

TEMA 14:

COMPORTAMIENTO REAL DE LAS MÁQUINAS HIDRAULICAS

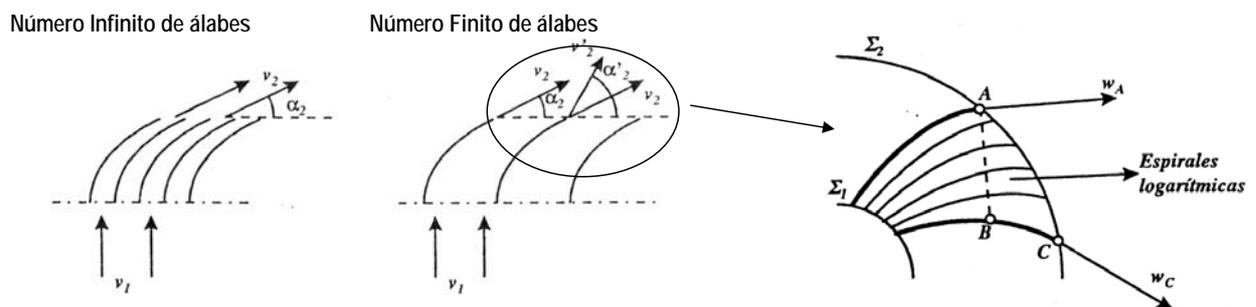
- 14.1.- La desviación del comportamiento teórico: Definición de Pérdidas
- 14.2.- Altura útil de una bomba
- 14.3.- Otros Parámetros que definen la bomba
- 14.4.- Curvas usuales de las bombas

1/17

14.1.- La desviación del comportamiento teórico: Definición de Pérdidas

El comportamiento del fluido en el interior de una máquina hidráulica es muy complejo, y desde luego dista bastante del comportamiento teórico descrito en el apartado anterior. Las principales causas son:

- 1.- **DESVIACIÓN:** Las máquinas no tienen un número infinito de álabes, sino que tienen un número finito Z . La consecuencia más directa será que el fluido no tendrá el mismo triángulo de velocidades en todos los puntos del rodete, sino que habrá una *desviación* del comportamiento teórico:



2/17

En cada punto de la sección de salida rodete el triángulo de velocidades será diferente. Este hecho puede ser explicado por el efecto de la inercia sobre los filetes de fluido. Todos los filetes que circulan entre dos álabes no tendrán el mismo comportamiento, ni la inercia los afectará del mismo modo. Al conjunto de todos estos factores se lo conoce simplemente como **DESVIACIÓN**, y tiene en cuenta que el momento cinético a la salida ahora será menor, y por tanto la altura que proporciona la bomba disminuirá.

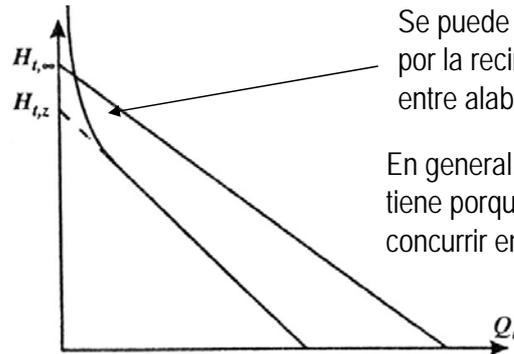
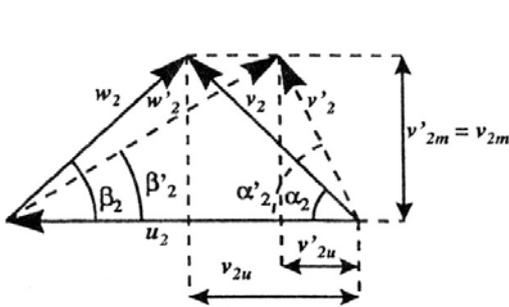
En general podemos decir que: $H_{t,z} < H_{t,\infty}$

Existen una serie de teorías que nos proporcionan coeficientes semiempíricos para poder calcular $H_{t,z}$:

$$H_{t,z} = \mu \cdot H_{t,\infty}$$

$H_{t,z}$ Altura **teórica** proporcionada por una bomba con infinitos álabes, es decir, con los filetes de fluido perfectamente guiados

$H_{t,\infty}$ Altura **teórica** proporcionada por una bomba con Z álabes



Se puede explicar por la recirculación entre álabes

En general, ambas curvas no tiene porque ser paralelas o concurrir en un punto dado.

2.- **PERDIDAS POR ROZAMIENTO:** El flujo que se establece en el interior del rodete es claramente turbulento. Para este tipo de flujo, las pérdidas por fricción en el interior del rodete son prácticamente proporcionales al cuadrado del caudal.

$$\sum h_{f,r} = k_1 \cdot Q_r^2$$

3.- **PERDIDAS POR CHOQUES:** Este tipo de pérdidas se originan porque la velocidad de entrada al rodete no es perfectamente radial, es decir, tangente al ábale, sino que se desvía de dicha dirección, *chocando* con el propio ábale, lo que induce algún tipo de pérdidas hidráulicas que hay que cuantificar.

El rodete se diseña para que a un caudal nominal este tipo de pérdidas sea nula. Por tanto, se ha de tener en cuenta a la hora de calcular las pérdidas la desviación desde el caudal nominal. Experimentalmente se puede afirmar que las pérdidas de este tipo responde a una expresión del tipo:

$$\sum h_{ch,r} = k_2 \cdot (Q_r^2 - Q_{r,0}^2)$$

14.2.- Altura útil de una bomba

Así, podemos tener en cuenta todas las pérdidas hidráulicas en el interior del rodete con:

$$\sum h_f = \sum h_{f,r} + \sum h_{ch,r} = k_1 \cdot Q_r^2 + k_2 \cdot (Q_r^2 - Q_{r,0}^2)$$

Ahora, podemos definir una **altura útil**, H_u , de la bomba, que tenga en cuenta todas las desviaciones del respecto a la teoría básica deducida.

$$\begin{array}{c}
 \boxed{H_u = H_{t,z} - \sum h_f} \\
 \downarrow \longleftarrow \sum h_f = \sum h_{f,r} + \sum h_{ch,r} = k_1 \cdot Q_r^2 + k_2 \cdot (Q_r^2 - Q_{r,0}^2) \\
 H_u = H_{t,z} - k_1 \cdot Q_r^2 + k_2 \cdot (Q_r^2 - Q_{r,0}^2) \\
 \downarrow \longleftarrow H_{t,z} = \mu \cdot H_{t,\infty} \\
 H_u = \mu \cdot H_{t,\infty} - k_1 \cdot Q_r^2 + k_2 \cdot (Q_r^2 - Q_{r,0}^2) \\
 \downarrow \longleftarrow H_{t,\infty} = \frac{u_2^2}{g} - \left[\frac{\pi \cdot N \cdot D_2 \cot g\beta_2}{60} \frac{1}{\Sigma_2} \right] Q_r \\
 H_u = \mu \left[\frac{u_2^2}{g} - \left[\frac{\pi \cdot N \cdot D_2 \cot g\beta_2}{60} \frac{1}{\Sigma_2} \right] Q_r \right] - k_1 \cdot Q_r^2 + k_2 \cdot (Q_r^2 - Q_{r,0}^2)
 \end{array}$$

5/17

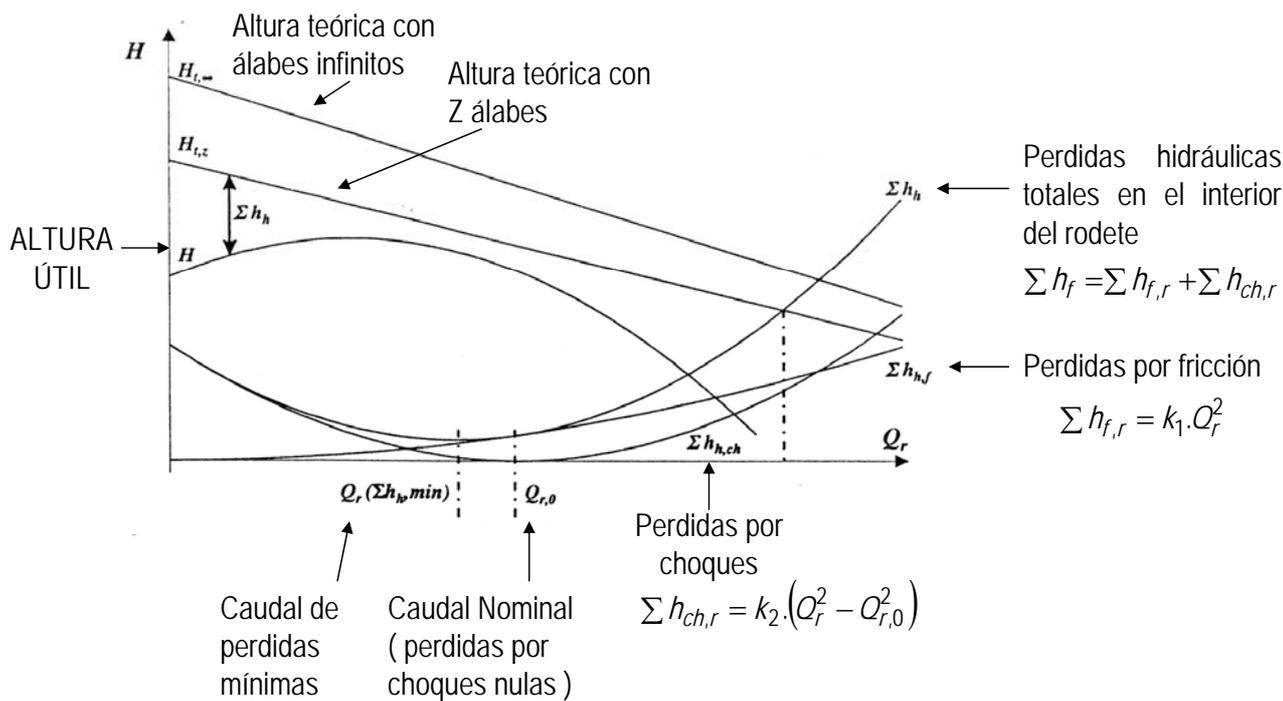
Renombrando los términos:

$$H_u = \mu \left[A \cdot N^2 + B \cdot N \cdot Q_r \right] - k_1 \cdot Q_r^2 + k_2 \cdot (Q_r^2 - Q_{r,0}^2)$$

$$\begin{array}{c}
 \downarrow \\
 \boxed{H_u = C + D \cdot Q_r + E \cdot Q_r^2} \quad \text{Ecuación característica de} \\
 \text{una bomba}
 \end{array}$$

Podemos representar las curvas que dan pie a este tipo de expresión:

6/17



7/17

14.3.- Otros Parámetros que definen la bomba

Podemos definir un coeficiente que mida las pérdidas que se ocasionan en la bomba, y que ligen la altura teórica con álabes finitos con la útil:

RENDIMIENTO HIDRAULICO

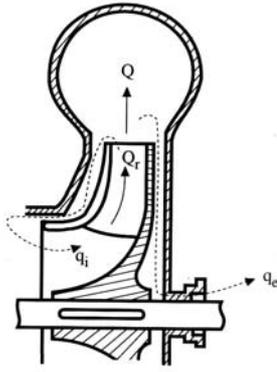
$$\eta_h = \frac{H_u}{H_{t,z}} \longrightarrow \eta_h = \frac{H_u}{H_{t,z}} = \frac{H_{t,z} - \sum h_f}{H_{t,z}} = \frac{H_u}{H_u + \sum h_f}$$

Si estamos hablando de bombas reales hay que tener en cuenta que no nos interesa en el fondo el caudal que circula por el rodete, sino el que sale por la boca de impulsión. Ambos caudales no tiene porque coincidir en la realidad, ya que tenemos que tener en cuenta el efecto de la recirculación, así como el de las fugas. Podemos dividirlos en:

Fugas internas, q_i : Fugas debidas al retorno de parte del fluido a través de el hueco que queda entre el rodete y la carcasa, ya que la a la salida la presión es mucho mayor que a la entrada

Fugas externas q_e : Fugas desde el rodete hacia la carcasa, las cuales se pierden en el exterior.

8/17



$$q = q_i + q_e \longrightarrow Q = Q_r - q$$

Para relacionar ambos caudales, y tener así una medida de las fugas que se producen definimos:

RENDIMIENTO VOLUMÉTRICO

$$\eta_v = \frac{Q}{Q_r}$$

$$\eta_v = \frac{Q}{Q_r} = \frac{Q}{Q - q}$$

Vamos ahora a definir una serie de parámetros mecánicos.

POTENCIA INTERNA

$$P_i = \gamma \cdot Q_r \cdot H_{t,z}$$

Potencia que el rodete le comunica al caudal que circula por el mismo de forma ideal

Si lo que queremos es saber la potencia absorbida por la bomba, no sólo la que consume el rodete de forma ideal, tenemos que tener en cuenta las pérdidas mecánicas en el eje y cojinetes por fricción, a las pérdidas viscosas por el fluido que roza entre el exterior del rodete y la carcasa, definiremos:

POTENCIA ABSORBIDA

$$P_{ABS} = P_i + \sum P_{mec}$$

$$P_{ABS} = M_e \cdot \omega$$

9/17

El coeficiente que mide la relación entre ambos será:

RENDIMIENTO MECÁNICO

$$\eta_{MEC} = \frac{P_i}{P_{ABS}}$$

$$\eta_{MEC} = \frac{P_i}{P_{ABS}} = \frac{P_i}{P_i + \sum P_{mec}} = \frac{P_{ABS} - \sum P_{mec}}{P_{ABS}}$$

La potencia útil dada por la bomba al caudal en la impulsión, es decir a la salida de la bomba será:

POTENCIA UTIL

$$P_u = \gamma \cdot Q \cdot H_u$$

Por último podemos definir un coeficiente global que nos relacione la potencia útil respecto a la absorbida, lo que nos indicará la eficiencia de la bomba, el cual nos lo proporciona el fabricante.

RENDIMIENTO GLOBAL

$$\eta_g = \frac{P_u}{P_{ABS}}$$

$$\eta_g = \frac{P_u}{P_{ABS}} = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_u}{P_{ABS}} \rightarrow P_{ABS} = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_u}{\eta_g}$$

$$\eta_g = \eta_h \cdot \eta_v \cdot \eta_m$$

Lo normal es que los fabricantes entreguen una curva para determinar el rendimiento global del estilo:

$$\eta_g = D \cdot Q + E \cdot Q^2$$

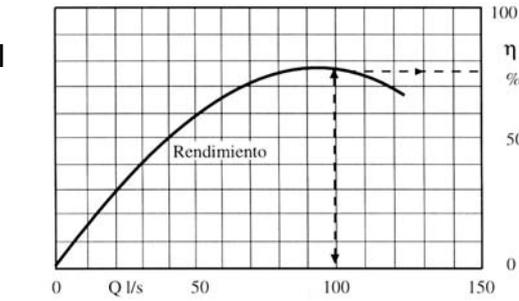
10/17

14.4.- Curvas usuales de las bombas

Aunque muchas de las curvas usuales hacen uso de las relaciones de semejanza y los principios de cavitación, existen otras curvas importantes que hacen uso la teoría expuesta hasta ahora.

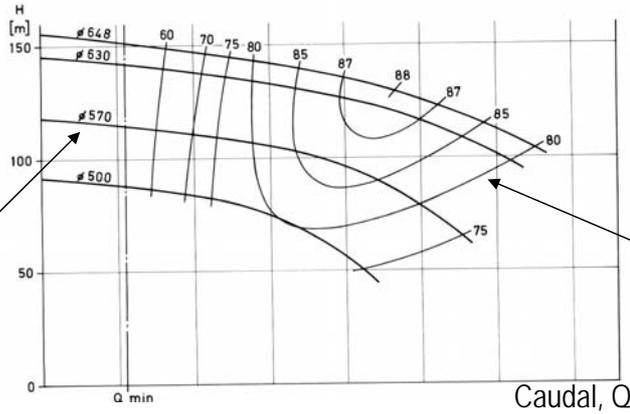
Curva de Rendimiento Global

$$\eta_g = D.Q + E.Q^2$$



Lo usual no es encontrar esta curva sola, sino dentro de un conjunto más amplio en las curvas, y que lo haga no como el rendimiento en función del caudal, sino en forma de curvas de isorendimiento.

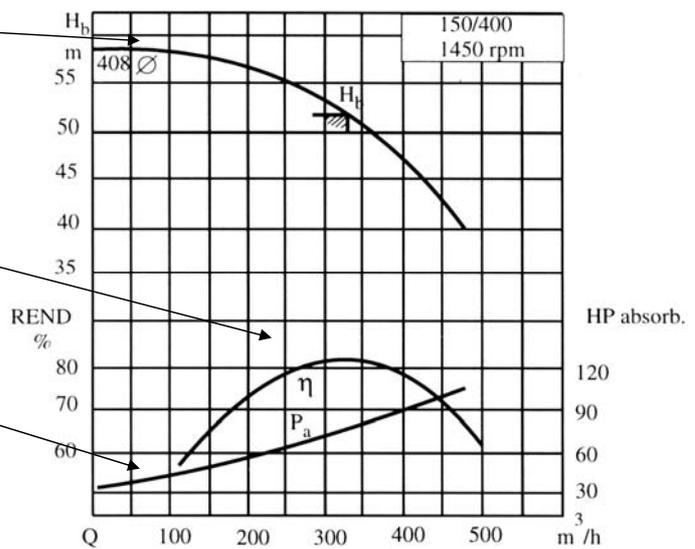
Altura útil de la bomba según Distintos diámetros de los rodetes



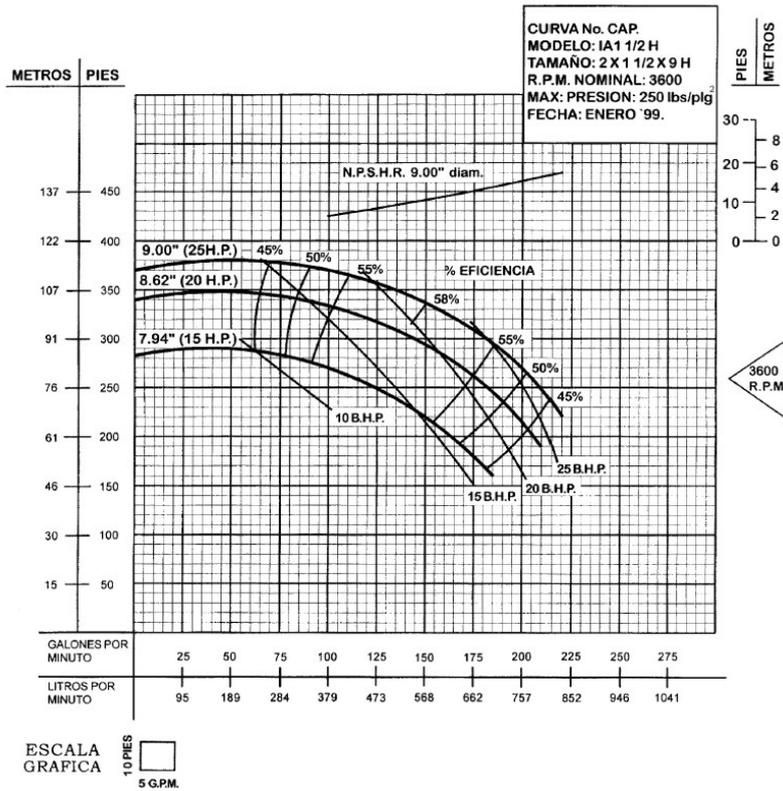
Curvas de isorendimiento (%)

En general, las curvas características son:

- **Altura Útil, H_b**
(en ingles se le suele llamar HEAD)
- **Rendimiento global**
(en ingles se le suele llamar EFFICIENCY)
- **Potencia absorbida, P_a**
(en inglés se le suele llamar BHP, *Pump input or Brake HorsePower*)

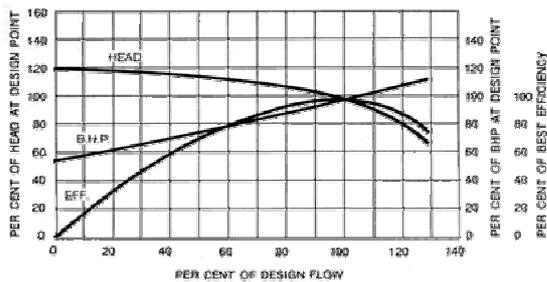


En cuanto a la potencia absorbida, es decir, la potencia que le ha de ser comunicada a la bomba, muchas veces también se expresa en forma de curva de potencia constante.

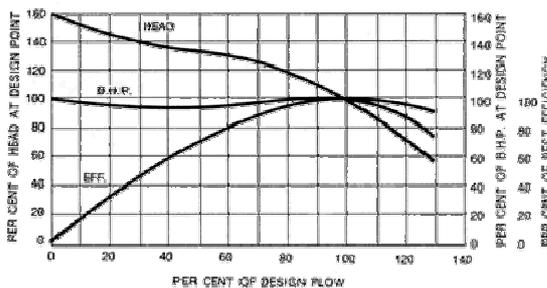


13/17

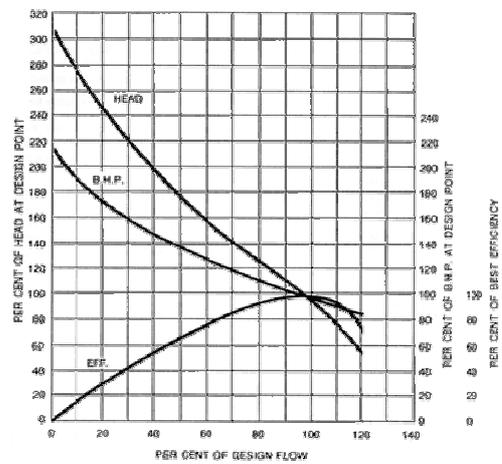
Aunque ya se estudiará en sucesivos temas , cada tipo de bomba tiene sus curvas características, así por ejemplo:



Bomba Centrífuga

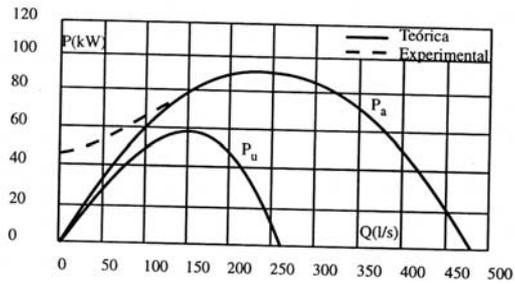
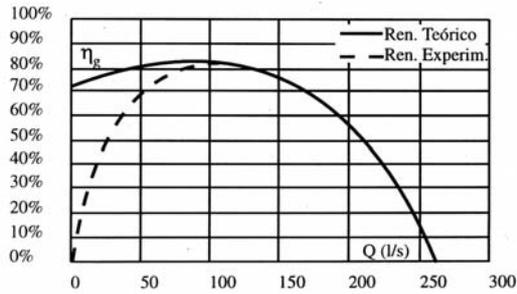
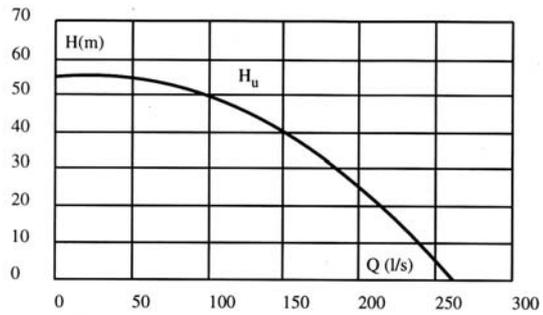
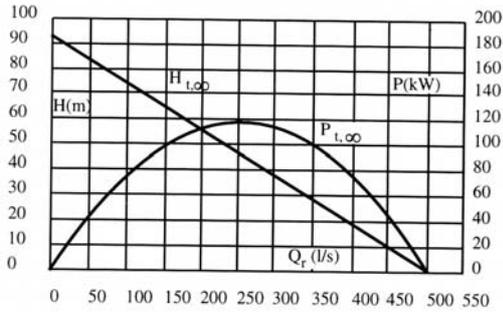


Bomba Helicentrífuga



Bomba Axial

14/17



ELECTROBOMBA CENTRÍFUGA NORMALIZADA según DIN 24255
Acero Inoxidable AISI 316L

Electrobomba centrífuga normalizada construida en Acero Inoxidable AISI 316L, particularmente adecuada para el abastecimiento de agua doméstico, agrícola e industrial, grupos de presión y contra incendio, calefacción y aire acondicionado, lavado a presión, tratamiento de agua, torres refrigeración e intercambiadores de calor. Incorporada a diferentes tipos de maquinaria industrial.



PRESTACIONES

- Presión máx. de trabajo: 10 bar.
- Temperaturas máx. del líquido vehiculado: -20°C / +110°C

MATERIALES

- Cuerpo de bomba, impulsor, base portamotor y eje: AISI 316L
- Cierre mecánico: Carbón / Cerámica / NBR
- Cierre mecánico versión H: Carbón / Cerámica / FPM
- Cierre mecánico versión HS: SiC / SiC / FPM

DATOS TÉCNICOS

- Motor asíncrono, 2 y 4 polos.
- Aislamiento Clase F
- Protección IP55
- Trifásica 230/400V ± 10% 50 Hz hasta 4 kW inclusive
- 400/690V ± 10% 50 Hz para potencias superiores
- Disponible en 4 versiones con motores de 2 y 4 polos.

CAMPO DE TRABAJO - 2900 r.p.m. (según ISO 9906 / 2)

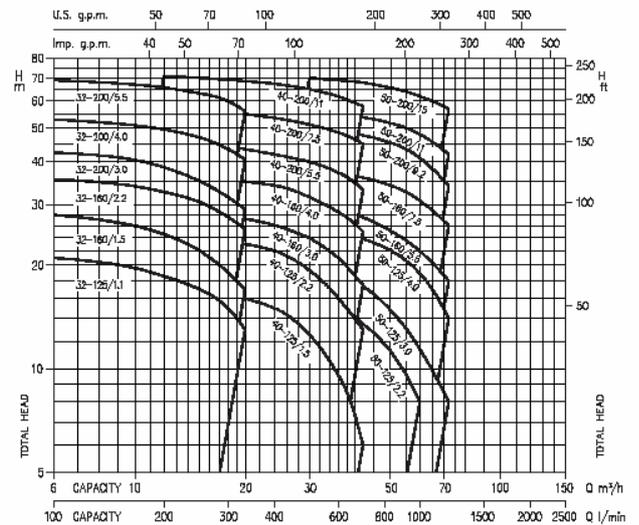
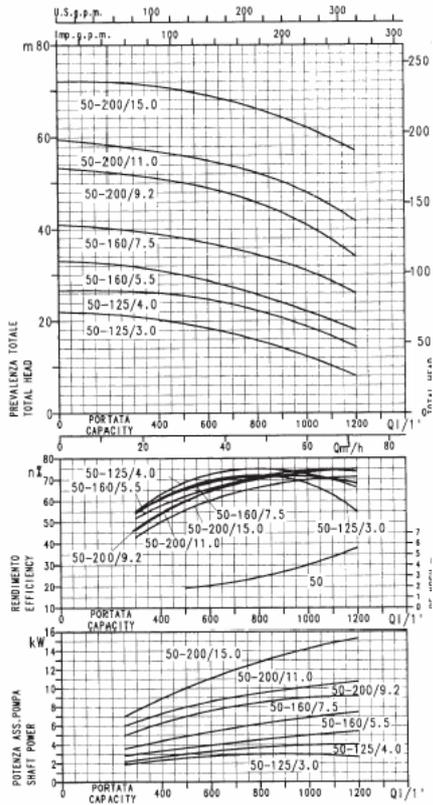


TABLA DE CARACTERÍSTICAS - Modelo 3M-3S-3P-(L)

Bomba	kW	Intensidad absorbida (A)	Q=Caudal																									
			230V		400V		690V		m³/h																			
			10	15	10	15	10	15	10	15	20	30	40	50	60	80	100	120										
32-125/1.1	1.1	5.0	2.9	-	-	-	-	21	20	18.5	17	15	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32-180/1.5	1.5	5.8	3.4	-	-	-	-	28	25	24.5	22	19	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32-180/2.2	2.2	8.0	4.8	-	-	-	-	35.5	34.5	33.5	30.5	26.5	23.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32-200/3.0	3.0	10.0	6.0	-	-	-	-	42.5	41	39.5	35	31.5	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32-200/4.0	4.0	13.0	8.0	-	-	-	-	53	51.5	49.5	44	40.5	35.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32-200/5.5	5.5	17.0	10.0	0.8	-	-	-	63	61.5	59.5	53	49	43.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40-125/1.1	1.1	5.0	2.4	-	-	-	-	18	17.5	17	15	13	11	10.5	9.5	8	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40-180/1.5	1.5	5.8	3.4	-	-	-	-	25	24	23	21	19	17.5	16	14.5	13	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40-180/2.2	2.2	8.0	4.8	-	-	-	-	31	30	29.5	26.5	23.5	20.5	19	17.5	16	14.5	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40-180/3.0	3.0	10.0	6.0	-	-	-	-	38	37	36.5	33	30	27	25	23.5	22	20.5	19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40-180/4.0	4.0	13.0	8.0	-	-	-	-	46	45	44.5	40.5	37	33.5	31	29.5	28	26.5	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40-200/5.5	5.5	17.0	10.0	0.4	-	-	-	55	54	53	49	45.5	42	39	37.5	36	34.5	33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40-200/7.5	7.5	23.0	14.0	0.7	-	-	-	65	64	63	59	55.5	52	49	47.5	46	44.5	43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40-200/11	11	28.0	17.0	1.0	-	-	-	75	74	73	69	65.5	62	59	57.5	56	54.5	53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50-125/2.2	2.2	8.0	4.8	-	-	-	-	17	16.5	16.1	15.5	14.9	14.2	13.4	12.8	12.1	11.5	10.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40-125/3.0	3.0	10.0	6.0	-	-	-	-	20.5	20	19.5	18.5	17.5	16.5	15.5	14.5	13.5	12.5	11.5	10.5	9.5	8.5	7.5	6.5	5.5	4.5	3.5	2.5	1.5
50-125/4.0	4.0	13.0	8.0	-	-	-	-	25	24.5	24.2	23	21.7	20.5	19.5	18.5	17.5	16.5	15.5	14.5	13.5	12.5	11.5	10.5	9.5	8.5	7.5	6.5	5.5
50-180/3.0	3.0	10.0	6.0	-	-	-	-	31	30.5	30	28.5	27	25.5	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10
50-180/5.5	5.5	17.0	10.0	0.6	-	-	-	38.5	38	37.5	35.5	34	32.5	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17
50-200/7.5	7.5	23.0	14.0	0.9	-	-	-	46	45.5	45	43	41	39.5	38	37	36	35	34	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24
50-200/11	11	28.0	17.0	1.0	-	-	-	55	54.5	54	51.5	49.5	47.5	46	45	44	43	42	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32
50-200/15	15	33.0	20.0	1.2	-	-	-	65	64.5	64	61.5	59.5	57.5	56	55	54	53	52	51	50	49	48	47	46	45	44	43	42

CURVAS DE CARACTERÍSTICAS 3M-3S-3P 50 a 2900 r.p.m. (según ISO 9906 / 2)
3LM-3LS-3LP 50 a 2900 r.p.m. (según ISO 9906 / 2)



3M
3LM

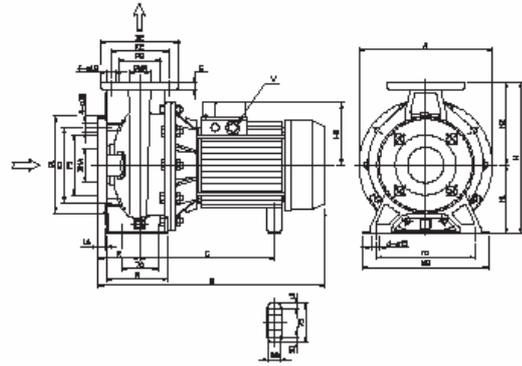


TABLA DE DIMENSIONES

Modelo 3M/3LM	Dimensiones (mm)															Peso Kg						
	A	B	C	H	H1	H2	H3	M	N1	N2	R	V	S	ØD1	ØK1		ØP1	ØD2	ØK2	ØP2	ØDNA	ØDMM
32-160/11	213	408	231	262	112	140	122	114	140	190	80	G3/8	14	165	125	96	140	100	75	50	32	23.5
32-160/15	254	408	231	292	132	160	122	114	160	240	80	G3/8	14	192	125	96	140	100	75	50	32	24.0
32-160/22	254	408	231	292	132	160	122	114	160	240	80	G3/8	14	192	125	96	140	100	75	50	32	26.0
32-200/10	294	433	256	340	160	180	122	119	180	240	80	G3/8	14	195	125	96	140	100	75	50	32	32.0
32-200/14	294	433	256	340	160	180	122	119	180	240	80	G1/2	14	195	125	96	140	100	75	50	32	34.0
32-200/15	254	477	276	340	160	180	153	119	180	240	80	G1/2	14	195	125	96	140	100	75	50	32	45.9
40-125/4	213	408	231	252	112	140	122	114	160	210	80	G3/8	14	165	145	115	150	110	81	65	40	28.5
40-125/2	213	408	231	252	112	140	122	114	160	210	80	G3/8	14	165	145	115	150	110	81	65	40	31.0
40-160/3	254	433	256	292	132	160	122	114	180	240	80	G3/8	14	165	145	115	150	110	81	65	40	36.0
40-160/4	254	433	256	292	132	160	122	114	180	240	80	G1/2	14	165	145	115	150	110	81	65	40	38.0
40-200/5	294	497	276	340	160	180	153	115	212	265	100	G1/2	14	165	145	115	150	110	81	65	40	51.0
40-200/7	294	520	294	340	160	180	153	115	212	265	100	G1/2	14	165	145	115	150	110	81	65	40	53.0
40-200/11	294	577	294	340	160	180	181	115	212	265	100	G1/2	14	165	145	115	150	110	81	65	40	66.0
50-125/2	254	428	231	292	132	160	122	114	180	240	100	G3/8	15	165	145	115	155	125	96	65	50	32.0
50-125/3	254	453	256	292	132	160	122	114	180	240	100	G3/8	15	165	145	115	155	125	96	65	50	35.5
50-125/4	254	478	256	292	132	160	122	114	180	240	100	G1/2	15	165	145	115	155	125	96	65	50	41.5
50-160/5	296	497	276	340	160	180	153	115	212	265	100	G1/2	15	165	145	115	155	125	96	65	50	55.0
50-160/7	296	520	294	340	160	180	153	115	212	265	100	G1/2	15	165	145	115	155	125	96	65	50	61.0
50-200/2	296	582	294	360	160	200	181	115	212	265	100	G1/2	15	165	145	115	155	125	96	65	50	67.5
50-200/11	296	582	294	360	160	200	181	115	212	265	100	G1/2	15	165	145	115	155	125	96	65	50	70.0