MAQUINAS HIDRAULICAS: BOMBAS

UNA MAQUINA HIDRAULICA ES AQUELLA EN QUE EL FLUIDO QUE INTERCAMBIA ENERGIA CON LA MISMA NO MODIFICA SU DENSIDAD A SU PASO POR LA MAQUINA Y POR ENDE EN SU DISEÑO Y SU ESTUDIO SE CONSIDERA QUE ρ = CTE

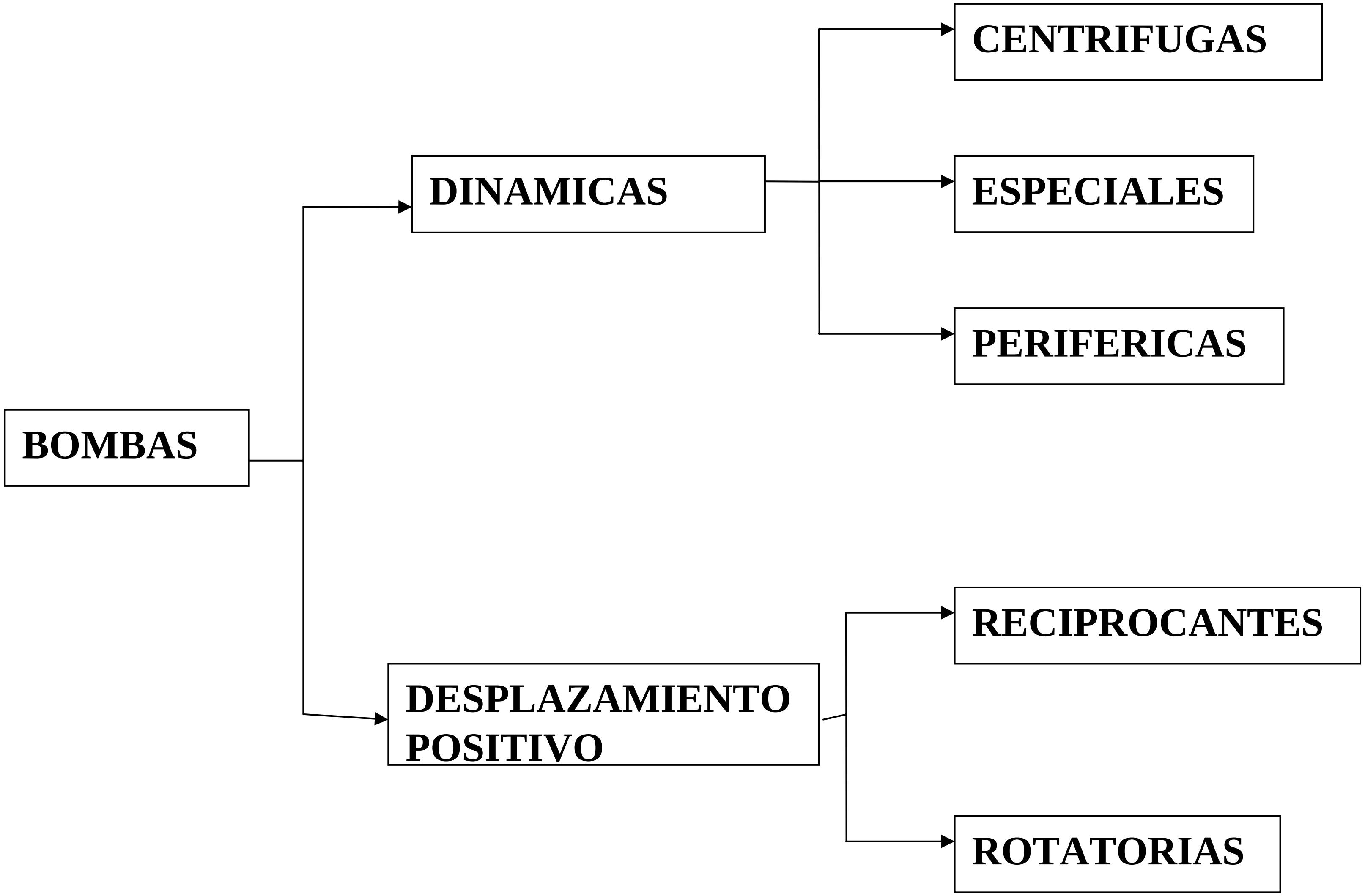
CLASIFICACION DE LAS MAQUINAS HIDRAULICAS

CONVERTIDOR DE PAR: TRANSFIEREN ENERGIA MEDIANTE UN FLUIDO

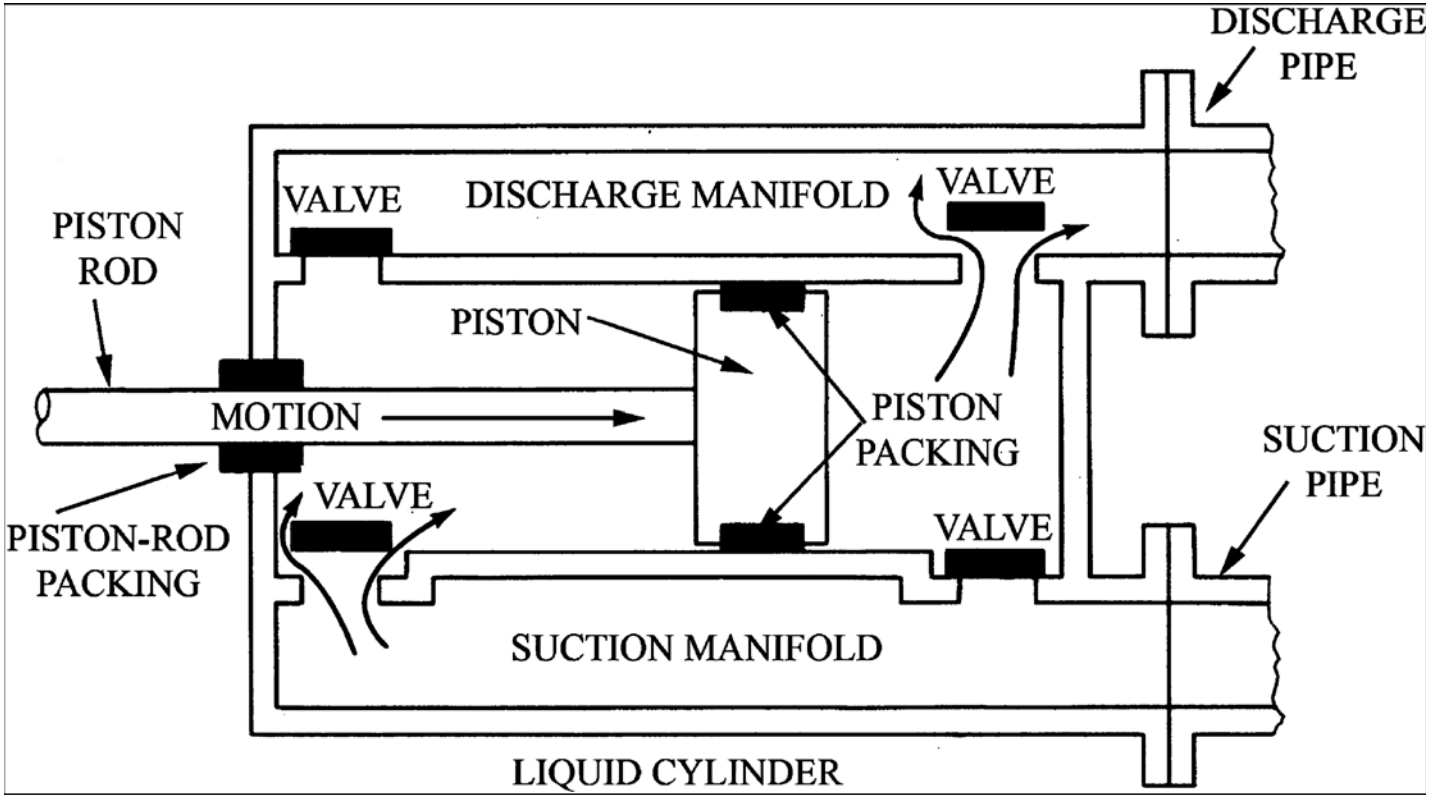
BOMBAS: TRANSFIEREN ENERGIA MECANICA A UN FLUIDO (LIQUIDO O GAS)

TURBINAS: RECIBEN ENERGIA MECANICA DE UN FLUIDO (LIQUIDO O GAS)

CLASIFICACION DE LAS BOMBAS

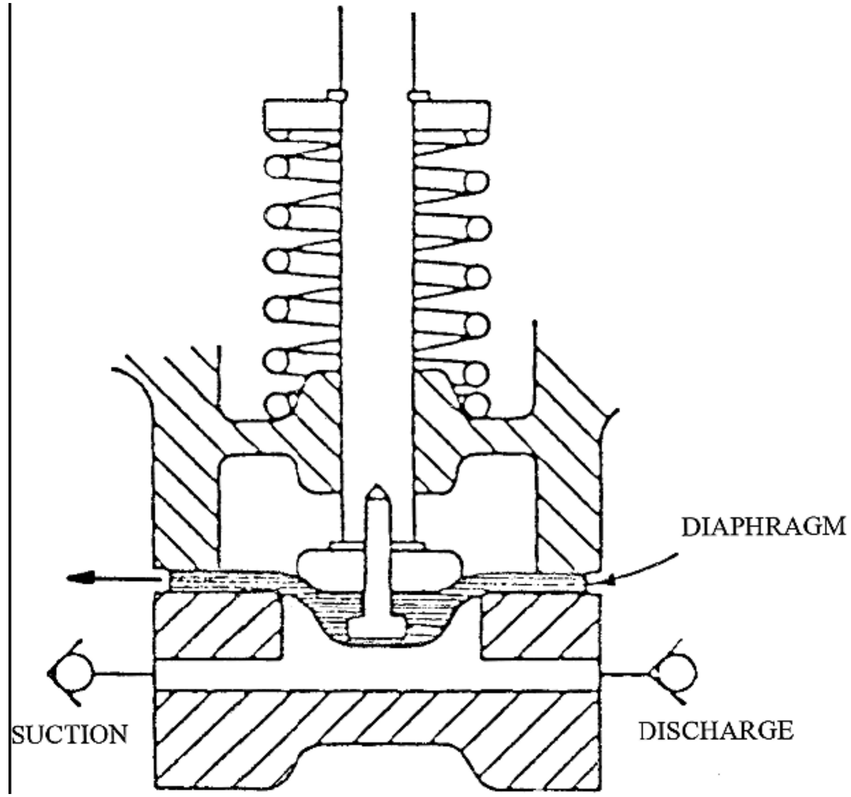


EJEMPLOS DE BOMBAS



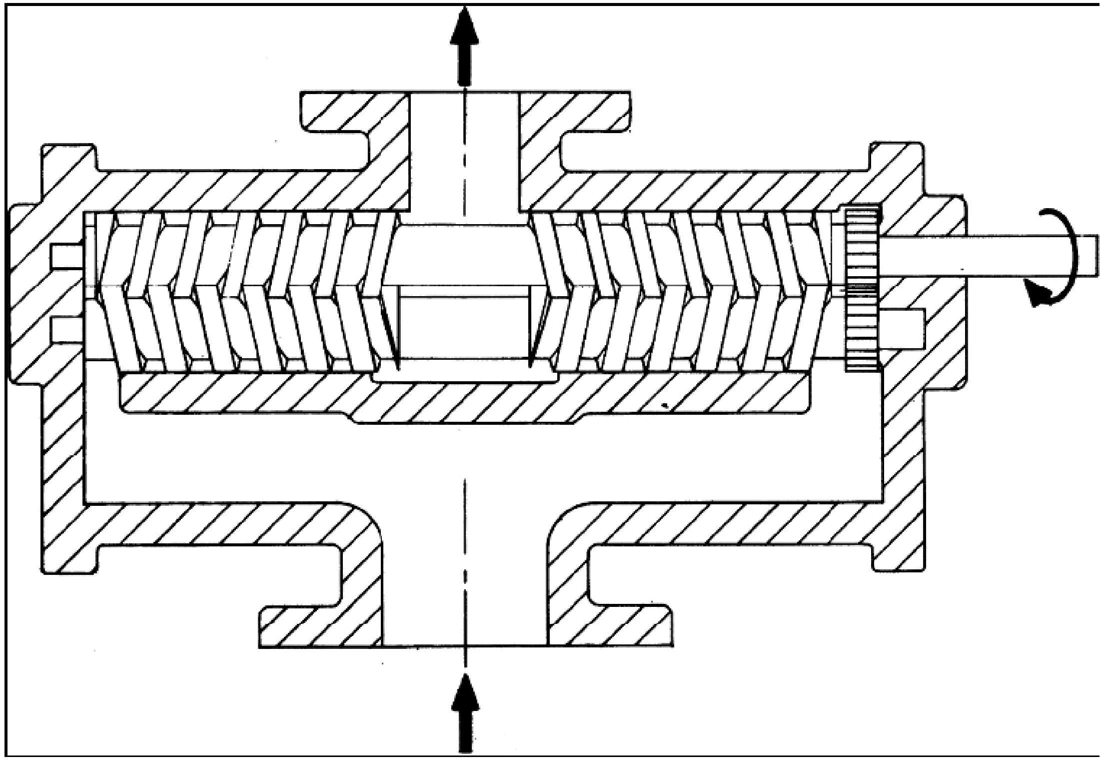
DESPLAZAMIENTO POSITIVO DE PISTON DE
DOBLE EFECTO O RECIPROCANTE

EJEMPLOS DE BOMBAS



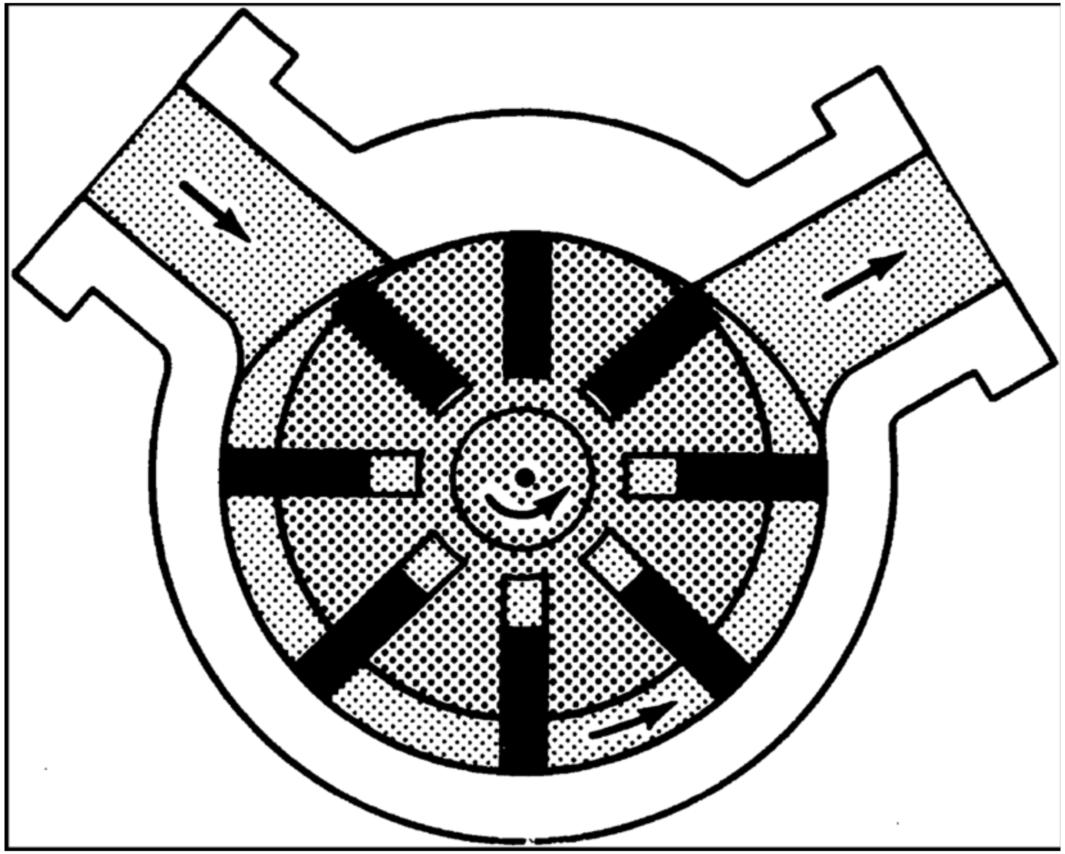
DESPLAZAMIENTO POSITIVO DE DIAFRAGMA

EJEMPLOS DE BOMBAS



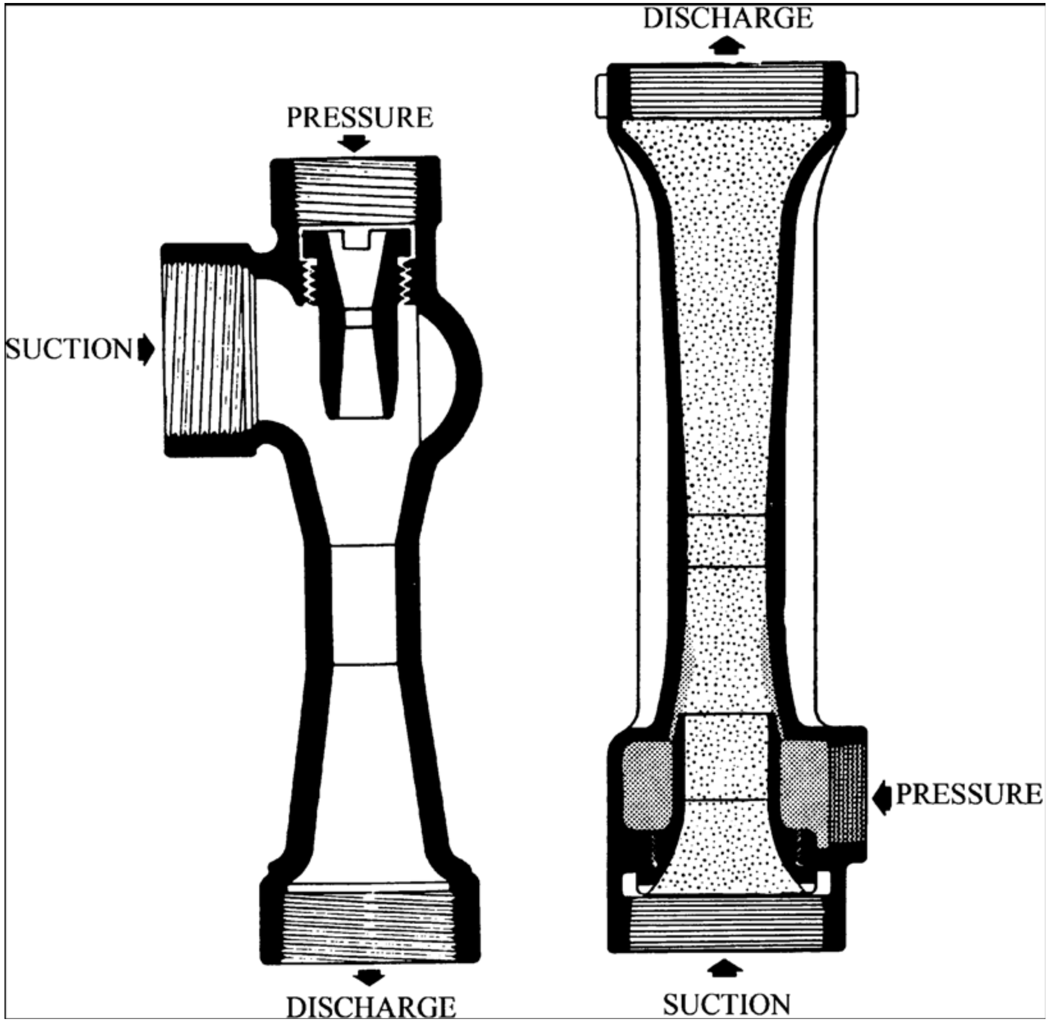
DESPLAZAMIENTO POSITIVO DE ROTOR

EJEMPLOS DE BOMBAS



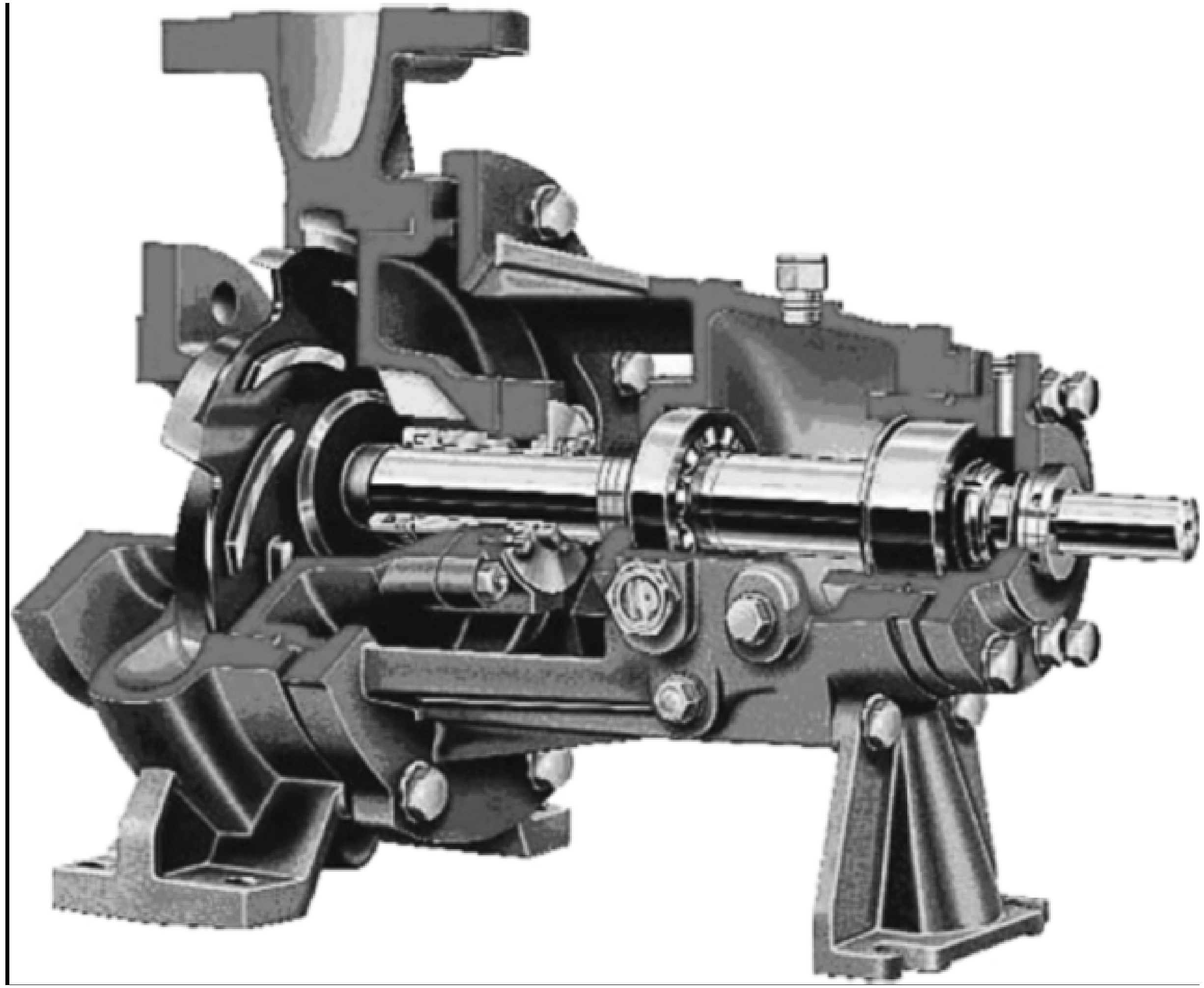
DESPLAZAMIENTO POSITIVO DE ROTOR INTERNO

EJEMPLOS DE BOMBAS

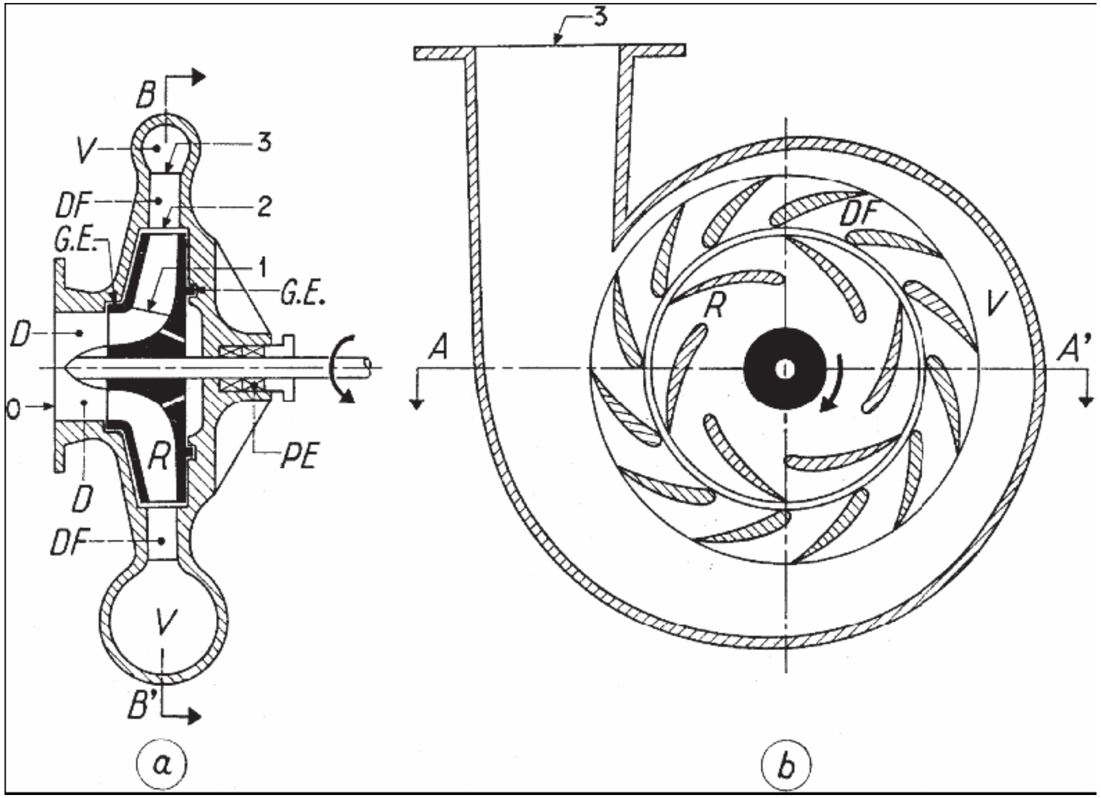


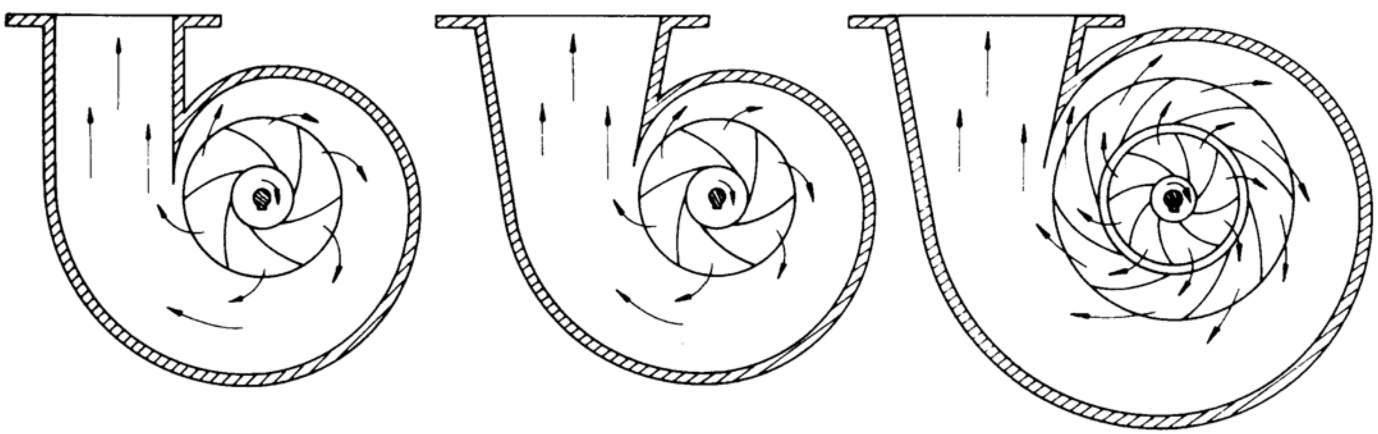
JET

BOMBAS CENTRIFUGAS

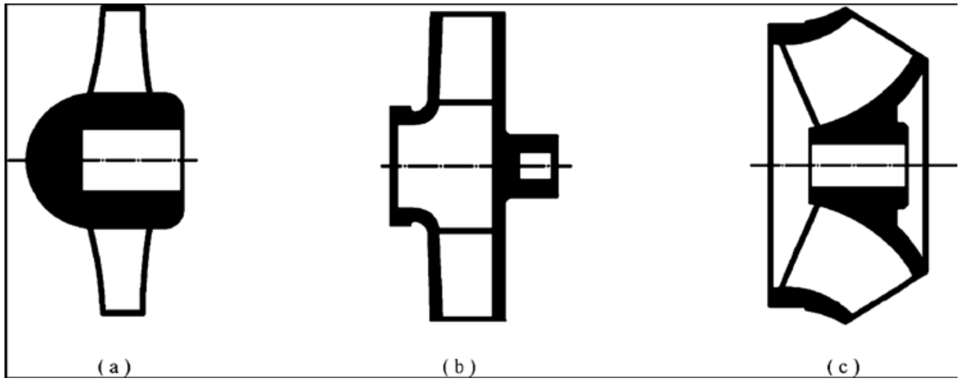


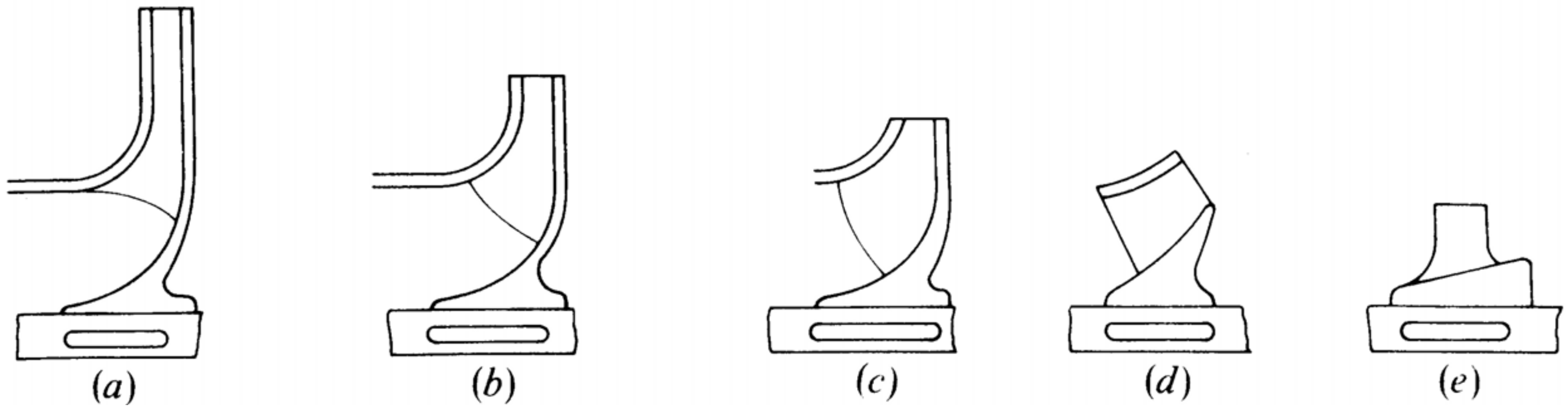
BOMBA CENTRIFUGA (CORTE)

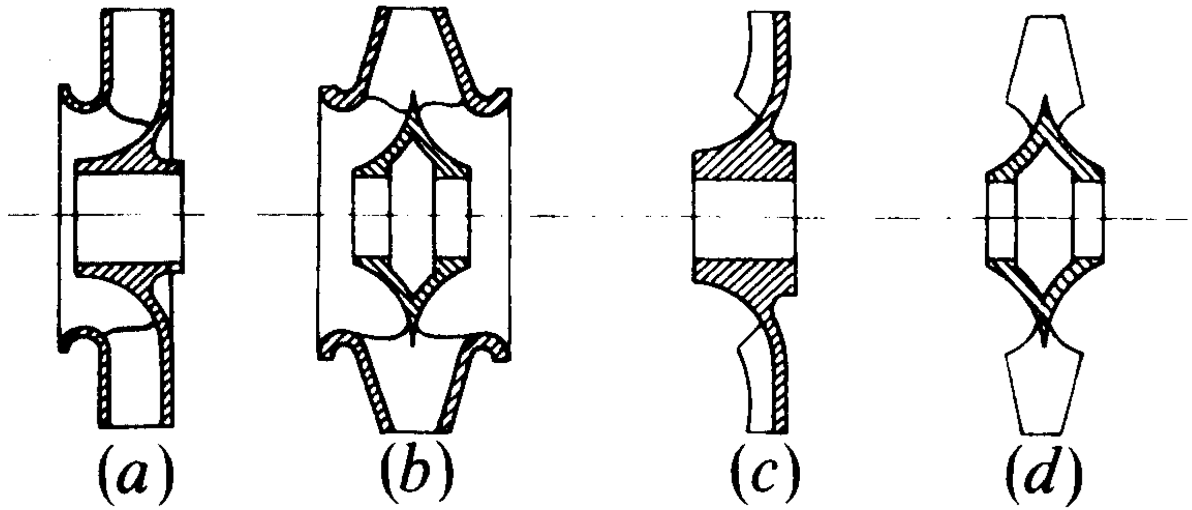


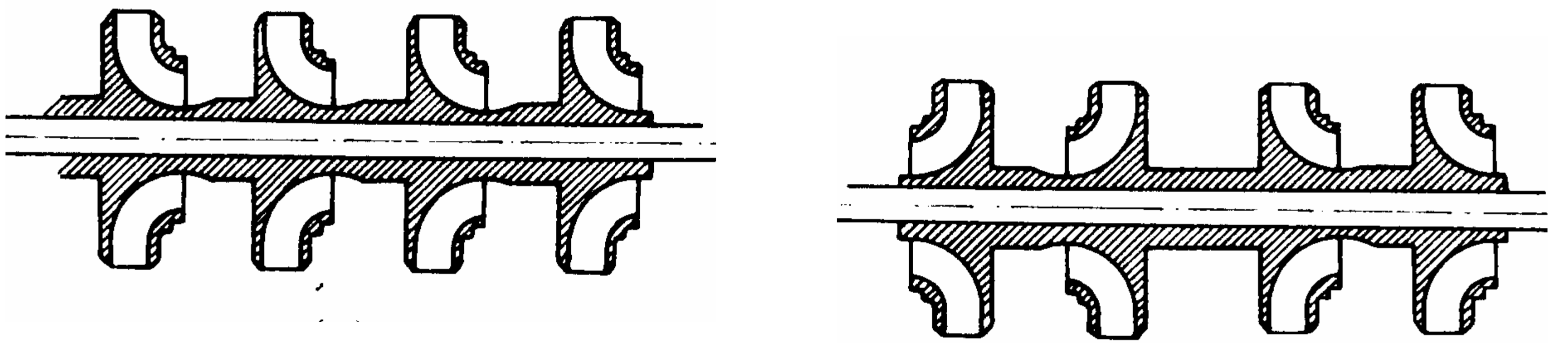


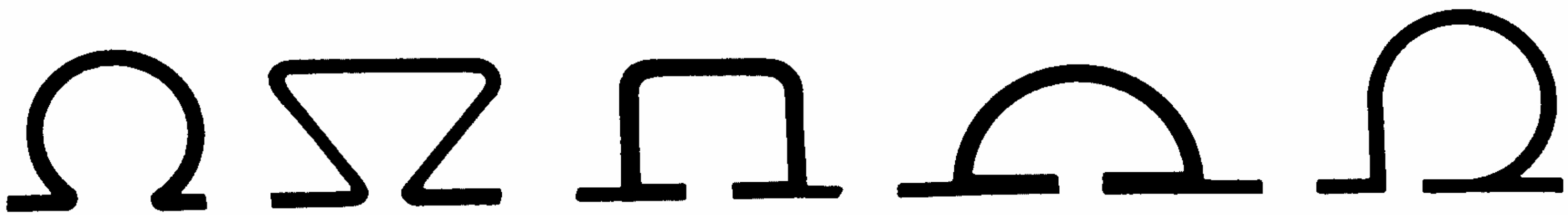
(a) (b) (c)


(a)
(b)
(c)

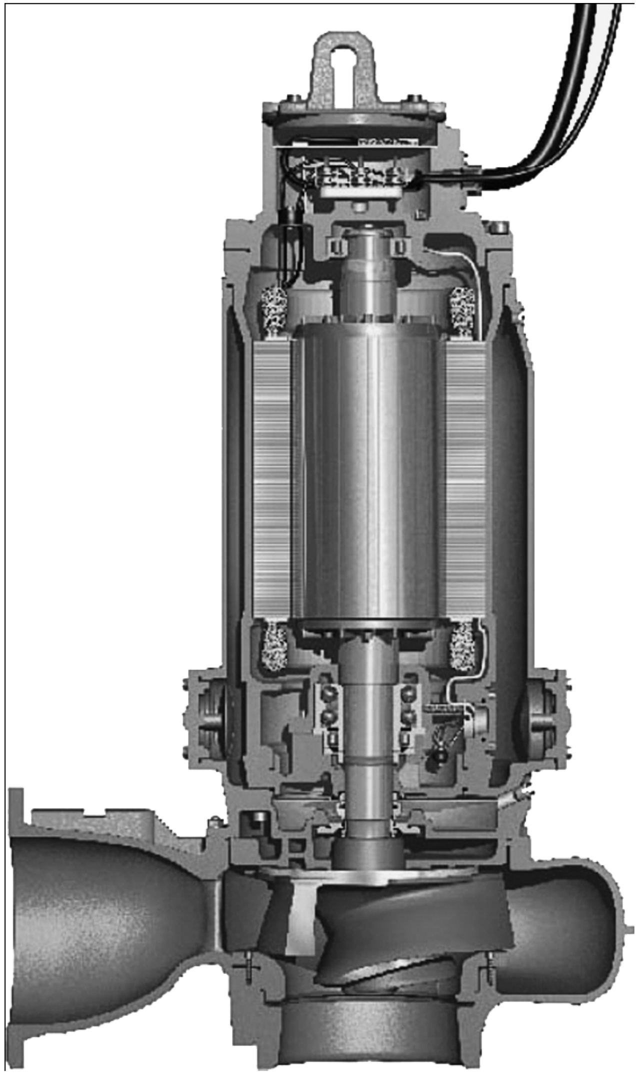

(a)
(b)
(c)
(d)
(e)

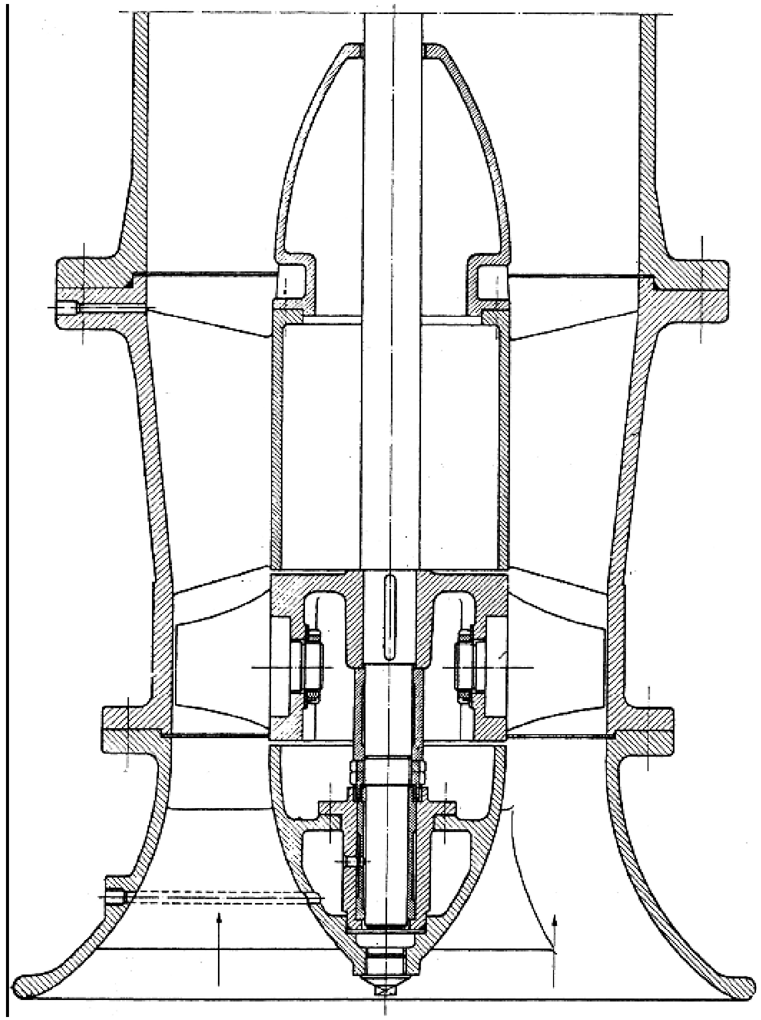

(a)
(b)
(c)
(d)

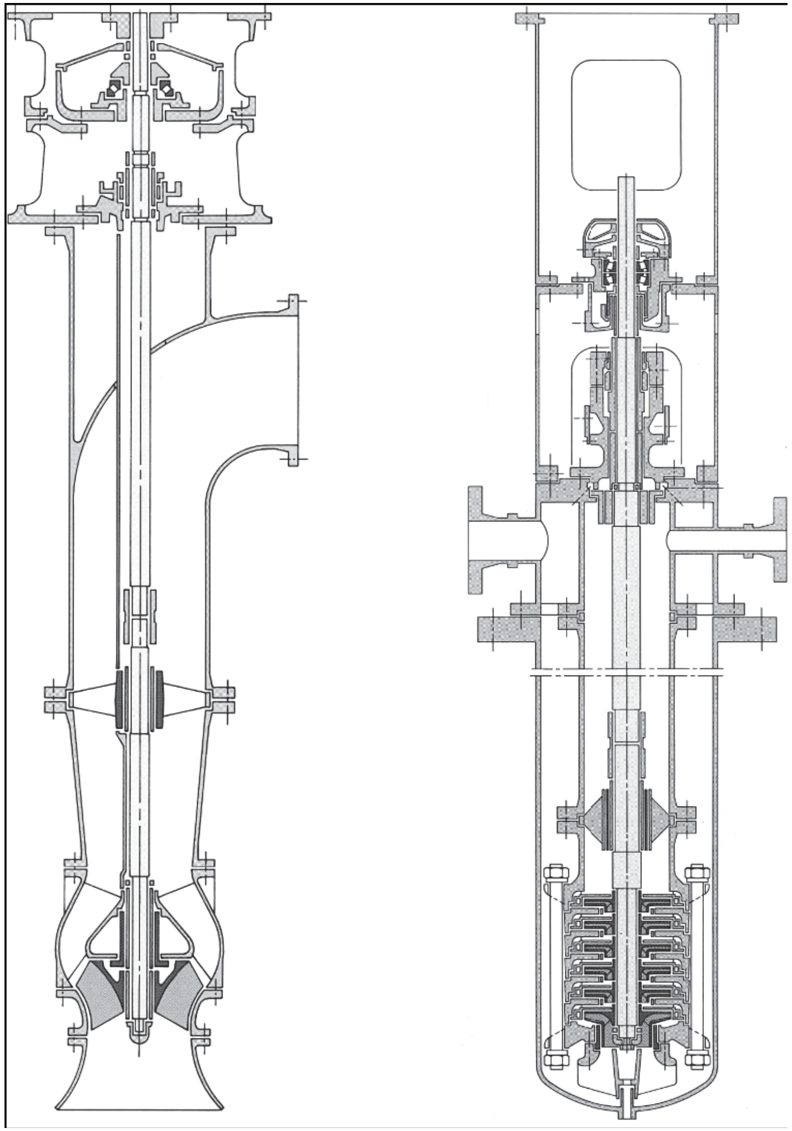


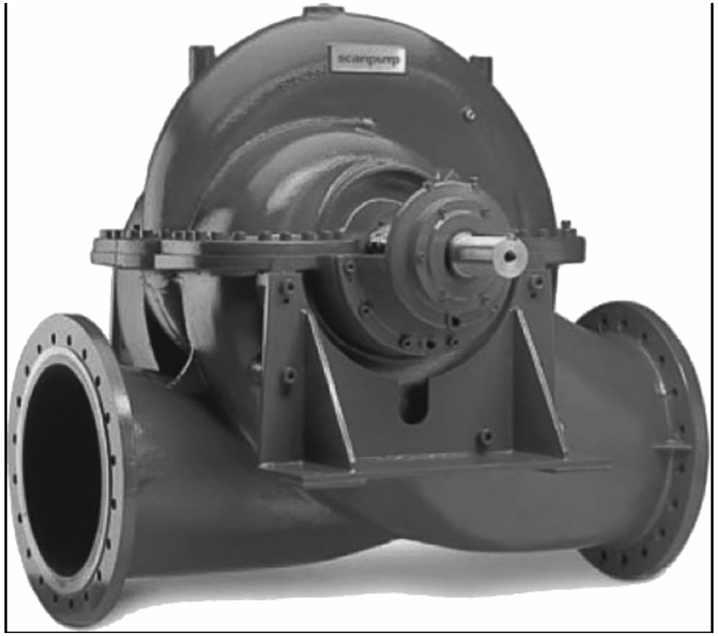


EJEMPLOS DE BOMBAS CENTRIFUGAS

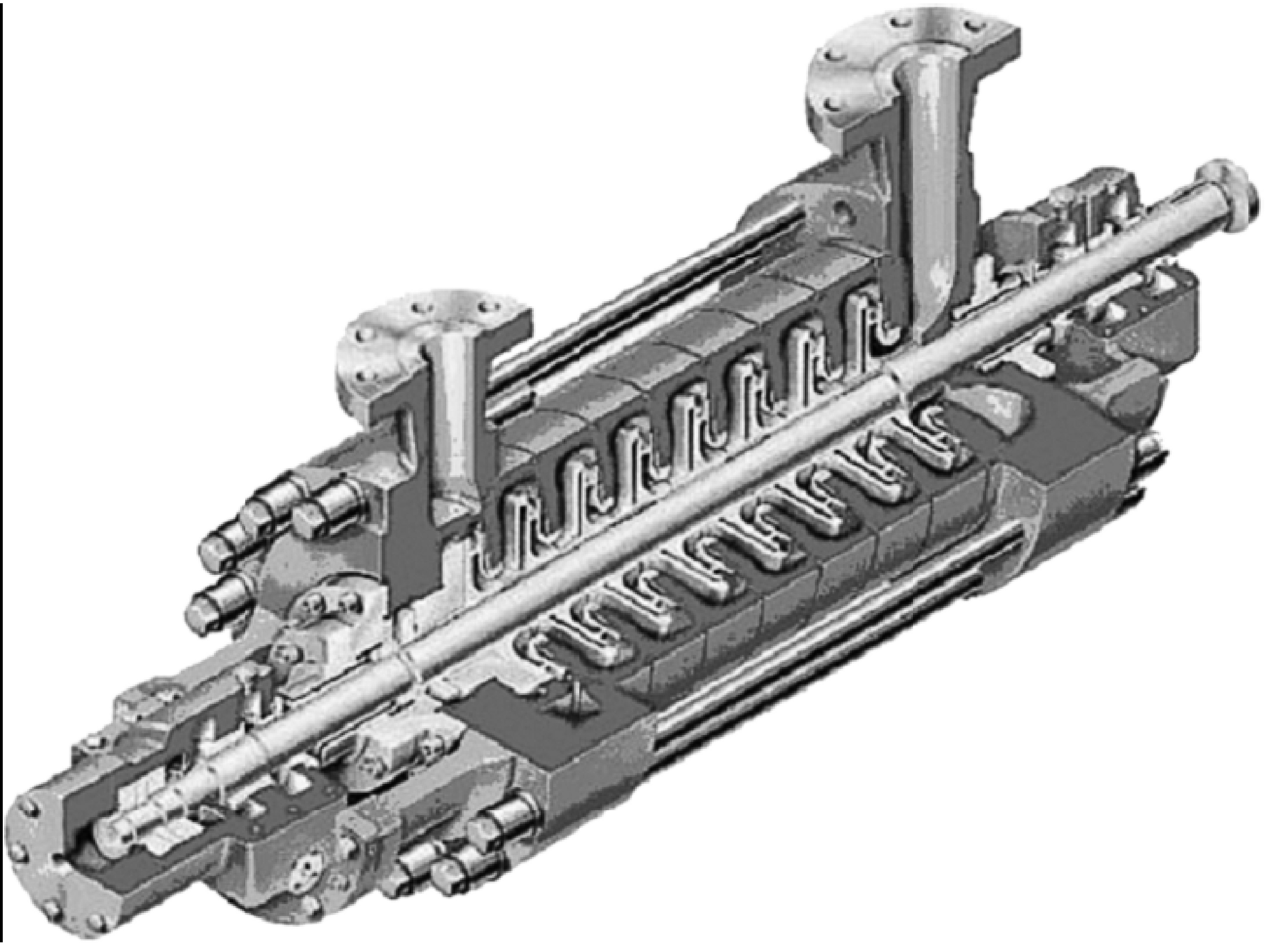


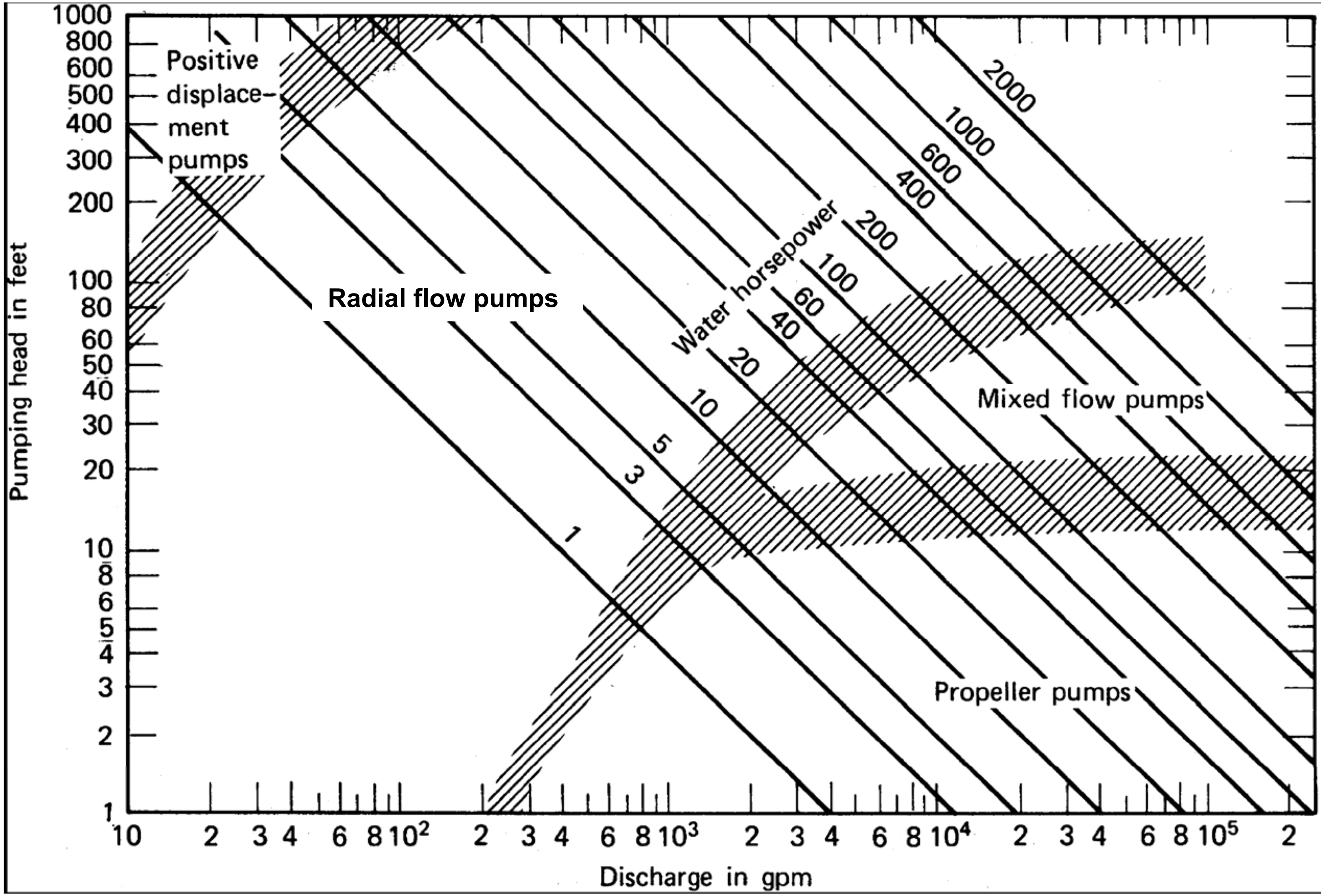





scanpump

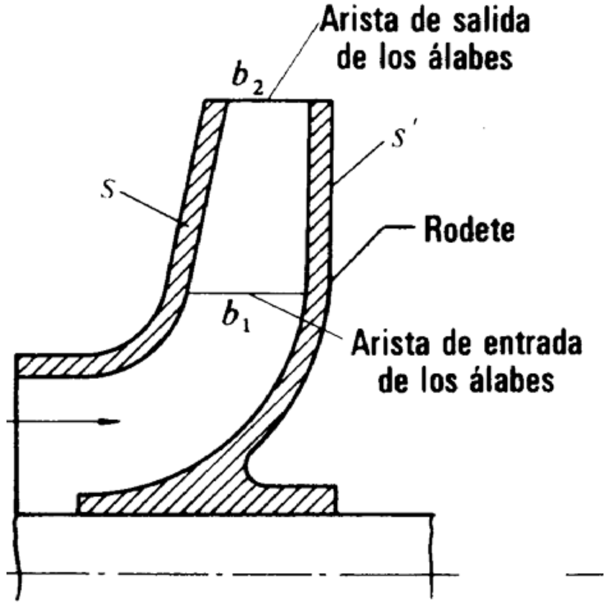
EJEMPLOS DE BOMBAS CENTRIFUGAS



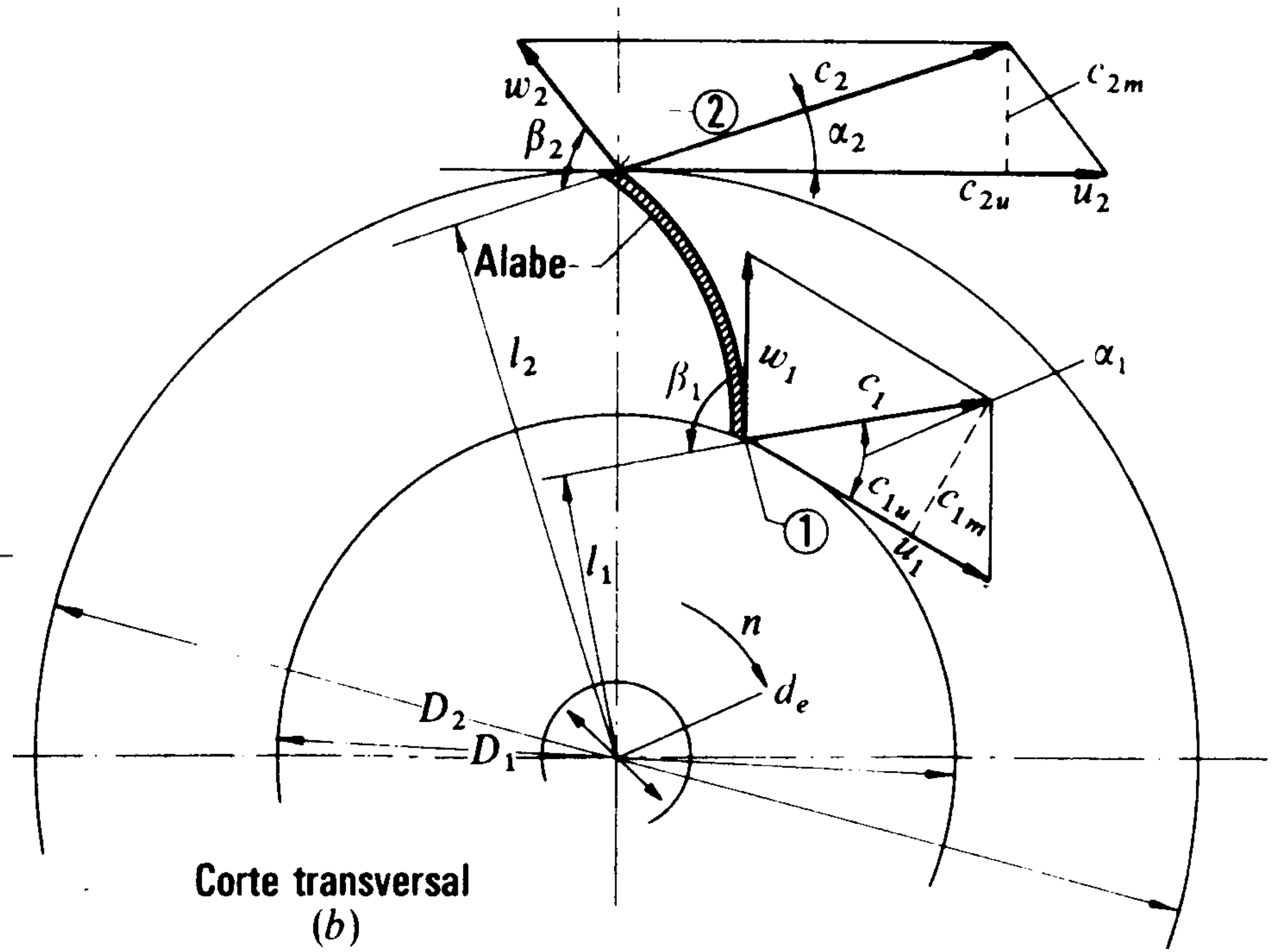


Positive displacement pumps
Radial flow pumps
Water horsepower
1
3
5
10
20
40
60
100
200
400
600
1000
2000
Mixed flow pumps
Propeller pumps
Pumping head in feet
Discharge in gpm

TRIANGULOS DE VELOCIDADES
FORMULA DE EULER



Corte meridional
(a)



Corte transversal
(b)

$$\boxed{\bar{w}_1 = \bar{c}_1 - \bar{u}_1} \qquad \boxed{\bar{c}_2 = \bar{w}_2 + \bar{u}_2}$$

$$d\bar{F} = dQ\rho(\bar{c}_2 - \bar{c}_1)$$

$$dM = dQ\rho(l_2 c_2 - l_1 c_1)$$

$$M = Q\rho(l_2 c_2 - l_1 c_1)$$

$$l_1 = r_1 \cos\alpha_1 \quad \text{y} \quad l_2 = r_2 \cos\alpha_2$$

$$\boxed{M = Q\,\rho\,(r_2 c_2 \cos\alpha_2 - r_1 c_1 \cos\alpha_1)}$$

$$P_u = M\omega = Q\,\rho\omega(r_2 c_2 \cos\alpha_2 - r_1 c_1 \cos\alpha_1) \quad \text{W, } SI \qquad \omega = \frac{2\pi n}{60}$$

$$P_u\,(\mathrm{W}) = G\left(\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{s}}\right) Y_u\left(\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg}}\right) = Q\left(\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{s}}\right)\rho\left(\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}\right) g\left(\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}\right) H_u\,(\mathrm{m})$$

$$Y_u \left(\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg}}\right) = Y_u \left(\frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{s}^2}\right) = H_u\,(\mathrm{m})\, g \left(\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}\right)$$

$$Q\,\rho\, Y_u = Q\,\rho\omega(r_2 c_2 \cos\alpha_2 - r_1 c_1 \cos\alpha_1)$$

$$r_1\omega = u_1 \qquad r_2\omega = u_2$$

$$c_1 \cos\alpha_1 = c_{1u} \qquad c_2 \cos\alpha_2 = c_{2u}$$

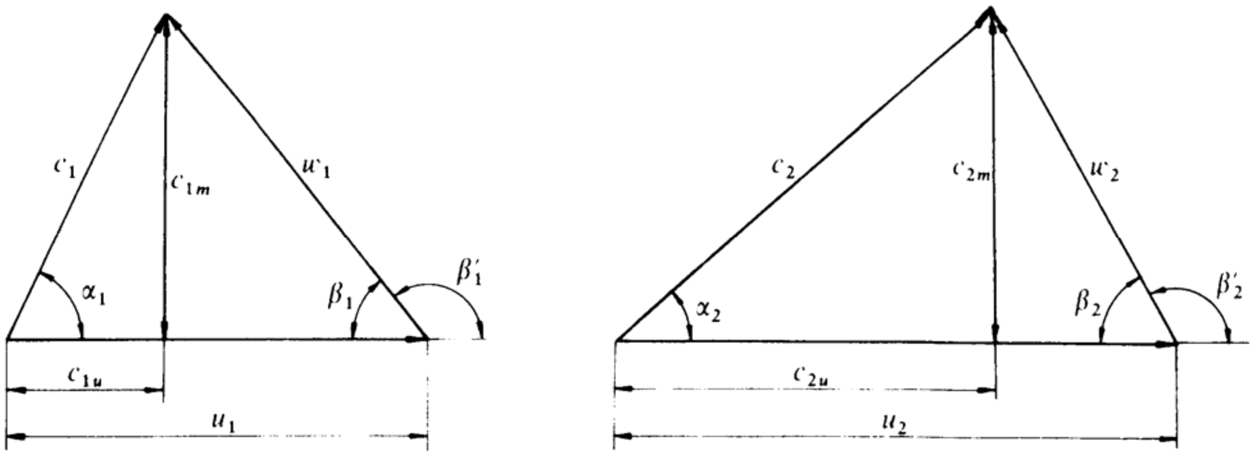
PRIMERA FORMA DE LA ECUACION DE EULER

(Expresión energética)

$$\boxed{Y_u = \pm(u_1 c_{1u} - u_2 c_{2u})}$$

(Expresión en alturas)

$$\boxed{H_u = \pm\frac{u_1 c_{1u} - u_2 c_{2u}}{g}}$$



$$\bar{c}_1 = \bar{u}_1 + \bar{w}_1$$
$$\bar{c}_2 = \bar{u}_2 + \bar{w}_2$$

$$w_1^2 = u_1^2 + c_1^2 - 2\,u_1\,c_1 \cos\alpha_1 = u_1^2 + c_1^2 - 2u_1\,c_{1u}$$
$$u_1\,c_{1u} = 1/2(u_1^2 + c_1^2 - w_1^2)$$

$$u_2\,c_{2u} = 1/2(u_2^2 + c_2^2 - w_2^2)$$

SEGUNDA FORMA DE LA ECUACION DE EULER

(Expresión energética)

$$Y_u = \pm\left(\frac{u_1^2 - u_2^2}{2} + \frac{w_2^2 - w_1^2}{2} + \frac{c_1^2 - c_2^2}{2}\right)$$

(Expresión en alturas)

$$H_u = \pm\left(\frac{u_1^2 - u_2^2}{2g} + \frac{w_2^2 - w_1^2}{2g} + \frac{c_1^2 - c_2^2}{2g}\right)$$

$$H_u = \pm\left(\frac{u_1^2 - u_2^2}{2g} + \frac{w_2^2 - w_1^2}{2g} + \frac{c_1^2 - c_2^2}{2g}\right)$$

$$H_u = \pm\left(\frac{p_1 - p_2}{\rho g} + z_1 - z_2 + \frac{c_1^2 - c_2^2}{2g}\right)$$

ALTURA DE PRESION DEL RODETE

$$H_p = \pm\left(\frac{p_1 - p_2}{\rho g}\right) = \pm\left(\frac{u_1^2 - u_2^2}{2g} + \frac{w_2^2 - w_1^2}{2g}\right)$$

(Signo + : turbinas; signo − : bombas)

ALTURA DINAMICA DEL RODETE

$$H_d = \pm\frac{c_1^2 - c_2^2}{2g}$$

GRADO DE REACCION DE LA BOMBA

$$\varepsilon = Hp/Hu$$

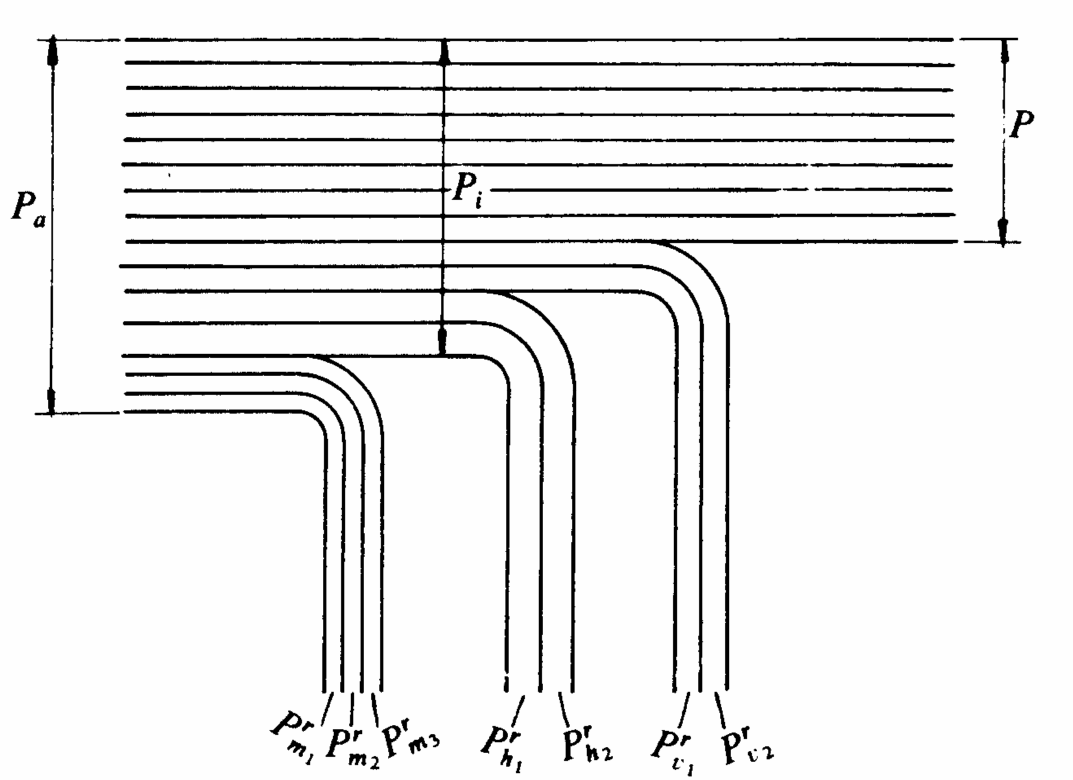
- Si $H_p < 0$, el grado de reacción es negativo;
- Si $H_p = 0$, el grado de reacción es 0;
- Si $0 < H_p < H_u$ el grado está comprendido entre 0 y 1, que es el caso normal;
- Si $H_p > H_u$, el grado de reacción es mayor que 1.

POTENCIA DE LA BOMBA

P = ENERGIA /TIEMPO = (ENERGIA /PESO) * (PESO/TIEMPO)
P = H * G = H γ Q

$$P = Q\,\rho g\,H$$

RENDIMIENTO DE LA BOMBA



P^r_h — *pérdidas hidráulicas:* P^r_{h1} — pérdidas por rozamiento de superficie; P^r_{h2} — pérdidas por rozamiento de forma.

P^r_v — *pérdidas volumétricas:* P^r_{v1} — pérdidas por caudal al exterior; P^r_{v2} — pérdidas por *cortocircuito*.

P^r_m — *pérdidas mecánicas:* P^r_{m1} — pérdidas por rozamiento en el prensaestopas; P^r_{m2} — pérdidas por rozamiento en los cojinetes y accionamiento de auxiliares; P^r_{m3} — pérdidas por rozamiento de disco.

Rendimiento hidráulico, η_h

$$\eta_h = H/H_u$$

Rendimiento volumétrico, η_v

$$\eta_v = \frac{Q}{Q + q_e + q_i}$$

Rendimiento interno, η_i

$$\eta_i = \frac{P}{P_i} = \frac{Q\,\rho g\,H\,\eta_h\,\eta_v}{Q\,\rho g\,H}$$

$$\eta_i = \eta_h\,\eta_v$$

Rendimiento mecánico, η_m

$$\eta_m = P_i/P_a$$

Rendimiento total, η_{tot}

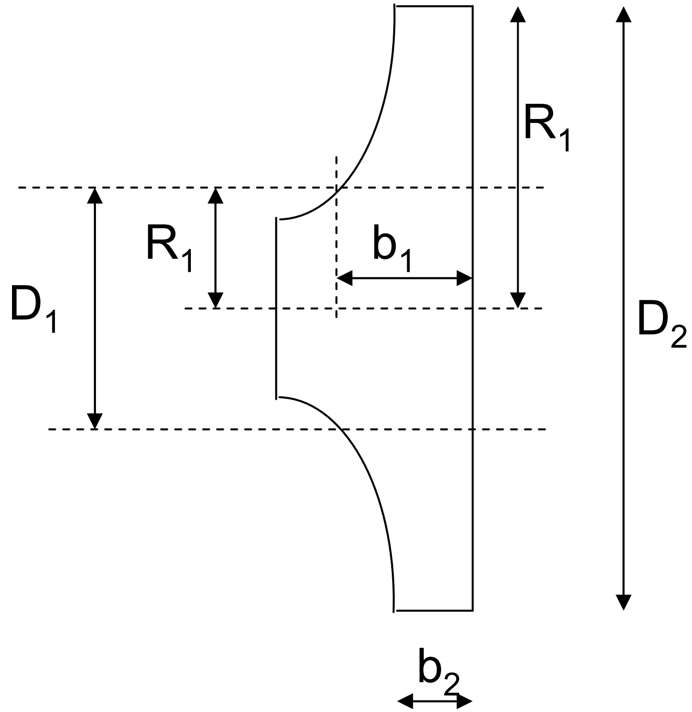
$$\eta_{tot} = \frac{P}{P_a} = \frac{P}{P_i}\,\frac{P_i}{P_a} = \eta_i\,\eta_m = \eta_v\,\eta_h\,\eta_m$$

$$P_a = \frac{Q\,\rho g\,H}{\eta_i\,\eta_m} = \frac{Q\,\rho g\,H}{\eta_v\,\eta_h\,\eta_m} = \frac{Q\,\rho g\,H}{\eta_{tot}}$$

INFLUENCIA DE LOS ANGULOS DE LOS ALABES: β_1

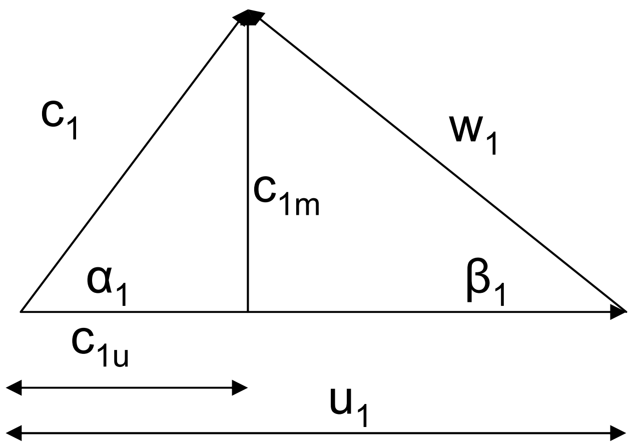
$Q = C_{1m} * 2\pi * r_1 * b_1 = C1m * \pi * D1 * b1$

$U1 = \omega 1 \ r1$



como ω y r son ctes por lo tanto U1 = cte

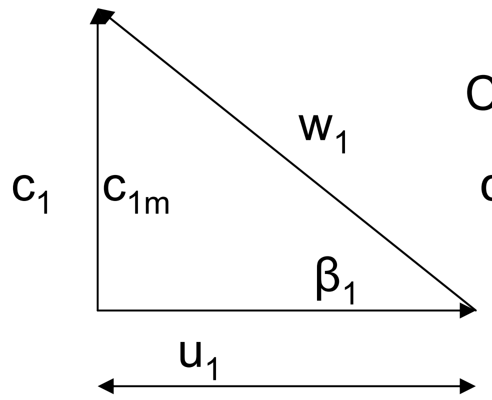
además C_{m1} = cte (Q = cte, D_1 = cte, b_1 = cte)



a) β1 es tal que α1 < 90 °

$H_t = (C_{u2} \ U_2 - C_{u1} \ U_1)/g$

INFLUENCIA DE LOS ANGULOS DE LOS ALABES: β_1

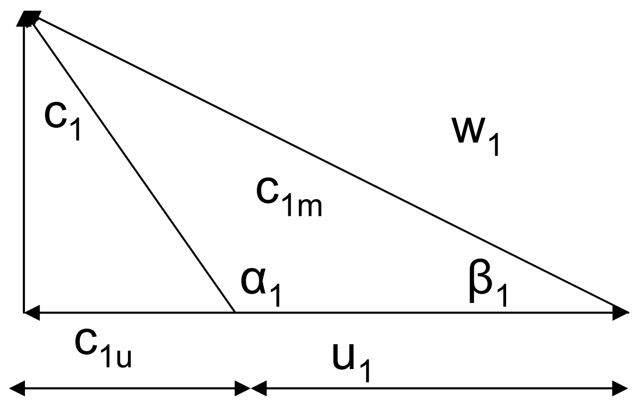


$C_{1u} = 0$

$\alpha_1 = 0$

b) β1 es tal que α1 = 90 °

$H_t = (C_{u2}\ U_2)/g$



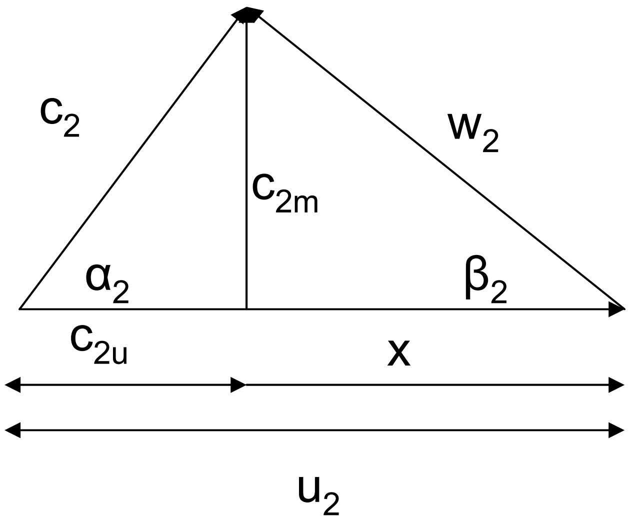
c) β1 es tal que α1 > 90 °

$C_{1u} < 0$

$H_t = (C_{u2}\ U_2 + C_{u1}\ U_1)/g$

Conviene un β_1 tal que $\alpha_1 > 90$ ° pero tengo un álabe muy largo

INFLUENCIA DE LOS ANGULOS DE LOS ALABES: β_2



β_1 es tal que $\alpha 1 = 90$ °

$H_t = (C_{u2}\ U_2)/g$

$C_{2u} = U_2 - X = U_2 - C_{2m}/tg\ \beta_2$

$H_t = ((U_2 - C_{2m}/tg\ \beta_2)\ U_2)/g$

$H_t = U_2\ ^2(1 - C_{2m}/(tg\ \beta_2\ U_2)\ /g$

$H_d = (C^2{}_2 – C_1{}^2)/2g = (C_{2u}{}^2 + C_{2m}{}^2 – C_{2u}{}^2)/2g$

Cm1 = Cm2 = C1por que la veloc radial del impulsor es cte

$H_d = (C_{2u}{}^2)/2g = (U_2 - X)^2/2g = (U_2 – C_{2m}/(U_2 tg\ \beta\ _2))^2 = f(\beta\ _2)$

$\varepsilon = 1 – H_d/H_t = ½ + ½ * (C_{2m}/(U_2\ tg\ \beta\ _2))$

$H_p = H_t - H_d = (U_2{}^2/2g)* (1- C_{2m}/(U_2\ tg^2\ \beta_2))$

INFLUENCIA DE LOS ANGULOS DE LOS ALABES: β_2

Consideremos un valor de β que anule H_t

$H_t = U_2{}^2(1 - C_{2m}/(tg\ \beta_2\ U_2)\ /g = 0 \longrightarrow tg\ \beta_2 = C_{2m}/\ U_2$

$\beta_{min} \longrightarrow H_t = 0 \longrightarrow H_p = H_d \longrightarrow \varepsilon = 1$

$\beta 2 = \pi/2 \qquad tg\ \beta_2 = \text{infinito} \qquad H_t = U^2/g \qquad H_d = U^2/2g \qquad \varepsilon = 1/2$

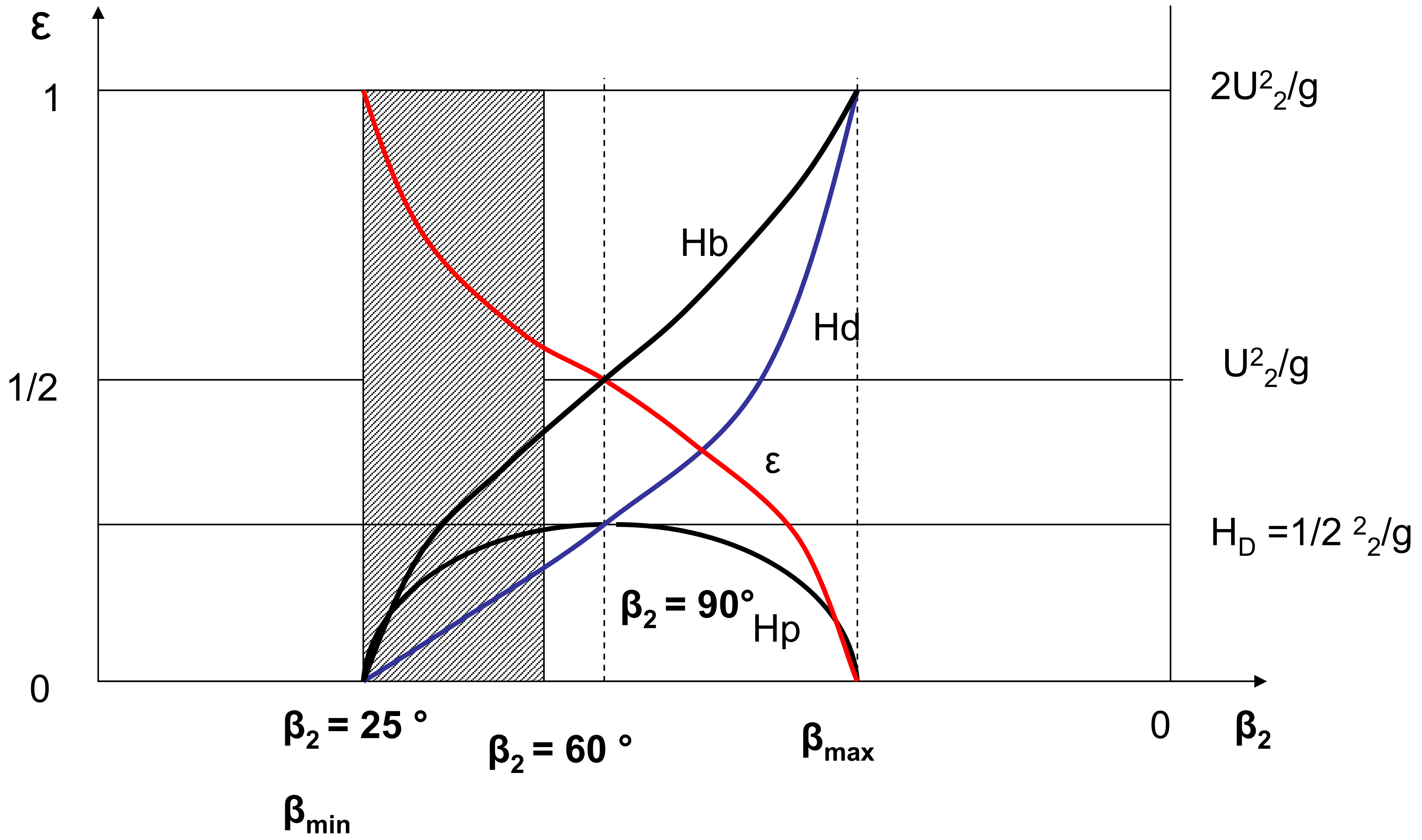
Finalmente Ht tendrá un máximo cuando

$H_t = U^2/g(1-(-1))$ Esto implica que

$C_{2m}/(tg\ \beta_2\ U_2) = -1 \qquad tg\ \beta_2 = -\ C_{2m}\ /\ U_2$

$H_t = 2\ U^2/g = H_d \qquad H_p = 0$ y $\varepsilon = 0$

INFLUENCIA DE LOS ANGULOS DE LOS ALABES: β_2



LEYES DE SEMEJANZA DE LAS BOMBAS

Dos bombas son semejantes si existe:
Semejanza Geométrica (relación entre: dimensiones, formas, etc.)
Semejanza Cinemática (cuando el triángulo de velocidad es semejante)
Semejanza Dinámica (en 2 puntos homólogos, tienen igual Reynold)

Las 3 primeras leyes se refieren a 2 bombas semejantes funcionando en iguales condiciones.

- Q= A. Cm = Cm.π.D.b pero Cm = fn (n,D) y b = fn (D) entonces Q=fn (n,D^3) donde

Cm es el caudal másico,
D es el diámetro del rodete,
n es la velocidad de rotación,

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1 . D_1^{\;3}}{n_2 . D_2^{\;3}}$$

Ley 1 de semejanza (1)

Si n1= n2 entonces

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{D_1^{\;3}}{D_2^{\;3}}$$

(1`)

Por Euler vimos que: Ht= $\frac{C_{2u}.U_2}{g}$ C_{2u} = fn (n, D)

y U_2 = fn (n, D), entonces Ht= fn (n^2, D^2)

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{n_1^2.D_1^2}{n_2^2.D_2^2}$$ Ley 2 de semejanza (2)

Si n1= n2 entonces

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{D_1^2}{D_2^2}$$ (2`)

Potencia $N = \frac{H.Q.\gamma}{75.\eta}$ por lo tanto N= fn (Q,H) de lo visto en los dos puntos anteriores

decimos que: Q=fn (n,D^3) y Ht = fn (n^2, D^2) entonces

$$N = fn(n^3, D^5)$$

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{n_1^{\ 3}.D_1^{\ 5}}{n_2^{\ 3}.D_2^{\ 5}}$$

Ley 3 de semejanza

Si n1= n2 entonces

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{D_1^{\ 5}}{D_2^{\ 5}}$$ (3`)

Las 3 siguientes son para una misma bomba (D=cte) que funciona en 2 condiciones distintas:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2}$$ (4)

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{n_1^{\ 2}}{n_2^{\ 2}}$$ (5)

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{n_1^{\ 3}}{n_2^{\ 3}}$$ (6)

De la ecuación 2 despejamos

$$\frac{D_1^{\ 2}}{D_2^{\ 2}} = \frac{H_1.n_2^{\ 2}}{H_2.n_1^{\ 2}} \quad \text{por lo tanto} \quad \frac{D_1}{D_2} = \frac{H_1^{\ 1/2}.n_2}{H_2^{\ 1/2}.n_1} \qquad (7)$$

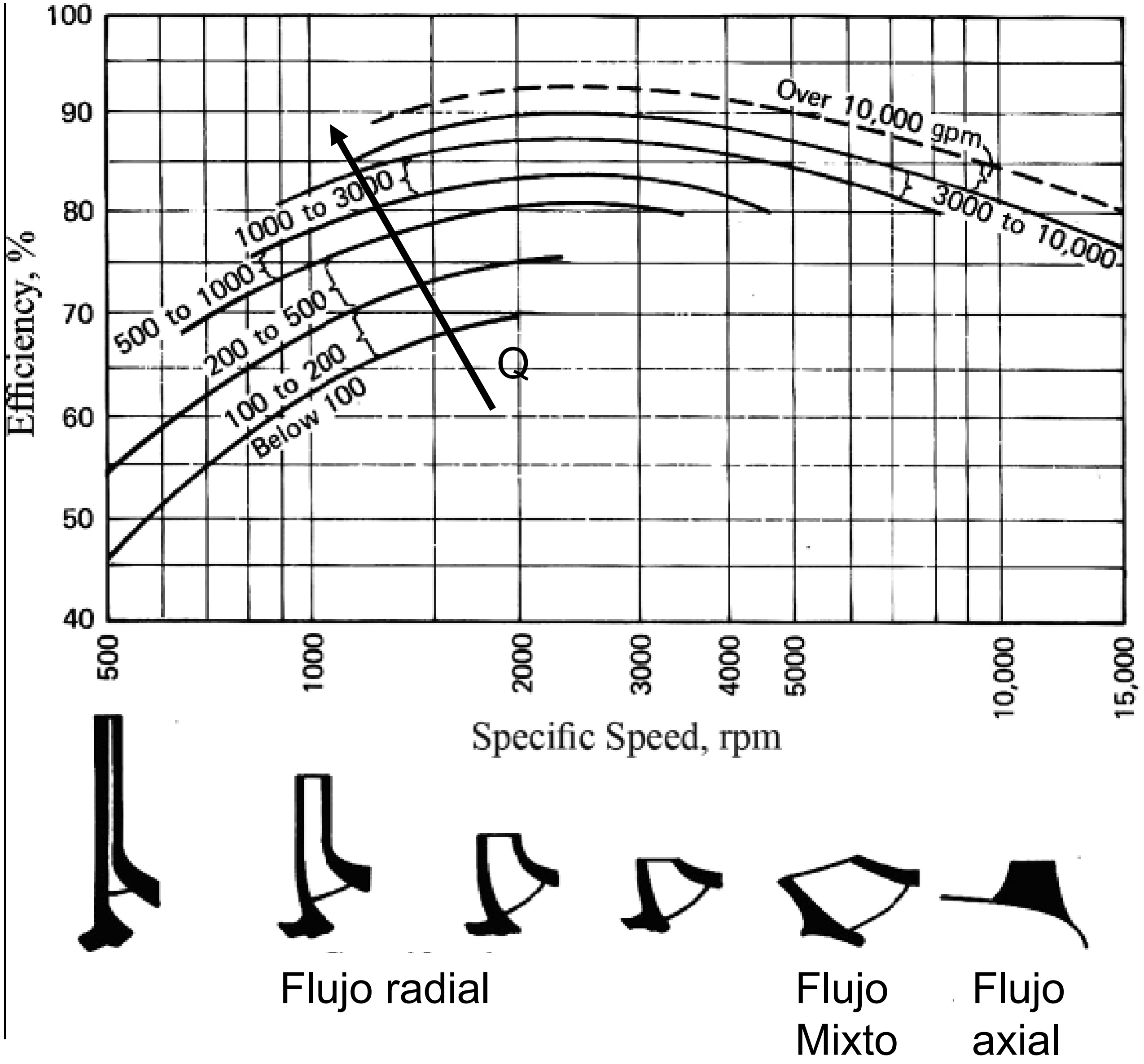
Reemplazamos (7) en (1):

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{H_1^{\ 3/2}.n_2^{\ 2}}{H_2^{\ 3/2}.n_1^{\ 2}} \quad \text{saco raíz cuadrada} \quad \frac{Q_1^{\ 1/2}}{Q_2^{\ 1/2}} = \frac{H_1^{\ 3/4}.n_2}{H_2^{\ 3/4}.n_1}$$

Por lo tanto reordenando la ecuación anterior:

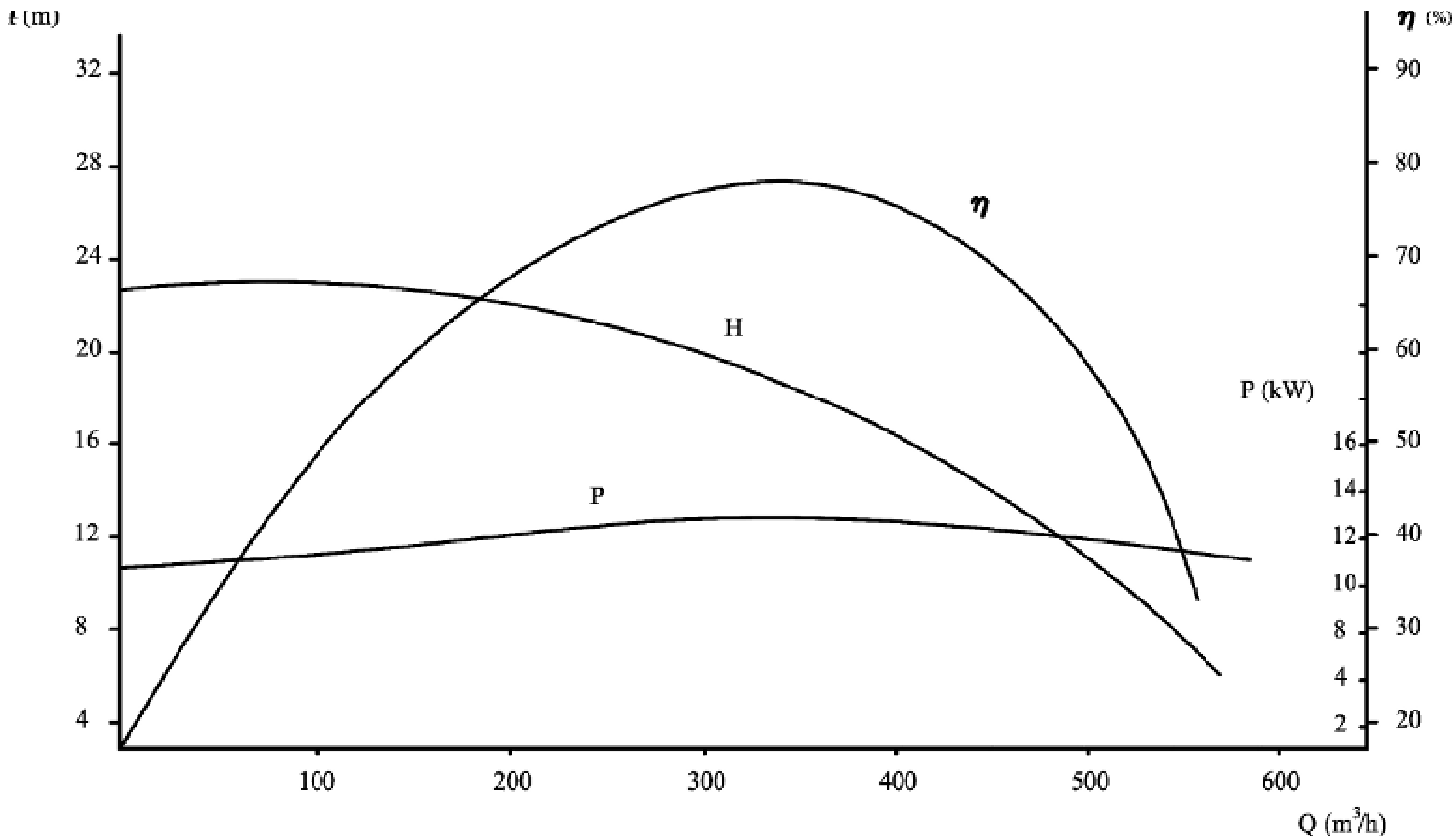
$$\frac{Q_1^{\ 1/2}.n_1}{H_1^{\ 3/4}} = \frac{Q_2^{\ 1/2}.n_2}{H_2^{\ 3/4}} = ... = \frac{Q^{\ 1/2}.n}{H^{\ 3/4}}$$

Número específico de revoluciones. Constante para una serie de bombas semejantes

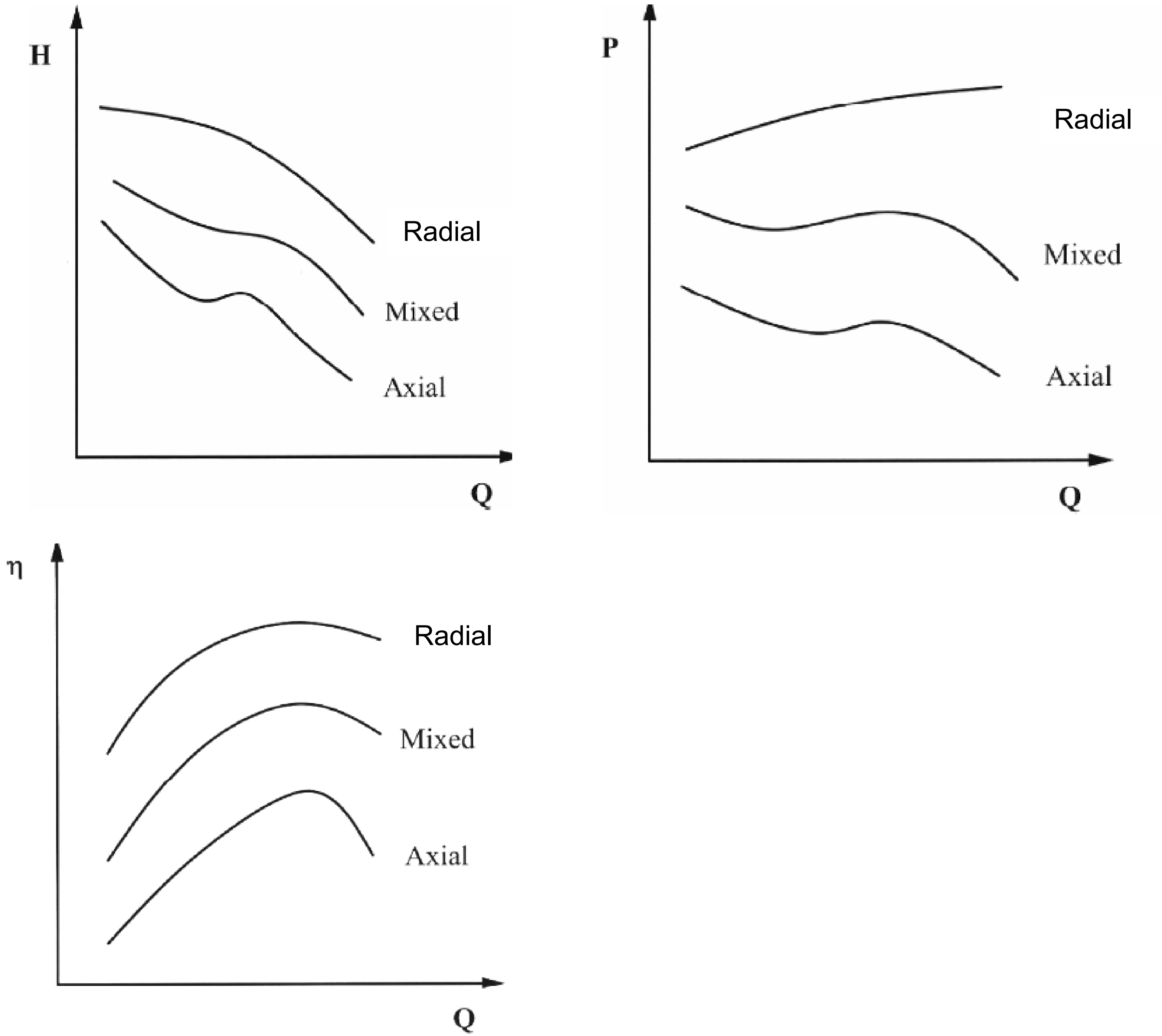


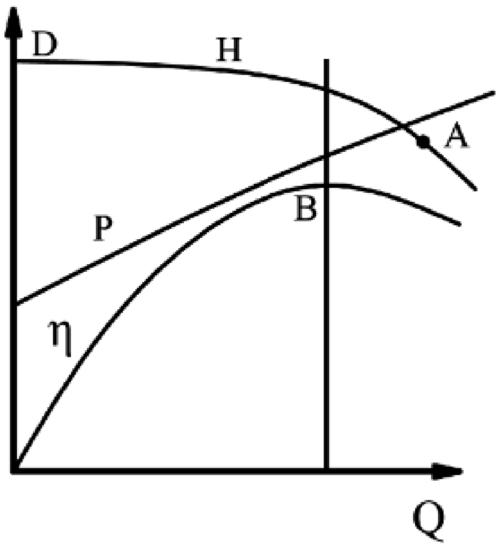
Efficiency, %
100
90
80
70
60
50
40
Specific Speed, rpm
500
1000
2000
3000
4000
5000
10,000
15,000
Over 10,000 gpm
3000 to 10,000
1000 to 3000
500 to 1000
200 to 500
100 to 200
Below 100
Q
Flujo radial
Flujo Mixto
Flujo axial

CURVAS CARACTERISTICAS DE LAS BOMBAS

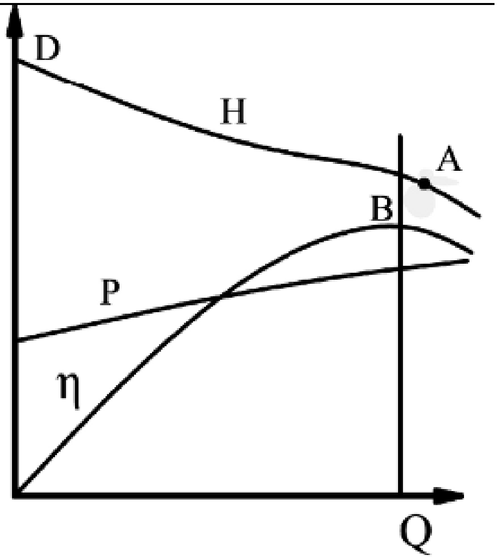


$$H = f1(Q)$$
$$P = f2(Q)$$
$$\eta = f3(Q)$$

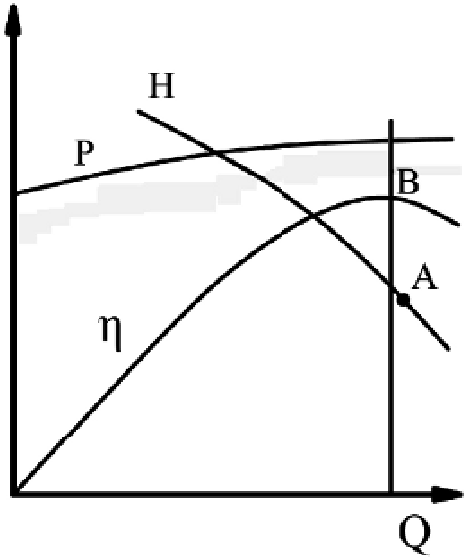

H
Radial
Mixed
Axial
Q
P
Radial
Mixed
Axial
Q
η
Radial
Mixed
Axial
Q



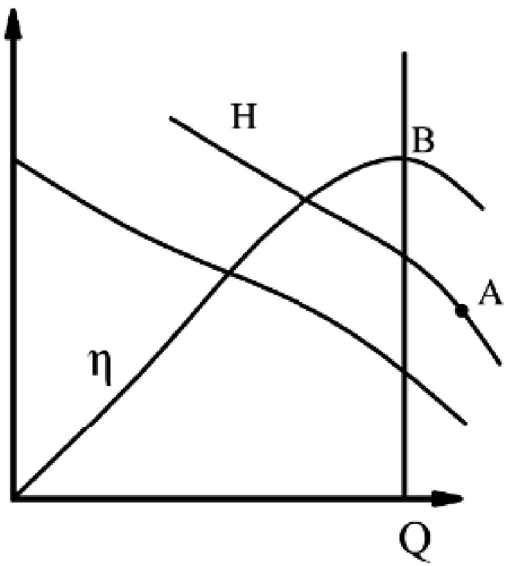
Flujo radial



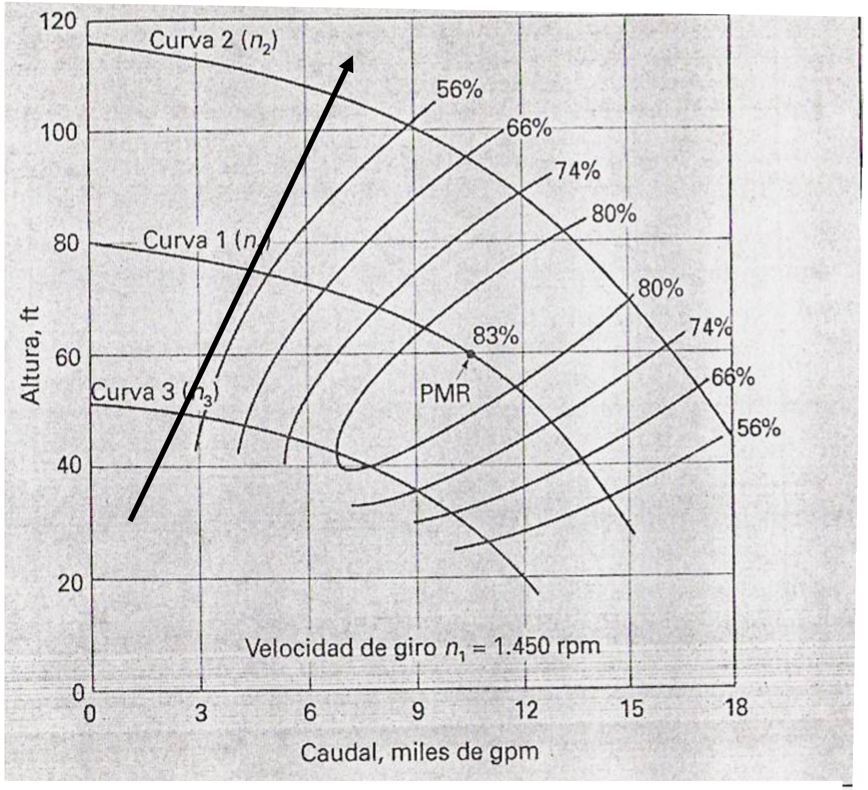
Flujo mixto

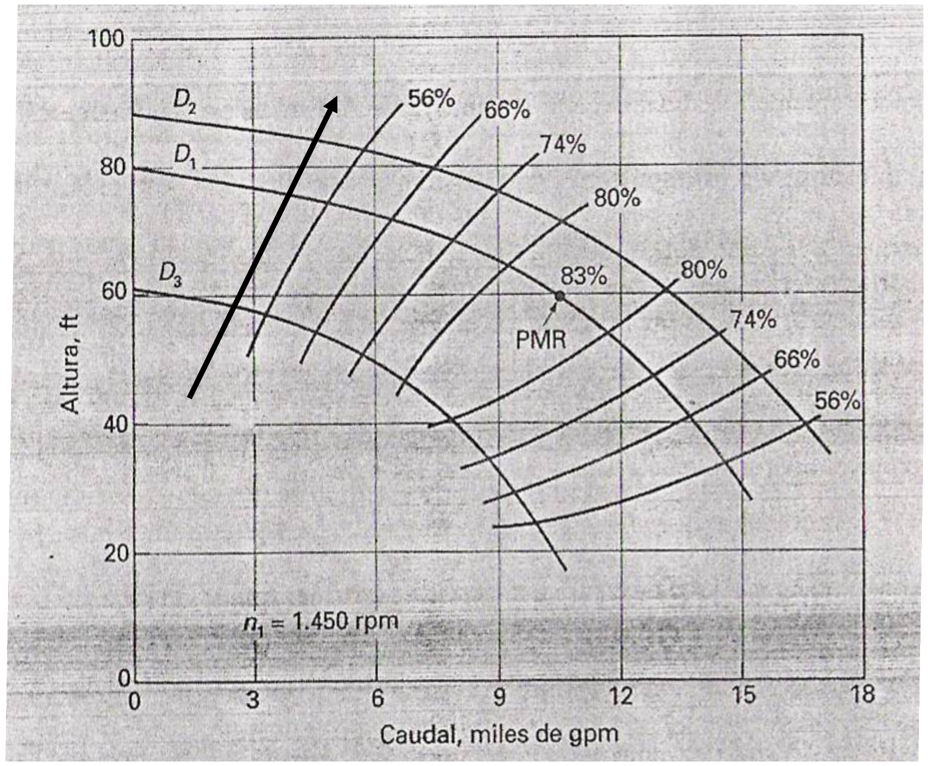


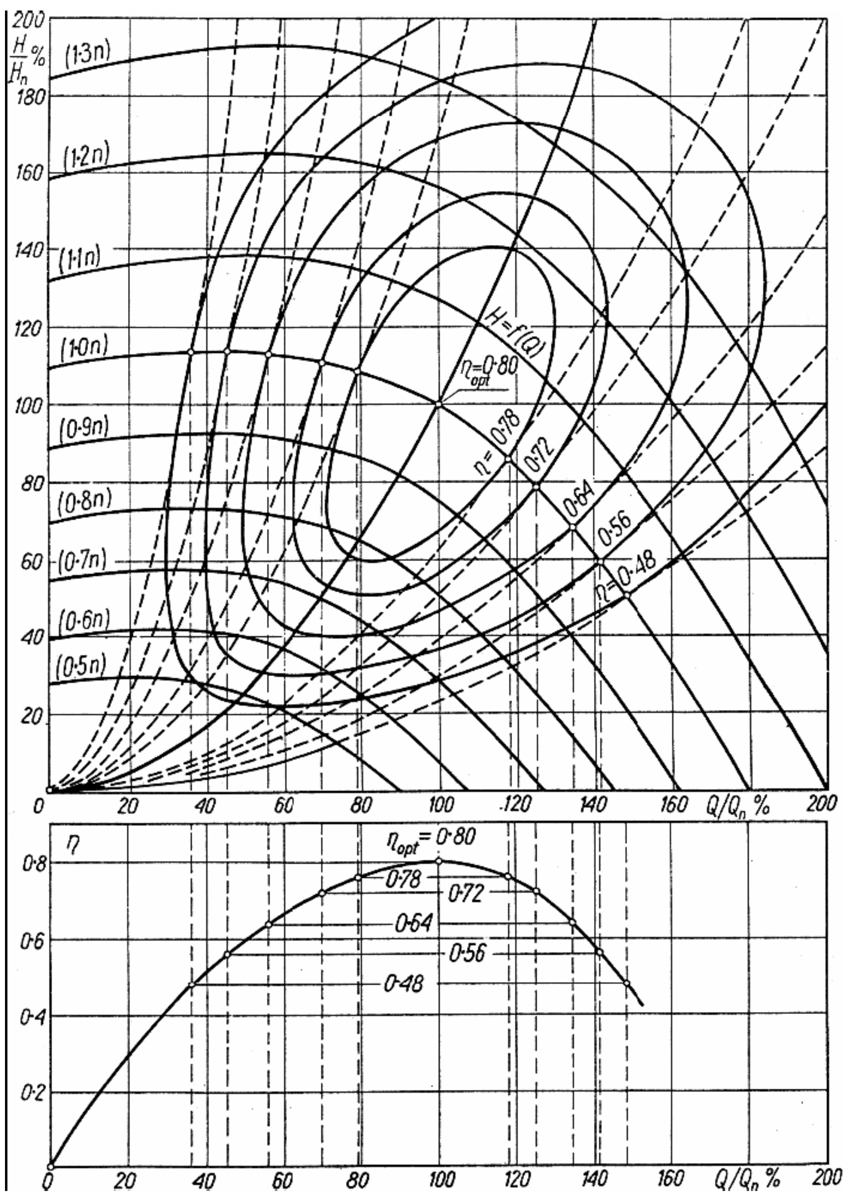
Flujo mixto



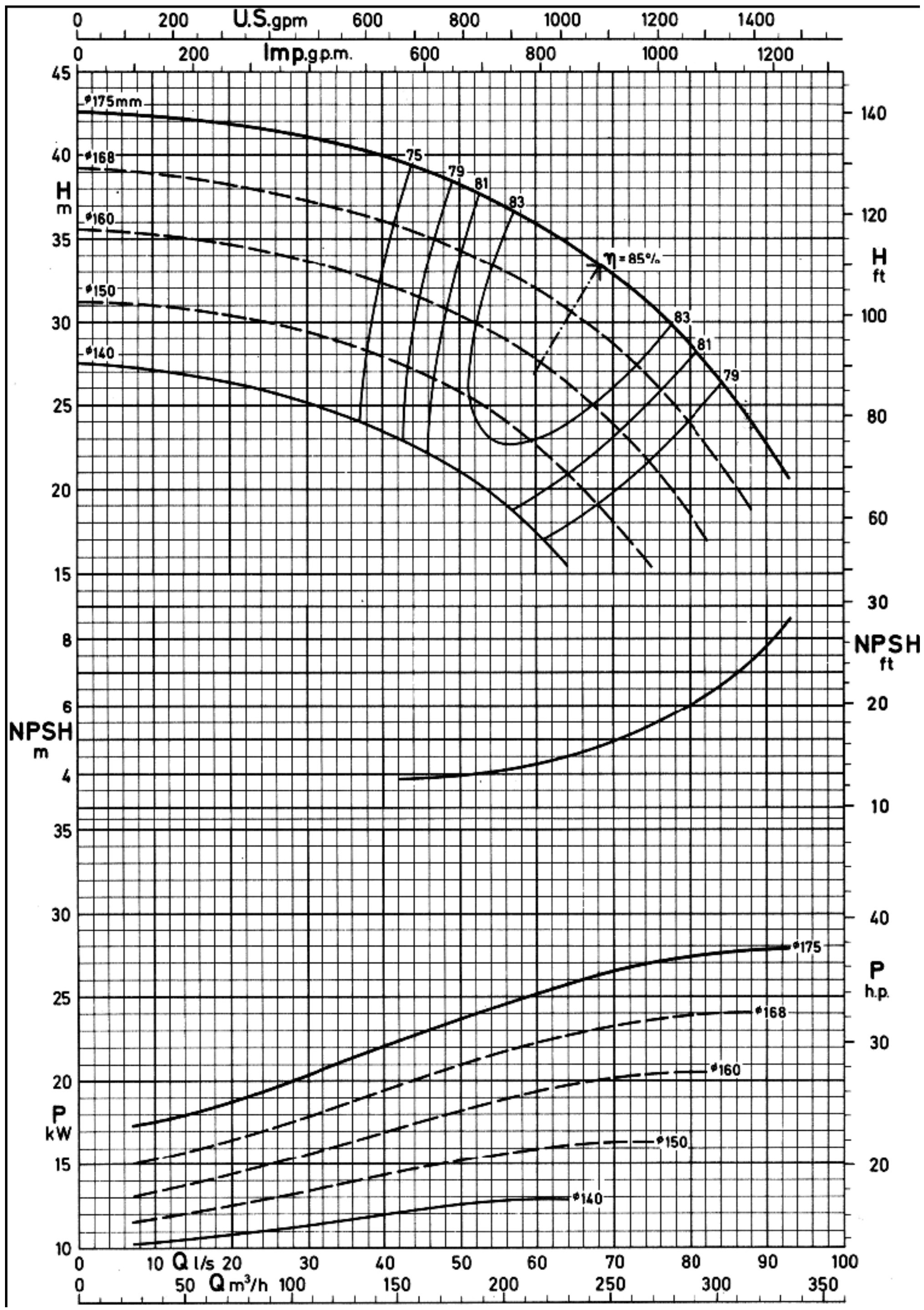
Flujo axial


Curva 2 (n_2)
Curva 1 (n_1)
Curva 3 (n_3)
56%
66%
74%
80%
80%
83%
PMR
74%
66%
56%
Altura, ft
Velocidad de giro n_1 = 1.450 rpm
Caudal, miles de gpm
0
3
6
9
12
15
18
0
20
40
60
80
100
120


D_2
D_1
D_3
56%
66%
74%
80%
83%
PMR
80%
74%
66%
56%
Altura, ft
n_1 = 1.450 rpm
Caudal, miles de gpm
0
3
6
9
12
15
18
0
20
40
60
80
100



CURVAS
CARACTERISTICAS
(CATALOGO KSB)



SELECCIÓN DE BOMBAS

CONSIDERACIONES

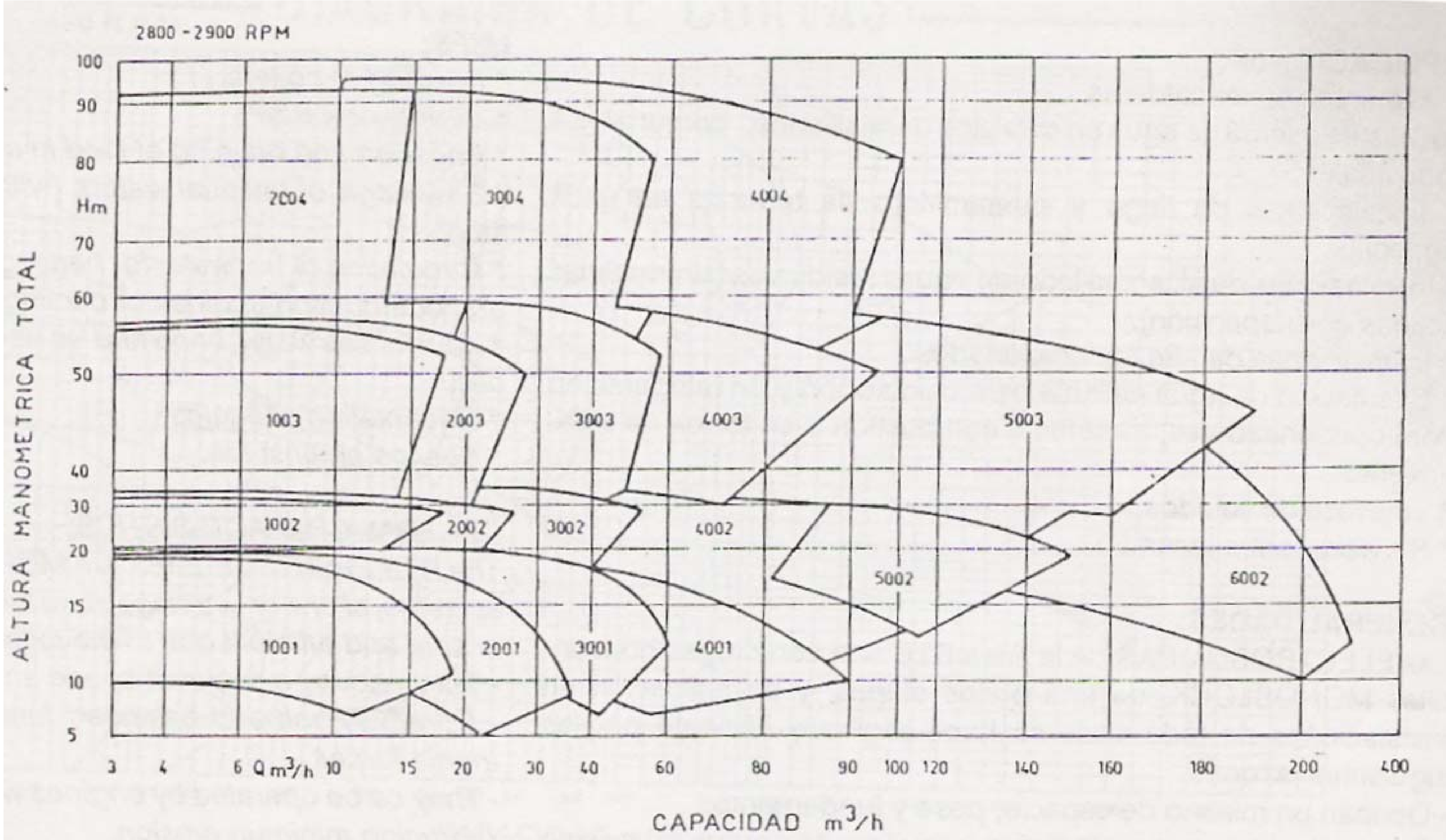
1- LOS GRÁFICOS BASICOS DE LOS CATÁLOGOS Y SOFTWARE ESTAN DISEÑADOS PARA AGUA

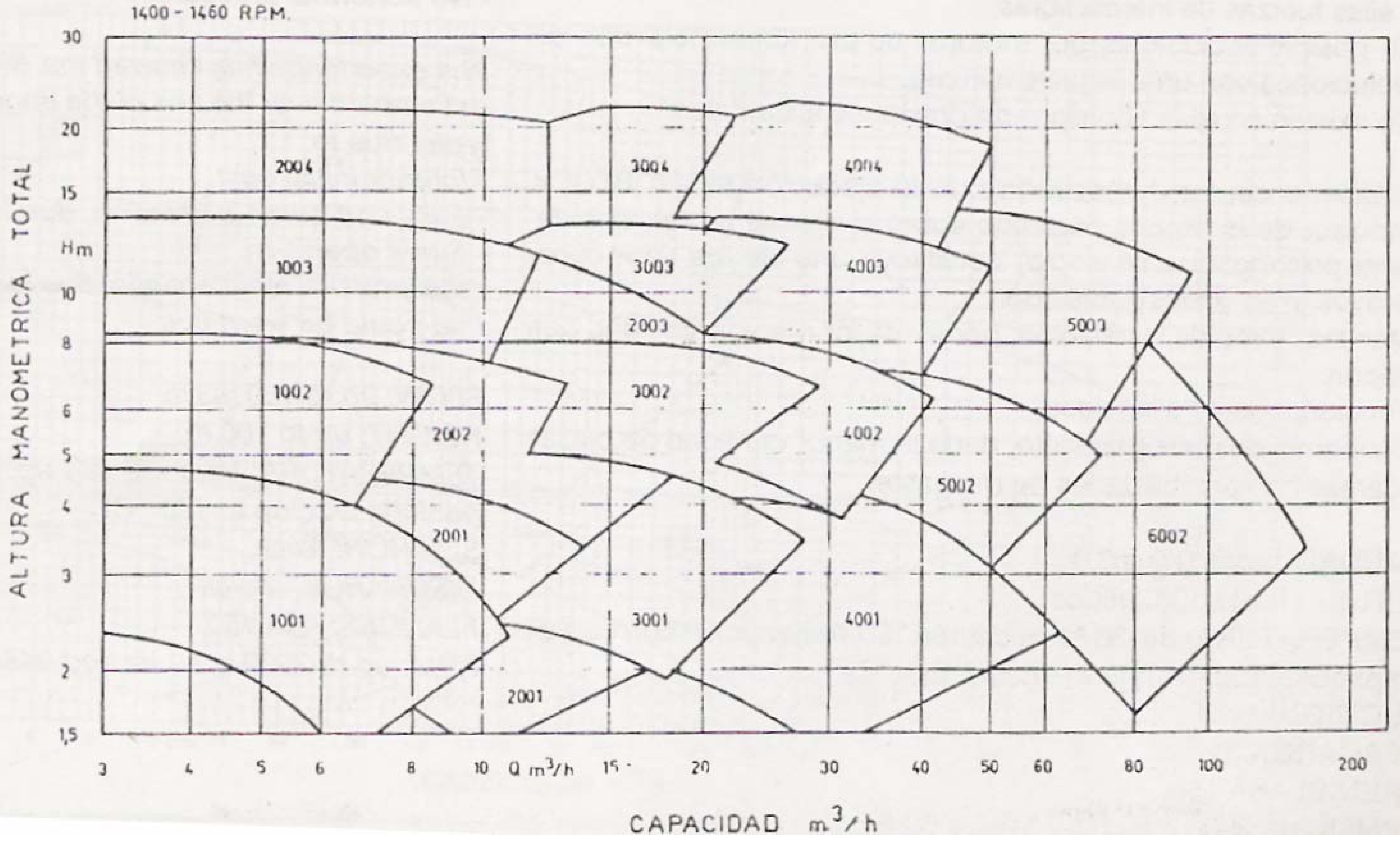
2- SE HACE NECESARIO OBTENER LOS EQUIVALENTES PARA AGUA (CAUDAL, ETC) DE LOS FLUIDOS QUE SE VAN A BOMBEAR

3- A PARTIR DE ESTE PUNTO SE DEFINE EL GRUPO DE BOMBAS EN FUNCION DE CAUDAL Y ALTURA MANOMETRICA

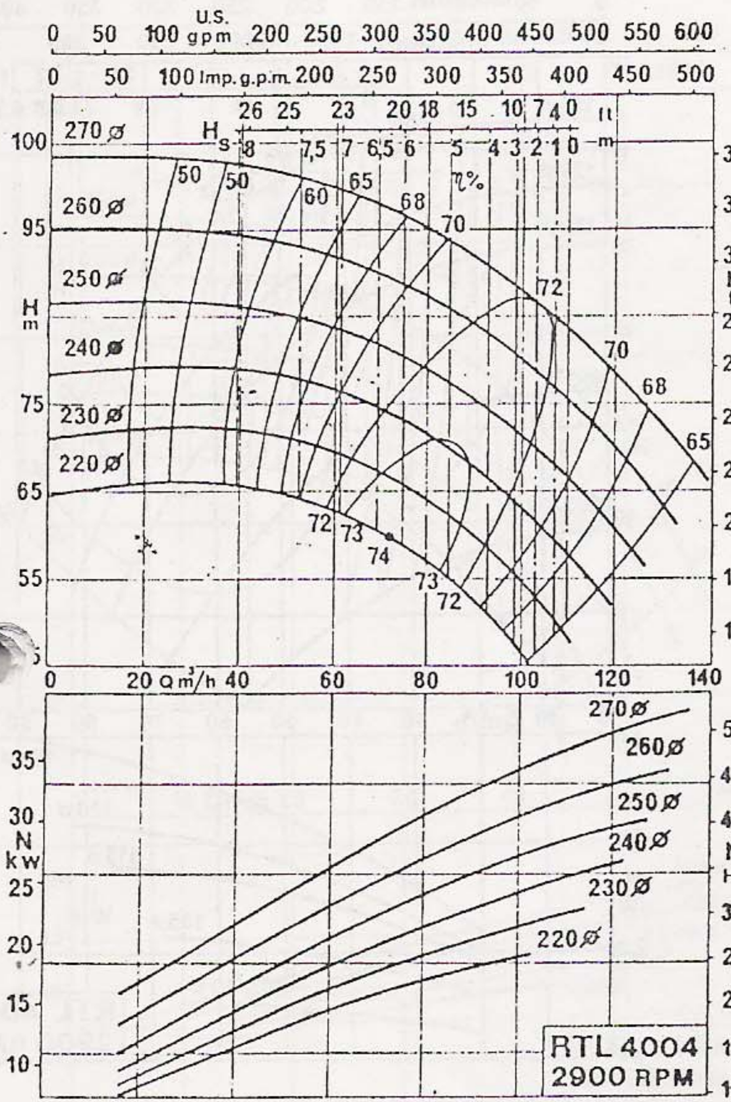
4- EN LAS CURVAS DEL GRUPO DE BOMBAS SE SELECCIONA LA QUE POSEE MEJOR COMPORTAMIENTO EN NUESTRAS CONDICIONES DE TRABAJO (MAYOR RENDIMIENTO Y MAYOR ESTABILIDAD DE FUNCIONAMIENTO

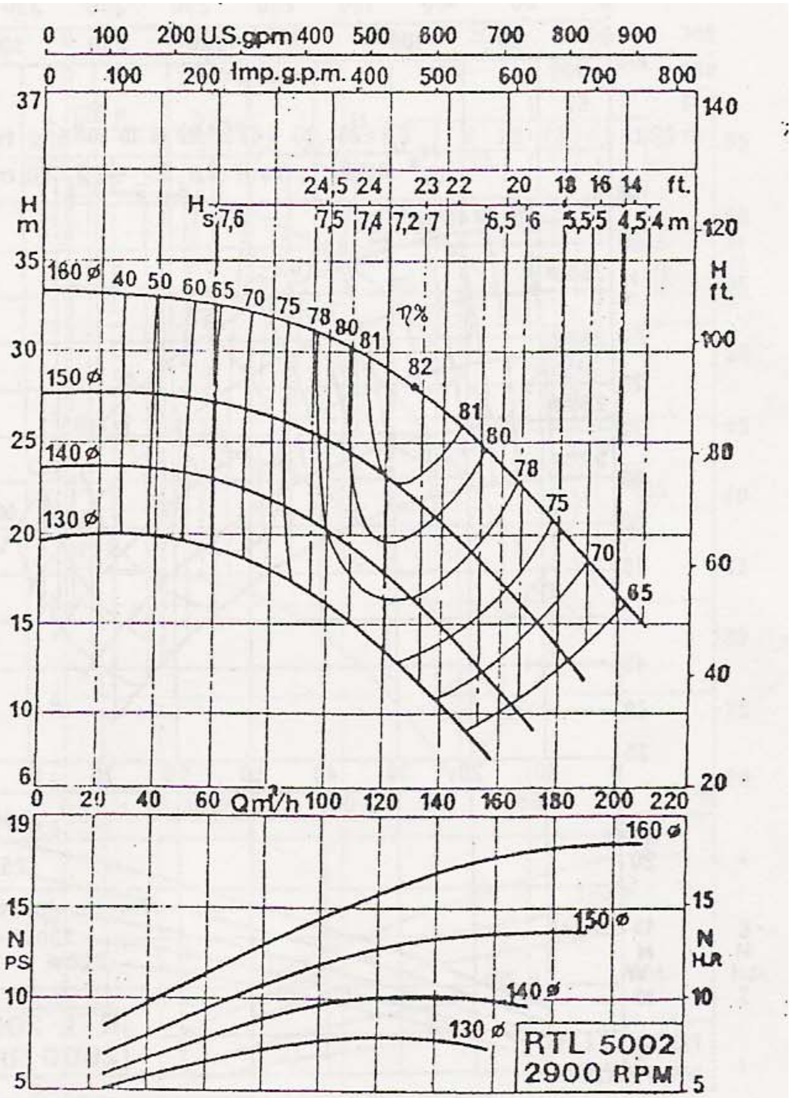
SELECCIÓN DE BOMBAS

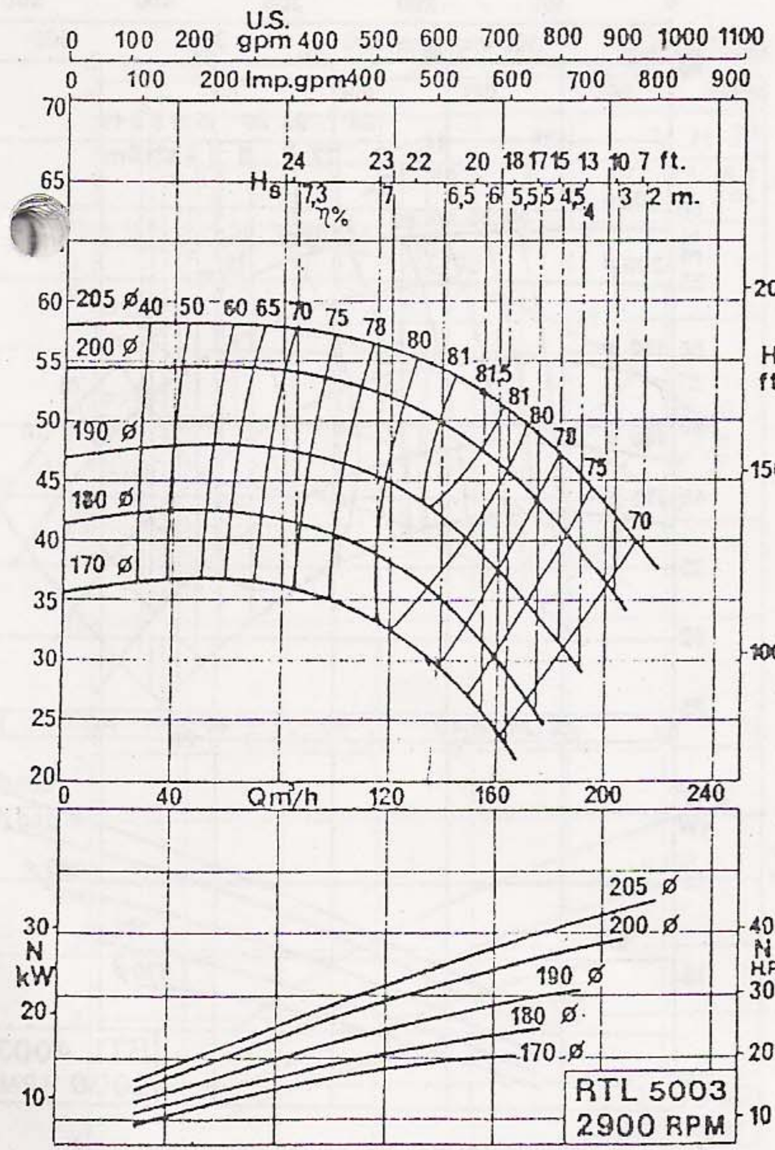


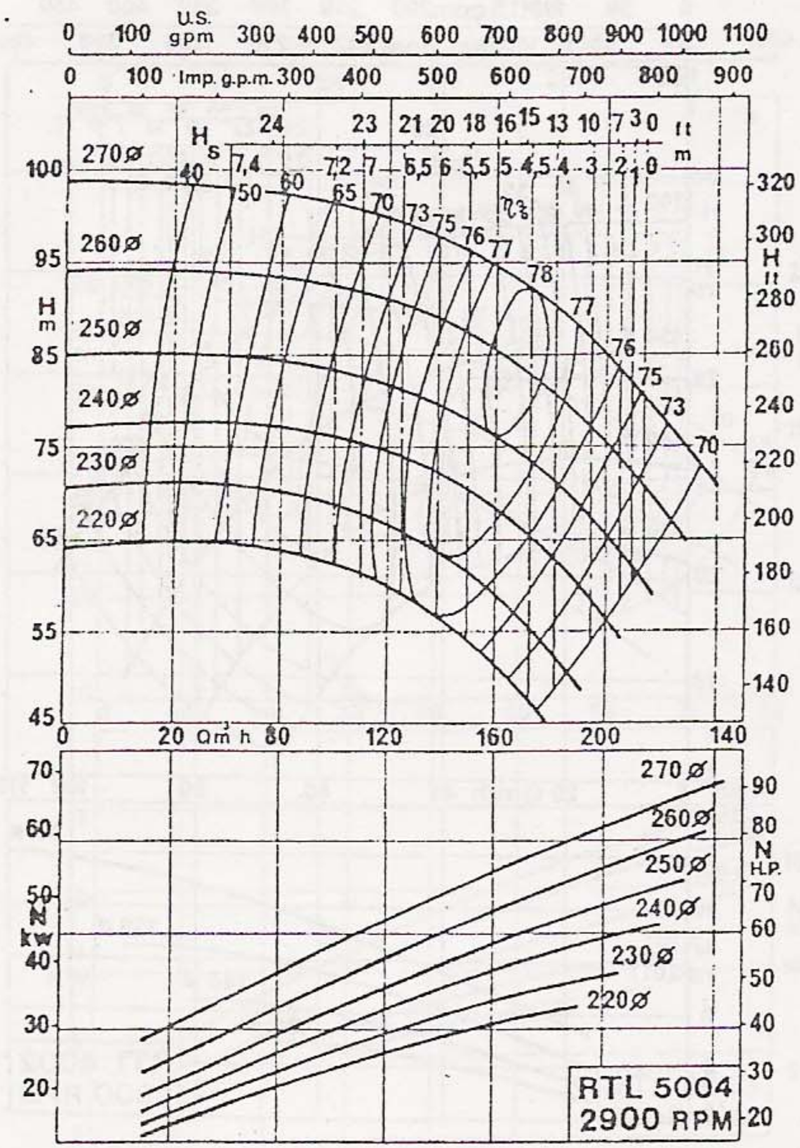


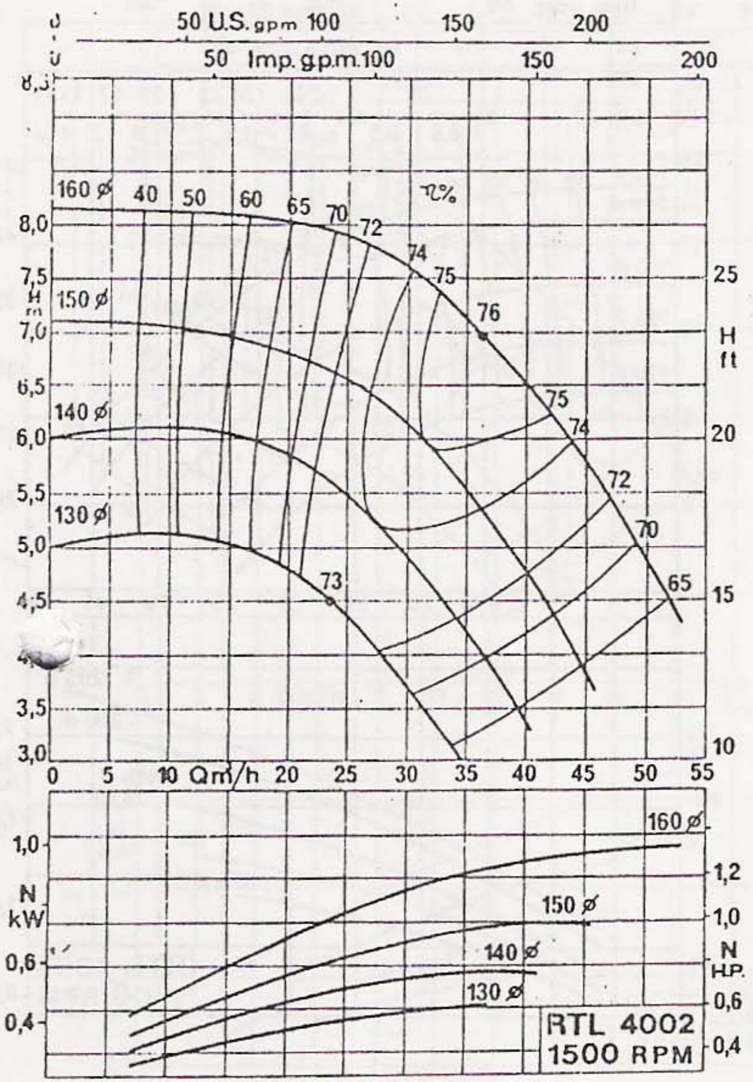
1400 - 1460 RPM.
ALTURA MANOMETRICA TOTAL
Hm
30
20
15
10
8
6
5
4
3
2
1,5
2004
3004
4004
1003
3003
4003
2003
5003
1002
3002
2002
4002
5002
6002
2001
1001
3001
4001
2001
3
4
5
6
8
10
Q m3/h
15
20
30
40
50
60
80
100
200
CAPACIDAD m3/h


U.S. gpm
Imp. g.p.m.
H_s ft m
η%
H m
H ft
Q m³/h
N kw
N H.P.
270 Ø
260 Ø
250 Ø
240 Ø
230 Ø
220 Ø
RTL 4004
2900 RPM

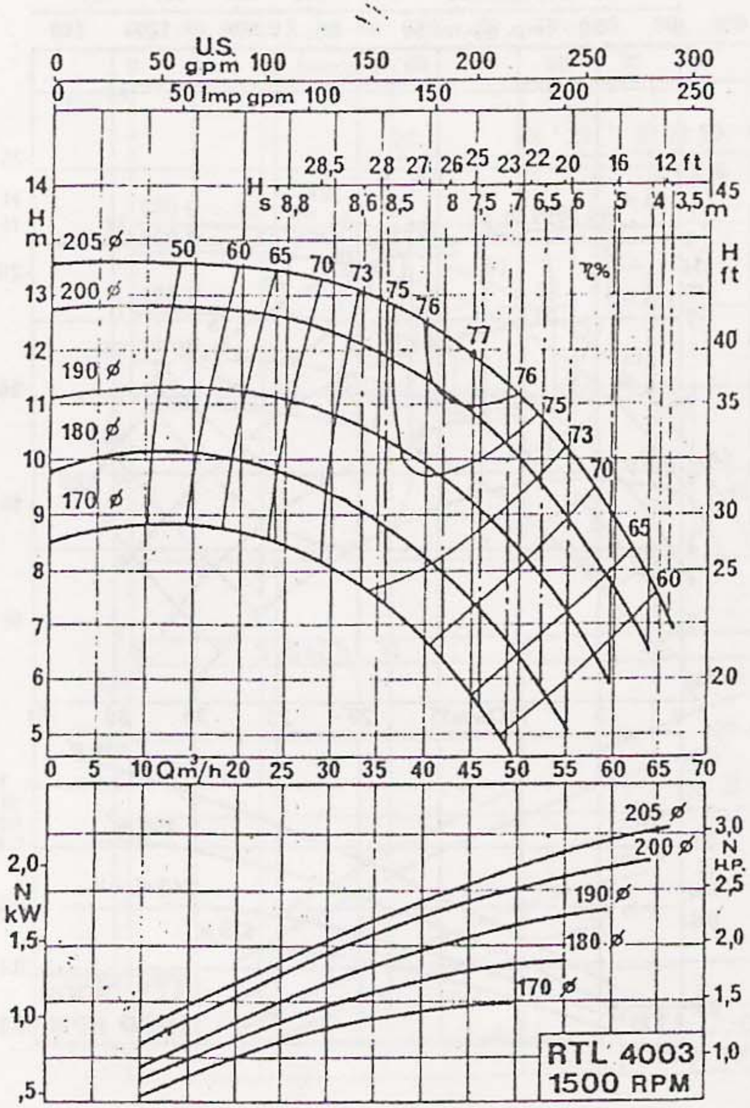

U.S.gpm
Imp.g.p.m.
H_s ft. m
η%
H m
H ft.
Q m³/h
N PS
N H.P.
160 Ø
150 Ø
140 Ø
130 Ø
RTL 5002
2900 RPM


U.S. gpm
Imp.gpm
Hs
η%
ft.
m.
H ft.
205 ø
200 ø
190 ø
180 ø
170 ø
Qm³/h
N kW
N H.P.
RTL 5003
2900 RPM

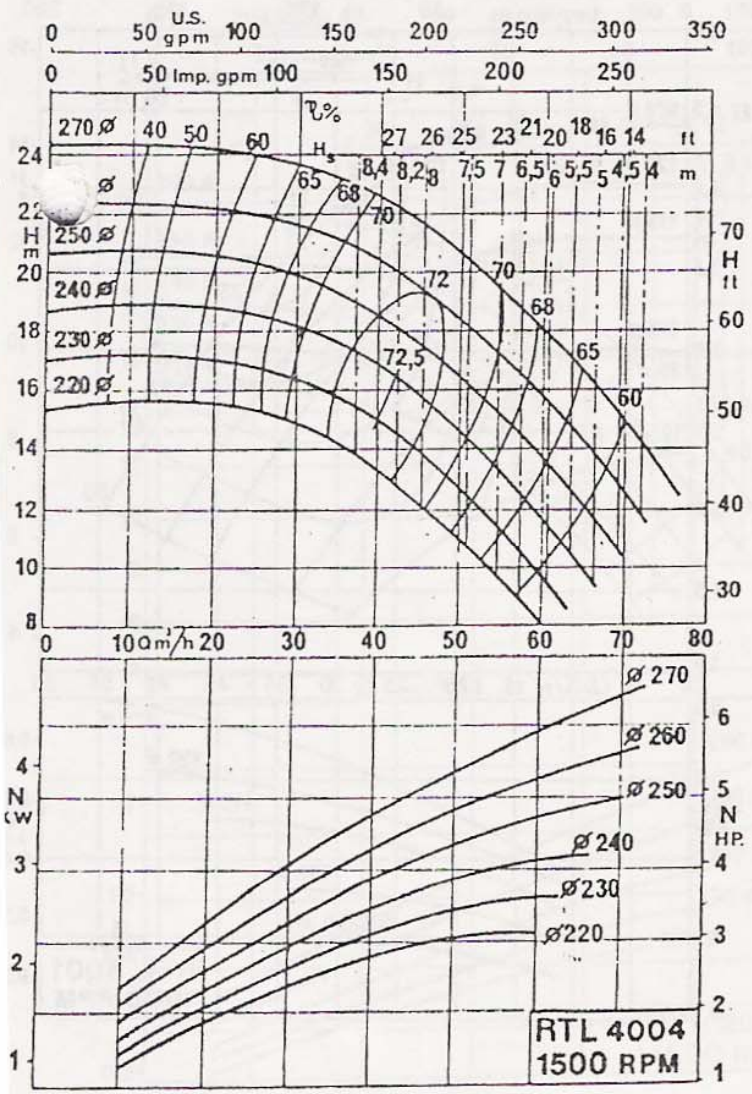

U.S. gpm
Imp. g.p.m.
Hs
ηs
ft
m
H m
H ft
270ø
260ø
250ø
240ø
230ø
220ø
Qm³h
N kw
N H.P.
RTL 5004
2900 RPM



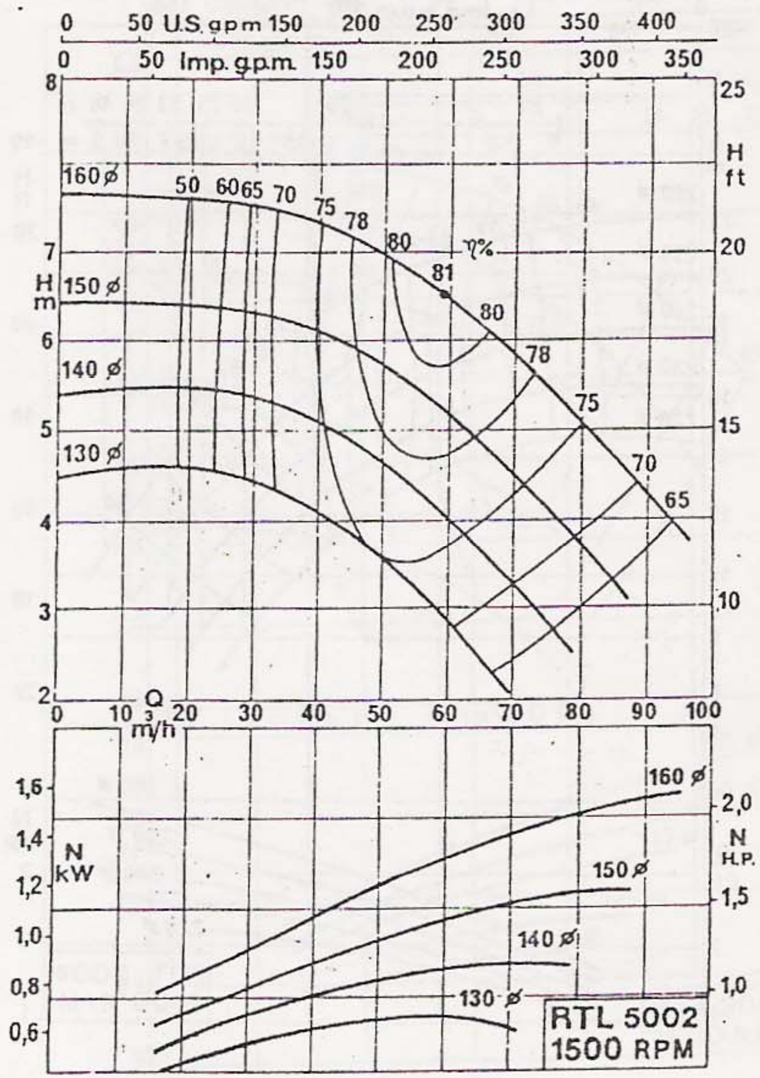
50 U.S. gpm 100 150 200
50 Imp. g.p.m. 100 150 200
160 ø
150 ø
140 ø
130 ø
η%
H m
H ft
Q m³/h
N kW
N H.P.
160 ø
150 ø
140 ø
130 ø
RTL 4002
1500 RPM



U.S. gpm
Imp gpm
H m
H ft
Hs
η%
205 ø
200 ø
190 ø
180 ø
170 ø
Q m³/h
N kW
N H.P.
205 ø
200 ø
190 ø
180 ø
170 ø
RTL 4003
1500 RPM



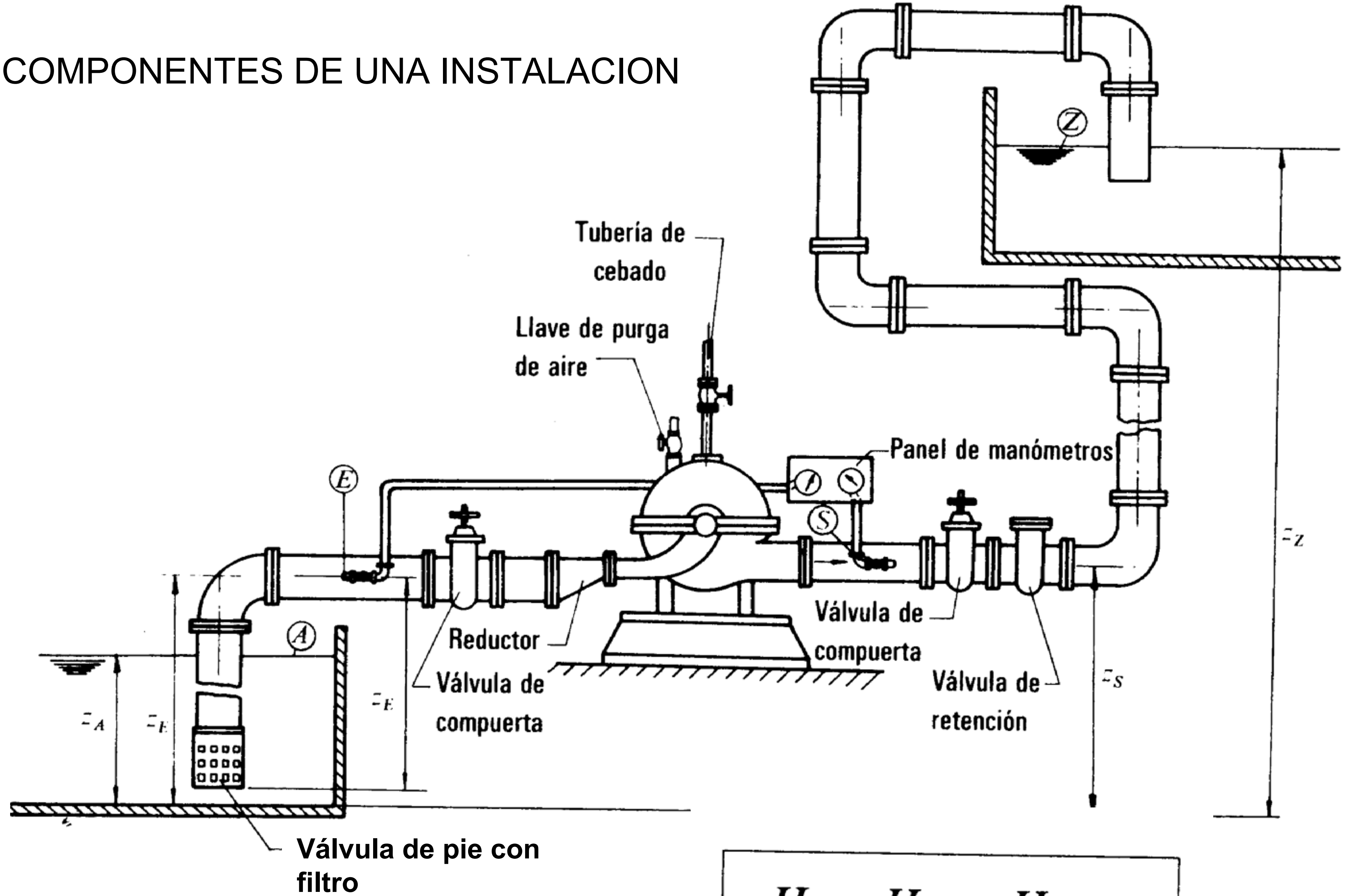
U.S. gpm
Imp. gpm
270 Ø
250 Ø
240 Ø
230 Ø
220 Ø
η%
H_s
ft
m
H m
H ft
Q m³/h
N kW
N H.P.
Ø 270
Ø 260
Ø 250
Ø 240
Ø 230
Ø 220
RTL 4004
1500 RPM



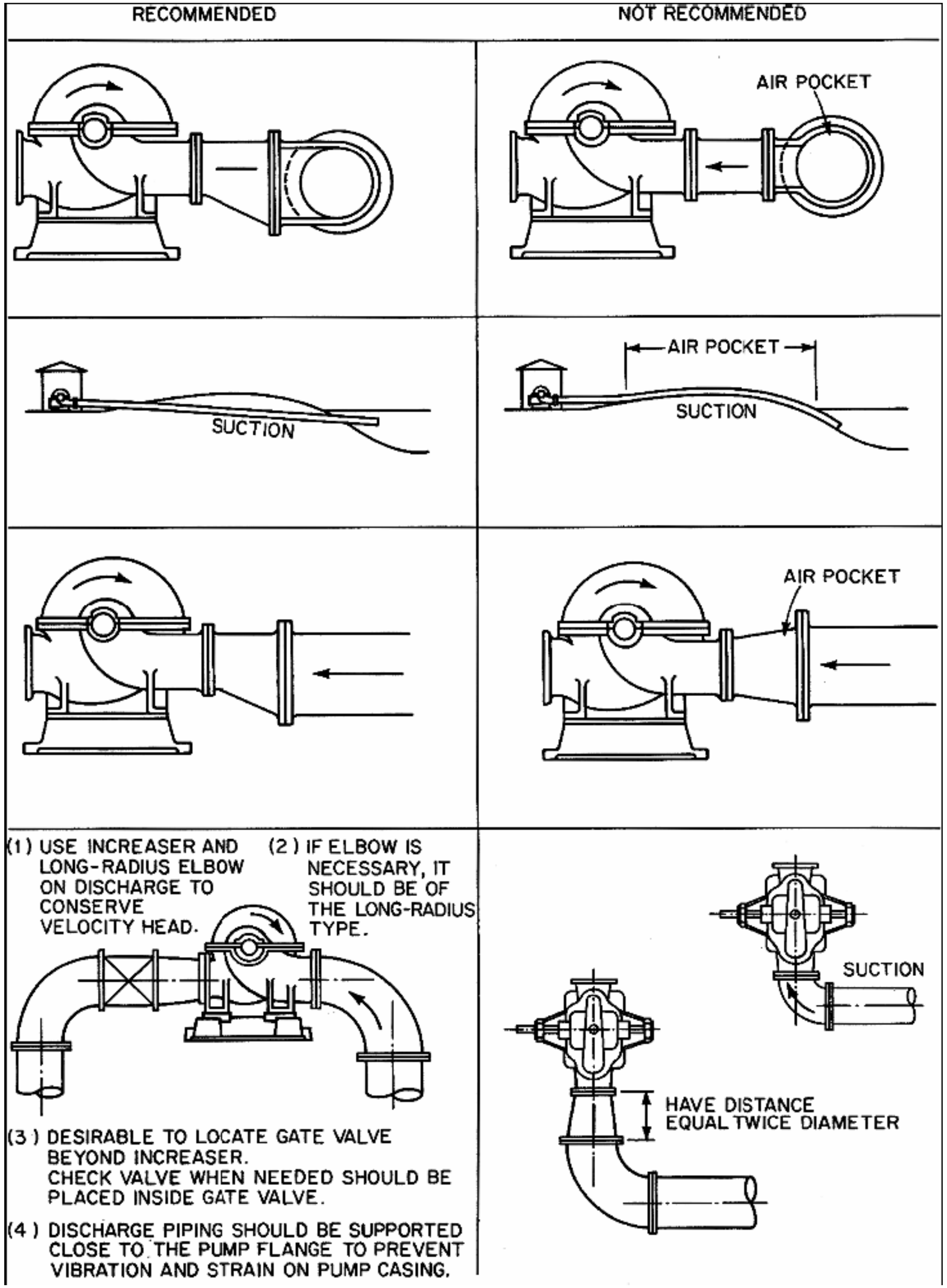
U.S. gpm
Imp. g.p.m.
160 Ø
150 Ø
140 Ø
130 Ø
η%
H m
H ft
Q m³/h
N kW
N H.P.
160 Ø
150 Ø
140 Ø
130 Ø
RTL 5002
1500 RPM

ALTURA DE ELEVACION DE LA BOMBA

COMPONENTES DE UNA INSTALACION



$$H = H_u - H_{r-\text{int}}$$


RECOMMENDED
NOT RECOMMENDED
AIR POCKET
AIR POCKET
SUCTION
SUCTION
AIR POCKET
(1) USE INCREASER AND LONG-RADIUS ELBOW ON DISCHARGE TO CONSERVE VELOCITY HEAD.
(2) IF ELBOW IS NECESSARY, IT SHOULD BE OF THE LONG-RADIUS TYPE.
(3) DESIRABLE TO LOCATE GATE VALVE BEYOND INCREASER. CHECK VALVE WHEN NEEDED SHOULD BE PLACED INSIDE GATE VALVE.
(4) DISCHARGE PIPING SHOULD BE SUPPORTED CLOSE TO THE PUMP FLANGE TO PREVENT VIBRATION AND STRAIN ON PUMP CASING.
SUCTION
HAVE DISTANCE EQUAL TWICE DIAMETER

$$\frac{p_E}{\rho g} + z_E + \frac{v_E^2}{2g} + H = \frac{p_S}{\rho g} + z_S + \frac{v_S^2}{2g}$$

$$H = \left(\frac{p_S}{\rho g} + z_S + \frac{v_S^2}{2g}\right) - \left(\frac{p_E}{\rho g} + z_E + \frac{v_E^2}{2g}\right)$$

PRIMERA EXPRESION DE LA ALTURA UTIL

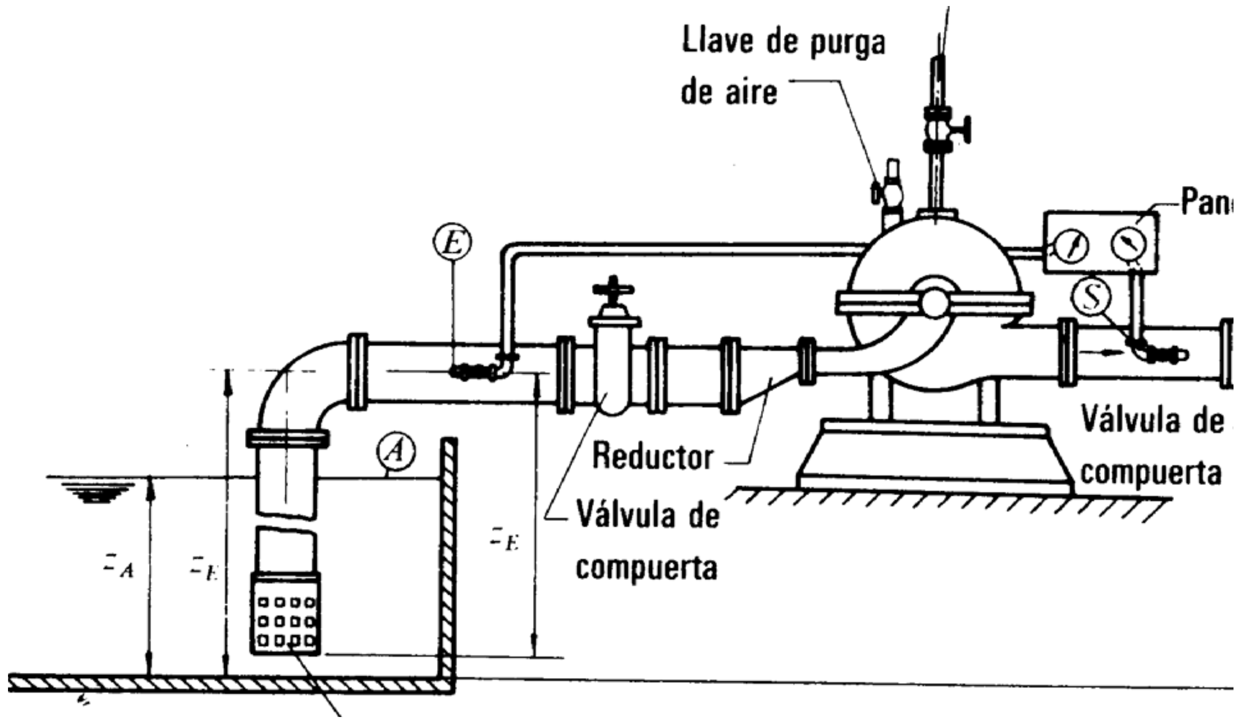
$$\boxed{H = \frac{p_S - p_E}{\rho g} + z_S - z_E + \frac{v_S^2 - v_E^2}{2g}}$$

$$\frac{p_A}{\rho g} + z_A + \frac{v_A^2}{2g} - H_{r-\text{ext}} + H = \frac{p_Z}{\rho g} + z_z + \frac{v_Z^2}{2g}$$

SEGUNDA EXPRESION DE LA ALTURA UTIL

$$\boxed{H = \frac{p_Z - p_A}{\rho g} + z_Z - z_A + H_{ra} + H_{ri} + \frac{v_t^2}{2g}}$$

CAVITACION



Válvula de pie con filtro

$$\frac{p_A}{\rho g} + z_A - H_{r\,A-E} = \frac{p_E}{\rho g} + z_E + \frac{c_E^2}{2g}$$

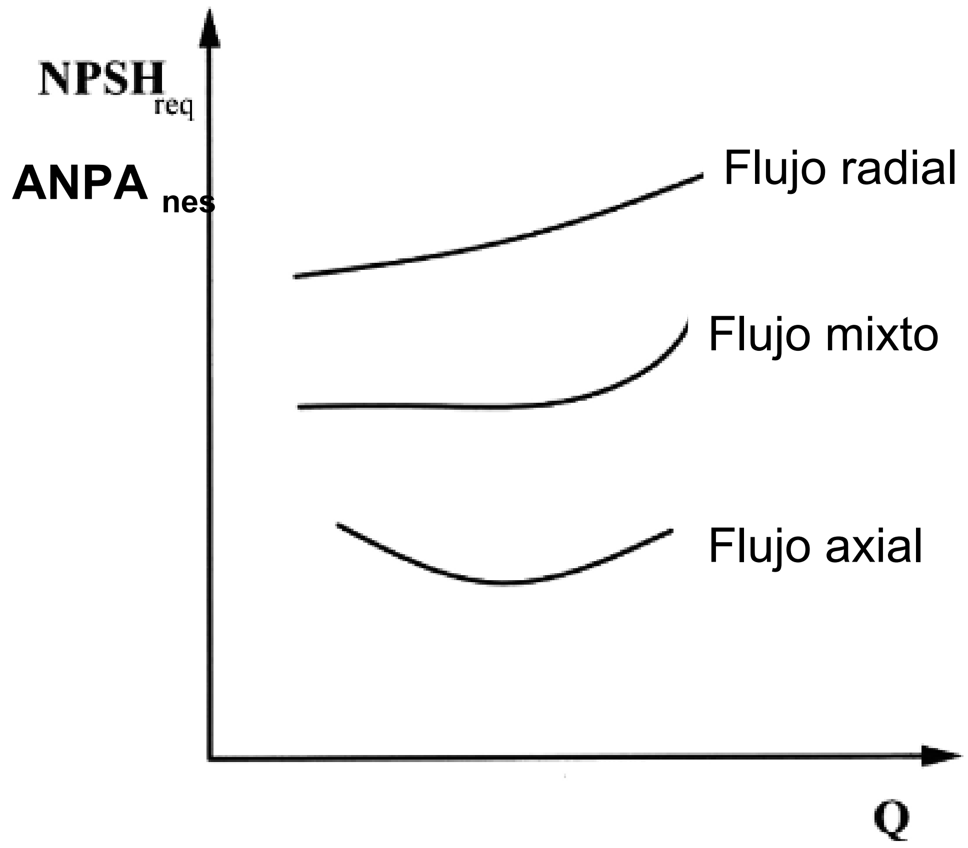
$$\frac{p_A}{\rho g} - H_s - H_{r\,A-E} = \frac{p_E}{\rho g} + \frac{c_E^2}{2g}$$

CAVITACION

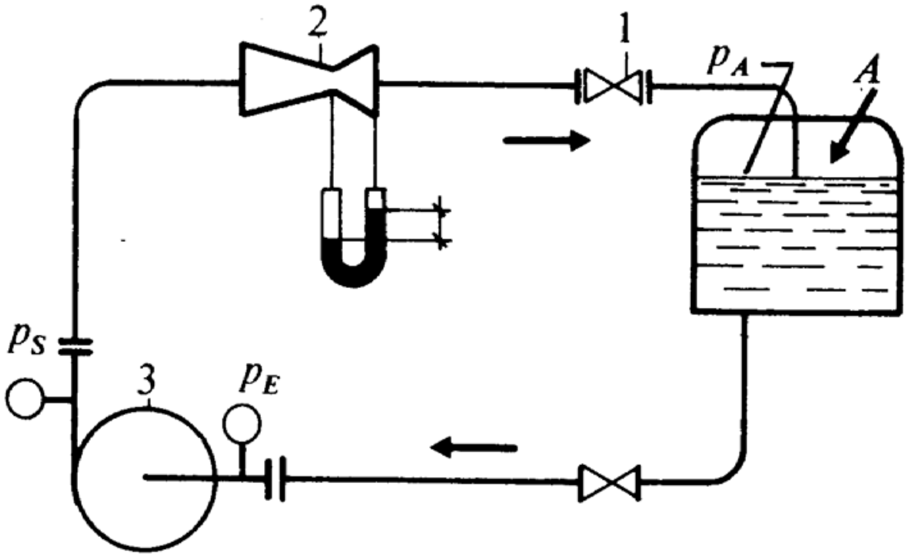
$$H_{Ed} = \frac{p_E - p_s}{\rho g} + \frac{c_E^2}{2g}$$

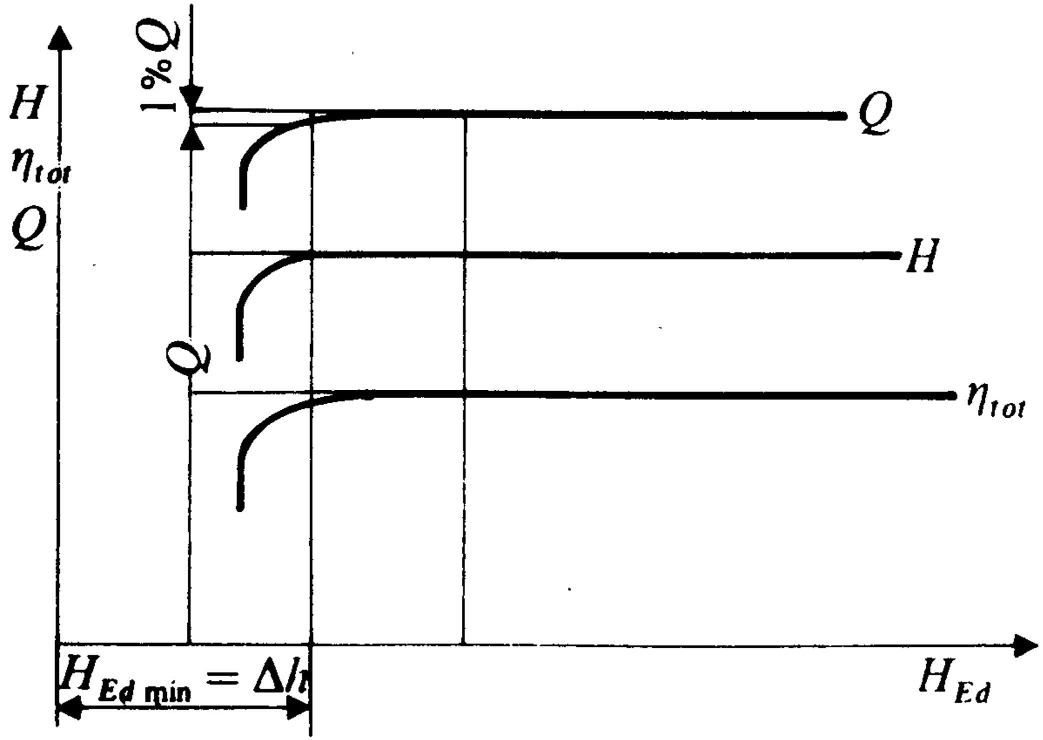
$$H_{Ed} = \frac{p_A - p_s}{\rho g} - H_s - H_{rA-E}$$

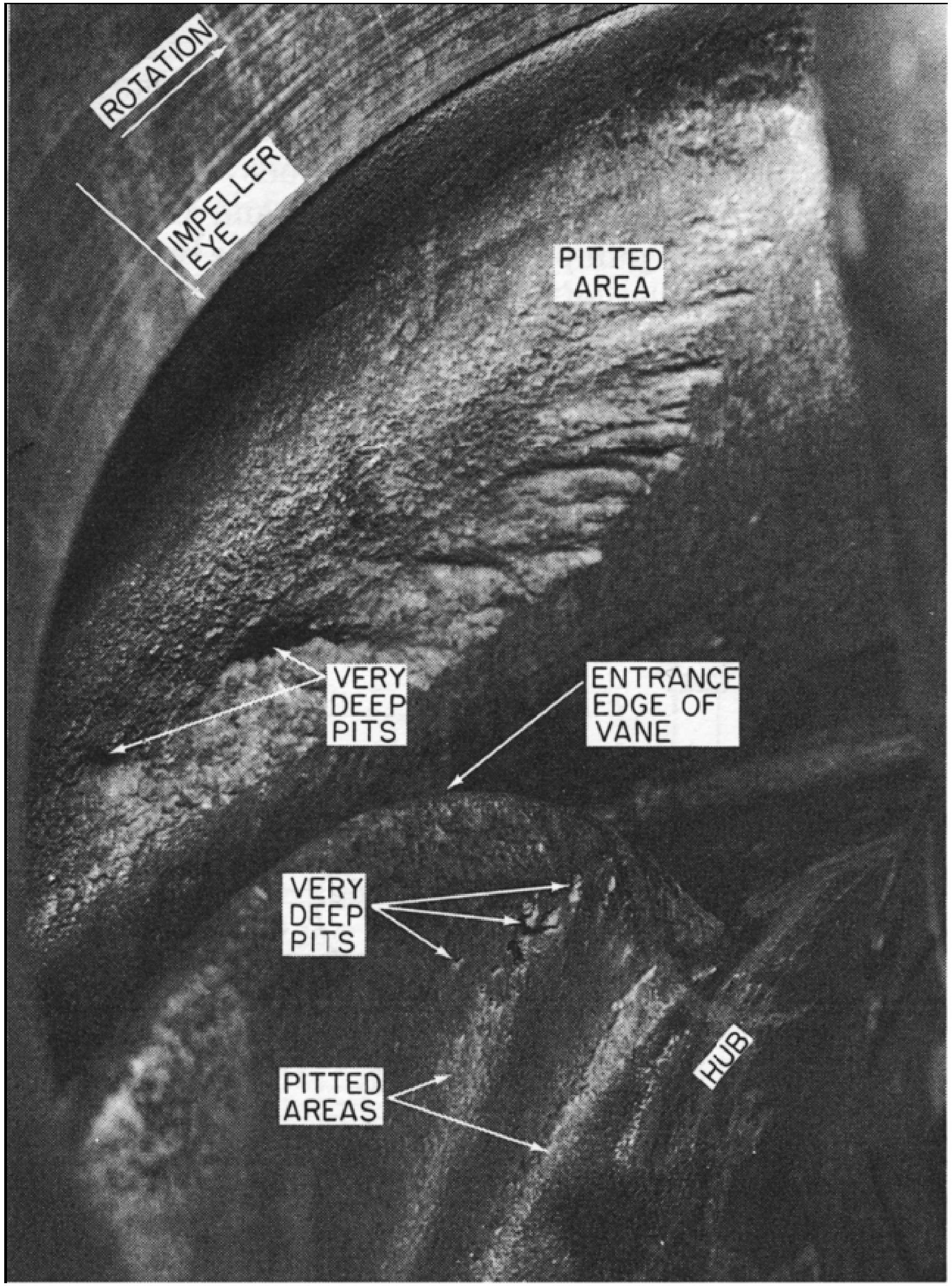
$$H_{s\,max} = \frac{p_A - p_s}{\rho g} - H_{r\,A-E} - \Delta h$$

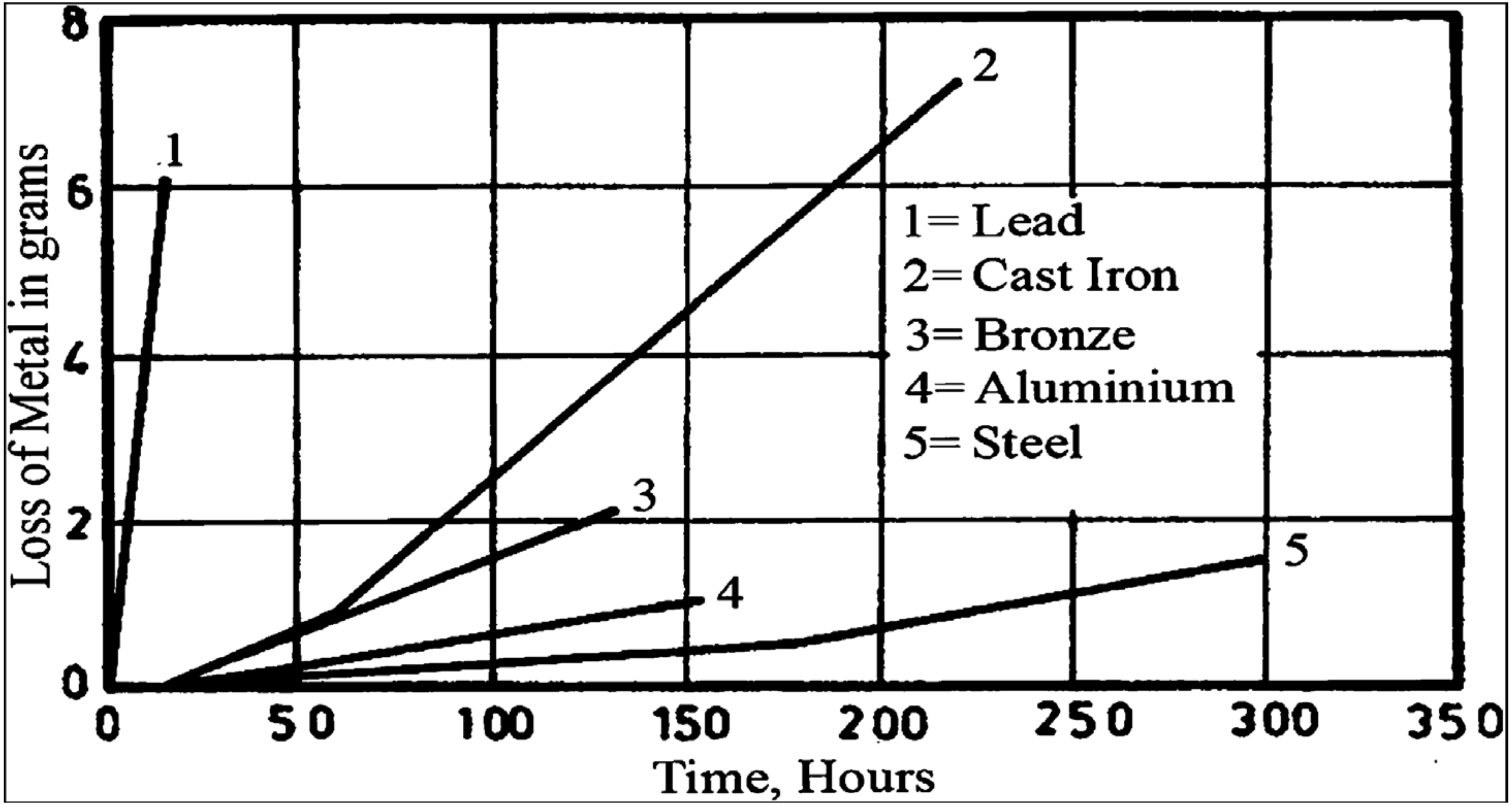


$$ANPA_{nes} = \Delta h = H_{Ed\,min} = \left(\frac{p_A - p_s}{\rho g} - H_s - H_{rA-E}\right)_{min}$$

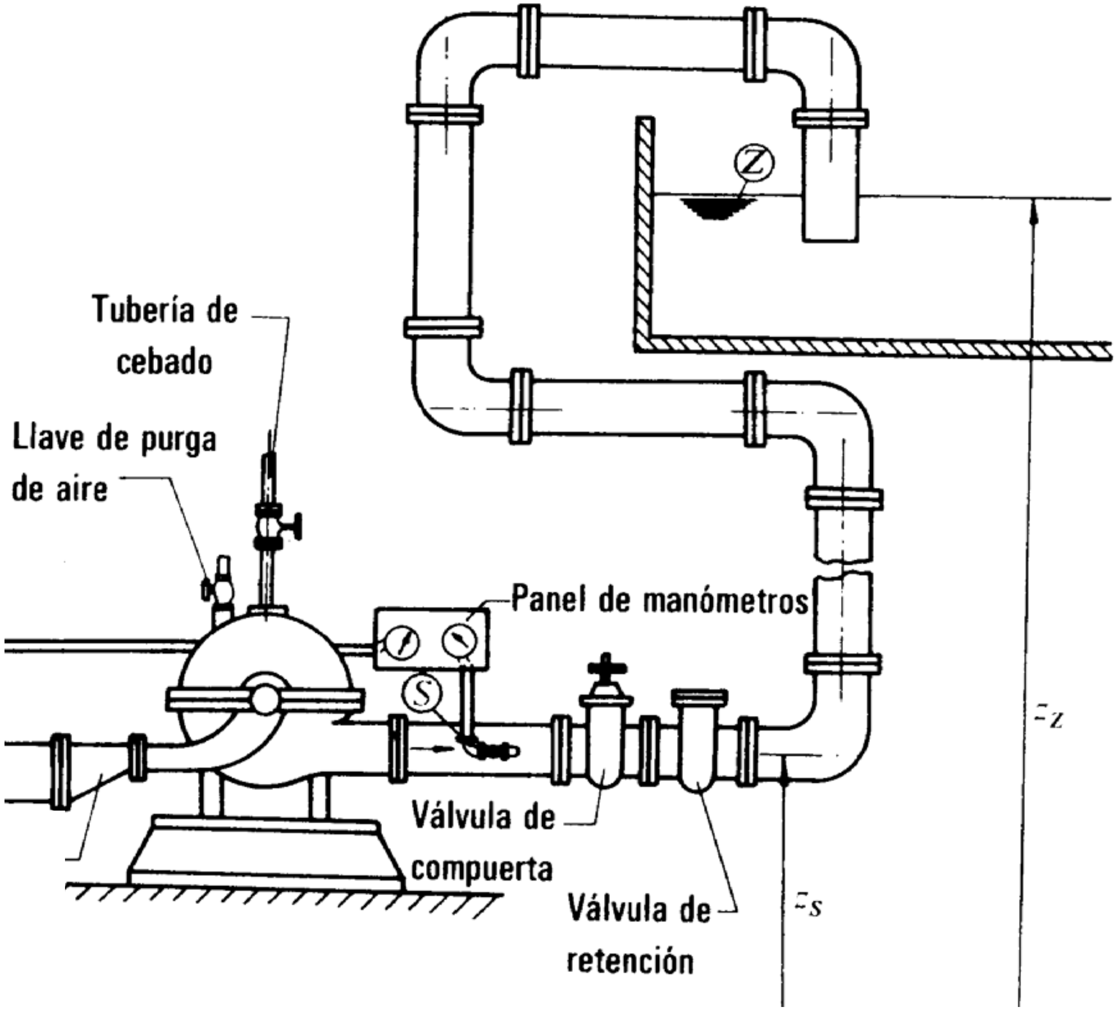

2
1
p_A
A
p_S
3
p_E


H
η_{tot}
Q
1%Q
Q
H
Q
η_{tot}
$H_{Ed\,min} = \Delta h$
H_{Ed}


ROTATION
IMPELLER EYE
PITTED AREA
VERY DEEP PITS
ENTRANCE EDGE OF VANE
VERY DEEP PITS
HUB
PITTED AREAS


Loss of Metal in grams
8
6
4
2
0
0
50
100
150
200
250
300
350
Time, Hours
1
2
3
4
5
1= Lead
2= Cast Iron
3= Bronze
4= Aluminium
5= Steel

GOLPE DE ARIETE

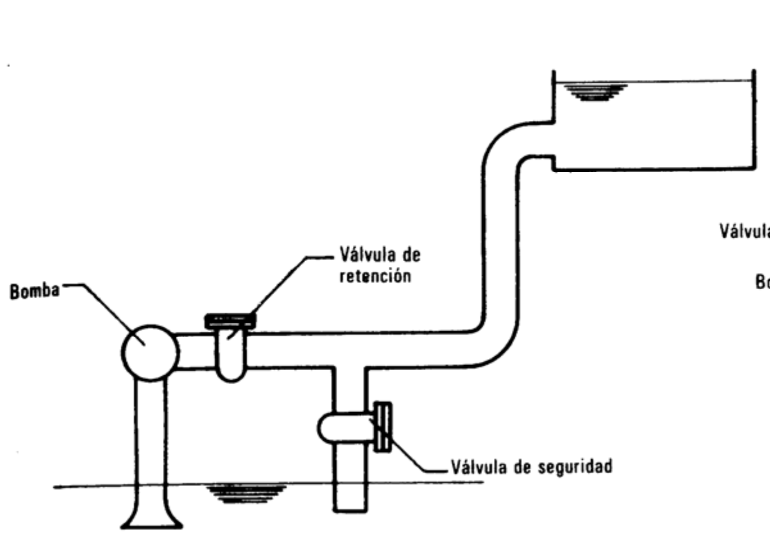


El golpe de ariete puede producirse

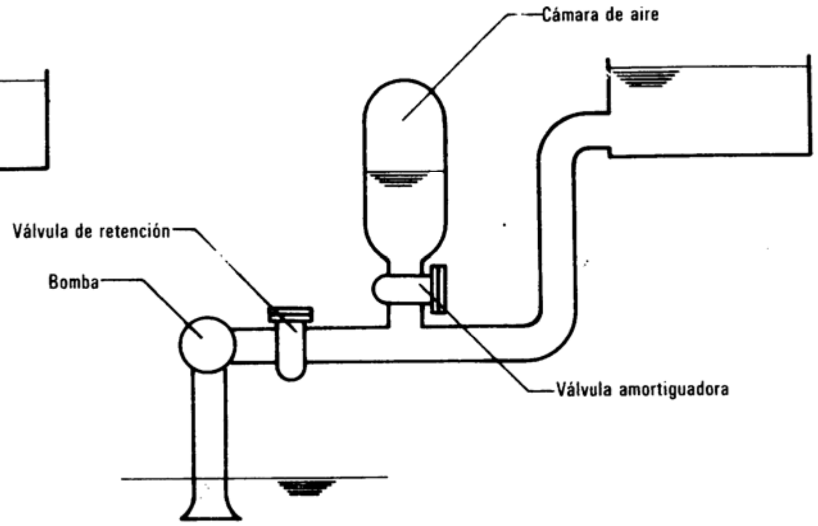
— si se para el motor de la bomba sin cerrar previamente la válvula de impulsión;
— si hay un corte imprevisto de corriente, en el funcionamiento de la bomba.

COMO EVITARLO

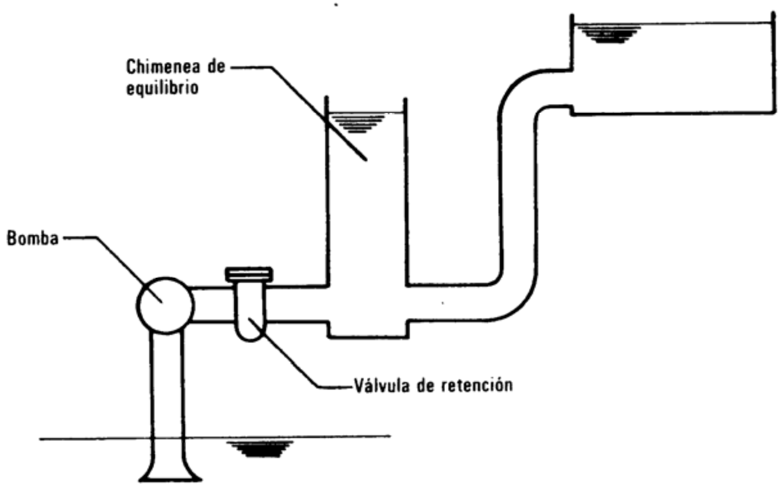
— *cerrar lentamente la válvula de impulsión;*
— escoger el *diámetro de la tubería de impulsión grande*, para que la velocidad en la tubería sea pequeña;
— instalar la bomba con un *volante* que en caso de corte de la corriente reduzca lentamente la velocidad del motor y por consiguiente la velocidad del agua en la tubería;
— *inyectar aire con un compresor* para producir un muelle elástico durante la sobrepresión;
— utilizar uno de los esquemas de la Fig. 19-31 *a*, *b*, *c*.


Bomba
Válvula de
retención
Válvula de seguridad

(*a*)


Cámara de aire
Válvula de retención
Bomba
Válvula amortiguadora

(*b*)


Chimenea de
equilibrio
Bomba
Válvula de retención

(*c*)