

SELECCION DE BOMBAS PARA RIEGO

Claudio García¹
Adroaldo Dias Robaina²
Marcelo Calgaro³

¹ Ing. Agr., MSc., INIA LAS BRUJAS. email: cgarcia@inia.org.uy

² Ing. Agr., Dr., Profesor Titular , Universidad Federal de Santa Maria, RS, Brasil.

³ Ing. Agr., MSc., Programa Posgraduación de Ingeniería Agrícola, UFSM, Brasil.

TITULO: SELECCION DE BOMBAS PARA RIEGO

AUTORES: Claudio García
Adroaldo Díaz Robaina
Marcelo Calgaro

Serie Técnica N° 132

©2003, INIA

ISBN: 9974 - 38 - 173 - 8

Editado por la Unidad de Agronegocios y Difusión del INIA
Andes 1365, Piso 12. Montevideo - Uruguay

Página Web: www.inia.org.uy

Quedan reservados todos los derechos de la presente edición. Este libro no se podrá reproducir total o parcialmente sin expreso consentimiento del INIA.

INDICE

INTRODUCCIÓN

RESUMEN

1. BOMBAS HIDRÁULICAS	2
2. CARACTERÍSTICAS de las BOMBAS HIDRÁULICAS	2
3. SELECCIÓN de BOMBAS	2
3.1 Parámetros relativos a la instalación	2
3.1.1 Caudal necesario (Q)	3
3.1.2 Diámetro de las tuberías	3
3.1.3 Altura manométrica total H_m	4
3.1.3.1 Altura manométrica de impulsión H_{m_p}	4
3.1.3.2 Altura manométrica de succión H_{m_s}	4
3.1.4 NPSH disponible	5
3.2 Parámetros relativos a la bomba	5
3.2.1 Rendimiento de la bomba R_b	5
3.2.2 NPSH requerido	6
3.3 Tipo de bomba	7
3.4 Preselección	8
3.5 Selección definitiva	9
3.6 Especificación de la bomba	10
4. BIBLIOGRAFÍA	11

SELECCION DE BOMBAS PARA RIEGO

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene como objetivo principal el contribuir con elementos que permitan al técnico asesor, elegir de la mejor manera posible el conjunto moto-bomba más adecuado para una situación particular en una explotación agropecuaria.

El principal rol que cumplen las bombas que se usan a nivel agropecuario es el suministrar agua de la manera más eficiente posible a los cultivos. Para eso es muy importante la selección de la misma.

Una selección inadecuada de la bomba puede llevar a tener consecuencias tanto del punto de vista económico por el gasto de energía innecesario, como por problemas de deterioro ambiental por erosión de suelo y lavado de nutrientes, además de los perjuicios físicos de la producción por no obtener los rendimientos esperados.

La correcta selección de una bomba requiere que entregue un caudal adecuado en relación por un lado a la necesidad de agua de los cultivos y a las características físicas del suelo y por otro a una presión de servicio que esté relacionada con el tipo de riego que va a aplicar el agua en el campo.

En la presente publicación se describen los pasos que técnicos asesores o quienes tengan la necesidad de comprar una bomba, deberían

seguir para en el momento de la elección de la misma puedan estar seguros que lo que están solicitando a las firmas proveedoras es exactamente lo que precisan para su uso en la explotación agrícola.

RESUMEN

El proceso de selección de una bomba para riego consta de varias etapas que van desde la determinación de los parámetros de instalación hasta la selección definitiva y especificación del modelo seleccionado. Los parámetros relativos a la instalación son básicamente determinar el caudal, la presión y el NPSH disponible. Medidas todas realizadas mediante cálculos, en base a las necesidades para cada situación. Los parámetros relativos a la bomba son los que caracterizan a la misma y se obtienen mediante ensayos de laboratorio realizados por los fabricantes. Los resultados generados en estos ensayos, se traducen en el comportamiento cuali-cuantitativo de la bomba, esto referido a la altura manométrica, la potencia en el eje de la bomba, el rendimiento o eficiencia de la misma y el NPSH requerido para cada velocidad de rotación de la bomba ensayada. A partir de este punto se está en una situación de elegir el tipo de bomba (centrífuga, axial, etc.). Con el tipo de bomba elegido se realiza una preselección de la misma en base a las características presentadas en catálogos por los diferentes fabricantes.

Por último para la selección definitiva de la bomba se debe realizar un análisis comparativo

¹ Ing. Agr., MSc., INIA LAS BRUJAS. email: cgarcia@inia.org.uy

² Ing. Agr., Dr., Profesor Titular, Universidad Federal de Santa Maria, RS, Brasil.

³ Ing. Agr., MSc., Programa Posgraduación de Ingeniería Agrícola, UFSM, Brasil.

de los aspectos técnicos y económicos de distintos modelos y marcas, de manera de encontrar la mejor solución que se adecua a la situación en que la bomba va a trabajar.

Palabras claves: **potencia, rendimiento, succión, cavitación.**

1. BOMBAS HIDRÁULICAS

Las bombas hidráulicas son máquinas, que reciben el trabajo mecánico dado por una fuente de accionamiento (motor) y lo transforma en energía de presión y velocidad, permitiendo la captación y elevación del agua desde una fuente de abastecimiento (tajamar, río, etc.) y su conducción hasta el punto de descarga de acuerdo con las necesidades (caudal) y las características topográficas (desnivel geométrico y distancia desde la bomba) del área a ser regada.



2. CARACTERÍSTICAS DE LAS BOMBAS HIDRÁULICAS

Las bombas hidráulicas utilizadas para riego para uso agropecuario son clasificadas como bombas hidrodinámicas (turbo-bombas o roto-dinámicas), pudiendo ser de tipo centrífugas o radiales (lentas, normales o rápidas), mixtas o diagonales (ultrarrápidas o hélico-centrífugas y helicoidales) y axiales o propulsoras. Presentan características de ser normalmente de caudales medios a altos, presión media y baja, de eje horizontal, vertical e inclinado, succión simple o doble, un único estadio, rotores cerrados, semi-cerrados y abiertos, carcasas bipartida vertical u horizontalmente, no son autocebantes y son instaladas de forma sumergidas o no sumergidas, siendo que las segundas pueden ser de succión positiva o de succión negativa.

3. SELECCIÓN DE BOMBAS

El proceso de selección de bombas, desde el punto de vista hidráulico, sigue las siguientes etapas: determinación de los parámetros de instalación y de la bomba, determinación del tipo de bomba, preselección, verificación del funcionamiento sin cavitación, selección y especificación del modelo seleccionado.

3.1. PARÁMETROS RELATIVOS A LA INSTALACIÓN

Los parámetros que caracterizan el funcionamiento de la instalación de una bomba son el caudal del sistema (Q), la altura manométrica total (H_m) y el NPSH (ver 3.1.4) disponible. En la figura 1 es mostrado un esquema de una instalación de bombeo para riego.

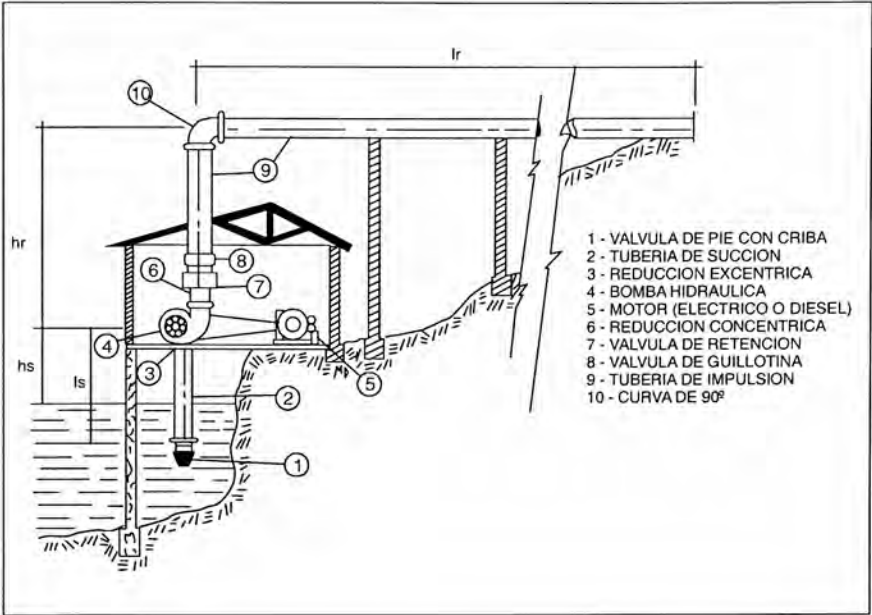


Figura 1. Esquema de una instalación de bombeo para riego (Kerber, 1987).

3.1.1. CAUDAL NECESARIO (Q)

De acuerdo con BELTRAME & LOUZADA (s.n.t), del Instituto de Investigaciones Hidráulicas de la Universidad Federal de Río Grande del Sur, en el caso del cultivo de arroz, el caudal que pasa por una unidad de área (q) es del orden de 1.72 l/s por hectárea. Conocida el área a ser regada (há), el caudal necesario es obtenido por $Q = q.A/1000$, siendo Q el caudal necesario en m³/s.

De acuerdo con la CEEE (1989), después de definido el caudal necesario para el cultivo, se puede dividir el caudal determinado en dos o más conjuntos de moto-bomba.

3.1.2. DIÁMETRO DE LAS TUBERÍAS

El dimensionamiento de las tuberías de impulsión es un problema hidráulicamente indeterminado. Diseñando la impulsión con bajas velocidades, resulta en diámetros relativamente grandes, implicando un costo elevado de la tubería y en menores gastos con las bombas y energía (electricidad o diesel), por el hecho de resultar en menores alturas

manométricas. Altas velocidades posibilitan el uso de diámetros menores, de costo más bajo pero causando elevadas pérdidas de carga y en consecuencia, exigiendo mayor gasto de energía.

El problema de la selección del diámetro de tubo para la impulsión presenta infinitas soluciones desde el punto de vista hidráulico y esta indeterminación solamente es levantada admitiendo otra condición, llamada condición de mínimo costo de la instalación.

Un anteproyecto del dimensionamiento del diámetro de la tubería de impulsión, muy próximo de aquel que minimiza el costo de la instalación, es realizado a través de la siguiente

fórmula, $dr = kQ^{0.5}$, donde dr es el diámetro de la tubería de impulsión (m), Q es el caudal (m³/s), y k es un coeficiente. De modo general, k varía de 0.6 a 1.4, pudiendo ser utilizado k=1.0.

El diámetro así calculado no siempre coincide con los diámetros comercialmente disponibles, siendo utilizado el diámetro

comercial inmediatamente superior al calculado. Con el diámetro seleccionado la velocidad del agua en la tubería (m/s) de la succión podrá ser verificada por:

$v_s = 1.2732Q/ds^2$, teniendo como límite máximo de velocidad 1.5 m/s.

3.1.3. ALTURA MANOMÉTRICA TOTAL H_M

La altura manométrica total es la suma del desnivel topográfico entre el punto de captación (tajamar, río, etc.) y el punto de descarga (ej: canal de riego) con la pérdida de carga total, siendo la misma compuesta de dos partes: pérdida de carga principal (rozamiento) y pérdida de carga secundaria (turbulencia). La primera depende del caudal, tipo de material (acero, hierro fundido, PVC), estado de conservación y diámetro de las tuberías utilizadas y la distancia de bombeo; la segunda depende del número y del tipo de accesorios que componen la instalación.

La altura manométrica total es la suma de dos componentes: la altura manométrica de impulsión y la altura manométrica de succión, resultando de la siguiente manera,

$$H_m = H_{m_r} + H_{m_s}$$

3.1.3.1. ALTURA MANOMÉTRICA DE IMPULSIÓN H_{m_r}

La altura manométrica de impulsión representa la presión positiva que la bomba deberá producir para elevar el agua desde el rotor de la bomba hasta el punto de descarga más un adicional destinado a vencer las resistencias ofrecidas en ese trecho, pérdidas de la tubería y los accesorios utilizados (válvula de retención, válvula de guillotina, juntas, junta de dilatación, curva de radio largo, salida para canalización, etc.).

$$H_{m_r} = H_{g_r} + 0.0826 \times f_r \times \frac{Q^2}{d^5} l_r \times \left(1 + S_{kr} \times \frac{d_r}{f_r \times l_r} \right)$$

donde H_{g_r} es la altura geométrica de recalque (m), f_r es un coeficiente de pérdida de carga (Tabla 1 en anexo), Q es el caudal (m^3/s), d_r es el diámetro de la tubería de recalque (m), l_r es la longitud de la tubería de impulsión y S_{kr} es la suma de los coeficientes de los accesorios que serán utilizados en la tubería de recalque. Los valores de k_r de cada accesorio pueden ser obtenidos en la Tabla 2.

Tabla 2. Coeficiente k_r de diferentes tipos de accesorios utilizados en la tubería de recalque.

Tipo de accesorio	k_r	Tipo de accesorio	K_r
Ampliación gradual	0.30	Junta de dilatación	0.75
Curva de 90° (radio largo)	0.40	Válvula de retención	2.50
Curva de 45° (radio largo)	0.20	Válvula de guillotina	0.20
Curva de 22.5° (radio largo)	0.10	Salida de canalización	1.0
Juntas	0.40		

3.1.3.2 ALTURA MANOMÉTRICA DE SUCCIÓN H_{m_s}

La altura manométrica de succión representa la presión negativa que la bomba deberá producir para elevar el agua desde el lugar de captación hasta el rotor de la bomba, más un

adicional destinado a vencer las resistencias ofrecidas en ese tramo, pérdidas en la tubería y los accesorios utilizados (criba, válvula de pie, reducción excéntrica, curva de 90°), siendo determinado por:

$$H_{m_s} = H_{g_s} + 0.0826 \times f_s \times \frac{Q^2}{d^5} l_s \times \left(1 + S_{ks} \times \frac{d_s}{f_s \times l_s} \right)$$

donde, H_g es la altura geométrica de succión (m), f_s es un coeficiente de pérdida de carga (Tabla 1), Q es el caudal en (m^3/s), d_s es el diámetro de la tubería de succión (m) y S_{ks} es la suma de los coeficientes de los accesorios que serán utilizados en la tubería de succión.

Esa tubería debe ser lo más corta posible y contar apenas con los accesorios indispensables para una adecuada operación. Los valores de k_s de cada accesorios pueden ser obtenidos en la tabla 3.

Tabla 3. Coeficiente k_s de diferentes tipos de accesorios utilizados en la tubería de succión.

Tipo de accesorio	k_s	Tipo de accesorio	k_s
Criba liviano	0,75	Reducción gradual	0,15
Criba normal	2,25	Válvula de pie	1,75
Curva de 90° (radio largo)	0,40		

3.1.4. NPSH DISPONIBLE

Se denomina NPSH disponible al valor de la diferencia entre la energía total absoluta del líquido en la entrada de la bomba y el valor de la presión de vapor de agua a la temperatura en la que está siendo bombeada. El valor de NPSH disponible depende de la forma como la bomba fue instalada, o sea, es una característica de la instalación, expresada por:

es la presión atmosférica en el lugar de la instalación, $\frac{P_v}{\gamma}$ es la presión de vapor del agua (m) y H_{ms} es la altura manométrica de succión (m). Los valores de $\frac{P_{atm}}{\gamma}$ se encuentran en la

$$NPSH_d = \frac{P_{atm}}{\gamma} - \frac{P_v}{\gamma} - H_{ms}, \text{ donde } \frac{P_{atm}}{\gamma}$$

tabla 4 y los valores de $\frac{P_v}{\gamma}$ en la tabla 5.

Tabla 4. Presión atmosférica (P_{atm}/γ) en función de la altitud

Altitud (m)	0	25	50	100	150	200	300	400	500	600
P_{atm}/γ (m)	10,33	10,30	10,27	10,21	10,15	10,09	9,97	9,95	9,73	9,62

Tabla 5. Presión de vapor (P_v/γ) en función de la temperatura del agua

Temperatura (°C)	0	10	15	20	25	30	35	40	45	50
P_v/γ (m)	0,06	0,12	0,17	0,24	0,32	0,43	0,57	0,75	0,98	1,26

3.2. PARÁMETROS RELATIVOS A LA BOMBA

Los parámetros que caracterizan el funcionamiento de una bomba hidráulica son obtenidos a través de ensayos realizados por fabricantes, o por solicitud de éstos a instituciones oficiales, las cuales traducen el comportamiento cuali-cuantitativo de la altura manométrica total (H_m), de la potencia necesaria en el eje de la bomba (P_b), del rendimiento o eficiencia (R_b) y del NPSH_r con un caudal (Q), para cada velocidad de rotación (n) de la bomba ensayada (AZEVEDO NETO & ALVAREZ, 1977).

Esas características no son independientes y se relacionan según la siguiente expresión: $P_b = \frac{\gamma \times Q \times H_m}{75 \times R_b}$, donde γ es el peso específico del agua ($1000 kgf/m^3$), Q (m^3/s), H_m (m), R_b (decimal) y P_b (c.v.).

3.2.1. RENDIMIENTO DE LA BOMBA (RB)

En la ecuación anterior se observa que para un determinado par de valores Q y H_m , la potencia de la bomba será **MINIMA** cuando se selecciona una máquina que sea capaz de realizar el trabajo pretendido con el **MAYOR** rendimiento posible.

El gráfico de la figura 2, presenta los

rendimientos de bombas de diversos tipos en función de la Rotación Específica, N_s , calculada con los valores de Q y H_m , en el punto de máxima eficiencia (QUINTELA, 1981; BARBOSA, 1986).

$$N_s = N_x \frac{Q^{0.5}}{H_m^{0.75}} \text{ donde, } Q \text{ (m}^3/\text{s),}$$

H_m (m) y N rotación del rotor de la bomba (rpm).

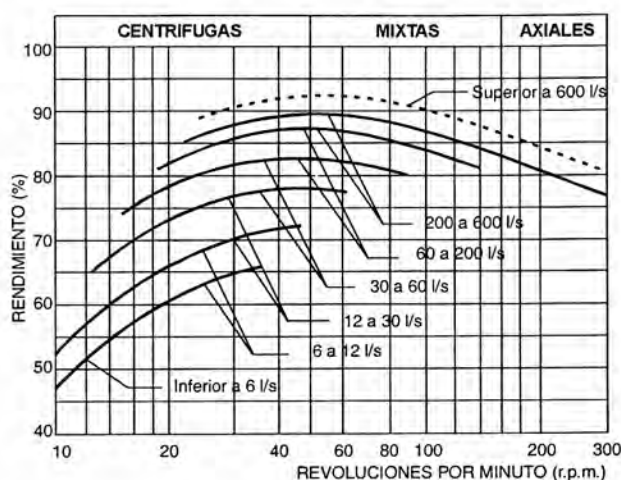


Figura 2. Rendimiento de bombas hidráulicas (Quintela, 1981).

Los valores de rendimiento o eficiencia obtenidos en los gráficos de la figura 2 sirven como una orientación para que la bomba seleccionada presente rendimiento para los valores de Q y H_m pretendidos, lo **MÁS PRÓXIMO** posible de los obtenidos en los gráficos.

3.2.2. NPSH REQUERIDO

El NPSH requerido (NPSHr) es la energía residual mínima que el agua debe tener para

que la bomba pueda operar sin riesgo de presentar problema de cavitación. Es una **característica de la bomba**, obtenida en ensayos de laboratorio, que varía en función del caudal y de la rotación del rotor de la bomba. Los fabricantes deberán presentar las curvas de NPSHr de las bombas por ellos comercializadas.

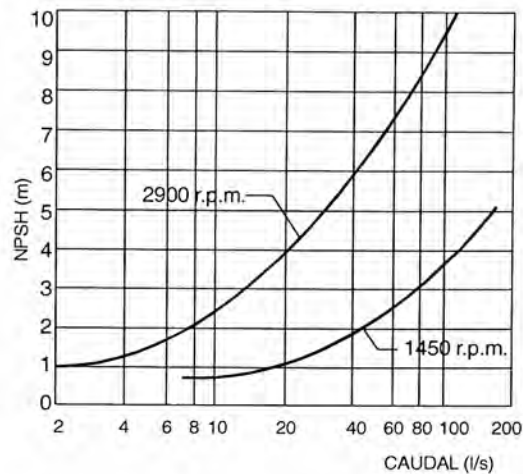


Figura 3. Curva del NPSHr en función del caudal y de las revoluciones del rotor (Barbosa, 1986).

En los casos en que no se cuenta con el NPSHr, se puede determinar el NPSHr por fórmulas que estiman ese parámetro en función de un coeficiente, conocido como coeficiente de cavitación de Thoma (MACINTYRE, 1990). De esta forma el NPSHr es estimado por:

$$NPSHr = Ct \times N^{\frac{4}{3}} \times Q^{\frac{2}{3}}$$
, donde N es el número de rotación del rotor de la bomba (rpm), Q es el caudal (m³/s) y Ct es el coeficiente 0.0011 para las bombas centrífugas, 0.0013 para las bombas mixtas y 0.00145 para las bombas axiales (JARDIM, 1992). Esa forma de cálculo debe ser utilizada para valores de

Q correspondiente o muy próximo del punto de máximo rendimiento de la bomba.

3.3. TIPO DE BOMBA

La selección del tipo de bomba a utilizar en una instalación con características hidráulicas conocidas, puede ser realizada a partir del caudal Q y la altura manométrica (Hm). El gráfico de la figura 4, define el campo de aplicación de las bombas de diferentes tipos en función del caudal y la altura manométrica total.

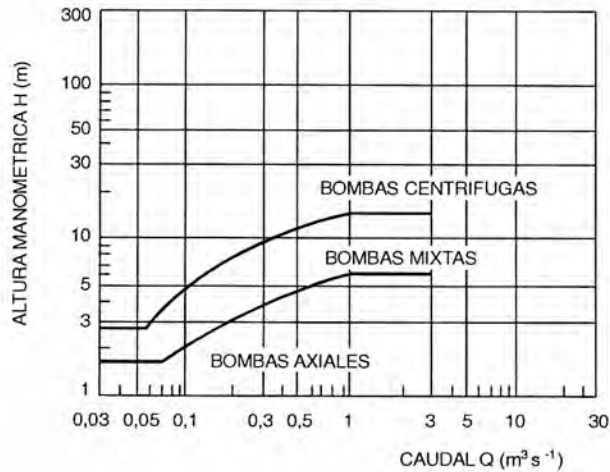


Figura 4. Campo de aplicación de las bombas hidrodinámicas (Quintela, 1981).

3.4. PRESELECCIÓN

Una vez seleccionado el tipo de bomba de acuerdo con la finalidad a la cual va a ser destinada, la etapa siguiente es la selección del modelo de serie.

El procedimiento a adoptar para la selección de serie de bombas tiene por base la consulta a catálogos de los respectivos fabricantes. Este procedimiento envuelve las etapas de preselección y la selección definitiva.

Para la fase de preselección, los fabricantes colocan en los catálogos los campos de funcionamiento de sus productos, en buenas condiciones, de un conjunto de modelos de

bombas hidráulicas, correspondiendo a una velocidad de rotación. Esas informaciones son entregadas de diferentes formas de presentación, tales como son mostradas en la tabla que informa la potencia en función del caudal (Q) y la altura manométrica (Hm) para un determinado modelo de bomba y para una rotación dada; también son presentados en gráficos de cobertura hidráulica, en forma de cuadrículas o de cuadrícula única, que informan el campo de aplicación de los modelos de las bombas para una determinada rotación de trabajo.

Las diferentes formas de presentación pueden ser observadas en las figuras 5 y 6.

TABLA DE RENDIMIENTOS - 1800 RPM

MODELO	POTENCIA	DIAM. ROTOR	DIAM. DE ENTRADA NA BOMBA	TUBERIA RECOMENDADA	ALTURA MANOMETRICA TOTAL - METROS															
					5	8	10	13	15	18	20	22	25	28	30	32	35	38	40	42
					CAUDAL EN METROS CUBICOS POR HORA - m3/h															
340-20	2.5/1.3	205	2"x 1½"	3"x 2½"		28	26	22	19	19										
350-20	4/2	205	2½"x2"	5"x4"			58	45	40	14										
350-26	7/3	260	2½"x2"	4"x3"					54	50	45	43	34	27	10					
465-20	5/4	205	3"x2½"	5"x4"			77	70	58	40										
465-26	10/6	260	3"x2½"	5"x4"						82	76	68	58	43	33					
580-16	4/3	160	4"x3"	6"x5"	115	80	48													
580-33	30/13	330	4"x3"	8"x6"												145	130	118	110	100
1100-20	13/6	205	5"x4"	8"x6"		206	190	165	135	40										

Figura 5. Tabla que informa la potencia en función del caudal y de la altura manométrica para un determinado modelo de bomba (1750 rpm, KSB, 1987).

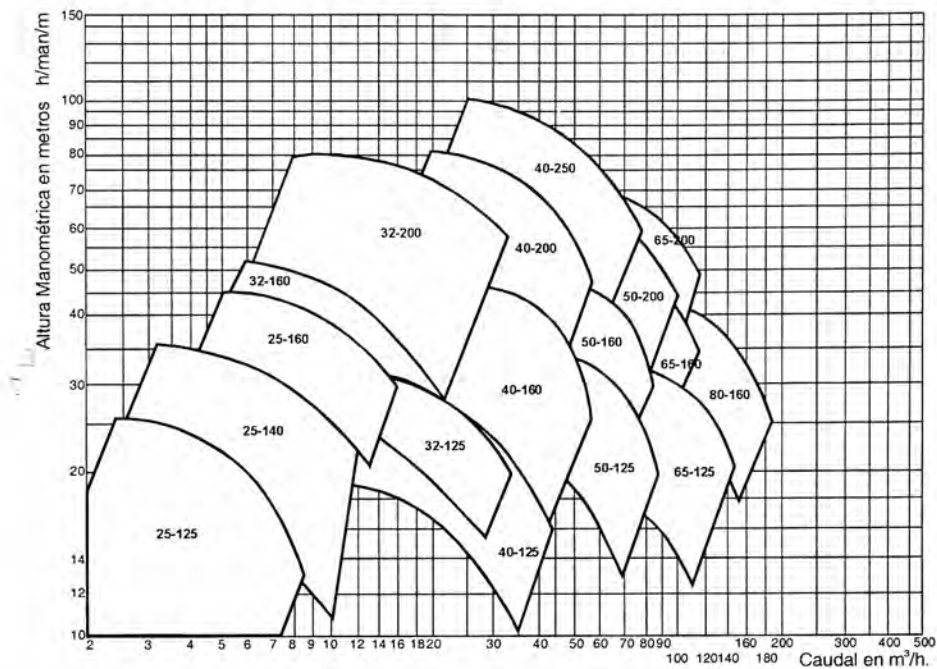


Figura 6. Gráfico de cuadrículas que informan el modelo de bomba, el diámetro de salida de la bomba y el diámetro de rotor (1750 rpm, KSB, 1987).

Se observa que los gráficos de selección rápida o preselección son hechos para diferentes valores de rotación de motores eléctricos comerciales. Seleccionado el modelo de bomba, la siguiente etapa es la selección definitiva.

3.5. SELECCIÓN DEFINITIVA

Para la selección definitiva, la consulta debe realizarse sobre los gráficos de las curvas

características de la bomba preseleccionada, con el objetivo de determinar, para el par de valores $Q \times H_m$ deseado, cual es el rendimiento de la bomba (R_b), la potencia necesaria en el eje de la bomba (P_b) y el NPSHr, la rotación de trabajo (rpm), el diámetro del rotor, el diámetro de salida y de entrada de la bomba, siendo que algunos informan la potencia necesaria del motor eléctrico (P_m) para el accionamiento de la bomba (figura 7).

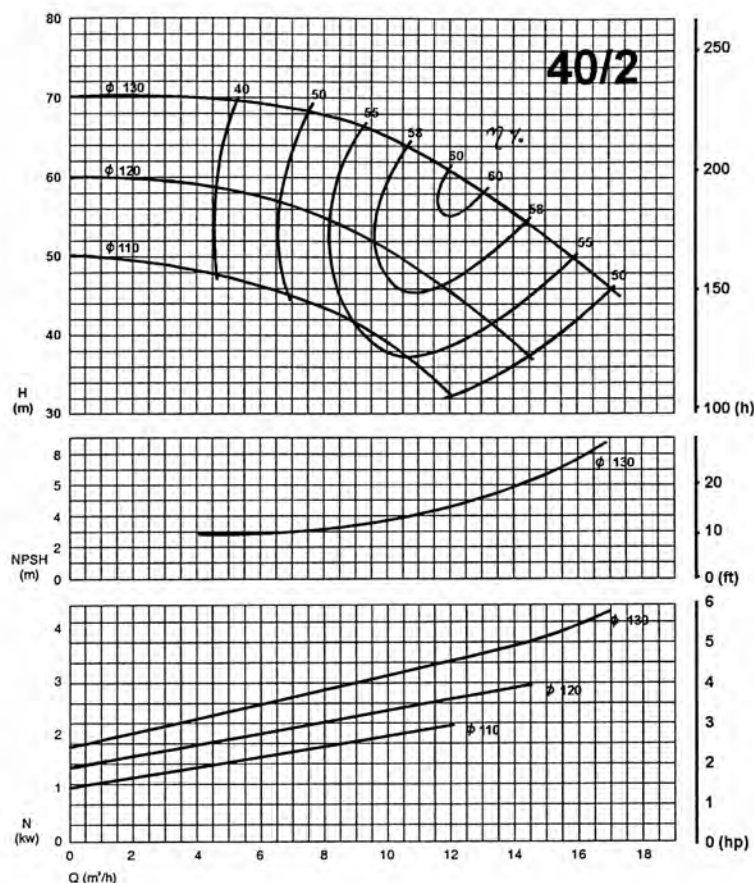


Figura 7. Curva característica de una bomba preseleccionada (WORTHINGTON, 1985).

Todavía en esta etapa es realizada la verificación del funcionamiento sin cavitación de la bomba seleccionada de acuerdo con las características de la instalación proyectada. El análisis de las condiciones de aspiración es realizada por comparación entre NPSH disponible y el NPSH requerido. La condición utilizada es que el NPSHd sea **por lo menos 20% mayor** que el NPSHr, para evitar el fenómeno de cavitación y sus efectos en el funcionamiento y la durabilidad de la instalación. Las principales consecuencias de la cavitación son la caída del rendimiento de la bomba, ruidos, marcha irregular, vibración de la máquina por el desbalanceamiento que provoca, desgaste, corrosión y destrucción del rotor en la región de entrada de la bomba.

3.6. ESPECIFICACIÓN DE LA BOMBA

Esta etapa reúne todos los elementos obtenidos en las etapas anteriores con la finalidad de dar una descripción detallada de la bomba hidráulica a ser adquirida.

Por último, se debe recordar que la selección de una bomba hidráulica es un proceso que deberá incluir el análisis comparativo técnico-financiero de diferentes modelos, de uno o varios fabricantes, de modo de encontrar la solución más adecuada para la utilización pretendida.

BIBLIOGRAFÍA

- AZEVEDO NETO, J.M.; ALVAREZ, G.A. **1977**. Estações elevatórias. In: **Manual de hidráulica**. São Paulo: Edgar Blucher LTDA. V.1, cap.18, p.250-305.
- BARBOSA, J.N. **1986**. Escoamentos sob pressão. In: **Mecânica dos fluidos e hidráulica geral**. Porto: Porto Editora. V.2, cap. 12, p. 526-663.
- BELTRAME, L.F.S.; LOUZADA, J.A. **Water use rationalization in rice irrigation by flooding**. (s.n.t.).
- CEEE. **1989**. **Irrigação do arroz: Manual de conservação de energia**. Porto Alegre: Secretaria de Energia, Minas e Comunicação de RS. 28 p.
- JARDIM, S.B. **1992**. Sucção no bombeamento. In: **Sistemas de bombeamento**. Porto Alegre: Sagra-Deluzatto. Cap. 12, p. 108-123.
- KERBER. **1987**. Manual técnico de bombas.
- KSB. **1987**. Manual técnico de bombas.
- MACINTYRE, A.J. **1990**. Água fria potável. In: **Manual de instalações hidráulicas e sanitárias**. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Koogan S.A. Cap. 1, p. 1-76.
- QUINTELA, A. **1981**. C.Turbo máquinas hidráulicas. In: **Hidráulica**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian. Cap. 15, p. 393-487.
- WORTHINGTON. **1985**. Manual técnico de bombas.

RUSCONI INDUSTRIA GRAFICA
OLEGARIO ANDRADE 4710/12
TEL/FAX: 359 0706 - 359 3852 - 357 5550
MONTEVIDEO - URUGUAY
DEPOSITO LEGAL N° 329.983