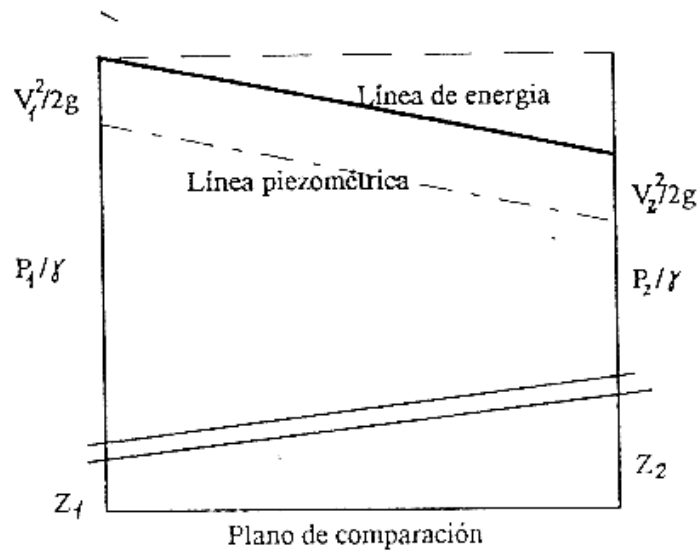




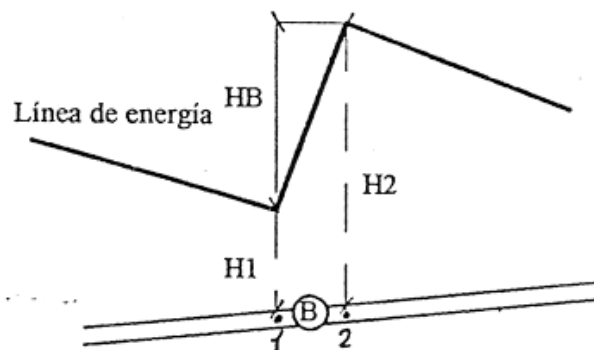
VIII. BOMBAS HIDRÁULICAS

DEFINICIÓN: SON MÁQUINAS HIDRÁULICAS QUE TRANSFORMAN LA ENERGÍA MECÁNICA SUMINISTRADA POR UN MOTOR EN ENERGÍA HIDRÁULICA, INCREMENTANDO LA ENERGÍA DE LA CORRIENTE DONDE SE INTERCALAN.



REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA ENERGÍA DE UNA CORRIENTE
ECUACIÓN DE BERNOULLI

$$Z_1 + P_1/\gamma + V_1^2/2g = Z_2 + P_2/\gamma + V_2^2/2g + h_{1-2}$$
$$H_1 = H_2 + h_{1-2}$$

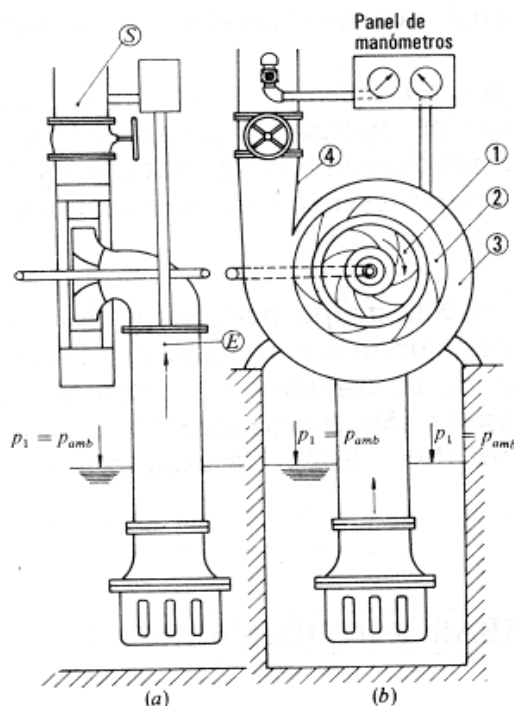


ENERGÍA ESPECÍFICA SUMINISTRADA POR LA BOMBA $H_B = H_2 - H_1$



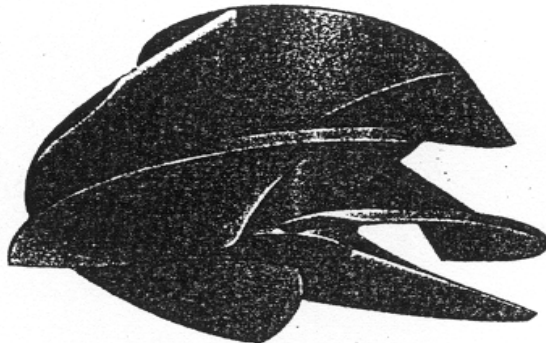
$H_B = (Z_2 - Z_1) + (P_2/\gamma - P_1/\gamma) + (V_2^2/2g - V_1^2/2g) \Rightarrow H_B = (P_2/\gamma - P_1/\gamma)$
EN FUNCIÓN DEL MOVIMIENTO DEL ELEMENTO IMPULSOR, LAS BOMBAS SE CLASIFICAN EN:

- 1. BOMBAS ROTODINÁMICAS:** BOMBAS DE MOVIMIENTO ROTATIVO EN LAS QUE EL ELEMENTO IMPULSOR (RODETE) TRANSFORMA LA ENERGÍA MECÁNICA PRINCIPALMENTE EN ENERGÍA HIDRÁULICA, DE PRESIÓN Y CINÉTICA.

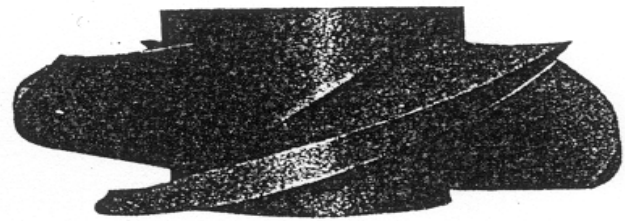


1. REDETE
2. CORONA DIRECTRIZ O DIFUSOR
3. CAJA ESPIRAL O VOLUTA
4. TUBO DIFUSOR TRONCOCÓNICO

- 1.1. FLUJO RADIAL.** EL LÍQUIDO SALE PERPENDICULAR AL EJE DE GIRO.
- 1.2. FLUJO MIXTO Ó HELICOIDALES.** EL LÍQUIDO SIGUE UN MOVIMIENTO HELICOIDAL EN EL RODETE.
- 1.3. FLUJO AXIAL Ó HÉLICE.** EL LIQUIDO SALE PARALELO AL EJE DE GIRO.

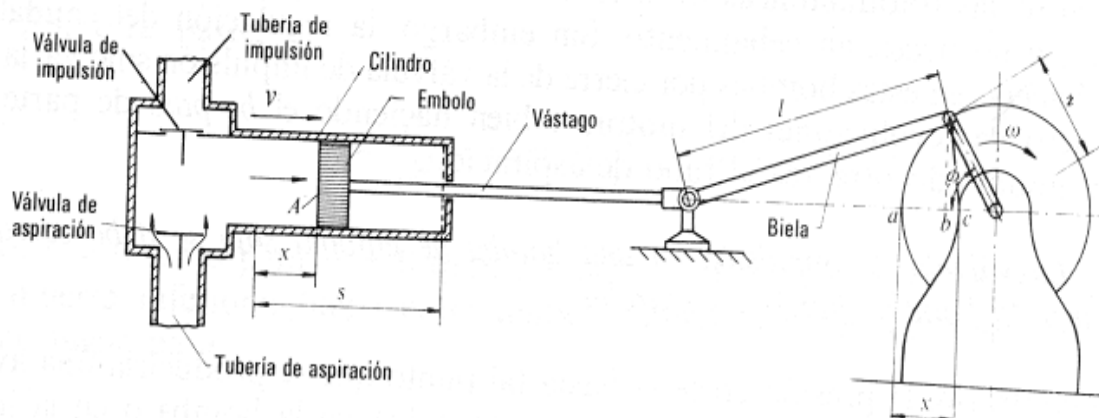


HELICOIDAL (VH)

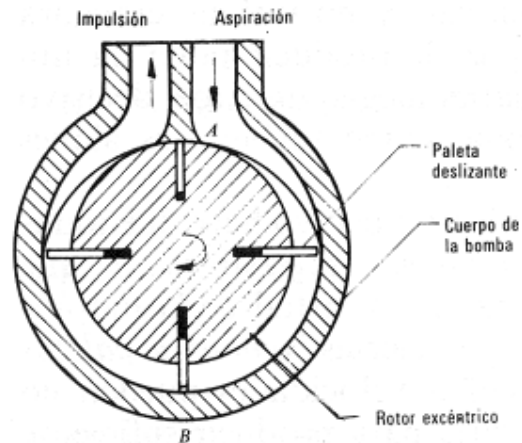


HELICE (VA)

2. **BOMBAS VOLUMÉTRICAS O DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO:** EL ELEMENTO IMPULSOR TIENE UN MOVIMIENTO RECTILINEO ALTERNATIVO (EMBOLO MEMBRANA) O ROTATIVO (ENGRANAJES, PALETAS). TRABAJAN BASÁNDOSE EN EL PRINCIPIO DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO SEGÚN EL CUAL SE IMPULSA EL FLUIDO POR DISMINUCIÓN DE VOLUMEN DE LA CÁMARA QUE LO CONTIENE. EL VOLUMEN IMPULSADO ES INDEPENDIENTE DE LA ALTURA DE ELEVACIÓN.

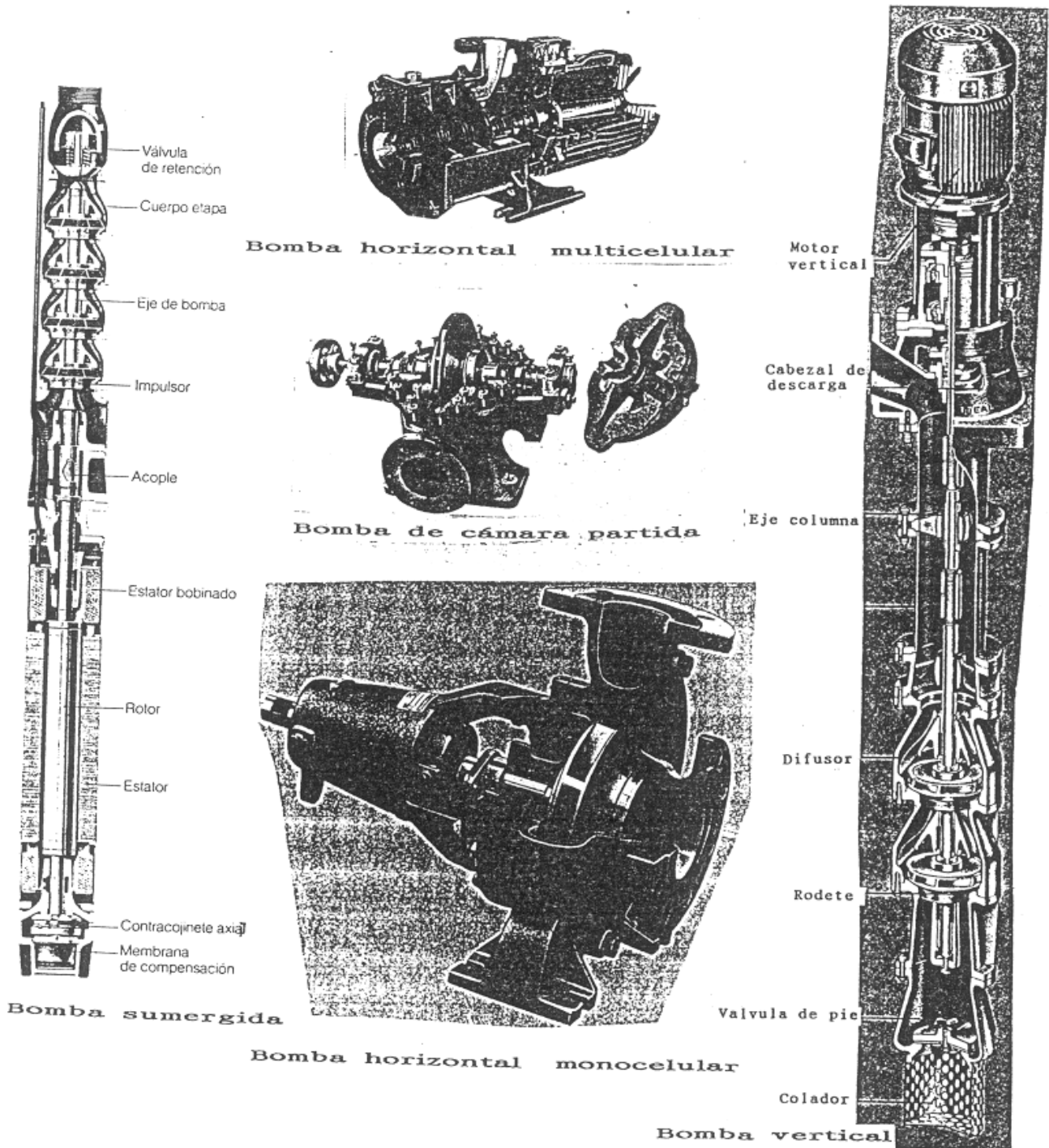


3. **BOMBAS GRAVIMÉTRICAS:** TRANSFORMAN LA ENERGÍA MECÁNICA EN ENERGÍA DE POSICIÓN (NORIAS).



LAS BOMBAS TAMBIEN SE CLASIFICAN:

- **SEGÚN LA POSICIÓN DEL EJE:** HORIZONTALES, VERTICALES Y DE EJE INCLINADO
- **SEGÚN EL NÚMERO DE RODETES:** SIMPLES Y MÚLTIPLES
- **SEGÚN LA PRESIÓN ENGENDRADA:** BAJA PRESIÓN , MEDIA PRESIÓN Y ALTA PRESIÓN



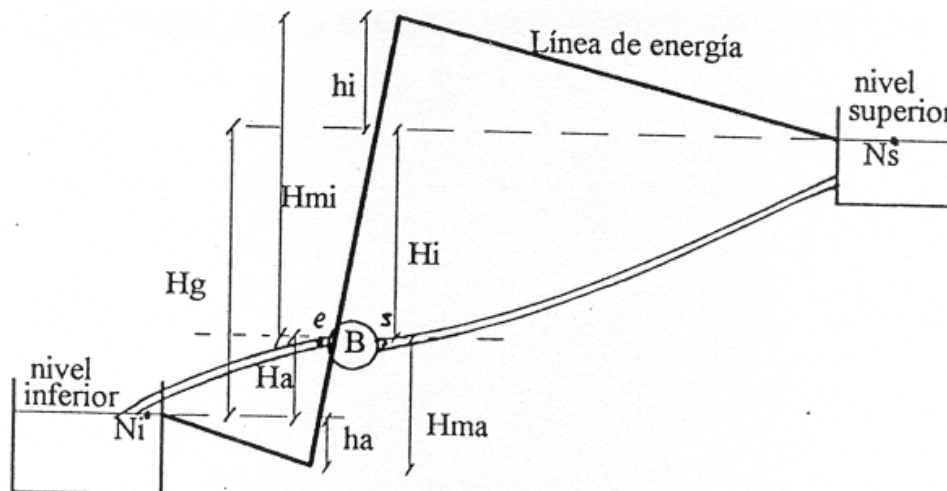
ALTURA MANOMÉTRICA Y GEOMÉTRICA DE ELEVACIÓN



ALTURA GEOMÉTRICA DE ASPIRACIÓN (H_a): ES LA DIFERENCIA DE COTA ENTRE EL EJE DE LA BOMBA Y EL NIVEL DEL DEPÓSITO DEL QUE TOMA (N_i). LA TUBERÍA QUE UNE ESTOS PUNTOS SE LLAMA TUBERÍA DE ASPIRACIÓN.

ALTURA GEOMÉTRICA DE IMPULSIÓN (H_i): ES LA DIFERENCIA DE COTA ENTRE EL NIVEL DEL DEPÓSITO AL QUE SE BOMBEA (N_s) Y EL EJE DE LA BOMBA.

ALTURA GEOMÉTRICA DE ELEVACIÓN (H_g): $H_g = H_a + H_i$



BERNOUILLI ENTE $N_i - e$ TOMANDO COMO PLANO DE COMPARACIÓN EL QUE PASA POR EL EJE DE LA BOMBA

$$P_e/\gamma + V_a^2/2g = -H_a - h_a \Rightarrow \text{ENERGÍA ESPECÍFICA A LA ENTRADA DE LA BOMBA}$$

BERNOUILLI ENTE $S - N_s$ TOMANDO COMO PLANO DE COMPARACIÓN EL QUE PASA POR EL EJE DE LA BOMBA

$$P_s/\gamma + V_i^2/2g = H_i + h_i \Rightarrow \text{ENERGÍA ESPECÍFICA A LA SALIDA DE LA BOMBA}$$

ENERGÍA ESPECÍFICA SUMINISTRADA POR LA BOMBA (H_B):

$$H_B = H_i + h_i + H_a + h_a = H_{mi} + H_{ma} = H = H_g + h_i + h_a$$

H_{ma} ALTURA MANOMÉTRICA DE ASPIRACIÓN

H_{mi} ALTURA MANOMÉTRICA DE IMPULSIÓN



H ALTURA MANOMÉTRICA O TOTAL DE ELEVACIÓN POTENCIAS Y RENDIMIENTOS DE LA BOMBA Y DEL MOTOR

POTENCIA ÚTIL O POTENCIA DESARROLLADA POR LA BOMBA (N_u): ENERGIA SUMINISTRADA POR LA BOMBA A LA CORRIENTE LÍQUIDA EN LA UNIDAD DE TIEMPO.

$$N_u = \gamma \text{ (N/m}^3\text{)} \cdot Q \text{ (m}^3\text{/s)} \cdot H \text{ (m)} \quad \text{Wattios}$$

$$N_u = \gamma \text{ (kgf/m}^3\text{)} \cdot Q \text{ (m}^3\text{/s)} \cdot H \text{ (m)} \quad \text{kgm/s}$$

$$N_u = \gamma \text{ (kgf/m}^3\text{)} \cdot Q \text{ (m}^3\text{/s)} \cdot H \text{ (m)} / 75 \quad \text{CV}$$

$$N_u = 0.00981 \cdot \gamma \text{ (kgf/m}^3\text{)} \cdot Q \text{ (m}^3\text{/s)} \cdot H \text{ (m)} \quad \text{Kw}$$

RENDIMIENTO DE LA BOMBA (η_b): RELACIÓN ENTRE LA POTENCIA DESARROLLADA POR LA BOMBA Y LA ABSORBIDA N (POTENCIA EN EL EJE DE LA BOMBA).

$$\eta_b = N_u / N \quad N = (\gamma Q H) / \eta_b$$

POTENCIA CONSUMIDA POR EL MOTOR ELÉCTRICO (N_m):

$$N_m = (\gamma Q H) / \eta_b \eta_m = (\gamma Q H) / \eta_g$$

η_m RENDIMIENTO DEL MOTOR ELECTRICO

$\eta_g = \eta_b \eta_m$ RENDIMIENTO DEL GRUPO MOTOBOMBA

POTENCIA RECOMENDADA PARA EL MOTOR ELÉCTRICO

MOTORES DE 1 A 5 CV: $N/0.7$

MOTORES DE 5 A 10 CV: $N/0.8$

MOTORES DE 10 A 25 CV: $N/0.85$

MOTORES > 25 CV: $N/0.9$

PERDIDAS DE ENERGÍA DE UNA BOMBA CENTRÍFUGA

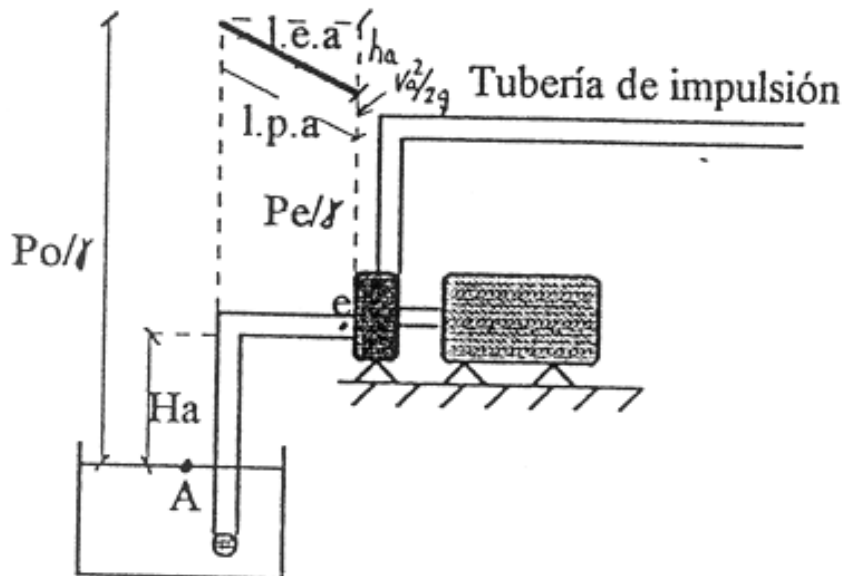
$$\eta_b = \eta_h \eta_v \eta_m$$



η_h PERDIDAD HIDRÁULICAS
 η_v PERDIDAS VOLUMÉTRICAS
 η_m PERDIDAS MECÁNICAS



ALTURA DE ASPIRACIÓN DE LA BOMBA. FACTOR NPSH. CONDICIÓN DE FUNCIONAMIENTO SIN CAVITACIÓN.



TRABAJANDO CON PRESIONES ABSOLUTAS SE APLICA BERNOUILLI ENTRE A-e.

$$P_0/\gamma = H_a + P_e/\gamma + V_a^2/2g + h_a$$

$$P_e/\gamma + V_a^2/2g = P_0/\gamma - h_a - H_a \text{ ENERGÍA ESP. ABS. ENTRADA BOMBA}$$

PARA QUE NO SE PRODUZCA **CAVITACIÓN** DEBE CUMPLIRSE QUE LA PRESIÓN ABSOLUTA EN EL PUNTO MÁS DESFAVORABLE DE LA TUBERÍA DE ASPIRACIÓN (PUNTO e) SEA SUPERIOR A LA **TENSIÓN DE VAPOR DEL LÍQUIDO (h_v)** A LA TEMPERATURA DE BOMBEO. DEBERÁ CUMPLIRSE:

$$P_e/\gamma = P_0/\gamma - V_a^2/2g - h_a - H_a > h_v$$

SE LLAMA FACTOR **NPSH** A LA DIFERENCIA ENTRE LA ENERGÍA ESPECÍFICA ABSOLUTA EN LA ENTRADA DE LA BOMBA Y LA TENSIÓN DE VAPOR DEL LÍQUIDO A LA TEMPERATURA DE BOMBEO:

$$\text{NPSH} = P_e/\gamma + V_a^2/2g - h_v$$



EL NPSH ES INDEPENDIENTE DE LA BOMBA UTILIZADA, SÓLO DEPENDE DE LAS CARÁCTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LA INSTALACIÓN Y DE LA TUBERÍA DE ASPIRACIÓN:

$$\text{NPSH} = P_0/\gamma - H_a - h_a - h_v$$

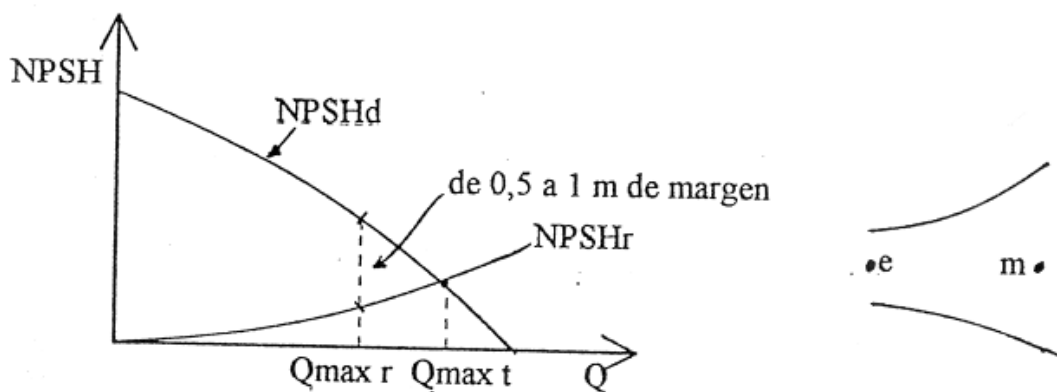
$$\text{NPSH} = P_0/\gamma - H_a - KQ^2 - h_v$$

POR ESTE MOTIVO, CADA INSTALACIÓN DE BOMBEO DISPONDRÁ DE UN VALOR DE NPSH INDEPENDIENTE DE LA BOMBA QUE UTILICE, DENOMINADO HABITUALMENTE **NPSH DISPONIBLE (NPSHd)**.

EL **NPSHr** REPRESENTA EL VALOR MÍNIMO DEL FACTOR NPSH QUE NECESITA UNA BOMBA EN SU ENTRADA PARA FUNCIONAR SIN CAVITACIÓN.

$$\text{NPSHr} = (h_b + h_v) - h_v = h_b \quad (\text{perdidas de carga en la bomba})$$

EL **NPSHd** ES DECRECIENTE CON EL CAUDAL, MIENTRAS QUE EL **NPSHr** ES CRECIENTE. EL PUNTO DE INTERSECCIÓN REPRESENTA EL CAUDAL MÁXIMO TEÓRICO QUE SE PUEDE TRANSPORTAR SIN CAVITACIÓN.



EL LÍMITE DE LA ALTURA DE ASPIRACIÓN LO MARCA EL HECHO DE QUE TENGA QUE PRODUCIRSE QUE $\text{NPSHd} > \text{NPSHr}$.



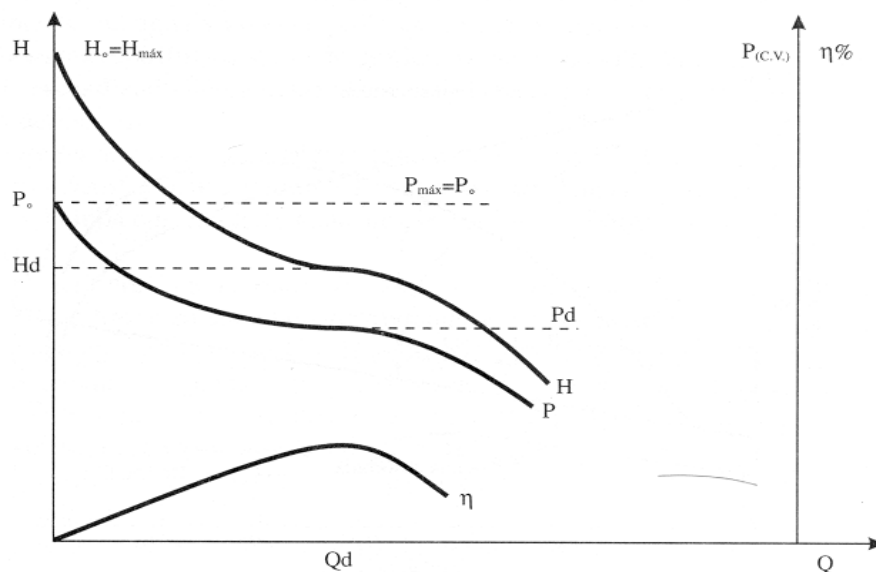
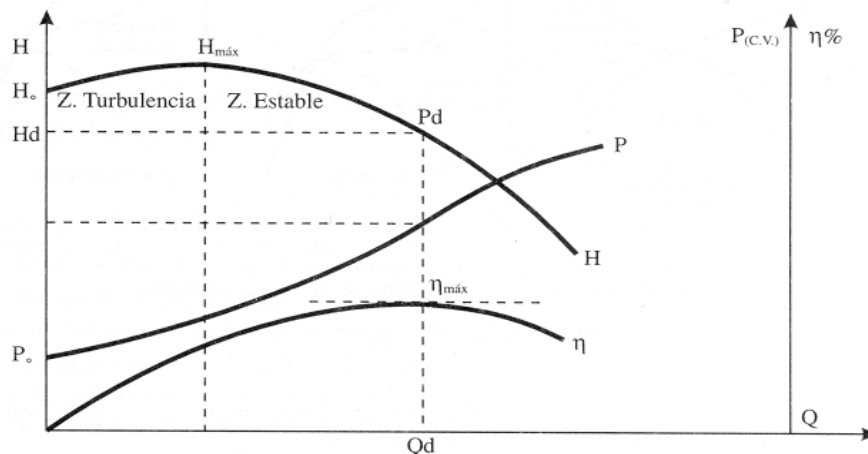
$$P_0/\gamma - H_a - KQ^2 - h_v > \text{NPSHr}$$

$$H_a < P_0/\gamma - KQ^2 - h_v - \text{NPSHr}$$

CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LAS BOMBAS ROTODINÁMICAS A VELOCIDAD CONSTANTE

CADA MODELO DE BOMBA TIENE UN COMPORTAMIENTO CARACTERÍSTICO QUE SE REFLEJA EN LAS CURVAS Y QUE PARA UN DETERMINADO VALOR DE N (R.P.M.) RELACIONAN LA ALTURA MANOMÉTRICA H_m , EL RENDIMIENTO η , Y LA POTENCIA EN EL EJE P CON EL CAUDAL Q ELEVADO.

LAS CURVAS SE OBTIENEN EXPERIMENTALMENTE EN UN BANCO DE PRUEBAS.




$$H_m = A + BQ + CQ^2 \quad \eta = DQ + EQ^2$$

CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LAS CONDUCCIONES

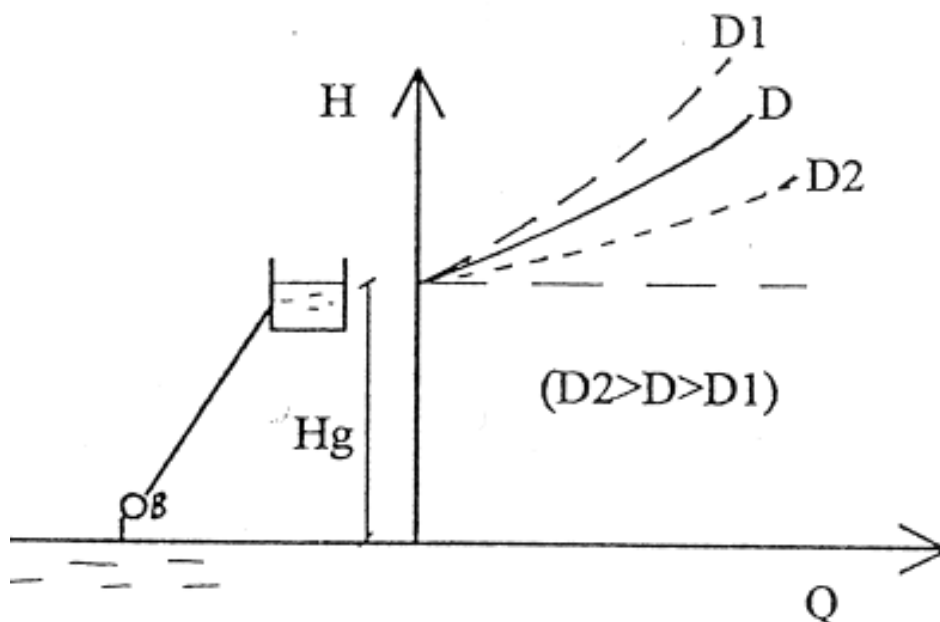
LA ALTURA MANOMÉTRICA DE UNA ELEVACIÓN (H_m) ES LA SUMA DE LA ALTURA GEOMÉTRICA DE ELEVACIÓN MAS LA ALTURA NECESARIA PARA COMPENSAR TODAS LAS PERDIDAS POR ROZAMIENTO, CONTINUAS O LOCALIZADAS, QUE SE PRODUZCAN TANTO EN LAS TUBERÍAS DE ASPIRACIÓN COMO DE IMPULSIÓN.

$$H_m = H_g + \Delta h$$

LAS PERDIDAS DE CARGA HIDRÁULICA Δh DEPENDEN DE LA CONDUCCIÓN Y SE PUEDEN EXPRESAR EN FUNCIÓN DEL CAUDAL Q .

$$H_m = H_g + \Delta h = H_g + K(D) Q^n$$

PARA D VARIABLE ESTA ECUACIÓN ES UNA FAMILIA DE PARÁBOLAS, DENOMINADAS **CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LA TUBERÍA**.

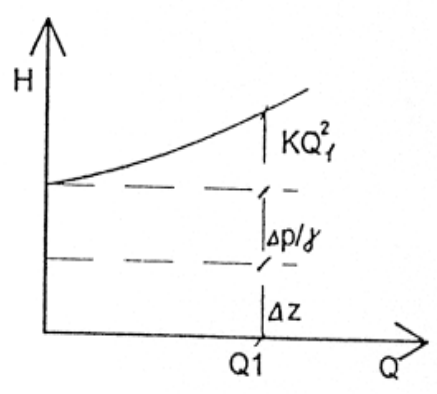
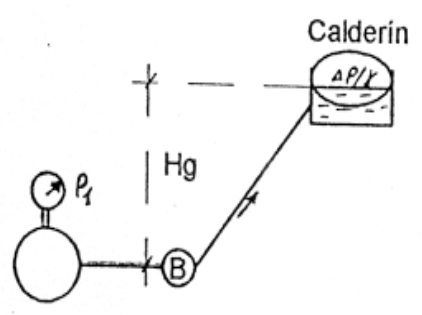
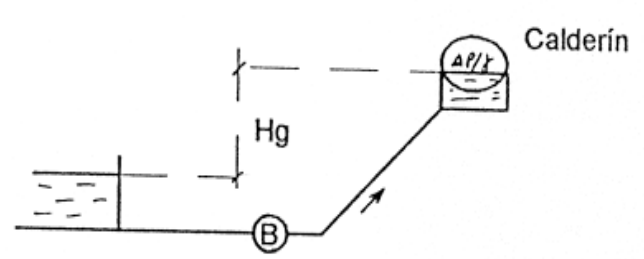
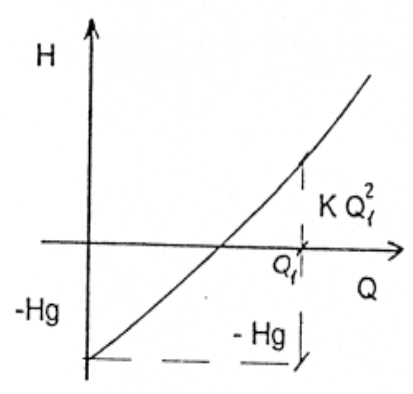
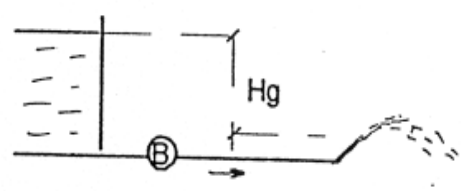
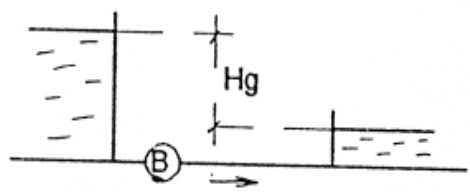


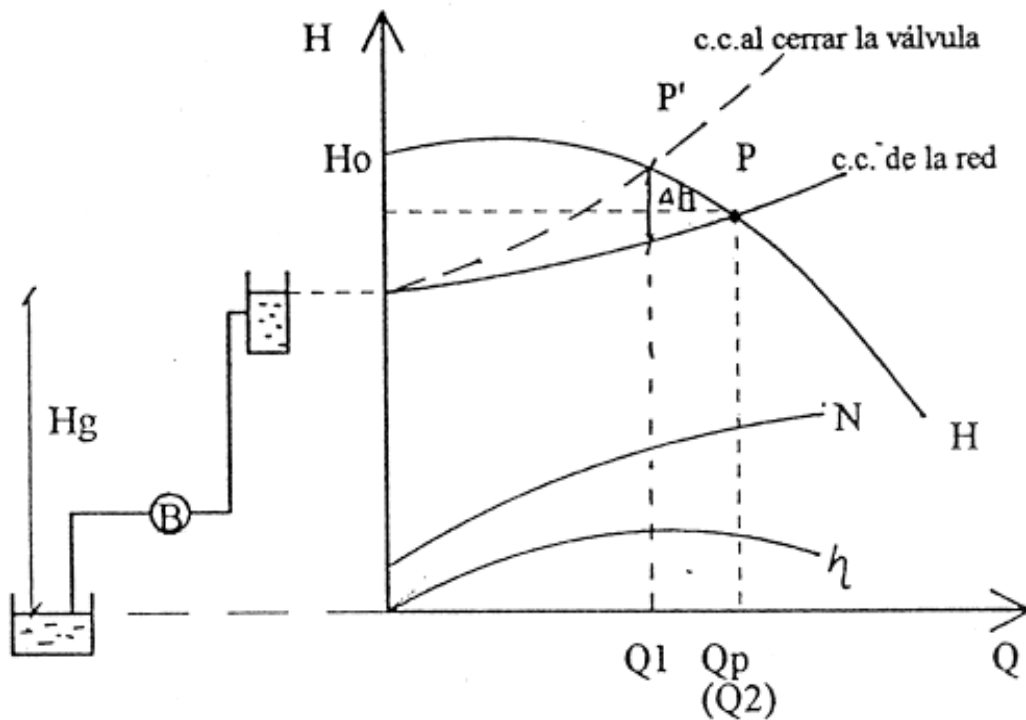


CURVAS CARACTERÍSTICAS DE INSTALACIONES FRECUENTES:

PUNTO DE FUNCIONAMIENTO DE UNA BOMBA

LA INTERSECCIÓN DE LA CURVA CARACTERÍSTICA DE LA TUBERÍA (O INSTALACIÓN) CON LA CURVA CARACTERISTICA DE LA BOMBA NOS DA EL **PUNTO DE FUNCIONAMIENTO O DE TRABAJO DE LA BOMBA**, YA QUE ÚNICAMENTE PARA Q_p LA ALTURA DESARROLLADA POR LA BOMBA H_p SE IGUALA A LA ALTURA REQUERIDA POR LA CONDUCCIÓN.





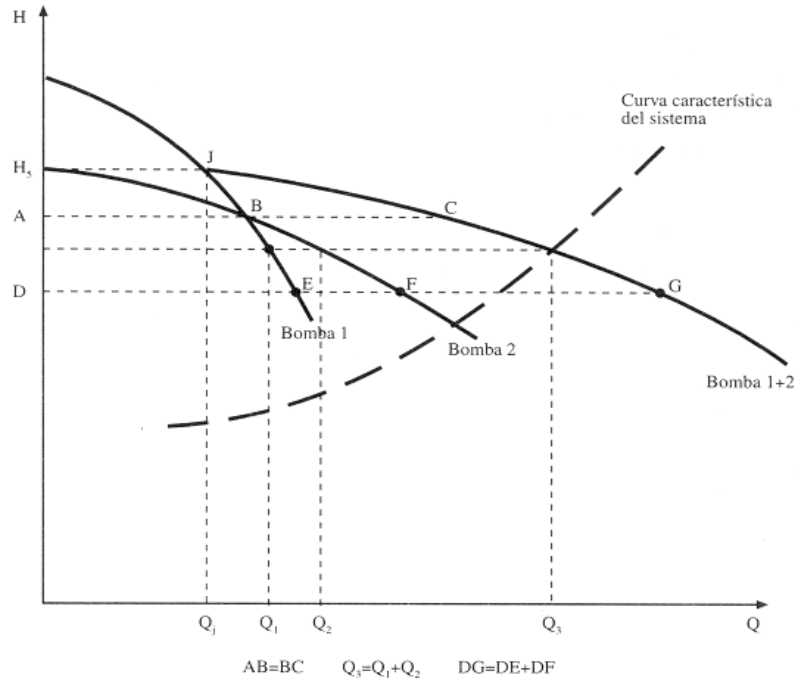
CUANDO LAS CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO DE LA BOMBA SEAN CONSTANTES INTERESA QUE EL PUNTO DE FUNCIONAMIENTO (Q_p , H_p) COINCIDA CON EL PUNTO DE DISEÑO (Q_d , H_d).

CUANDO LAS CONDICIONES DE TRABAJO NO PERMANECEN CONSTANTES INTERESA QUE LA BOMBA TRABAJE EN UN INTERVALO $Q_1 - Q_2$ EN LA ZONA ESTABLE EN EL QUE PUEDA REGULARSE EL CAUDAL POR ESTRANGULAMIENTO DE LA VALVULA, MODIFICANDO LA CURVA CARACTERÍSTICA DE LA CONDUCCIÓN PERO SIN QUE EL RENDIMIENTO η DIFIERA MUCHO DEL VALOR MÁXIMO.



ACOPLAMIENTO DE BOMBAS EN PARALELO

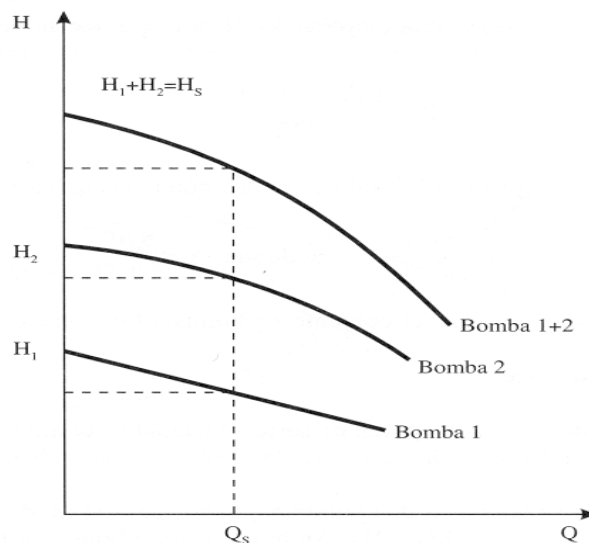
PARA LA MISMA ALTURA MANOMÉTRICA LOS CAUDALES SE SUMAN.



$$H_p = A + B(Q_p/n) + C(Q_p/n)^2 \quad \eta_p = D(Q_p/n) + E(Q_p/n)^2$$

ACOPLAMIENTO DE BOMBAS EN SERIE

EL CAUDAL ES EL MISMO EN TODAS LAS BOMBAS Y LA ALTURA MANOMÉTRICA FINAL ES LA SUMA DE LAS ALTURAS MANOMÉTRICAS DE CADA UNA.





$$H_s = n (A + BQ_s + Q_s^2) \quad \eta_p = DQ_s + EQ_s^2$$

LEYES DE SEMEJANZA EN BOMBAS

SIRVEN PARA PREDECIR EL COMPORTAMIENTO DE TURBOMÁQUINAS HIDRÁULICAS GEOMÉTRICAMENTE SEMEJANTES, CUANDO SE CONOCE EL COMPORTAMIENTO DE UNA DE ESTAS MÁQUINAS GIRANDO A UNA VELOCIDAD DE ROTACIÓN CONSTANTE.

APLICACIONES:

- CONOCER EL FUNCIONAMIENTO DE UNA BOMBA A DIFERENTES VELOCIDADES DE ROTACIÓN
- CONOCER COMO SE COMPORTA UNA BOMBA, A VELOCIDAD DE ROTACIÓN CONSTANTE, CUANDO SE RECORTA EL DIÁMETRO EXTERIOR DEL RODETE

LAS EXPRESIONES QUE CONSTITUYEN LAS LEYES DE SEMEJANZA SE APLICAN ENTRE PUNTOS DE FUNCIONAMIENTO **HOMÓLOGOS**:

- SEMEJANZA GEOMÉTRICA (λ)
- SEMEJANZA CINEMÁTICA
- SEMEJANZA DINÁMICA (IGUAL R_e)

ENTRE PUNTOS DE FUNCIONAMIENTO HOMÓLOGOS SE CONSERVA EL RENDIMIENTO.

- RAZÓN DE LOS CAUDALES:

$$Q/Q' = \alpha \lambda^3 \quad \lambda = L/L' \quad \alpha = n/n'$$

- RAZÓN DE ALTURAS MANOMÉTRICAS:

$$H_m/H_m' = \alpha^2 \lambda^2$$

- RAZÓN DE POTENCIAS:

$$N/N' = \alpha^3 \lambda^5$$



CURVAS CARACTERÍSTICAS A DIFERENTES VELOCIDADES DE GIRO (n)

PARA EL CAMBIO DE VELOCIDAD DE ROTACIÓN DE UNA BOMBA, LA ESCALA GEOMÉTRICA CORRESPONDERÁ A LA UNIDAD ($\lambda = 1$). LAS RAZONES DE SEMEJANZA SERÁN:

- RAZÓN DE LOS CAUDALES:

$$Q/Q_0 = \alpha = n/n_0$$

- RAZÓN DE ALTURAS MANOMÉTRICAS:

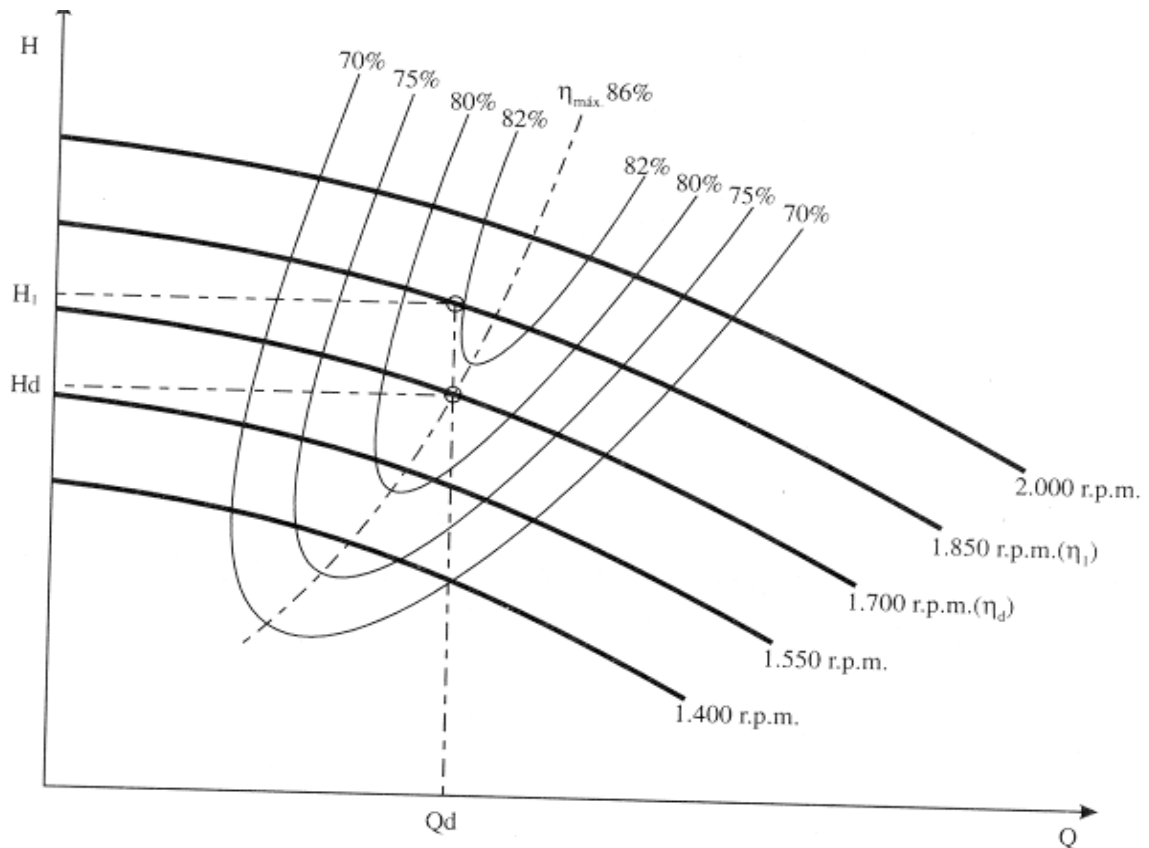
$$H_m/H_{m0} = \alpha^2 = (n/n_0)^2$$

- RAZÓN DE POTENCIAS:

$$N/N_0 = \alpha^3 = (n/n_0)^3$$

COMBINANDO LAS DOS PRIMERAS ECUACIONES:

$$H_m/H_{m0} = (Q/Q_0)^2 \quad ; \quad H_m = k Q^2 \Rightarrow \text{PARÁBOLAS DE ISORENDIMIENTO}$$



CURVAS CARACTERÍSTICAS DE UNA BOMBA AL RÉGIMEN NOMINAL DE REVOLUCIONES n_0 :

$$H_{m0} = A + BQ_0 + CQ_0^2 \quad \eta_0 = DQ_0 + EQ_0^2$$

CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LA MISMA BOMBA A OTRO RÉGIMEN DE REVOLUCIONES n :

$$H_m = A\alpha^2 + B\alpha Q + CQ^2 \quad \eta = (D/\alpha)Q_0 + (E/\alpha^2) Q^2 \quad \alpha = n/n'$$

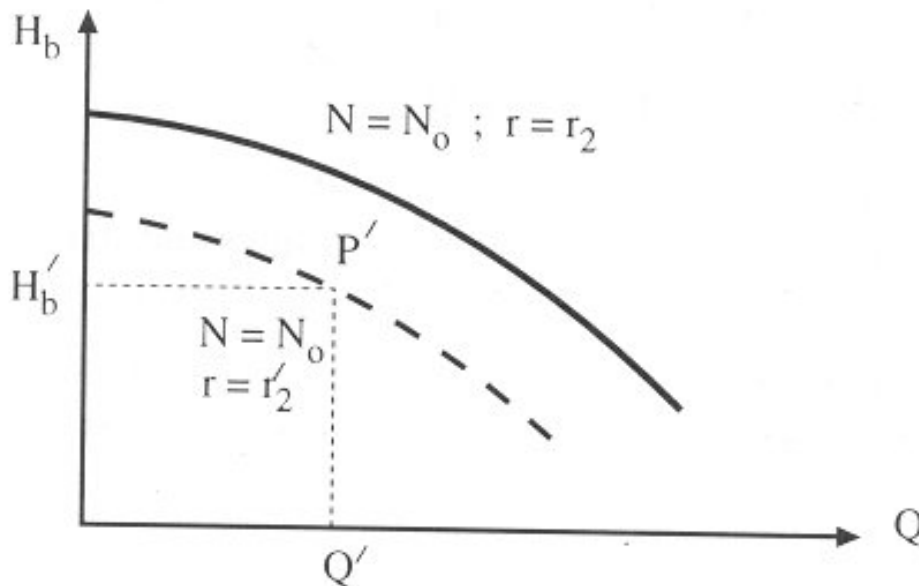
CONSERVANDO LA FORMA Y EL DIÁMETRO DEL IMPULSOR O RODETE, LA ENERGÍA TRANSMITIDA AL FLUIDO CIRCULANTE AUMENTA CONFORME AUMENTA LA VELOCIDAD DE ROTACIÓN.



RECORTE DEL RODETE

EL PROBLEMA CONSISTE EN COMO FORZAR EL PASO DE LA CURVA CARACTERÍSTICA $H_m = H_m(Q)$ DE UNA DETERMINADA BOMBA CENTRÍFUGA POR UN PUNTO DE FUNCIONAMIENTO $P'(Q', H_m')$ SITUADO POR DEBAJO DE LA CURVA DADA.

RESOLVEREMOS EL PROBLEMA REDUCIENDO EL DIÁMETRO DEL RODETE Y SIN VARIAR LA VELOCIDAD DE GIRO INICIAL ($n = n_0$)



LLAMANDO $\lambda = R'/R$ A LA RELACIÓN DE RADIOS DEL RODETE CON Y SIN RECORTE, LAS LEYES DE SEMEJANZA RESULTAN:

- RAZÓN DE LOS CAUDALES:

$$Q'/Q = \lambda^2$$

- RAZÓN DE ALTURAS MANOMÉTRICAS:

$$H_m'/H_m = \lambda^2$$

- RAZÓN DE POTENCIAS:

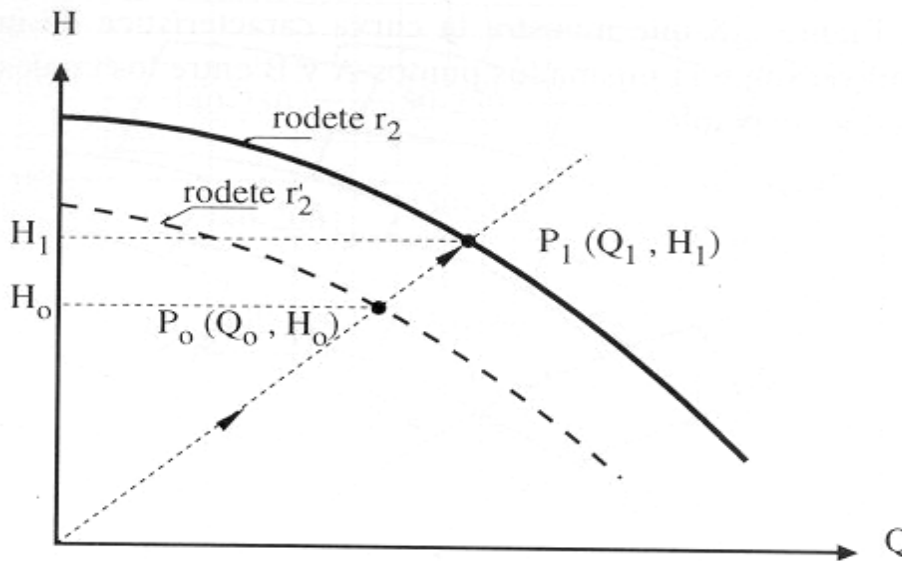


$$N'/N = \lambda^4$$

COMBINANDO LAS DOS PRIMERAS ECUACIONES:

$$H_m'/H_m = Q'/Q \quad ; \quad H_m' = k Q' \Rightarrow \text{RECTAS DE ISORENDIMIENTO}$$

EL RADIO FINAL DEL RODETE PARA ESTAR EN EL PUNTO DE FUNCIONAMIENTO P' (Q', H_m') SERÁ:



$$H_{m0}/H_{m1} = Q_0/Q_1 = (r_2'/r_2)^2$$

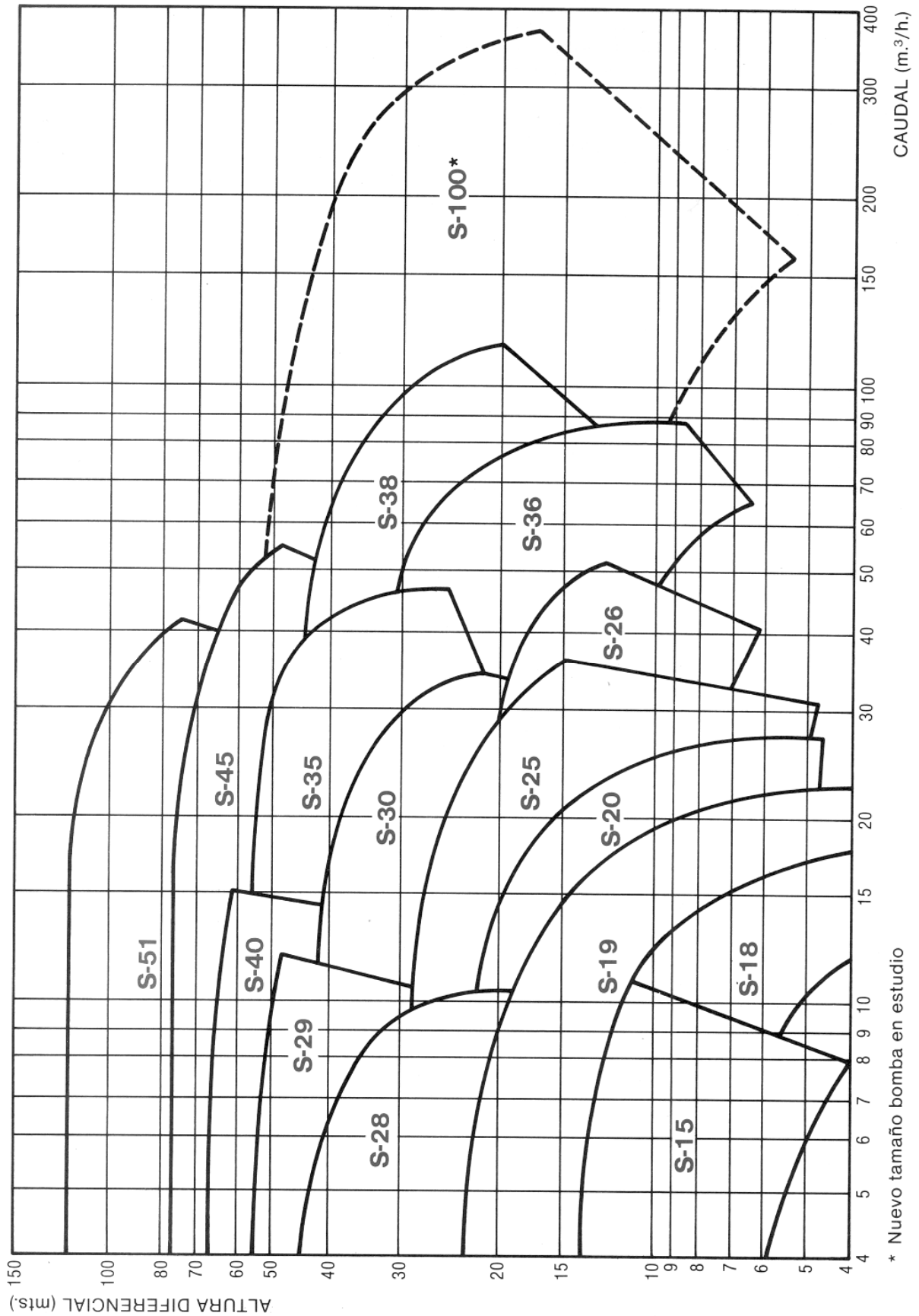
$$r_2' = r_2 (Q_0/Q_1)^{1/2} = r_2 (H_{m0}/H_{m1})^{1/2}$$

CURVAS CARACTERÍSTICAS DE UNA BOMBA SIN RECORTE EN EL RODETE PARA UN DETERMINADO n (rpm):

$$H_m = A + BQ + CQ^2 \quad \eta = DQ + EQ^2$$

CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LA MISMA BOMBA CON RECORTE EN EL RODETE Y EL MISMO n (rpm):

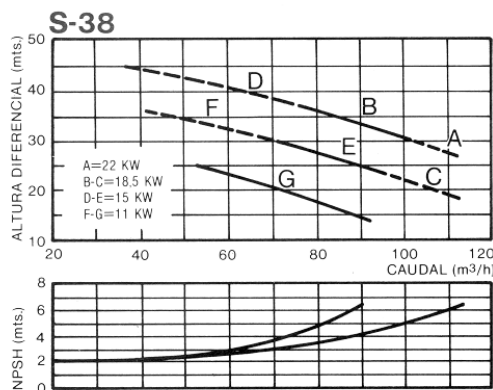
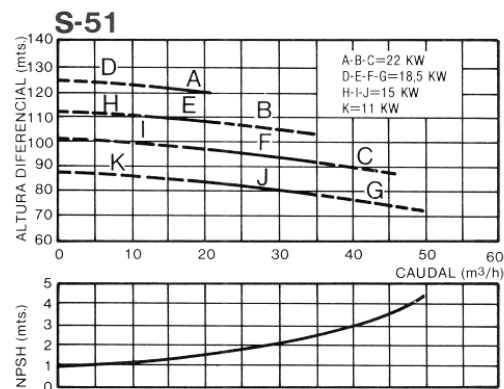
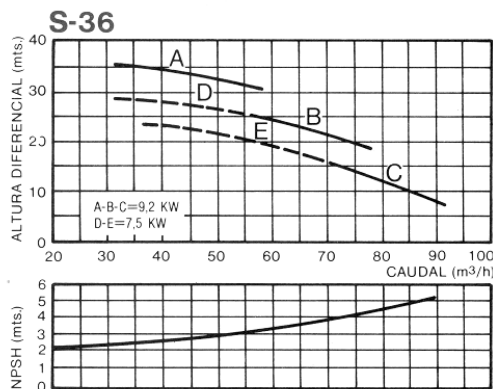
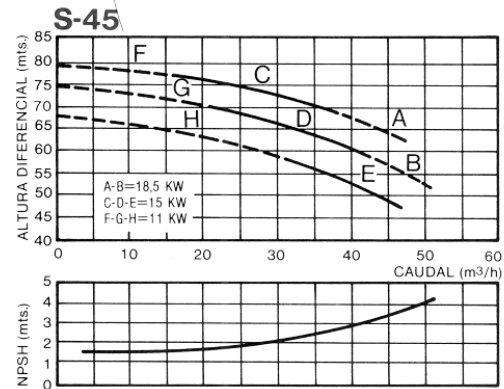
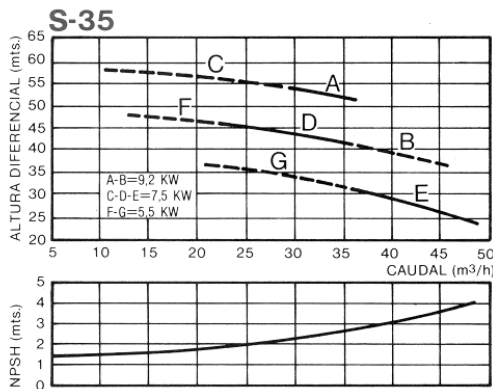
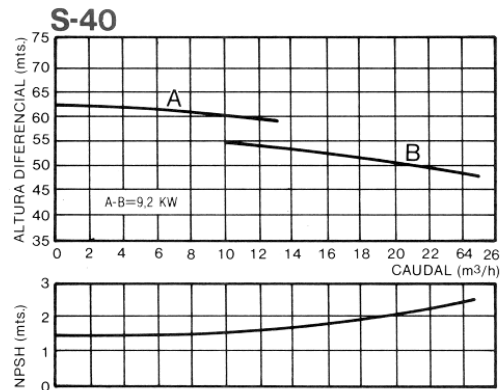
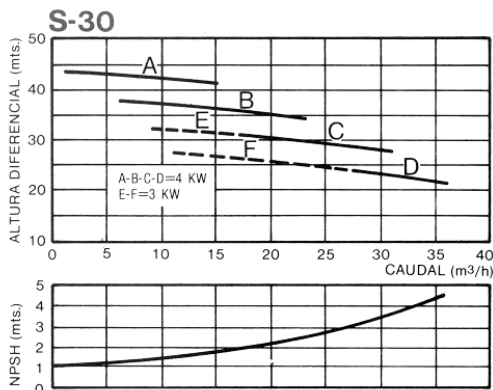
$$H = A\lambda^2 + BQ + (C/\lambda^2) Q^2 \quad \eta = (D/\lambda^2)Q_0 + (E/\lambda^4) Q^2 \quad \lambda = r_2'/r_2$$



* Nuevo tamaño bomba en estudio



CURVAS CARACTERISTICAS A 2900 min.⁻¹



EJEMPLO DE SELECCION

Caudal: 20 m³/h.
 Altura diferencial: 30 mts.
 Tamaño bomba: S-30C
 Potencia motor: 4 Kw.

Las prestaciones indicadas están previstas para un peso específico de 1Kp./dm³. Las características indicadas admiten un margen de tolerancia del ±5% (DIN 1944).