

## **5. DIMENSIONAMIENTO DE LAS INSTALACIONES DE EXTRACCION DE AGUA SUBTERRANEA**

### **5.1. Selección de tipos de bomba**

- A. Alternativas: de émbolo o pistón
- B. Rotativas
- C. Centrífugas

### **5.2. Dimensionado del equipo de bombeo**

### **5.3. Cuantificación de bombeos en pozos mediante el consumo de energía eléctrica: Análisis del rendimiento de los mismos y su incidencia en el coste del agua**

#### **5.3.1. Aplicación del método en contadores de baja tensión**

- A. Contadores directos
- B. Contadores con transformador de intensidad en baja tensión

#### **5.3.2. Aplicación del método en contadores de alta tensión**

## 5. DIMENSIONAMIENTO DE LAS INSTALACIONES DE EXTRACCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El dimensionar correctamente las instalaciones de extracción de aguas subterráneas tiene una gran importancia por su directa repercusión en el rendimiento de los equipos y por tanto, en el coste del agua bombeada.

Para ello se expondrán los factores que deben ser considerados en la selección del tipo de bomba (apartado 5.1) y en su dimensionado, exponiéndose un ejemplo práctico de como realizarlo (apartado 5.2).

Por último en el apartado 5.3. se expone una metodología que permite cuantificar los bombeos en captaciones mediante el consumo de energía eléctrica, así como analizar el rendimiento que éstos presentan y su incidencia en el coste del agua con el objetivo de modificar aquellos equipos cuyo análisis indique que están sobredimensionados.

### 5.1. Selección del tipo de bomba

Hay tres clases de bombas:

#### A. Alternativas: de émbolo o pistón

Su funcionamiento consiste en un movimiento alternativo y rectilíneo de un pistón que empuja el líquido a elevar hasta la cámara de alta presión.

No se utilizan prácticamente en el campo de la hidrología. Permiten extraer pequeños caudales con alturas de elevación importantes.

#### B. Rotativas

Tienen un funcionamiento semejante a las alternativas de émbolo.

Se emplean principalmente para bombear líquidos de alta viscosidad proporcionando un caudal uniforme dentro de un reducido abanico de alturas manométricas por lo que tienen escasa aplicación en hidrología.

#### C. Centrifugas

Son máquinas capaces de transformar energía mecánica en hidráulica por medio de un rodete, impulsor o turbina que dispone de un orificio anular para la entrada del líquido. Cuando gira el rodete comunica al líquido una energía, originando una velocidad y una pre-

sión que se añade a la que podía tener a la entrada.

Estas bombas son las más utilizadas en las captaciones para abastecimiento urbano por lo que se van a analizar más detalladamente. Pueden clasificarse en dos grandes grupos:

##### - C.1. Bomba vertical sumergida

En la figura 16 se muestra una de estas bombas. Están asociadas a través de un eje de transmisión concéntrico a la tubería de impulsión y directamente acoplado al motor eléctrico o de otro tipo que está en superficie.

##### - C.2. Grupo motobomba sumergible

En éstas tanto el motor eléctrico como los cuerpos de la bomba trabajan conjuntamente por debajo del nivel del agua.

En la figura 17 se reflejan los diferentes elementos de que consta, así como un ejemplo de una instalación de bombeo y se indican los accesorios requeridos.

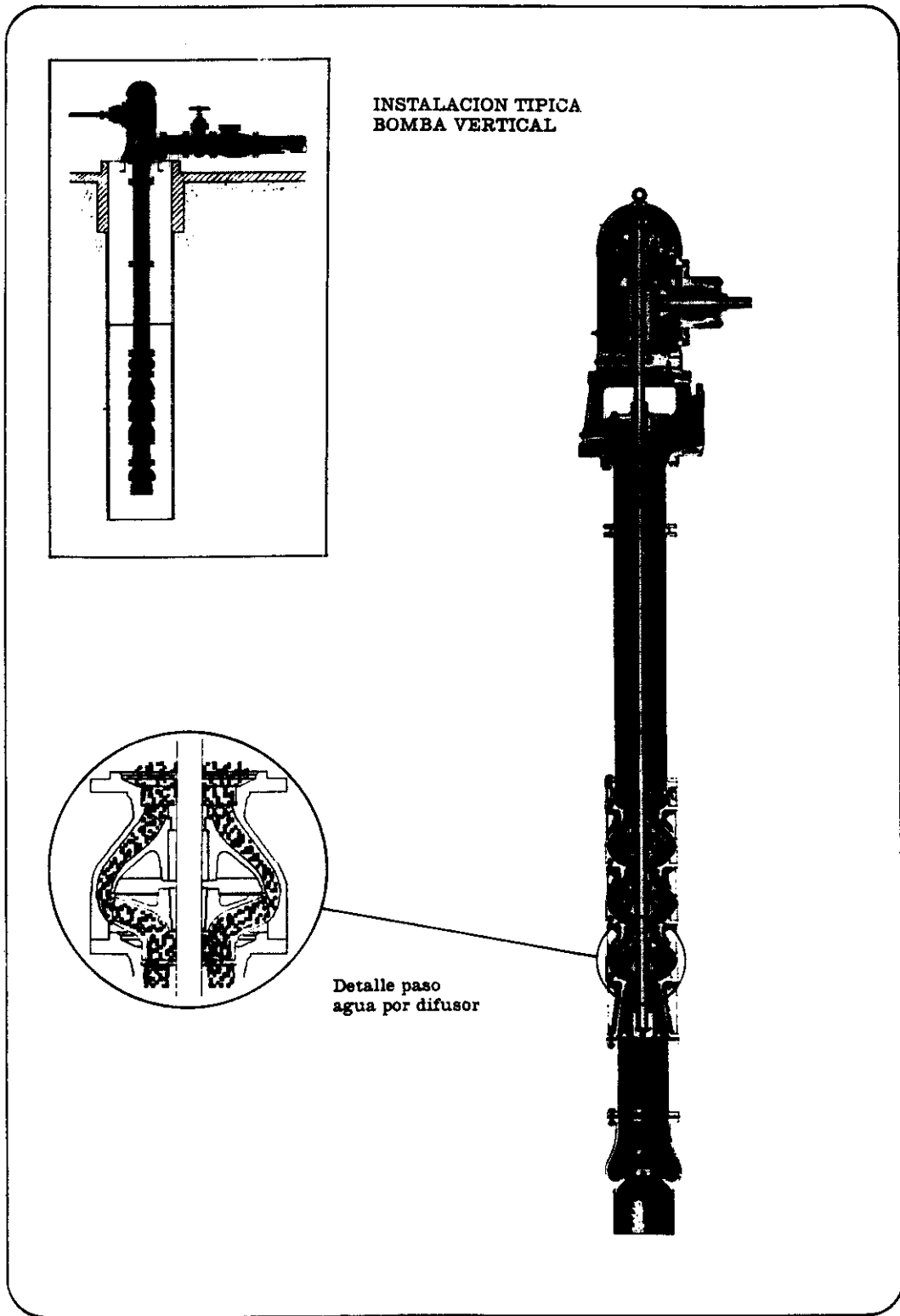
Son alimentadas mediante corriente eléctrica, a través de un cable conductor que va unido directamente a los terminales del motor.

La elección entre los dos tipos de bombas centrifugas indicados viene determinada por la distancia entre la captación y las líneas eléctricas, así como por la existencia o no de arrastres de arena u otros materiales abrasivos. Cuando éstos son importantes se recomienda emplear bombas de eje vertical debido a que éstas suelen funcionar a 1450 r.p.m. (frente a las 2900 r.p.m. de las bombas sumergidas) por lo que sufren un menor desgaste en sus rodets.

En la práctica totalidad de las captaciones para abastecimiento urbano se suelen emplear los grupos motobomba sumergibles, al existir normalmente líneas eléctricas próximas, presentar un rendimiento mayor que las bombas de eje vertical sumergidas, ser su costo de adquisición menor y más rápida su instalación y desmontaje por lo que serán éstas las que serán utilizadas en el apartado siguiente como ejemplo al dimensionar una impulsión.

### 5.2. Dimensionado del equipo de bombeo

Para dimensionar correctamente el equipo de bombeo se debe determinar en primer lugar el caudal de explotación aplicable a la captación analizada.

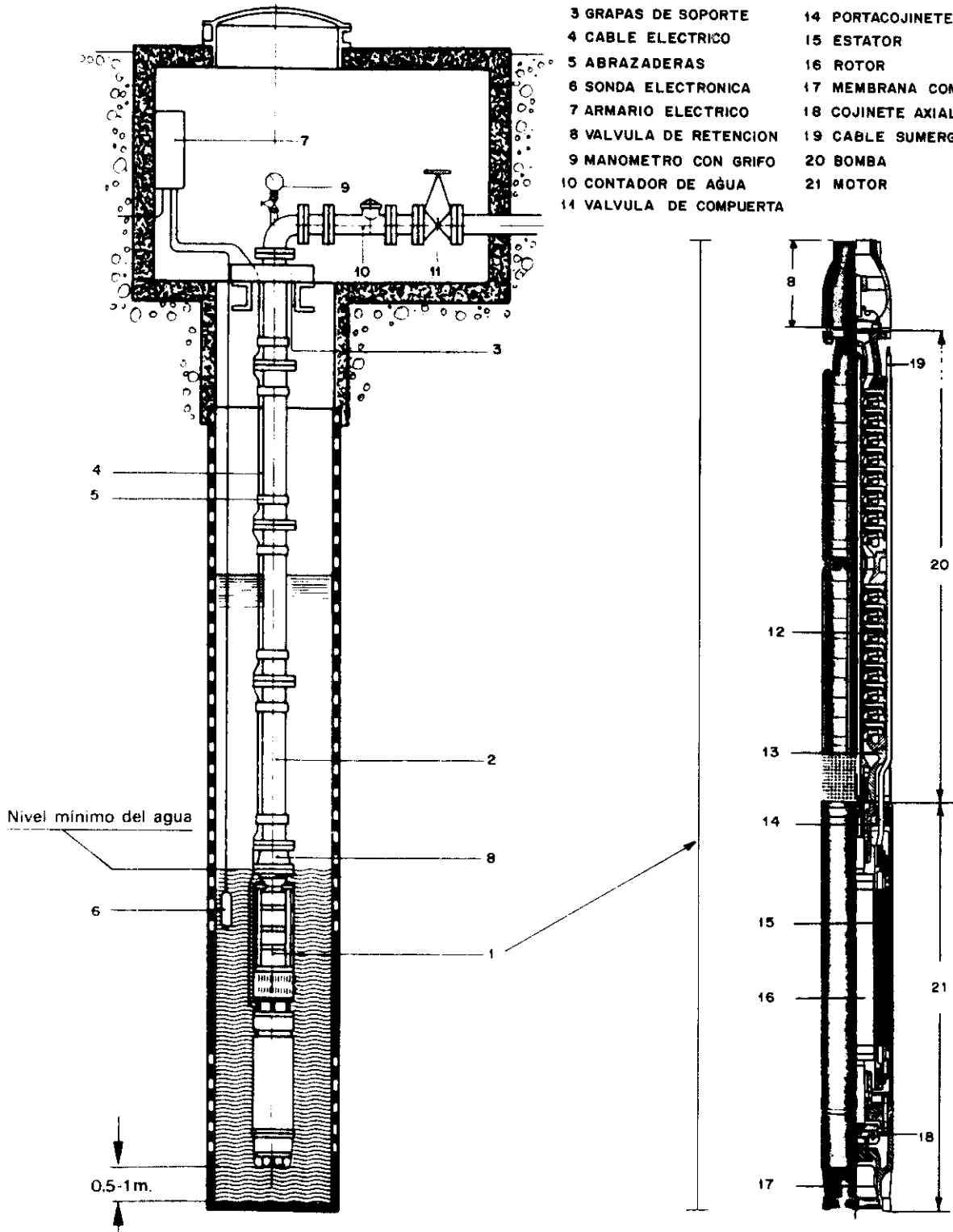


Fuente: Manual Bombas Ideal, 1985

Fig.16 BOMBA CENTRIFUGA VERTICAL SUMERGIDA

## LEYENDA

- |                         |                          |
|-------------------------|--------------------------|
| 1 ELECTROBOMBA          | 12 IMPULSOR              |
| 2 TUBERIA               | 13 PIEZA DE ASPIRACION   |
| 3 GRAPAS DE SOPORTE     | 14 PORTACOJINETES        |
| 4 CABLE ELECTRICO       | 15 ESTATOR               |
| 5 ABRAZADERAS           | 16 ROTOR                 |
| 6 Sonda ELECTRONICA     | 17 MEMBRANA COMPENSACION |
| 7 ARMARIO ELECTRICO     | 18 COJINETE AXIAL        |
| 8 VALVULA DE RETENCION  | 19 CABLE SUMERGIBLE      |
| 9 MANOMETRO CON GRIFO   | 20 BOMBA                 |
| 10 CONTADOR DE AGUA     | 21 MOTOR                 |
| 11 VALVULA DE COMPUERTA |                          |



Fuente: Modificado del Manual Bombas Itur, 1987

Fig. 17 EJEMPLO DE INSTALACIONES DE BOMBEO Y ACCESORIOS REQUERIDOS EN UNA CAPTACION.



Para ello debe realizarse un ensayo de bombeo, cuya programación y ejecución se fijarán en función de las características del acuífero captado.

En líneas generales, éste constará en primer lugar y, tras un proceso de desarrollo, de un ensayo escalonado a caudales crecientes con o sin recuperación entre ellos. Este se realiza para conocer las pérdidas de carga y el caudal crítico de la captación. El número de escalones a efectuar y la duración de cada uno de ellos se decidirán a criterio del hidrogeólogo asesor.

Esta recomendación afecta a los elementos que son de fácil sustitución, no así a la tubería de conducción la cual normalmente supone un elevado coste de instalación. Es importante señalar que dicho caudal deberá ser en cualquier caso inferior al caudal crítico anteriormente determinado siendo la duración mínima del ensayo de bombeo de 24 horas.

Durante la prueba y con objeto de determinar lo más correctamente posible los parámetros hidráulicos del acuífero explotado, se ha de medir la evolución del



Posteriormente al ensayo escalonado y tras la recuperación del nivel piezométrico se realizará un bombeo a caudal constante. Dicho caudal será el necesario para cubrir la dotación asignada en el plan hidrológico de cuenca correspondiente a la población a abastecer.

Para ello se debe determinar el número de habitantes existentes y su evolución prevista en los próximos 5 ó 10 años. Cabe indicar que no es recomendable calcular la maquinaria elevadora para un tiempo superior a ese período puesto que de hacerlo así funcionaría en los primeros años a un bajo rendimiento técnico y económico.

nivel piezométrico tanto en el pozo de bombeo como en algún piezómetro cercano, si esto es posible.

Finalmente tras el bombeo se medirá la recuperación de los niveles en todos los puntos en los que se controlaron los descensos. Esto se realizará durante un período superior al 30% del tiempo de bombeo, siendo aconsejable, siempre que sea posible, igualarlo para poder comprobar los posibles déficits de recuperación que podrían ser indicativos del vaciado del acuífero.

De esta prueba se obtiene la posición del nivel dinámico para el caudal de explotación, que es un dato fundamental para definir la altura de elevación.

A continuación se utiliza como ejemplo para describir los diversos pasos que se deben seguir al dimensionar el equipo de bombeo necesario en una captación el caso siguiente:

Número de habitantes: 2.500

Incremento previsto en los próximos 10 años: 100 habitantes

Dotación que le corresponde según el plan hidrológico: 240 l/hab/día

Altura del depósito regulador respecto al nivel del sondeo: 25 m

Distancia del sondeo al depósito regulador: 100 m

Accesorios a instalar:

Codos de 90° existentes en la conducción prevista: 5

Válvulas de retención (para evitar el golpe de ariete): 1

Válvulas de compuerta (para regular el caudal): 2

En primer lugar se realizó un ensayo escalonado, obteniéndose un caudal crítico de 12 l/s.

Posteriormente se efectuó un ensayo de bombeo con un caudal de 7,5 l/s. Este fue elegido para cubrir la dotación teórica:  $Q = 2600 \times 240 = 624.000$  l/día, es decir era necesario un caudal continuo de 7,3 l/s.

Si bien el resultado óptimo de la bomba se obtiene funcionando las 24 horas del día, que es por tanto la opción considerada, en numerosas ocasiones se opta por bombear menos horas para poder aprovechar los periodos de tarifa eléctrica reducida o en base a otros condicionantes.

El nivel dinámico se situó a 40 m, con una recuperación de los niveles iniciales transcurridas 7 horas del final del bombeo, por lo que se consideró correcto este caudal de explotación.

El siguiente parámetro a calcular es la altura manométrica, que es aquella que deberá vencer una bomba en un sistema para elevar un caudal de líquido determinado a través de una conducción desde un nivel dinámico a otro superior.

La expresión que la define es:

$$H_m = Hg + \frac{P_2 - P_1}{Pe} \chi 10 + Pc + \frac{v^2}{2g}$$

donde:

$H_m$  = altura manométrica total

$Hg$  = altura geométrica o desnivel entre el nivel superior e inferior del agua

$P_2$  y  $P_1$  = presiones sobre los niveles superior e inferior del agua (generalmente  $P_2 = P_1$  por estar sometidos ambos a la misma presión)

$Pe$  = peso específico del agua

$Pc$  = pérdidas de carga a lo largo de la conducción

$v^2/2g$  = altura debida a la velocidad de derrame del agua (generalmente despreciable)

Considerando  $P_2 - P_1 = 0$  y  $v^2/2g$  despreciable, la expresión anterior queda reducida a:

$$H_m = Hg + Pc$$

Las pérdidas de carga totales en una conducción serán:

$$P_c = P'_c (L_c + L_a)$$

en donde:

$P'_c$  = pérdidas de carga unitarias, en metros de columna de agua/metro de conducción

$L_c$  = longitud total de la conducción

$L_a$  = longitud equivalente de los accesorios

En el ejemplo descrito los parámetros obtenidos son:

$$H_g = 25 + 40 = 65 \text{ m}$$

$$P'_c = 0,021$$

$$L_c = 100 + 40 = 140 \text{ m}$$

$$L_a = (5 \chi 5) + 10 + (10 \chi 2) = 55$$

$$\text{Por lo tanto } H_m = 65 + 0,021 (140 + 55) = 69,09 \text{ m}$$

Para elegir el diámetro de la tubería de impulsión y calcular las pérdidas de carga que le correspondan se emplean las tablas de que disponen las diferentes empresas suministradoras de tuberías (ver tablas 1 y 2, así como las figuras 18 y 19).



**Tabla 1: Pérdidas de carga en tuberías**

Caudal litros hora	Diámetro Interior de las tuberías en milímetros																						
	16	19	25	32	38	50	63	75	89	100	125	150	175	200	225	250	275	300					
	Pérdida en metros por cada 100 metros de recorrido de tubería																						
250	1,86																						
500	5,85	2,3																					
1.000	21,7	9,3	2,3	0,45																			
2.000	102	44,8	10,6	2,85	1,10																		
3.000			19,8	5	2	1	0,35																
4.000			32,5	9,1	4	1,65	0,75	0,28															
5.000				12,9	5,2	2,3	0,95	0,34															
6.000				18,5	8,6	3,1	1,15	0,40															
7.000				25,7	10,9	4	1,35	0,50	0,25														
8.000				33,2	15	5	1,80	0,60	0,30														
9.000					18,9	6,10	2,25	0,80	0,40														
10.000					25	8,5	2,80	1,15	0,50	0,25													
12.000					30,9	10,9	3,80	1,50	0,60	0,45													
15.000					47	16,2	6	2,35	0,75	0,65													
18.000						22,6	8,20	3	1	0,85	0,25												
20.000						28,8	10	4	1,40	0,95	0,30												
25.000						41,5	14,1	6,10	1,80	1,40	0,45												
30.000							20,6	8,35	2,40	2,10	0,62	0,30											
35.000							27,85	11,4	3,20	2,90	0,95	0,40											
40.000							36,9	14,5	4,20	3,60	1,15	0,45											
45.000							40,6	18,3	5,60	4,50	1,45	0,55											
50.000								21,9	6,90	5,40	1,85	0,80	0,29										
60.000								30,5	9,60	7,60	2,55	1,05	0,41										
70.000									12,1	9,80	3,25	1,40	0,55										
80.000									16,3	12,4	4	1,80	0,80	0,37									
90.000									20	16,2	5,45	2,20	0,91	0,44									
100.000										19,9	6,65	2,70	1,30	0,56	0,32								
125.000											9,10	3,75	1,72	0,92	0,50								
150.000											13,65	5,65	2,45	1,39	0,71	0,41							
175.000												8,10	3,32	1,72	1,05	0,55							
200.000													9,95	4,25	2,35	1,24	0,72	0,43					
250.000														14,35	6,50	3,44	1,90	1,15	0,67	0,44			
300.000															18,20	9,45	4,97	2,75	1,70	1	0,65		
350.000																13,7	6,62	3,60	2,15	1,35	0,83		
400.000																	17,35	8,75	4,75	2,80	1,70	1,15	
450.000																		23	11,5	6,05	3,50	2,20	1,45
500.000																			14,10	8,50	4,75	2,65	1,80

Fuente: Tuberías VILLEN.

TABLA 2: RENDIMIENTOS DE AGUA Y PÉRDIDAS DE CARGA EN LAS TUBERÍAS

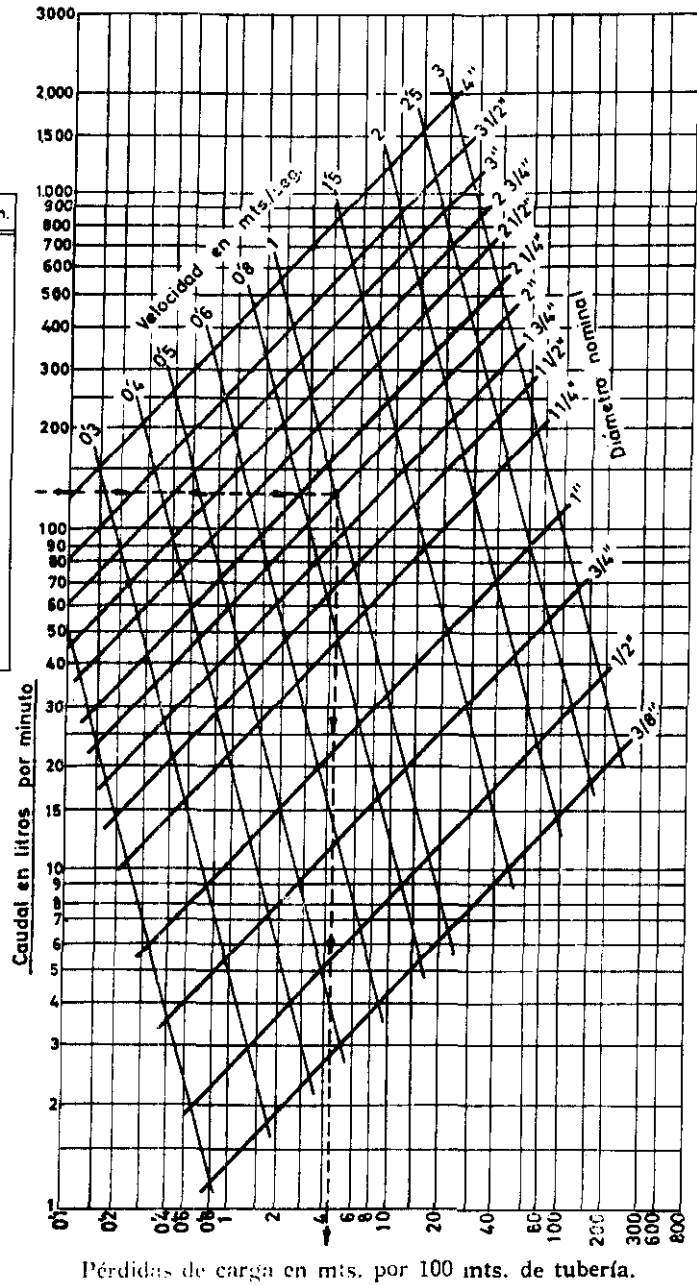
La pérdida de carga h es en metros por 100 mts. de longitud y el rendimiento Q en m³ por minuto

Diámetro Interior del tubo . . . . .		30	40	50	60	70	80	90	100	125	150	175	200	225	250	275	300	
0,50	Rendimiento Q . . . . .	0,0212	0,0377	0,0589	0,0848	0,1155	0,1508	0,1909	0,2356	0,3681	0,5301	0,7216	0,9425	1,1928	1,4726	1,7819	2,1206	m³/min
	Pérdidas de carga h . . . . .	1,5625	1,0385	0,7671	0,6031	0,4933	0,4173	0,3610	0,3185	0,2444	0,1979	0,1660	0,1427	0,1251	0,1116	0,1005	0,0917	mts.
0,60	Rendimiento Q . . . . .	0,0254	0,0452	0,0707	0,1018	0,1386	0,1810	0,2290	0,2827	0,4418	0,6362	0,8659	1,1310	1,4314	1,7671	2,1383	2,5447	m³/min
	Pérdidas de carga h . . . . .	2,2500	1,4954	1,1046	0,8685	0,7103	0,6009	0,5199	0,4587	0,3519	0,2850	0,2390	0,2055	0,1802	0,1607	0,1448	0,1321	mts.
0,70	Rendimiento Q . . . . .	0,0297	0,0528	0,0825	0,1187	0,1616	0,2111	0,2672	0,3299	0,5164	0,7422	1,0102	1,3195	1,6700	2,0617	2,4946	2,9688	m³/min
	Pérdidas de carga h . . . . .	3,0625	2,0354	1,5035	1,1821	0,9668	0,8179	0,7076	0,6244	0,4790	0,3879	0,3254	0,2797	0,2453	0,2188	0,1970	0,1798	mts.
0,80	Rendimiento Q . . . . .	0,0339	0,0613	0,0942	0,1357	0,1847	0,2413	0,3054	0,3770	0,5890	0,8442	1,1545	1,5080	1,9085	2,3562	2,8510	3,3929	m³/min
	Pérdidas de carga h . . . . .	4,0000	2,6585	1,9637	1,5440	1,2627	1,0683	0,9242	0,8155	0,6256	0,5066	0,4250	0,3653	0,3204	0,2857	0,2573	0,2349	mts.
0,85	Rendimiento Q . . . . .	0,0361	0,0641	0,1001	0,1442	0,1963	0,2564	0,3245	0,4006	0,6258	0,9013	1,2267	1,6022	2,0278	2,5034	3,0292	3,6051	m³/min
	Pérdidas de carga h . . . . .	4,5156	3,0012	2,2168	1,7430	1,4255	1,2060	1,0434	0,9206	0,7063	0,5719	0,4798	0,4124	0,3617	0,3226	0,2905	0,2651	mts.
0,90	Rendimiento Q . . . . .	0,0392	0,0679	0,1060	0,1527	0,2078	0,2714	0,3435	0,4241	0,6627	0,9543	1,2989	1,6965	2,1471	2,6507	3,2074	3,8170	m³/min
	Pérdidas de carga h . . . . .	5,0625	3,3647	2,4853	1,9541	1,5982	1,3520	1,1697	1,0321	0,7918	0,6412	0,5379	0,4624	0,4055	0,3616	0,3257	0,2972	mts.
0,95	Rendimiento Q . . . . .	0,0403	0,0716	0,1119	0,1616	0,2194	0,2865	0,3626	0,4477	0,6995	1,0073	1,3710	1,7906	2,2664	2,7980	3,3856	4,0290	m³/min
	Pérdidas de carga h . . . . .	5,6406	3,7489	2,7691	2,1773	1,7806	1,5065	1,3032	1,1469	0,8823	0,7144	0,5993	0,5152	0,4518	0,4029	0,3629	0,3311	mts.
1	Rendimiento Q . . . . .	0,0424	0,0754	0,1178	0,1697	0,2309	0,3016	0,3817	0,4712	0,7363	1,0603	1,4432	1,8850	2,3857	2,9452	3,5638	4,2412	m³/min
	Pérdidas de carga h . . . . .	6,2553	4,1539	3,0683	2,4125	1,9731	1,6692	1,4441	1,2742	0,9776	0,7916	0,6640	0,5708	0,5006	0,4465	0,4021	0,3670	mts.
1	Rendimiento Q . . . . .	0,0445	0,0792	0,1237	0,1781	0,2425	0,3167	0,4008	0,4948	0,7731	1,1133	1,5153	1,9792	2,5049	3,0925	3,7419	4,4533	m³/min
	Pérdidas de carga h . . . . .	6,8965	4,5797	3,3828	2,6598	2,1753	1,8403	1,5921	1,4048	1,0778	0,8725	0,7321	0,6293	0,5519	0,4927	0,4433	0,4046	mts.
1,10	Rendimiento Q . . . . .	0,0467	0,0829	0,1295	0,1860	0,2540	0,3317	0,4199	0,5184	0,8059	1,1463	1,5875	2,0733	2,6242	3,2398	3,9201	4,6653	m³/min
	Pérdidas de carga h . . . . .	7,5589	5,0262	3,7126	2,9191	2,3874	2,0197	1,7494	1,5418	1,1829	0,9578	0,8035	0,6907	0,6057	0,5402	0,4866	0,4440	mts.
1,15	Rendimiento Q . . . . .	0,0488	0,0867	0,1355	0,1951	0,2655	0,3468	0,4390	0,5420	0,8467	1,2194	1,6597	2,1677	2,7435	3,3869	4,0983	4,8775	m³/min
	Pérdidas de carga h . . . . .	8,2726	5,4936	4,0578	3,1905	2,6093	2,2075	1,9098	1,6851	1,2929	1,0469	0,8782	0,7549	0,6621	0,5901	0,5318	0,4853	mts.
1,20	Rendimiento Q . . . . .	0,0509	0,0905	0,1414	0,2036	0,2771	0,3519	0,4381	0,5655	0,8635	1,2723	1,7318	2,2620	2,8628	3,5343	4,2765	5,0892	m³/min
	Pérdidas de carga h . . . . .	9,0076	5,9816	4,4183	3,4740	2,8412	2,4037	2,0795	1,8349	1,4077	1,1399	0,9562	0,8220	0,7209	0,6429	0,5791	0,5284	mts.
1,25	Rendimiento Q . . . . .	0,0530	0,0942	0,1473	0,2121	0,2886	0,3770	0,4772	0,5891	0,9204	1,3254	1,8040	2,3562	2,9821	3,6816	4,4547	5,3015	m³/min
	Pérdidas de carga h . . . . .	9,7739	6,4904	4,7942	3,7695	3,0829	2,6081	2,2564	1,9906	1,5275	1,2369	1,0375	0,8919	0,7822	0,6976	0,6283	0,5734	mts.
1,50	Rendimiento Q . . . . .	0,0636	0,1131	0,1767	0,2545	0,3463	0,4524	0,5726	0,7069	1,1045	1,5904	2,1648	2,8274	3,5785	4,4179	5,3456	6,3617	m³/min
	Pérdidas de carga h . . . . .	14,062	9,3463	6,9036	5,4281	4,4394	3,7557	3,2492	2,8670	2,1996	1,7811	1,4941	1,2844	1,1264	1,0046	0,9048	0,8257	mts.
1,75	Rendimiento Q . . . . .	0,0742	0,1319	0,2062	0,2969	0,4041	0,5278	0,6680	0,8247	1,2885	1,8555	2,5256	3,2987	4,1749	5,1542	6,2366	7,4220	m³/min
	Pérdidas de carga h . . . . .	19,140	12,713	9,3967	7,3883	6,0425	5,1120	4,4226	3,9023	2,9938	2,4243	2,0336	1,7482	1,5331	1,3673	1,2315	1,1238	mts.
2	Rendimiento Q . . . . .	0,0848	0,1508	0,2356	0,3393	0,4618	0,6032	0,7634	0,9425	1,4726	2,1206	2,8864	3,7699	4,7713	5,8905	7,1275	8,4823	m³/min
	Pérdidas de carga h . . . . .	25,021	16,6157	12,2732	9,6500	7,8922	6,6769	5,7764	5,0968	3,9104	3,1664	2,6562	2,2834	2,0025	1,7859	1,6085	1,4679	mts.

Fuente: Bombos Pleuger



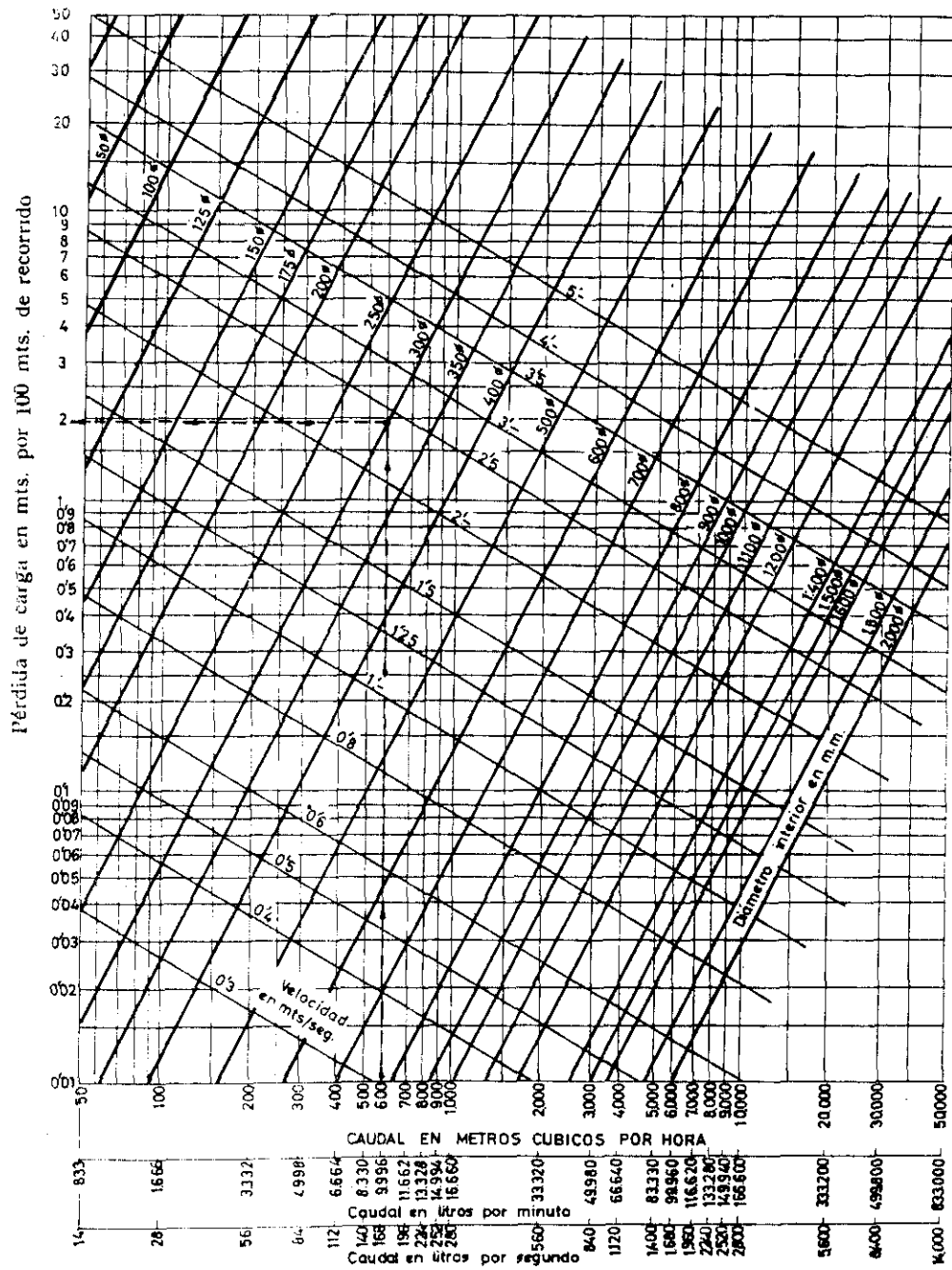
Nominal	Ø int. en m/m.	Ø ext. en m/m.
3/8"	12'25	16'75
1/2"	15'75	21'25
2/4"	21'25	26'75
1"	27'-	33'50
1 1/4"	35'75	42'25
1 1/2"	41'25	48'25
1 3/4"	47'40	54'50
2"	52'50	60'-
2 1/4"	58'50	66'-
2 1/2"	68'-	75'50
2 3/4"	74'60	83'-
3"	80'25	88'25
3 1/2"	92'50	101'-
4"	105'-	113'50



Para tuberías nuevas, las pérdidas de carga serán multiplicadas por 0,7

Fuente: Bombas Ideal, 1985

Fig. 18 PERDIDAS DE CARGA EN TUBERIAS.



Las pérdidas de carga serán multiplicadas: por 0,8 para conducciones nuevas. Por 1,2 para conducciones incrustadas.

Fuente: Bombas Ideal

Fig.19 PERDIDA DE CARGA EN TUBERIAS

En este caso el caudal necesario es de 26.280 l/h  $\approx$  30.000 l/h por lo que se obtienen los valores posibles (en este caso 6 al utilizar la tabla 1).

Se consideró como pérdida aceptable 2,1 m por cada 100 m de recorrido correspondiente a una tubería de 100 mm de diámetro interior.

En la figura 20 figuran las pérdidas de carga que suponen los codos y válvulas previstas.

La potencia necesaria será:

$$P = \frac{\gamma Q H_m}{R_b \chi 75} \quad (CV)$$

siendo

$P$  = Potencia (CV)

$Q$  = Caudal (l/s)

$H_m$  = Altura manométrica (m)

$\gamma$  = Peso específico del agua (kg/l)

$R_b$  = Rendimiento de la bomba

En este caso:

$$\gamma = 1$$

$$Q = 30.000 \text{ l/h} = 8,33 \text{ l/s}$$

$$H_m = 70 \text{ m}$$

$$R_b = 0,65$$

Por lo tanto  $P \approx 12 \text{ CV}$

El modo de actuar consiste en utilizar los gráficos y curvas suministradas por las casas fabricantes para elegir el modelo deseado.

En la figura 21 se presenta un diagrama de preselección de modelos de bombas.

Se entra en él con los datos:

$$H = 70 \text{ m}$$

$$Q = 30 \text{ m}^3/\text{h}$$

El diámetro de la electrobomba se debe escoger en función del diámetro de la captación y/o consideraciones técnicas y económicas. Hay dos posibilidades, al no ser en este caso el diámetro excluyente.

La (1) Electro bomba de 6"  $\rightarrow$  Modelo 6666

La (2) Electro bomba de 8"  $\rightarrow$  Modelo 6608

Se analizarán ambas:

### 1ª Posibilidad

Electrobomba de 6" (150 mm): Modelo 6666

En la tabla 3 se especifican sus características. En ella se obtiene que el modelo buscado es el

6666/Modelo de electrobomba  
15/Número de impulsores  
9,2 / Potencia de motor en KW  
2/Números de polos

Al ser  $Q = 30 \text{ m}^3/\text{h}$  y  $H = 70 \rightarrow H = 72 \text{ m}$

Su potencia es de 12,5 CV que coincide sensiblemente con la obtenida teóricamente.

Finalmente en la figura 22 se muestra la curva característica  $Q - H$  de ese modelo.

En la parte inferior de dicha figura se obtiene que el rendimiento es del 65%.

La potencia absorbida será de

$$15 \chi 0,77 = 11,59 \text{ CV}$$

### 2ª Posibilidad

Electrobomba de 8" ( $\approx$  200 mm): 6608

Realizando las mismas operaciones que en el caso anterior (ver tabla 4 y figura 23) se obtiene:

Modelo de electrobomba 6608/5/9,2/2

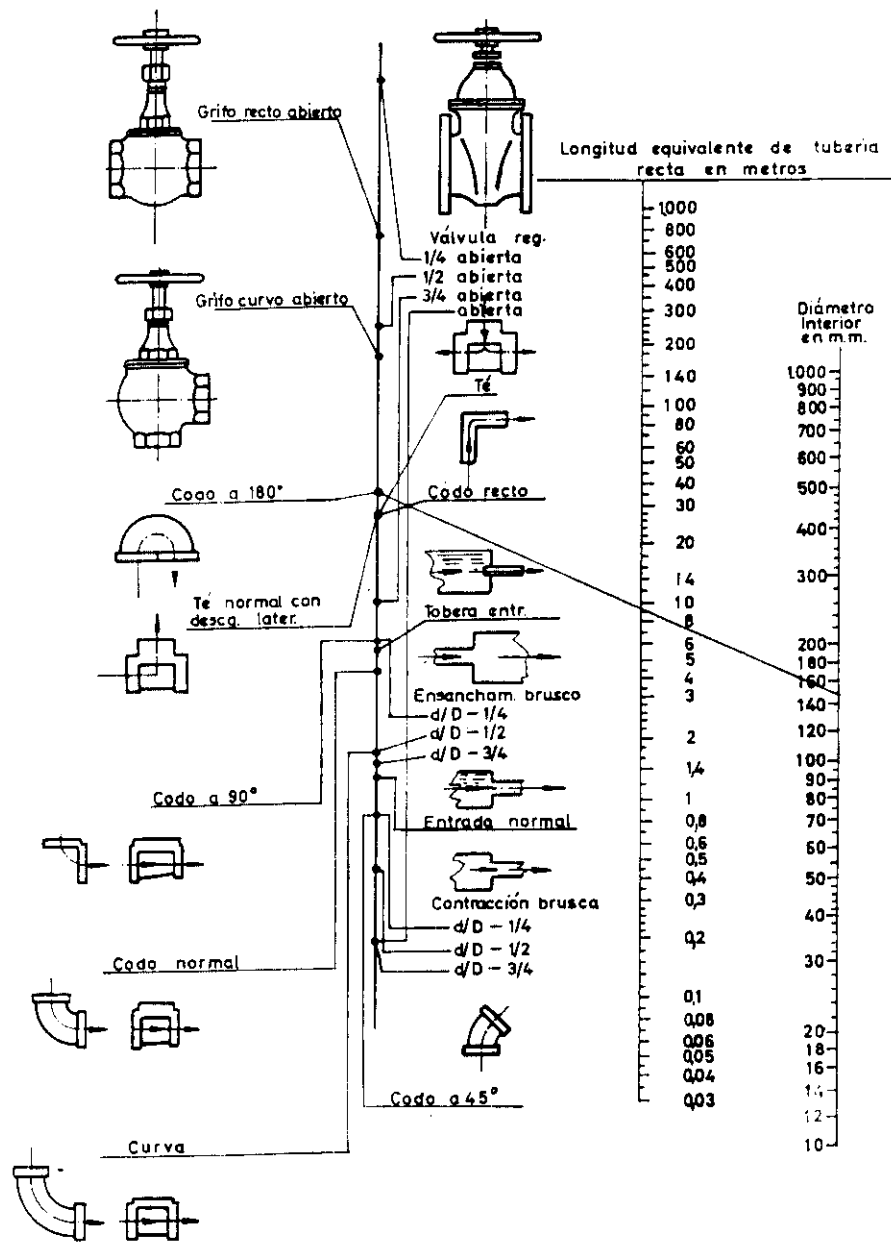
Rendimiento 72% (es el máximo)

Potencia absorbida  $5 \chi 2,4 = 12 \text{ CV}$

La opción más favorable es la segunda, al ser su rendimiento mejor y ser además un 25% más barata.

Una vez elegido el modelo de electrobomba queda por definir el cable eléctrico y el transformador que debe emplearse.

Los grupos con motor eléctrico sumergible necesitan de cables conductores como el mostrado en la figura 24 que deben ajustarse a la legislación vigente.



Fuente: Bombas Ideal, 1985

Fig. 20 PERDIDA DE CARGA EN LOS ACCESORIOS DE LAS TUBERIAS.

**TABLA 3: DATOS TECNICOS DE LA BOMBA TIPO 6666 - 2.900 rpm. 50 Hz**

Tipo electrobomba	Curva n°	Datos motor					Dimensiones mm.		Peso Kg.	Alturas manométricas m.					
		Potencia		Intensidad nominal, Amp.			L	A		(1)					
		H.P.	Kw.	220 V.	380 V.	415 V.				10	15	20	25	30	32
6666/1/1/2	①	1,4	1	5,9	3,4	3,1	810	620	57	10	9,3	8,2	6,7	4,8	4
6666/2/1,7/2	②	2,2	1,7	8,3	4,8	4,5	930	650	69	20	18,6	16,4	13,4	9,6	8
6666/3/2,2/2	③	3	2,2	10,3	6	5,5	1145	765	82	30	27,9	24,6	20,1	14,4	12
6666/4/3/2	④	4	3	13,3	7,7	7	1270	800	94	40	37,2	32,8	26,8	19,2	16
6666/5/4/2	⑤	5,5	4	18,2	10,5	9,8	1400	840	109	50	46,5	41	33,5	24	20
6666/6/4/2	⑥	5,5	4	18,2	10,5	9,8	1490	840	116	60	55,8	49,2	40,2	28,8	24
6666/7/5,5/2	⑦	7,5	5,5	23,4	13,5	12,4	1640	900	123	70	65,1	57,4	46,9	33,6	28
6666/8/5,5/2	⑧	7,5	5,5	23,4	13,5	12,4	1730	900	130	80	74,4	66,6	53,8	38,4	32
6666/9/5,5/2	⑨	7,5	5,5	23,4	13,5	12,4	1820	900	137	90	83,7	73,8	60,3	43,2	36
6666/10/7,5/2	⑩	10	7,5	30,4	17,8	16,1	1970	960	151	100	93	82	67	48	40
6666/11/7,5/2	⑪	10	7,5	30,4	17,8	16,1	2060	960	158	110	102,3	90,2	73,7	52,8	44
6666/12/7,5/2	⑫	10	7,5	30,4	17,8	16,1	2150	960	165	120	111,6	98,4	80,4	57,6	48
6666/13/9,2/2	⑬	12,5	9,2	37,2	21,5	19,7	2319	1039	181	130	120,9	106,6	87,1	62,4	52
6666/14/9,2/2	⑭	12,5	9,2	37,2	21,5	19,7	2409	1039	188	140	130,2	114,8	93,8	67,2	56
6666/15/9,2/2	⑮	12,5	9,2	37,2	21,5	19,7	2499	1039	195	150	139,5	123	100,5	72	60
6666/16/11/2	⑯	15	11	43,2	25	22,9	2639	1089	208	160	148,8	131,2	107,2	76,8	64
6666/17/11/2	⑰	15	11	43,2	25	22,9	2729	1089	215	170	158,1	139,4	113,9	81,6	68
6666/18/11/2	⑱	15	11	43,2	25	22,9	2819	1089	222	180	167,4	147,6	120,6	86,4	72
6666/19/13/2	⑲	17,5	13	53,6	31	28,4	2959	1139	234	190	176,7	155,8	127,3	91,2	76
6666/20/13/2	⑳	17,5	13	53,6	31	28,4	3049	1139	241	200	186	164	134	96	80
6666/21/13/2	㉑	17,5	13	53,6	31	28,4	3139	1139	248	210	195,3	172,2	140,7	100,8	84
6666/22/15/2	㉒	20	15	60,5	35	32	3269	1179	260	220	204,6	180,4	147,4	105,6	88
6666/23/15/2	㉓	20	15	60,5	35	32	3359	1179	267	230	213,9	188,6	154,1	110,4	92
6666/24/15/2	㉔	20	15	60,5	35	32	3449	1179	274	240	223,2	196,8	160,8	115,2	96

44	66	88	110,1	132,1	140,9
36,7	55	73,4	91,7	110,1	117,4

Fuente: Manual bombas ITUR, 1987

La sección del cable depende esencialmente de la intensidad de corriente que ha de soportar y de su longitud.

Puede emplearse un método gráfico para el cálculo del cable (figura 25), en el caso del ejemplo mostrado (arranque directo 380 V, intensidad de trabajo 21,5 A y longitud del cable 70 m) corresponde una sección de 3 x 6 mm.

También puede emplearse el cálculo de la máxima caída de tensión admisible (generalmente 5%) para su dimensionamiento. Para ello se aplica la expresión:

$$\Delta U = \sqrt{3} I (R_c \cos \Phi + X_c \sin \Phi)$$

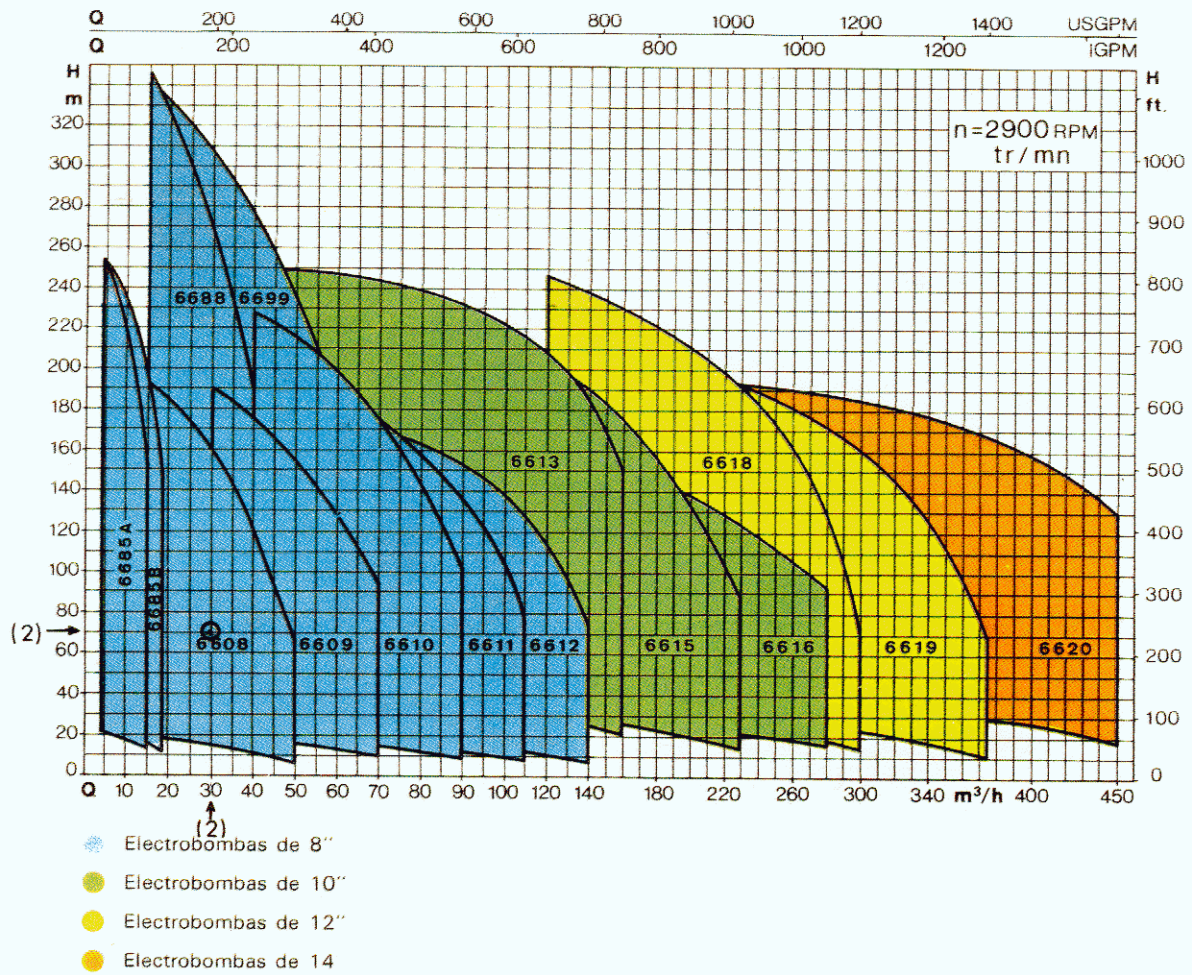
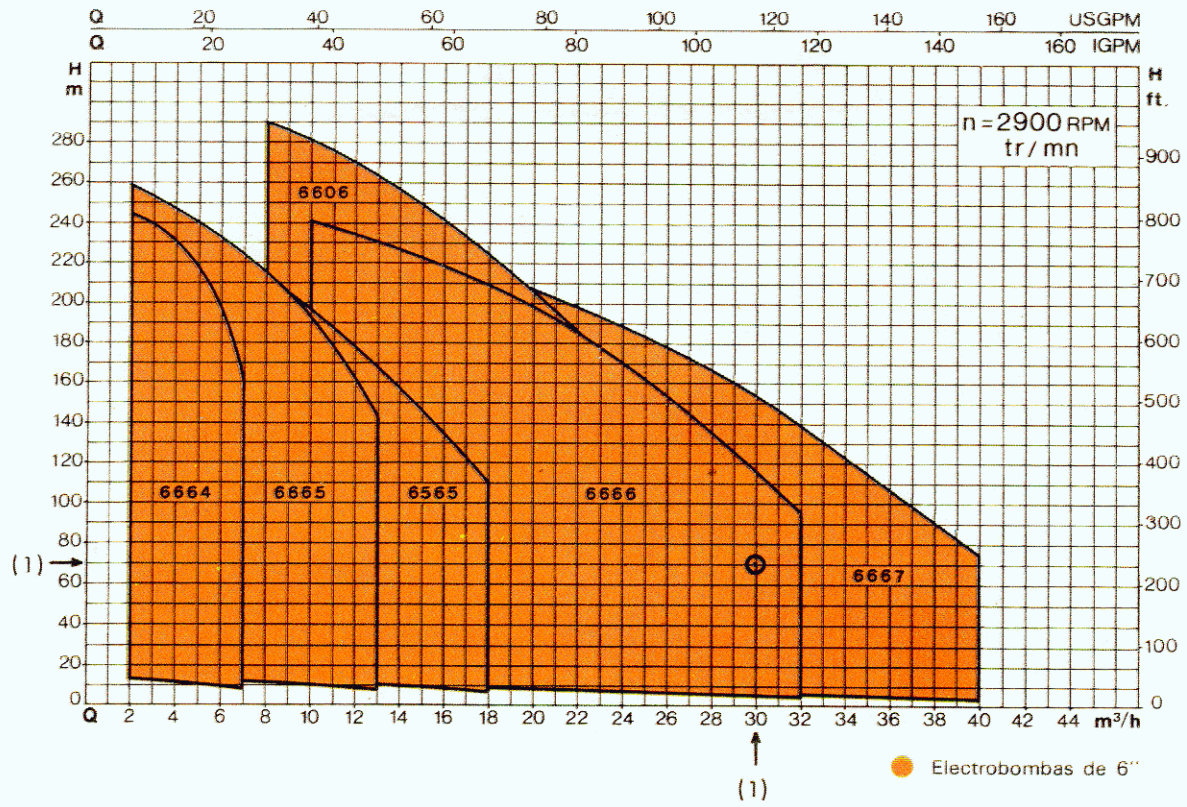
siendo:

I la intensidad de servicio prevista

R<sub>c</sub> la resistencia por fase del cable

X<sub>c</sub> la reactancia por fase del cable

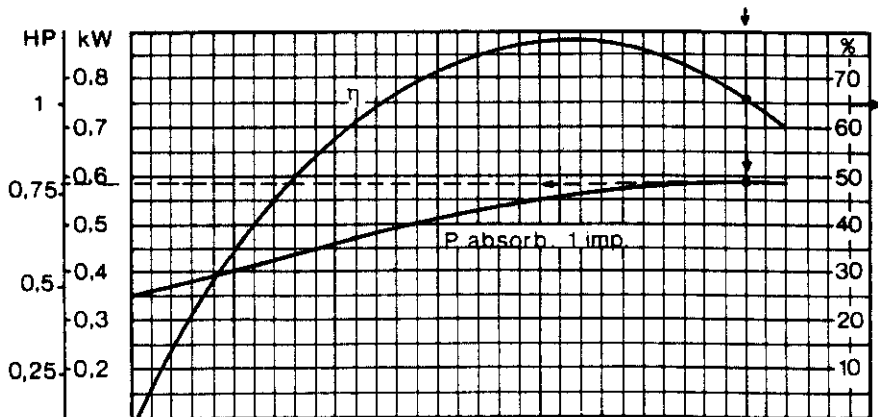
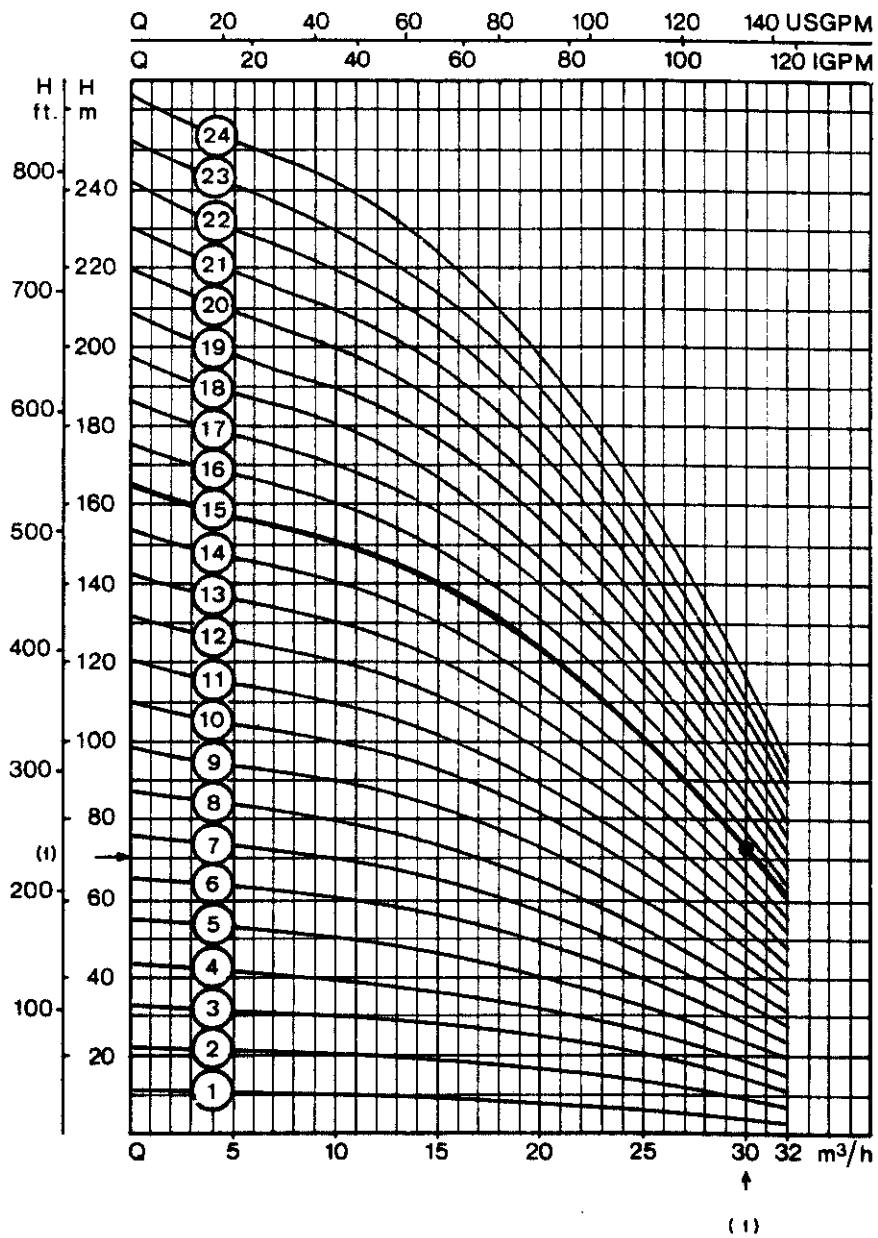
Para este cálculo es necesario conocer (R<sub>c</sub>, X<sub>c</sub>) las características eléctricas del cable (proporcionadas por el fabricante). En el anexo 10.5 se adjuntan diversas tablas que resumen algunas de estas características para varios tipos y disposiciones de cable.



Fuente: Manual bombas ITUR, 1987

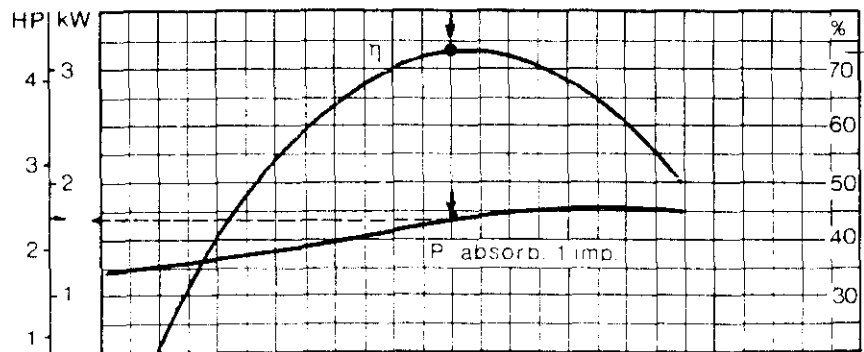
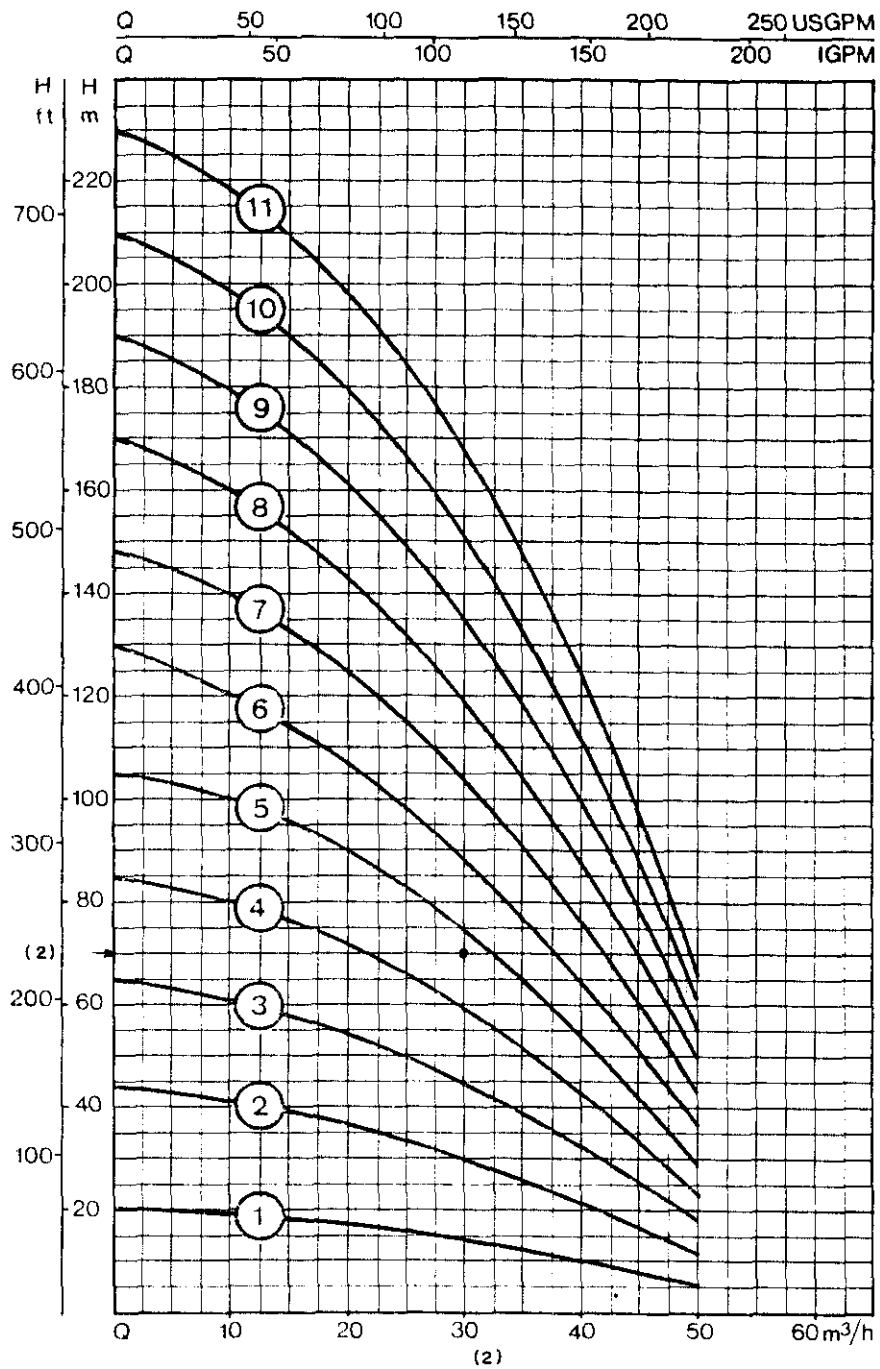
Fig. 21 DIAGRAMAS PARA LA ELECCION DE MODELO





Fuente: Manual bombas ITUR, 1967

Fig. 22 CURVAS CARACTERISTICAS DE LA BOMBA TIPO 6666  
2.900 rpm. 50Hz



Fuente: Manual bombas ITUR, 1987

**Fig. 23 CURVAS CARACTERISTICAS DE LA BOMBA TIPO 6608  
2.900 rpm. 50 Hz**

**Tabla 4 DATOS TECNICOS DE LA BOMBA TIPO 6608-2.900 rpm. 50 Hz**

Tipo electrobomba	Curva n.º	Datos motor					Dimensiones mm.		Peso Kg.	Alturas manométricas m.				Q m <sup>3</sup> /H
		Potencia		Intensidad nominal. Amp.			L	A		(2)				
		H.P.	Kw.	220 V.	380 V.	415 V.				20	30	40	60	
6608/1/2.2/2	①	3	2.2	10.3	8	5.5	1038	800	77.5	17.4	14.8	10.8	8	
6608/2/4/2	②	5.5	4	18.2	10.5	9.8	1231	875	102	34.8	29.2	21.8	12	
6608/3/5.5/2	③	7.5	5.5	23.4	13.5	12.4	1409	935	120.5	52.2	43.8	32.4	18	
6608/4/7.5/2	④	10	7.5	30.4	17.6	16.1	1587	995	132	69.8	58.4	43.2	24	
(2) 6608/5/9.2/2	⑤	12.5	9.2	37.2	21.5	19.7	1784	1074	152.5	87	73	54	30	
6608/6/11/2	⑥	15	11	43.2	25	22.9	1952	1124	170	104.4	87.8	64.8	36	
6608/7/13/2	⑦	17.5	13	53.6	31	28.4	2120	1174	186.5	121.8	102.2	75.8	42	
6608/8/15/2	⑧	20	15	60.5	35	32	2278	1214	203	139.2	116.8	88.4	48	
6608/9/18.4/2	⑨	25	18.4	71	41	37.8	2488	1304	224.5	158.8	131.4	97.2	54	
6608/10/18.4/2	⑩	25	18.4	71	41	37.8	2804	1304	236	174	146	108	60	
6608/11/22/2	⑪	30	22	81.5	47	43	2812	1394	256.5	191.4	160.8	118.8	68	

88	132.1	178.1	220.2	Q USGPM
73.4	110.1	146.7	183.4	Q IGPM

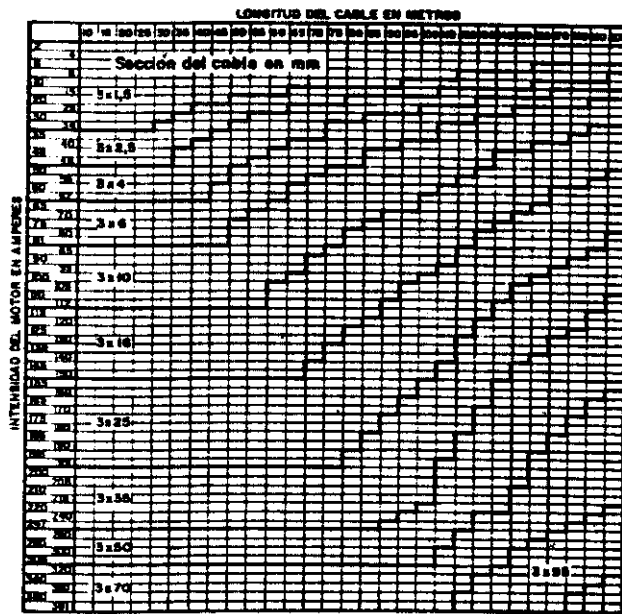
Fuente: Manual bombas ITUR, 1987



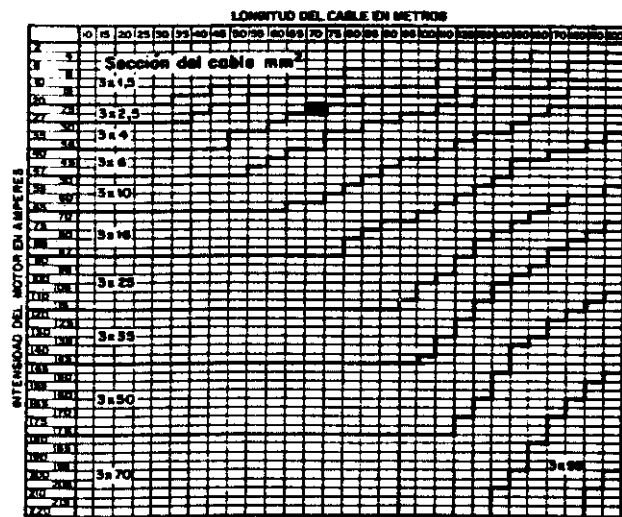
Fuente: M. Villanueva y A. Iglesias, 1984

**Fig. 24 CABLE "EPROTEX H MI" PARA POZOS O GRANDES PENDIENTES.**

ARRANQUE ESTRELLA TRIANGULO A A 380/660 V.



ARRANQUE DIRECTO - 380 V.



Fuente: M. Villanueva y A. Iglesias, 1984

Fig. 25 SELECCION DE CONDUCTORES ELECTRICOS PARA GRUPOS MOTO-BOMBA SUMERGIBLES, EN FUNCION DE LA INTENSIDAD NOMINAL DEL MOTOR EN AMPERIOS Y LA LONGITUD DEL CONDUCTOR EN METROS.

Todos estos cálculos se han hecho para una T° ambiente de 25°C y el cable al aire; un aumento de la T° ambiente requerirá aplicar un factor de corrección a fin de evitar un excesivo calentamiento, por el contrario un cable sumergido en agua (cuya T° suele ser bastante inferior a 25°C y enfría de forma más eficaz) haría necesaria una menor sección.

Cuando se emplean (ensayos de bombeo, instalaciones provisionales) cables arrollados o varios cables juntos el enfriamiento es mucho menos eficaz siendo necesaria una especial atención a esta circunstancia.

Si bien el arranque en estrella triángulo tiene la ventaja de que la sección de los conductores es inferior que para el arranque en directo, presenta el inconveniente de precisar dos ramales trifásicos en lugar de uno.

En instalaciones fijas se recomienda en general la instalación de los dos ramales siempre que la potencia sea superior a 10 CV.

Las instalaciones elevadoras presentan normalmente un centro de transformación junto al sondeo.

La potencia que éste debe tener será:

$$P = \frac{P_B}{R_M} \times 0,736$$

siendo:

$P_B$  = Potencia en caballos

$R_M$  = Rendimiento del motor

$P$  = Potencia en KW

Ya que el rendimiento del motor es normalmente de 0,9, puesto que un transformador suministra conjuntamente energía activa y reactiva (KVA) y que el factor de potencia  $\cos \phi = 0,85$  la potencia teórica necesaria en KVA para alimentar una bomba será la siguiente:

$$P_T = \frac{P_B \times 0,736}{0,9 \times 0,85} \rightarrow P_T = 0,96 \times P_B$$

En la práctica el número de KVA del transformador es el mismo que el de CV del motor de la bomba en este caso es de 12,5 CV.

No obstante se recomienda sobredimensionarlo ligeramente para poder así absorber las intensidades punta que se producirán al arrancar, o utilizar en su defecto la solución de un arranque en estrella - triángulo.

### 5.3. Cuantificación de bombes en pozos mediante el consumo de energía eléctrica: Análisis del rendimiento de los mismos y su incidencia en el coste del agua

Mediante la aplicación del método que se explica a continuación se puede evaluar el volumen total de agua bombeado en un periodo de tiempo en función del consumo eléctrico.

Se pueden estimar también las horas de bombeo, el rendimiento del conjunto motobomba y su repercusión en el coste del metro cúbico de agua extraído. Para su aplicación debe conocerse la altura manométrica total ( $H_m$ ), el caudal de bombeo y la potencia activa consumida.

Se obtendrá la relación E ( $m^3/kwh$ ) para unas condiciones de bombeo en régimen de estabilización siendo constante a lo largo del tiempo, si no existen variaciones apreciables del nivel piezométrico, por lo que una vez conocida podrá calcularse el volumen extraído en un cierto periodo de tiempo en base al consumo de energía.

Se analizarán detalladamente los parámetros a calcular y el modo de proceder.

- Para la determinación del caudal de bombeo se utilizará el sistema de aforos que se adapte mejor a las instalaciones existentes, empleando generalmente el método volumétrico y el uso del micromolinete.
- Por su parte se debe conocer la altura manométrica total  $H_m$  definida en el apartado anterior (5.2).
- En una captación conectada a la red general de distribución de energía eléctrica se produce un consumo de ésta por tiempo de bombeo, el cual queda registrado en los medidores de energía (contadores) expresado en kwh.

En estos medidores se registran tres tipos de energía: activa, reactiva y aparente.

La primera de ellas se define por  $E_A = P_A t$ , siendo:

$E_A$  = energía activa  
 $P_A$  = potencia activa  
 $t$  = tiempo

Queda reflejada en los medidores de energía activa monofásicos o trifásicos según el caso expresándose en Wh, KWh y MWh.

Es la energía de trabajo y será la que se utilizará para la aplicación del método, ya que es la empleada en la extracción del agua.

La energía reactiva se registra con los medidores de energía reactiva y se define como  $E_R = P_R t$

Donde:

$P_R$  = potencia reactiva

$t$  = tiempo

Se registra con los medidores de energía reactiva expresándose en VArh (voltio amperio reactivo hora), KVAh y MVAh.

No supone ningún trabajo efectivo; es la energía de resistencia, es decir la que se pierde en las líneas de corriente y redes de distribución.

Finalmente la energía aparente es  $E_A = P_s t$

Donde:

$P_s$  = potencia aparente

$t$  = tiempo

Es la suma de las otras dos y se mide en Vah, KVAh y MVAh.

Los contadores poseen un disco giratorio visible, donde el número de vueltas que éste da es proporcional a la cantidad de energía medida.

La relación entre energía consumida y el número de revoluciones, viene expresado por  $A = K N$ , siendo:

$A$  = valor de la energía medida

$N$  = número de vueltas del disco efectuadas durante el período de medición

$K$  = constante propia de cada contador

La economía de la producción de la energía eléctrica depende del modo de utilización, capacidad de la planta generadora, distribución durante las 24 horas y características de la instalación receptora.

Estos factores originaron la creación de una gran variedad de medidores de energía, los cuales, mediante la aplicación de varios tipos de tarifas pretenden motivar al consumidor a ajustar sus instalaciones y sus receptores de la energía eléctrica, así como los horarios de su funcionamiento, de tal manera que la compañía productora trabaje con el mayor rendimiento y, en

consecuencia, pueda vender la energía eléctrica a precios más bajos y más asequibles.

En algunos casos las instalaciones eléctricas cuentan además con transformadores de intensidad y de tensión.

Los primeros se utilizan para medir corrientes altas o que circulen por conductores sometidos a grandes voltajes. Estos transformadores reducen estas intensidades a otras más bajas. Su construcción está destinada a soportar sobrecargas, cortocircuitos y demás anomalías que se produzcan en la red debiendo mantener constante la corriente primaria.

La relación de transformación de intensidad se expresa  $K_i = I_1 / I_2$ , en la que la corriente primaria tiene una relación con la corriente secundaria.

Los valores de las intensidades nominales deben figurar en la placa de identificación del transformador y se expresan en forma de fracción, por ejemplo, 200/5A; 50/5A .... etc.

En aparatos con bobinas voltimétricas sometidas a elevados potenciales, se emplean transformadores de tensión que reducen la de línea a otra más adecuada, generalmente 110 V.

La relación de transformación de tensión se expresa  $K_u = U_1 / U_2$ , en la que la tensión primaria tiene una relación proporcional con la tensión secundaria.

Cada transformador de tensión está construido para una determinada tensión primaria  $U_1$ , mientras que la tensión secundaria  $U_2$  es normalizada a 110 V, para tensiones compuestas y en  $100/\sqrt{3}$  V para tensiones sencillas.

La relación de transformación  $K_u$  tiene un valor constante para un determinado transformador. Se expresa en forma de fracción, por ejemplo:

$$8000 \text{ V}/110\text{V} \text{ ó } \frac{20.000}{\sqrt{3}} \text{ V} / \frac{110\text{V}}{\sqrt{3}}$$

Se analizará a continuación el modo de aplicar la metodología propuesta en función de los diferentes tipos de contadores existentes que son:

- Contadores de corriente alterna, trifásicos en Alta o Baja tensión
- \* Baja tensión
  - a) Contadores directos



b) Contadores con transformador de intensidad

- Alta tensión

### 5.3.1. Aplicación del método en contadores de baja tensión

Cuando el suministro de energía en la instalación es en baja tensión, se determinará tal circunstancia en la correspondiente señalización grabada en el interior del contador.

Las expresiones más usuales en contadores trifásicos para la tensión son:

$$3 \times 220/127 \text{ V}$$

$$3 \times 380/220 \text{ V}$$

Estas expresiones significan que en un sistema trifásico existen 220 V (1ª expresión) o 380 V (2ª expresión) entre fases y 127 V ó 220 V entre fases y neutro. El sistema está en estrella 120° y entre el centro, (el neutro) y cada una de las tres fases hay 127 V ó 220 V y entre fase y fase 220 V ó 380 V. Los contadores en baja tensión pueden ser directos o con transformadores de intensidad.

#### A. Contadores Directos

Son aquellos que están intercalados entre las líneas de corriente.

Pueden tener o no factor, generalmente  $\chi 10$ , pero siempre grabados en el interior del contador.

No tiene transformador de intensidad.

El factor influye únicamente en la determinación del consumo en Kwh.

El procedimiento a seguir para este tipo de contadores es el siguiente:

##### 1) Cálculo de K

La constante del contador vendrá según una de las siguientes expresiones:

a.  $\text{Revoluciones} / \text{Kwh} = K$

b.  $1 \text{ giro} = x \text{ Wh}$

En el caso a, K se aplica directamente en el cálculo de la potencia activa. En el segundo tipo, habrá que transformar la expresión a la del apartado a, para ello:

$$1 \text{ giro} \dots\dots\dots \times \text{Wh}$$

$$K \dots\dots\dots 1000 \text{ Wh} = 1 \text{ Kwh} \quad K = y \text{ giros}$$

##### 2) Potencia activa

Para el cálculo de la potencia activa debe conocerse el tiempo que el disco del medidor tarda en dar n vueltas.

La expresión que define la potencia activa es:

$$P_a = \frac{3600 \ n}{K \ t} = K_w \text{ de potencia}$$

en donde:

n = número de revoluciones tomadas en el disco

t = tiempo en segundos de las n revoluciones

K = constante propia del medidor

P = Kw de potencia equivalente a Kwh de trabajo

##### 3) Relación m³/Kwh

Los metros cúbicos extraídos por Kwh consumido se obtendrá según la expresión:

$$E = \frac{Qm^3/h}{Kwh \text{ de trabajo}} = m^3 \text{ por Kwh consumido}$$

##### 4) Consumo total de Kwh

La diferencia de lecturas, al inicio y final del periodo que se desea cuantificar, dará el consumo total de Kwh, C, en ese periodo, para contadores que no tengan factor.

Si el contador tiene factor el consumo total será: C  $\chi$  factor.

##### 5) Volumen total en m³ extraídos

Una vez conocidos E y C, se puede conocer el volumen extraído. Para ello bastará multiplicar ambos.

$$V = E \ C = m^3 \text{ extraídos en el período T.}$$

Si interesa conocer las horas de bombeo H realizadas en una captación por el equipo de elevación, se procedería del siguiente modo:

$$H = \frac{C}{Kw \text{ de potencia}}$$

Como comprobación se podría calcular el volumen extraído aplicando las horas trabajadas.

$$V = Q \cdot H ; Q = m^3/h ; H = \text{horas}$$

El rendimiento del conjunto motor-bomba será:

$$R = \frac{Q \cdot Hm}{75 \cdot Pc.v.} ; Pc.v. = \frac{Pa}{0,736}$$

$$(1 \text{ C.V.} = 0,736 \text{ Kw})$$

en donde:

$R =$  rendimiento del conjunto motor-bomba en %

$Q =$  caudal de bombeo en l/s

$Pc.v. =$  potencia en C.V. (C.V. equivalente a los Kw correspondientes a la potencia activa)

$H_m =$  altura manométrica total en metros

## B. Contadores con transformador de intensidad en baja tensión

Para el caso en que exista transformador de intensidad en la red de energía, se determinará tal circunstancia:

- Si se ven en la instalación
- Si el contador pone en la indicación de Amperes  $\chi/5A$  ( $\chi$  valor variable según el transformador de intensidad)
- Si el contador es solo de 5A y se observa en el amperímetro del cuadro, o por la potencia del motor, que la intensidad es muy superior a esos 5A.

Para el cálculo del consumo hay tres casos:

- a) *Que el transformador de intensidad baja tenga la misma relación que el contador (por ejemplo, T. de I. = 75/5A y el contador 75/5A).*

Para saber que el T. de I. es de la misma relación que el contador, se puede:

- Ver directamente ambas relaciones
- Ver el factor modificado del contador
- Comprobar en un recibo de la compañía suministradora por cuanto multiplica la diferencia de lecturas

En este caso el contador tiene factor grabado en su interior. No tendrá factor modificado por la compañía suministradora. Se aplica igual que para los contadores directos. Tiene relación del T. de I. que será  $\chi/5A$ .

- b) *Cuando sólo pone 5 A (sin relación) y el factor está modificado por la compañía suministradora, (por ejemplo  $\chi 10$ ,  $\chi 15$ ,  $\chi 50$ , etc.), y dentro no tiene factor grabado el contador. Esto significa que la constante está modificada. Influye para el cálculo de la constante K, y para el consumo.*

Para el caso de que el factor fuese  $\chi 10$ , existiría transformador de intensidad de 50 A, ya que  $50/5 = 10$ .

- Para el cálculo de K se procedería como sigue:

Si la constante del contador viene expresada en

$$1 \text{ giro} = 160 \text{ Wh sería, } 1 \text{ giro} = 160 \chi 10 \text{ (factor)} = 1600 \text{ Wh}$$

$$1 \text{ giro} \dots\dots\dots 1600 \text{ Wh}$$

$$K \dots\dots\dots 1000 \text{ Wh} = 1 \text{ Kwh} ; \\ K = 0,625 \text{ giros}$$

Si la constante del contador es 1 Kwh = 160 giros sería, 1 kwh  $\chi 10$  (factor) = 10 Kwh.

$$10 \text{ Kwh} \dots\dots\dots 160 \text{ giros}$$

$$1 \text{ Kwh} \dots\dots\dots K ; K = 16 \text{ giros}$$

Para el cálculo del consumo se multiplicará la diferencia de lecturas por el factor modificado.

- c) *En este caso el contador tiene relación de intensidad  $\chi/5A$  y el factor vendrá grabado dentro del contador y modificado fuera por la compañía suministradora.*

Influye en el cálculo de K y para el consumo.

El procedimiento sería el siguiente:

$$\text{Relación del T. de I.} = 75/5 \text{ A} \\ \text{Factor por dentro} = \chi 10 \\ \text{Factor modificado} = \chi 33,33$$

Si la constante del contador viene expresada en  
1 giro = 100 Wh será  $33,33 / 10 = 3,333$ .

1 giro = ..... 100 Wh  $\times 3,333 = 333,3$  Wh.

1 giro ..... 333,3 Wh

K ..... 1000 Wh = 1 Kwh ; K = 3 giros

Si la constante del contador se expresa en 1 Kw =  
100 giros o Rev/Kwh = 100, sería  $33,33 / 10 = 3,333$ .

100 giros ..... 3,333 Kwh

K ..... 1 Kwh ; K = 30 giros

Para el cálculo del consumo habrá que multiplicar  
la diferencia de lecturas por el factor modificado por la  
compañía suministradora, en este caso,  $\times 33,33$ .

Una vez conocida K, para cada uno de los tres  
casos expuestos en los contadores con transformador  
de intensidad, los cálculos siguientes serían idénticos a  
los expuestos para los contadores directos.

### Ejemplo para contadores directos en baja tensión

Sea un pozo de 13,45 m de profundidad, diámetro  
de entubación de 1750 mm, nivel dinámico a 8,65 m,  
caudal de 69,25 l/s con un motor de 25 C.V., bomba  
centrífuga horizontal y una altura manométrica de  
13 m.

El consumo en Kwh se contabiliza en un medidor  
trifásico de energía activa, con las siguientes caracterís-  
ticas:

- N° de contador = 7060122
- No tiene factor
- Tensión en baja
- Constante: 1 giro = 18 Wh
- Lectura inicial = 27.903 Kwh
- Lectura final = 47.903 Kw
- N° de vueltas tomadas en el disco = 15
- Tiempo de las 15 vueltas del disco = 51 s.
- I = 75 A
- Tensión = 220/3  $\times$  127 v

#### 1) Cálculo de K

1 giro ..... 18 Wh

K ..... 1000 Wh = 1 Kwh ;  
K = 55,55 giros

#### 2) Potencia activa

$$P_a = \frac{3600 \times n}{Kt} = \frac{3600 \times 15}{55,55 \times 51} = 19,07 \text{ Kw de potencia}$$

#### 3) Relación m³/Kwh

$$E = \frac{Q \text{ m}^3/h}{\text{kwh de trabajo}} = \frac{249,3}{19,07} = 13,07 \text{ m}^3 \text{ extraídos por Kw de potencia}$$

#### 4) Consumo total de Kwh

$$C = 20.000 \text{ Kwh}$$

Si el contador tuviese factor, por ejemplo  $\times 10$ , la  
diferencia de lecturas final e inicial, se multiplicaría por  
el factor.

$$C = L.F. - L.I. = 2.000$$

$$C_{total} = 2.000 \times 10 = 20.000 \text{ Kwh}$$

#### 5) Volumen total en m³

$$V = E \times C$$

$$V = 13,07 \text{ m}^3/\text{Kwh} \times 20.000 \text{ Kwh} = 261.400 \text{ m}^3$$

Si se desea conocer las horas de bombeo:

$$H = \frac{C \text{ Kwh}}{\text{Kw de potencia}} = \frac{20.000 \text{ Kwh}}{19,07 \text{ Kw}} = 1.048,7 \text{ horas}$$

El volumen de agua extraído en ese período de  
tiempo, aplicando las horas trabajadas, sería:

$$V = H \times Q = 1.048,7 \text{ h} \times 249,3 \text{ m}^3/h = 261.440,9 \text{ m}^3$$

#### 6) Rendimiento del conjunto motor-bomba

Si se conoce el caudal y la altura manométrica se  
puede obtener el rendimiento del conjunto motor-  
bomba.

Como los C.V. equivalentes a estos 19,07 Kw de  
potencia son:

$$P = \frac{Pa}{0,736} = \frac{19,07}{0,736} = 25,91 \text{ C.V.}$$

Ya que un C.V. = 0,736 kw, el rendimiento será:

$$R = \frac{Q \text{ (l/s)} \text{ Hm (m)}}{75 \times P_{C.V.}} = \frac{69,25 \times 13}{75 \times 25,91} = 0,46 \text{ (46\%)}$$

### 5.3.2. Aplicación del método en contadores de alta tensión

El suministro en alta tensión, al igual que en baja, vendría identificado en el interior del contador.

Los equipos en alta tensión se presentan en tres tipos.

#### TIPO 1

Tiene 3 transformadores de tensión y 3 transformadores de intensidad.

Se reconocen cuando el contador grabado en su interior lleva:

$$Y = \sqrt{3}110 : \sqrt{3} \text{ ó}$$

$$Y = \sqrt{3}110 - 63,5 \text{ (110: } \sqrt{3} = 63,5)$$

Y, variable según la instalación.

En este tipo se presentan dos casos:

- Puede tener o no factor, pero siempre grabado en su interior. No habrá factor modificado fuera.

No influye para el cálculo de K en ningún caso. Solo influye para el cálculo del consumo.

Se procede igual que para los contadores directos en baja tensión.

- Según el factor se presentan dos casos:

- Que tenga factor grabado en el interior del contador y que tenga factor modificado por fuera. En este caso, el factor influye en el cálculo de K y en el del consumo.

#### Ejemplo:

Si se tiene un contador cuya constante es:  
1 Kwh = 20 giros

Factor por dentro = x10

Factor modificado = x20

Para el cálculo de K se procede:

$$\frac{\text{Factor modificado}}{\text{Factor por dentro}} = \frac{20}{10} = 2$$

2 Kwh ..... 20 giros

1 Kwh ..... K ; K = 10 giros

Si la constante fuese, 1 giro = 100 Wh

$$\frac{20}{10} = 2 ; 1 \text{ giro} = 100 \text{ Wh} \times 2 = 200 \text{ Wh}$$

1 giro ..... 200 Wh

K ..... 1000 Wh = 1 Kwh ; K = 5 giros

Para el consumo, se multiplicaría la diferencia de lecturas por el factor modificado, en este caso x 20.

- Que no tenga factor por dentro y si tenga factor modificado por fuera. Influye en el cálculo de K y en el del consumo.

#### Ejemplo:

Sea un contador cuya constante es:

1 giro = 100 Wh

Factor por fuera = x 20

Para el cálculo de K sería:

1 giro = 100 Wh x 20 = 2000 Wh

1 giro ..... 2000 Wh

K ..... 1000 Wh = 1 Kwh ; K = 0,5 giros

Si la constante fuese, 1 Kwh = 160 giros, para calcular K sería:

$$1 \text{ Kwh} \times 20 = 20 \text{ Kwh}$$

$$20 \text{ Kwh} \dots\dots\dots 160 \text{ giros}$$

$$1 \text{ Kwh} \dots\dots\dots K ; K = 8 \text{ giros}$$

**TIPO II**

Tiene 2 transformadores de tensión y 2 transformadores de intensidad.

Se reconocen por X/5 e Y/110 V.

El factor vendrá grabado en el interior del contador. No tendrá factor modificado.

Se resuelve igual que los contadores directos en baja tensión.

**TIPO III**

Tiene 2 transformadores de tensión ó 3 T. de T. y 2 transformadores de intensidad ó 3 T. de I.

Se reconoce por 5 A y 110 V.

En este caso el contador no tendrá factor ni dentro ni fuera, (en caso de tener factor modificado, correspondería al real y no habría que dividir por nada).

Se resuelve igual que para los contadores directos en baja tensión.

**Ejemplos para contadores en alta tensión**

Sólo se exponen los ejemplos para los casos 1 y 2, apartado b, del tipo I, ya que el resto de los casos sería igual que para los contadores directos en baja tensión.

**Tipo I**

1. Sea un contador trifásico en alta tensión con las siguientes características:

- Tensión 8000 : 3/110 : 3
- Relación de tensión: 20/5 A
- Factor interior:  $\times 10$
- Factor modificador :  $\times 9,37$
- Constante del contador: 1 giro = 133 Wh

**1) Cálculo de K**

$$\frac{\text{Factor modificado}}{\text{Factor contador}} = \frac{9,37}{10} = 0,937$$

$$1 \text{ giro} = 133 \text{ Wh} \times 0,937 = 124,62 \text{ Wh}$$

$$1 \text{ giro} \dots\dots\dots 124,62 \text{ Wh}$$

$$K \dots\dots\dots 1000 \text{ Wh} ; K = 8,02 \text{ giros}$$

**2) Potencia activa**

$$P_a = \frac{3600 \times n}{K \times t} = \frac{3600 \times 20}{8,02 \times 76} = 118,12 \text{ Kw}$$

**3) Relación m³/Kwh**

$$E = \frac{Q \text{ m}^3 / h}{\text{Kwh de T.}} = \frac{504}{118,12} = 4,266 \text{ m}^3 / \text{Kwh}$$

**4) Consumo total en Kwh**

$$\text{Lectura final} - \text{lectura inicial} = I = 11.771 \text{ Kwh}$$

$$H = \frac{2627 \text{ Kwh}}{14.398,5 \text{ Kwh}}$$

Consumo total:

$$C = 14.398,5 \times 9,37 \text{ (Factor Mod.)} = 134.913,95 \text{ Kwh}$$

**5) Volumen extraído**

$$V = E \times C = 4,266 \times 134.913,95 = 575.542,89 \text{ m}^3$$

**6) Rendimiento**

$$P = \frac{118,12}{0,736} = 160,48 \text{ C.V.}$$

$$R = \frac{Q \text{ l/s} \times H \text{ m}}{75 \times P \text{ c.v.}} = \frac{140 \times 20}{75 \times 160,48} = 0,2326 ; R = 23,26\%$$

Si la constante del contador fuese:

$$1 \text{ giro} = 120 \text{ Wh}$$

$$1 \text{ giro} = 120 \text{ Wh} \times 10 = 1200 \text{ Wh}$$

1 giro..... 1200 Wh

N ..... 1000

N = 0.833 giros

Si la constante del contador fuese 1 NWh = 60 giros.

1 NWh 0,937 = 0,937 NWh.

60 giros.....0,937 NWh.

N ..... 1 NWh

N = 60 giros

Para obtener el consumo total en NWh se multiplica la diferencia de lecturas por el factor modificado en este caso por 9,37

2. Para un contador trifásico en alta tensión, que no tiene factor grabado en su interior y si factor modificado fuera, se procederá como sigue:

Factor modificado:  $\chi$  10

Si la constante fuese 1 NWh = 60 giros

1 NWh  $\chi$  10 = 10 NWh

10 NWh ..... 60 giros

1 NWh ..... N

N = 6 giros

Para el cálculo del consumo la diferencia de lecturas se multiplica por el factor modificado, en este caso por 10.

Para todos los casos en alta tensión los calculos siguientes son indenticos a los expuestos para los contadores directos en baja tensión.

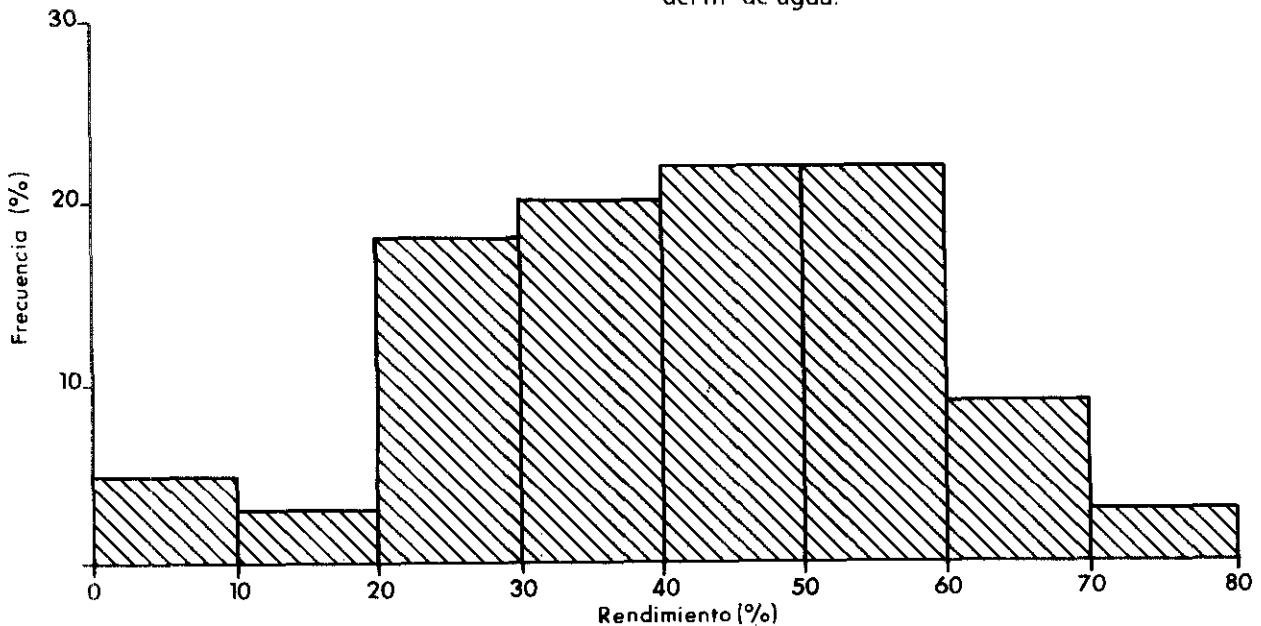
El Instituto Tecnológico GeoMinero de España (ITGE) aplicó esta metodología entre otros sectores en la Vega de Granada, Sector oriental de Málaga, Costeras de Granada, etc y recientemente en el sector noroccidental de la provincia de Granada, para analizar los rendimientos de las instalaciones eléctricas de impulsión de agua, y cuantificar las extracciones en dicha región.

En la tabla 5 se resumen los datos obtenidos en los 60 equipos de elevación estudiados.

Los rendimientos observados son óptimos o normales ( $R > 50\%$ ) en un 34% de los casos, mostrando el 66% restante un funcionamiento deficiente o muy deficiente (ver figura 26).

En la figura 27 están representados los 60 datos de la muestra estadística, se sitúa en abcisas la relación E y en ordenadas las alturas manométricas correspondientes. La población ha quedado distribuida entre varias curvas tipo que representan distintos rendimientos.

Finalmente se ha representado un histograma con la distribución de las frecuencias de los valores obtenidos de la relación E entre el volúmen de bombeo y el consumo energético (Figura 28). Esta relación es inversamente proporcional al coste eléctrico de elevación del  $m^3$  de agua.



Fuente: ITGE, 1985

FIG. 26 DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS DEL RENDIMIENTO



**Tabla 5: Resumen encuestas de cuantificación de volúmenes de bombeo**

Abastecimiento	Naturaleza	Alt. Manométrica (m)	Caudal (l/s)	Potencia Activa (Kw)	E (m <sup>3</sup> /Kwh)	Rendimiento (%)
Algarinejo	Sondeo	30	16,0	9,4	6,13	50,0
Fte. de Cesna	Manantial	130	2,0	7,3	0,99	35,0
Alicún de Ortega	Sondeo	60	8,0	20,0	1,44	23,5
Beas de Granada	Sondeo	85	9,0	12,8	2,53	58,0
Benalúa de las Villas	Manantial	76	11,0	17,4	2,28	47,0
Campotejar	Sondeo	56	10,5	14,2	2,66	40,0
Campotejar	Pozo	38	1,2	3,4	1,27	13,0
Cogollos Vega	Sondeo	161	15,4	70,8	0,78	34,0
Colomera	Sondeo	80	1,0	7,6	0,47	10,0
Colomera	Manantial	125	6,1	26,6	0,83	28,0
Darro	Sondeo	72	5,1	12,2	1,51	29,5
Dehesa de Guadix	Sondeo	82	8,9	21,4	1,48	33,5
Deifontes	Sondeo	125	17,0	41,2	1,48	51,0
Fonelas	Pozo	75	30,0	37,3	2,70	59,0
Guadahortuna	Pozo	27	20,0	10,4	6,92	53,0
Guadahortuna	Pozo	40	12,0	8,8	4,90	53,5
Huélago	Sondeo	55	3,8	9,8	1,39	21,0
Huetor Santillán	Sondeo	127	23,0	69,9	1,25	43,0
Huetor Tajar	Sondeo	46,5	41,6	77,0	1,94	25,0
Huetor Tajar	Sondeo	91	14,0	44,4	1,13	28,0
Illora	Sondeo	109	24,0	94,4	0,92	27,0
Escoznar	Pozo	61	10,1	11,1	3,28	54,0
Alomartes	Manantial	91	10,0	19,9	1,80	44,0
Alomartes	Manantial	85	15,0	21,2	2,54	59,0
Tocón	Sondeo	65	6,0	-	-	52,0
Domingo Pérez	Pozo	80	6,0	6,8	2,65	69,0
Domingo Pérez	Manantial	25	8,6	6,2	5,00	34,0
Loja	Galería	85	30,0	36,9	2,93	68,0
Loja	Manantial	57	4,2	5,0	3,03	47,0
Loja	Manantial	20	38,0	19,7	6,94	38,0
Riofrío	Impulsión	55	3,0	2,8	3,86	58,0
Riofrío	Manantial	3	4,0	1,4	10,40	8,0
Balerma	Galería	55	4,0	5,7	2,54	38,0
V. de San José	Galería	65	2,1	3,9	1,94	34,0
Arenaies	Sondeo	27	1,6	-	-	10,0
Fte Camacho	Sondeo	119	4,5	7,1	2,27	74,0
Venta del Rayo	Manantial	154	4,4	15,1	1,05	44,0
Cuesta La Plana	Sondeo	42	3,5	5,0	2,53	29,0
Moclín	Sondeo	184	16,0	42,5	1,36	68,0
Moclín	Impulsión	266	4,4	20,0	0,79	57,0
Tiena	Manantial	76	10,9	16,3	2,40	50,0
Limones	Manantial	41	3,0	2,0	5,40	60,0
Tozar	Manantial	62	3,7	4,5	2,95	50,0
Puerto Lope	Pozo	90	7,4	11,2	2,39	58,0
Moreda	Sondeo	225	10,5	35,7	1,06	65,0
Laborcillas	Manantial	90	1,3	5,7	0,82	20,0
Montefrío	Sondeo	170	30,0	108,6	0,99	46,0
Montefrío	Impulsión	125	30,0	90,0	1,19	40,0
Montejicar	Sondeo	14,3	11,5	6,8	6,09	24,0
Montejicar	Impulsión	45	15,5	16,1	3,47	42,5
Pedro Martínez	Sondeo	229	23,5	64,1	1,32	82,0
Pedro Martínez	Impulsión	75	25,7	27,2	3,38	70,0
Piñar	Pozo	110	5,4	11,9	1,63	49,0
Bogarre	Pozo	32	4,0	3,8	3,75	33,0
Saíar	Impulsión	51,5	17,0	18,1	3,38	47,5
Torre Cardela	Pozo	130	5,0	16,6	1,09	38,0
Torre Cardela	Pozo	77	8,8	13,1	2,42	51,0
Torre Cardela	Pozo	54	8,6	-	-	-
Villanueva Mesía	Pozo	50	6,0	13,8	1,56	21,0
Villanueva Mesía	Galería	45	7,0	10,2	2,47	30,0

Fuente: ITGE, 1990.

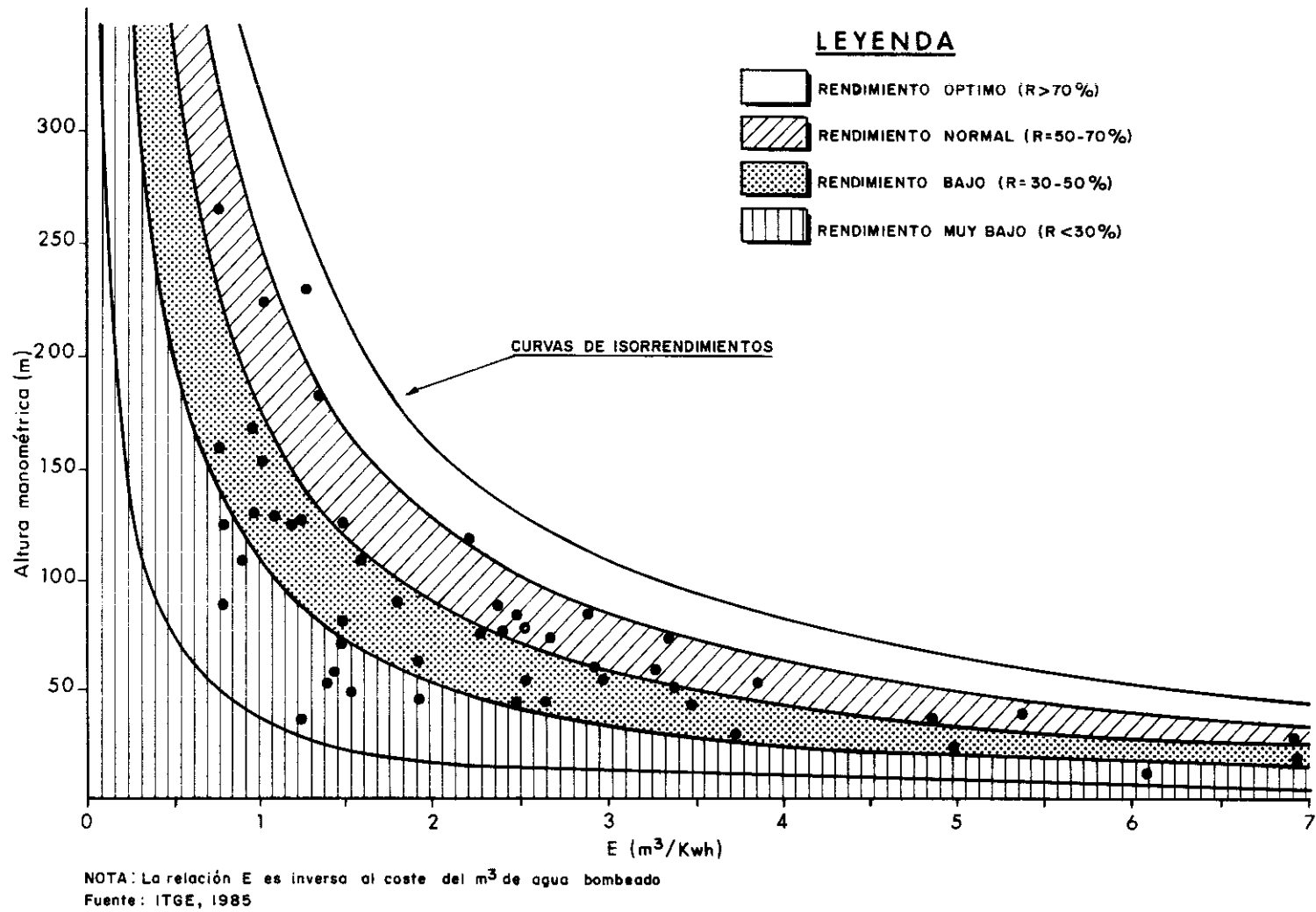
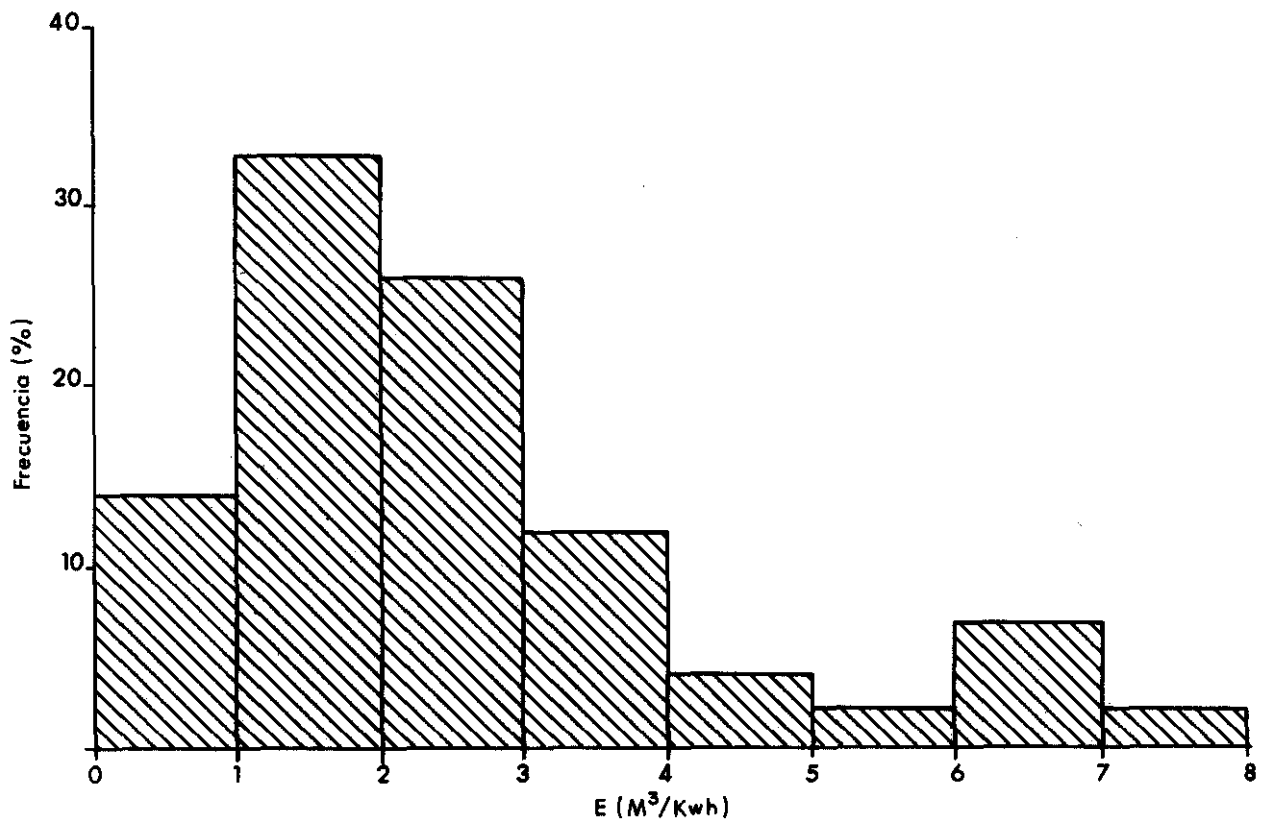


Fig. 27 RELACION ENTRE EL CONSUMO DE ENERGIA, VOLUMEN DE BOMBEO Y ALTURA DE IMPULSION DE LAS CAPTACIONES ESTUDIADAS.



Fuente: ITGE, 1985

**FIG. 28 DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS DE LA RELACION "E" ENTRE EL VOLUMEN DE BOMBEO Y EL CONSUMO ELECTRICO**

Como se observa en la figura 28 predominan los valores bajos de E. El 73% de éstos es inferior a 3 m<sup>3</sup>/Kwh, lo que implica unos costes de elevación de agua altos, consecuencia directa de los bajos rendimientos observados en las instalaciones.

En gran parte, estos bajos rendimientos se deben a que los equipos de elevación están sobredimensionados, sin que exista una relación adecuada entre éstos y las características hidráulicas de las obras de captación, o bien entre dichos equipos y las características de la regulación, o las necesidades reales de la población abastecida. Es frecuente en este sentido, para evitar que el nivel dinámico alcance la aspiración de la bomba o para adaptar el caudal de extracción a las exigencias del servicio, la utilización de válvulas de regulación. El empleo de dichas válvulas tiene una gran incidencia en los bajos rendimientos y por tanto en el coste del m<sup>3</sup> de agua elevado, al originar una nueva curva característica del equipo de elevación.

Para reducir el coste del m<sup>3</sup> de agua elevado es imprescindible dimensionar con precisión el equipo de bombeo necesario según los pasos descritos en el apartado 5.2.

En muchas ocasiones los propios ayuntamientos carecen de información exacta sobre las características de las instalaciones destinadas al abastecimiento de

aguas potables al núcleo urbano y lo que es más grave, existe un escaso control de las explotaciones por parte de las entidades municipales.

Por esta razón se recomienda medir con periodicidad la evolución de los niveles tanto estático como dinámico y de los caudales extraídos e instalar para ello tuberías piezométricas en los sondeos.

En este sentido la aplicación del método aquí descrito puede ser utilizada para concienciar a los responsables municipales de la imperiosa necesidad de establecer estas medidas de control y en su caso proceder al redimensionamiento de las instalaciones existentes.

En el citado estudio solamente en el 22% de las instalaciones reconocidas existían contadores con tarifa múltiple, principalmente triple tarifa. Dichos contadores se aplican para el consumo de energía en horas punta (4 al día), horas llana (12 al día) y horas valle (8 al día). Las tarifas múltiples pueden suponer una importante disminución en el coste de elevación del agua. Para estudiar su viabilidad en cada caso, sería necesario comprobar las horas de funcionamiento real del equipo de elevación, la distribución de la demanda de la población y la capacidad de regulación en los depósitos de agua, entre otros factores.