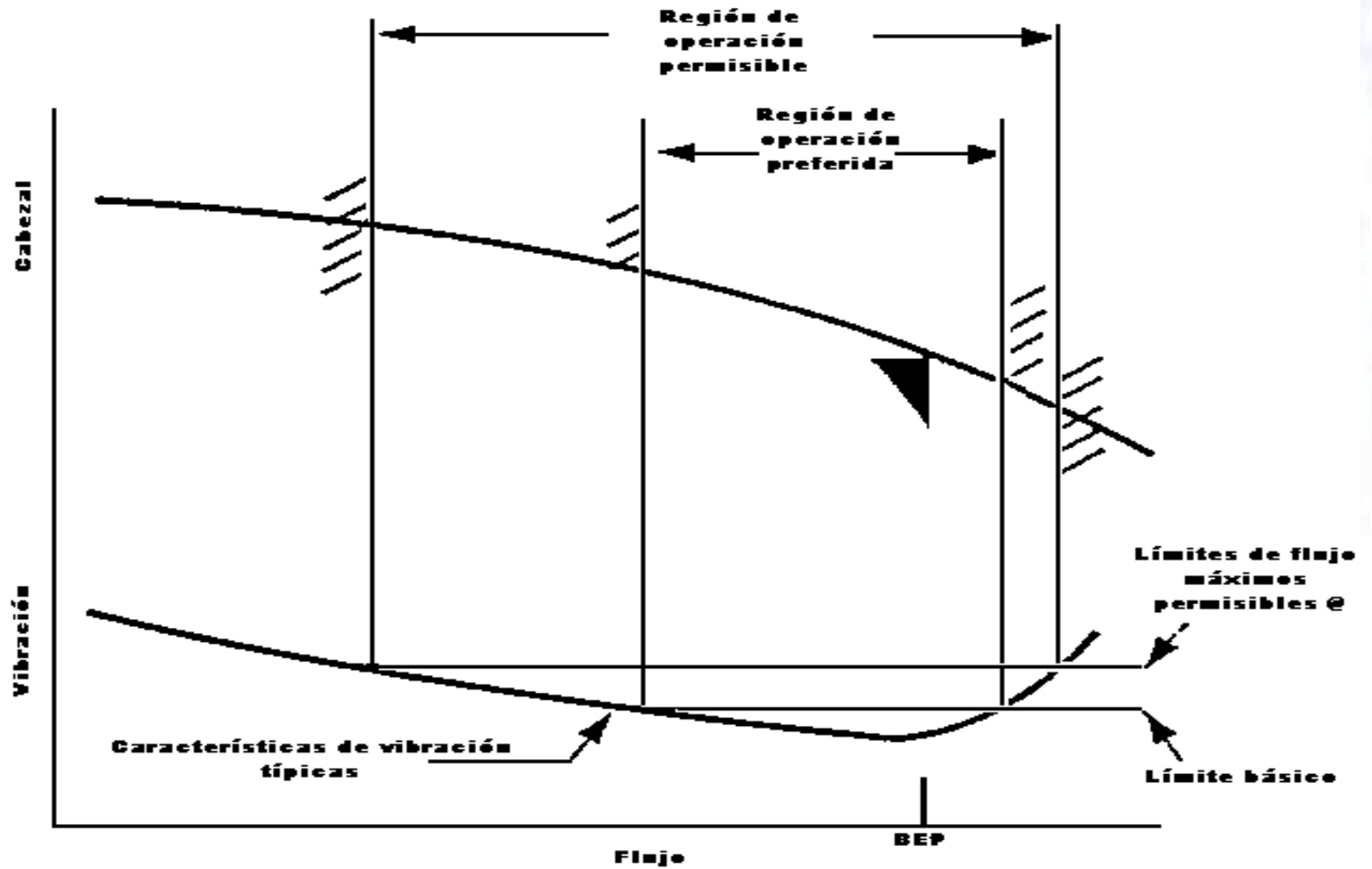
**Uno de los problemas más frecuente que tenemos en las instalaciones de bombas es el fenómeno de “Vibración en el equipo rotatorio”.**

**La vibración de la bomba centrífuga varía con el flujo, usualmente siendo mínima en la vecindad del flujo con punto de mejor eficiencia y se incrementa a medida que se incrementa o disminuye el flujo ( ver gráfica siguiente ).**

Nota: Los valores para las escalas, flujo, cabezal, NPSH, potencia, eficiencia son solamente ilustración



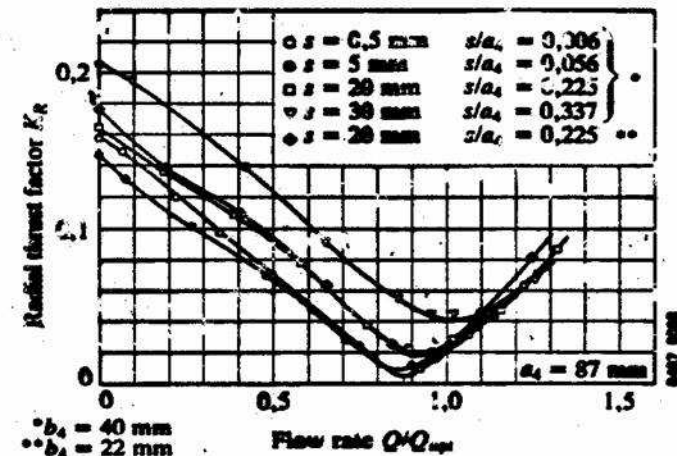
# Curva de Vibración de Bombas



## POR QUE OPERAR LA BOMBA COM CAUDAL CERCA DEL PMR

MEDICIÓN DE FUERZA RADIAL HECHAS POR STRAIN GAGES FIJADOS EN LA PARTE INTERNA DE LA PUNTA DEL EJE. DONDE SE FIJA EL IMPULSOR.

LA FUERZA ES MUY ALTA CERCA DEL CAUDAL CERO y BAJA CASI A NADA CERCA DEL PUNTO BEP DE LA CURVA.



**8 Radial force determination by pressure measurement.**

