

## ***CAPITULO XI. SELECCIÓN DEL EQUIPO DE BOMBEO***

***Grupos moto-bomba***

***Selección del cable eléctrico***

***Selección del transformador o generador***

***Material complementario***

## CAPITULO XI

### SELECCION DEL EQUIPO DE BOMBEO

Se describen seguidamente cada uno de los componentes principales que constituyen un equipo de bombeo, teniendo presente que ha de conseguirse una armonización del conjunto para el buen funcionamiento general del mismo.

Para la elección del equipo adecuado se tendrán en cuenta los siguientes factores:

- Caudal que se pretende extraer.
- Altura de elevación máxima prevista.
- Diámetro del entubado del pozo.

#### **Grupos moto-bomba**

Para extraer agua de un pozo o sondeo es necesario utilizar una bomba que se ajuste a las condiciones específicas de cada caso.

Los grupos moto-bomba pueden ser de tres tipos:

- Alternativos.
- Rotativos.
- Centrifugos.

- Las bombas alternativas de émbolo o pistón son máquinas prácticamente en desuso en el campo de la hidrología. Este tipo de máquina puede extraer pequeños caudales con alturas de elevación importantes. Su funcionamiento consiste en un movimiento alternativo y rectilíneo de un pistón que empuja al líquido a elevar hasta la cámara de alta presión. El caudal elevado por este tipo de máquina puede calcularse mediante la aplicación de la fórmula:

$$Q = \frac{s \cdot d \cdot n}{60} \text{ (l/seg)}$$

siendo «s» la sección del émbolo en dm<sup>2</sup>, «d» la carrera o desplazamiento en dm, y «n» las r.p.m.

La curva característica caudal-altura es una recta casi paralela al eje donde se representen las alturas.

- Las bombas rotativas tienen un funcionamiento semejante a las alternativas de émbolo. Su curva característica (*h* – *Q*) es teóricamente paralela al eje de alturas; es decir, están específicamente diseñadas para dar un caudal casi invariable, dentro de un reducido abanico de alturas manométricas.

Como ya se ha indicado este tipo de bombas, juntamente con las alternativas, no tienen aplicación en sondeos profundos con caudales importantes, limitándose su uso al transporte de líquidos de alta viscosidad.

- Son las bombas centrífugas las que más ventajas ofrecen en el campo específico de instalaciones elevadoras de agua en pozos profundos.

El funcionamiento de estas bombas es distinto a las anteriormente descritas y a ellas se dedica una especial atención.

Se indica, en primer lugar, que este tipo de máquinas se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- a) Bomba vertical sumergida con motor eléctrico en superficie.
- b) Grupo moto-bomba sumergible, donde tanto el motor eléctrico como los cuerpos de bomba trabajan conjuntamente por debajo del nivel del agua.

Las primeras son accionadas 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.

Los grupos sumergibles son alimentados mediante corriente eléctrica a través de un cable conductor que va unido directamente a los terminales del motor, con los debidos aislamientos y protecciones para este tipo de condiciones de trabajo.

Estas bombas suelen funcionar a 2.900 r.p.m., frente a las 1.450 r.p.m. de las de eje vertical. Debido a su menor número de vueltas por minuto, las bombas de eje vertical sufren un menor desgaste en sus rodets que las sumergidas, cuando existen arrastres de arenas u otros materiales abrasivos, siendo más ventajoso el uso de estas últimas en sondeos profundos con agua limpia por su menor

costo de adquisición, así como por el tiempo empleado para su instalación y desmontaje.

Hechas estas consideraciones previas, se exponen a continuación algunos de los conceptos básicos para la elección de un grupo de bombeo adecuado a las características del ensayo que vaya a realizarse.

La velocidad específica de una bomba centrífuga es la velocidad de rotación teórica necesaria para bombear un caudal unitario a una altura monométrica unidad.

$$V_e = \frac{4 \cdot n \cdot \sqrt{Q}}{3 \cdot H}$$

donde:

- $V_e$  = velocidad específica.
- $Q$  = caudal
- $H$  = carga o altura de elevación.
- $n$  = velocidad de rotación (r.p.m.)

Esta fórmula mide la relación entre el caudal y la altura. Así, una bomba que saque poco caudal a mucha altura, tiene, a velocidad constante, una velocidad específica más pequeña que otra que dé más caudal a menos altura.

Las curvas características de las bombas centrífugas son parabólicas y su campo de trabajo, con rendimiento aceptable, aparece sombreado en la figura 32. Puede observarse las curvas caudal-altura de tres tipos de bomba de gran potencia, así como el corte esquemático de una bomba con motor sumergible donde se especifican las partes esenciales de la misma.

La potencia necesaria para elevar un determinado caudal de agua a una altura geométrica dada, puede ser calculada a partir de la fórmula:

$$P = \frac{H \cdot Q}{R_m \cdot R_e \cdot 75}$$

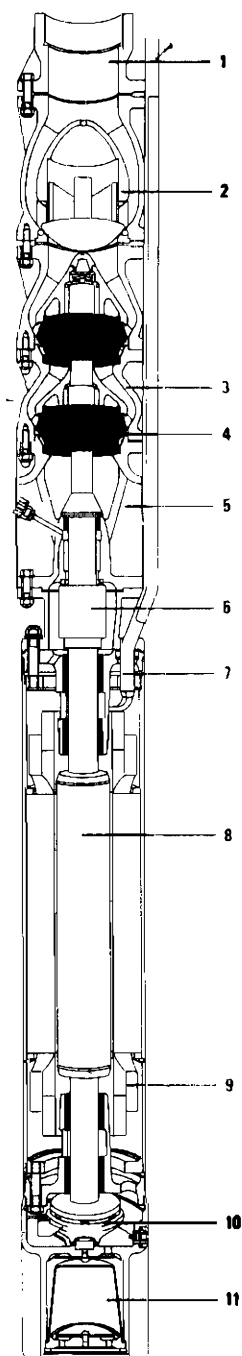
donde:

- $P$  = potencia en CV.
- $H$  = altura geométrica de elevación (m).
- $R_m$  = rendimiento mecánico ( $\approx 0,7$ ).
- $R_e$  = rendimiento eléctrico ( $\approx 0,9$ ).

A título de ejemplo podría indicarse que la potencia necesaria para elevar un caudal de 100 l/s a una altura de 150 m , es:

$$P = \frac{100 \times 150}{50} \approx 300 \text{ CV}$$

En este cálculo se han despreciado las pérdidas de carga de tuberías y accesorios, que pueden deducirse, en cada caso particular, por los procedimientos expuestos en el anterior apartado de este mismo capítulo.



1. Brida de acoplamiento
2. Válvula de retención
3. Cuerpo de bomba
4. Impulsores
5. Entrada de agua
6. Acoplamiento
7. Cable eléctrico
8. Rotor del motor
9. Bobinado
10. Cojinete de empuje
11. Membrana de expansión

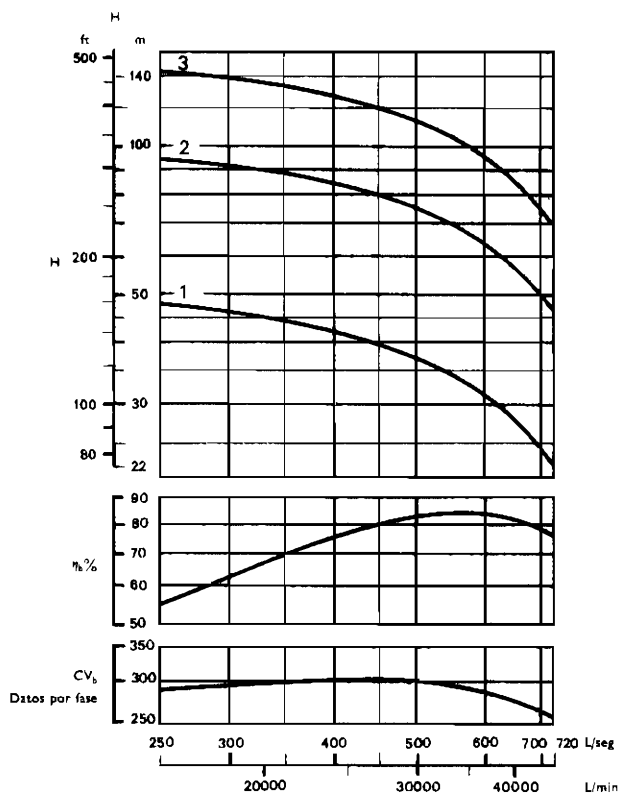


Fig. 32.—Esquema de grupo moto-bomba sumergible y curvas características.

De este ejemplo se deduce que en la mayor parte de los casos podrá utilizarse la relación:

$$P_{(CV)} = \frac{H (m) \cdot Q (l/s)}{50}$$

Las recomendaciones para la instalación y entretenimiento de los grupos moto-bomba son las siguientes:

- Antes de proceder a la instalación de una bomba con motor sumergido en un sondeo, dicho motor se llenará con agua limpia, estando en posición vertical.
- Para comprobar que el eje de la bomba no está agarrotado, se quitará el filtro de succión y, con el auxilio de un destornillador adecuado, se hará girar el eje haciendo palanca sobre un impulsor.
- No deberá rozarse el cable conductor sobre el borde cortante del entubado del sondeo. Este cable se sujetará, en tramos cortos, a la tubería de impulsión.
- Las moto-bombas trifásicas deben ir protegidas con relés eléctricos en cada una de las fases. Si el amperaje supera en un 10 por 100 del nominal de trabajo, deberá desconectarse la bomba para evitar que se quemé el bobinado del motor.
- Cuando por cualquier causa se pare la bomba, se dejará transcurrir un tiempo prudencial (cinco minutos) antes de conectarla nuevamente. Hay que tener presente que durante la descarga de la tubería de elevación, la bomba está girando en sentido contrario al normal de funcionamiento.
- Si la bomba no saca agua, o el caudal extraído es muy inferior al que corresponde a las condiciones específicas de trabajo, es probable que esté girando en dirección opuesta. Modificando la posición de los polos, cambiando los bornes de dos conductores, se obtendrá la rotación correcta. En ocasiones, la pérdida de caudal puede ser debida a la rotura de una o varias juntas. Este supuesto el consumo de la bomba será el normal de trabajo, y parte del agua se recicla al sondeo.
- Cuando exista peligro de que el pozo bombeado se agote, deberá instalarse en el mismo un «guarda nivel» automático.
- En ambientes muy fríos, es necesario introducir la bomba en el pozo inmediatamente después de ser llenada con agua, para evitar que ésta se congele. Cuando la bomba sea retirada del pozo, deberá vaciarse por el mismo motivo.
- Las bombas, para ser almacenadas, deberán limpiarse cuidadosamente vaciándolas el agua y colocándolas en posición vertical.

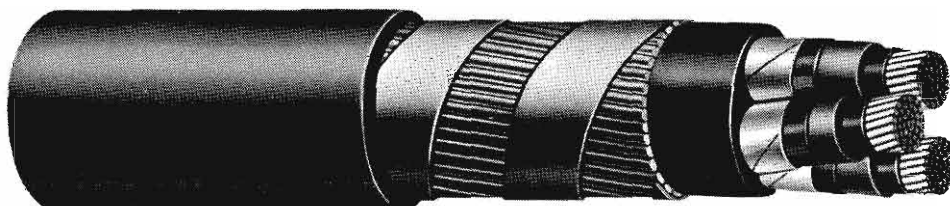
### Selección del cable eléctrico

Los grupos con motor eléctrico sumergible necesitan de cables conducto-

res, a través de los cuales se suministra la energía necesaria para su funcionamiento.

Estos conductores, debido a las condiciones desfavorables de trabajo, deben ajustarse a la legislación vigente.

La figura 33 muestra un tipo de conductor que cumple el «Reglamento de Instalaciones Eléctricas en Minería».



Cable «Eprotenax H M1».  
Para pozos o grandes pendientes.

Fig. 33.—Sección de un conductor.

Este tipo de cable lleva un aislamiento de goma etileno-propileno con cubierta de policloruro de vinilo (PVC). Los conductores han de ser de cobre, con campo eléctrico radial, a partir de una tensión nominal 6/10 KV

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

Un cálculo sencillo y rápido del dimensionado del conductor puede efectuarse a partir del gráfico 81.

Para tensiones de 220 y 220/380 voltios, la longitud del cable se obtiene multiplicando el resultado obtenido en el gráfico 81 por 0,58, que resulta de la división 220/380.

A título de ejemplo se expone el siguiente:

Calcular la máxima longitud del cable eléctrico para arrancar una bomba en directo con una tensión de 220 V y una intensidad de 143 A.

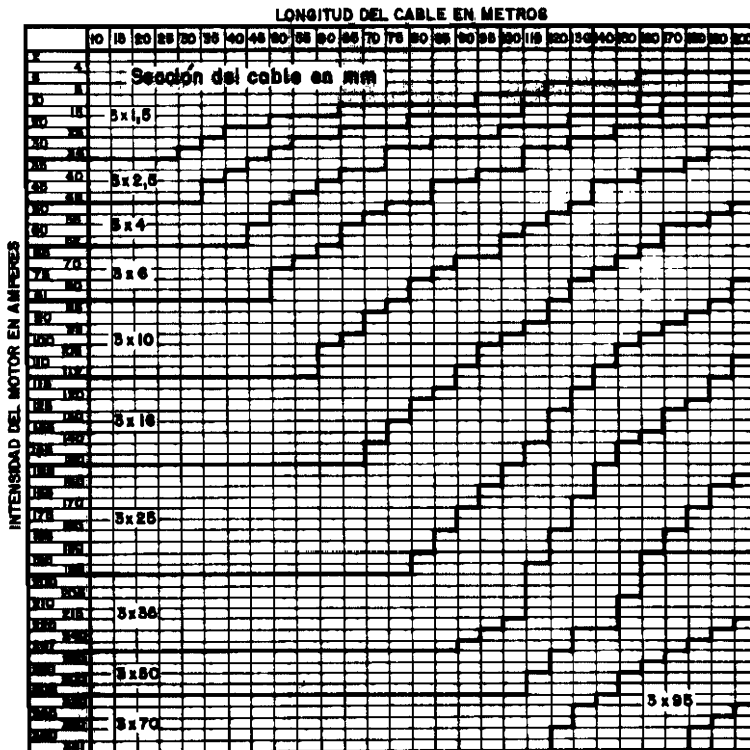
Como datos, se conoce que la longitud máxima de un conductor, de  $3 \times 35 \text{ mm}^2$  de sección es de 100 m, para arrancar el motor en directo a 380 V (ver gráfico 81).

Multiplicando la longitud inicial de 100 m por la relación 220/380 se obtiene la longitud máxima que debe tener el cable:

$$l = 100 \frac{220}{380} = 58 \text{ m}$$

En estos gráficos se determinan secciones de cable hasta una longitud de 200 m para tensiones de 380 y 380/660 voltios. Sin embargo, es aconsejable la

### ARRANQUE ESTRELLA TRIANGULO A Δ 380/660 V.



### ARRANQUE DIRECTO - 380 V.

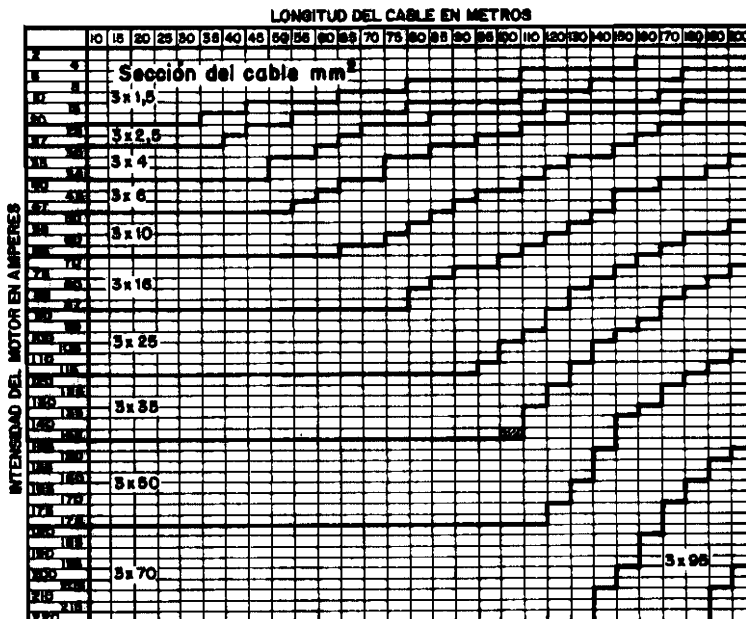


Gráfico 81.—Selección de conductores eléctricos para grupos moto-bomba sumergibles, en función de la intensidad nominal del motor, en amperios, y la longitud del conductor en metros.



utilización de las siguientes fórmulas, en los casos que se precisen mayores longitudes de conductor.

Arranque en directo:

$$S = \frac{3 \cdot I \cdot L \cdot \cos \varphi}{56 \cdot \Delta U}$$

Arranque en estrella triángulo:

$$S = \frac{2 \cdot I \cdot L \cdot \cos \varphi}{3 \cdot 56 \cdot \Delta U}$$

donde:

- S = sección en mm<sup>2</sup> de cada fase
- I = intensidad en amperios.
- L = longitud del ramal (arranque directo) o de cada uno de los ramales (arranque en estrella-triángulo).
- 56 = conductividad eléctrica del cobre.
- cos  $\varphi$  = factor de potencia del motor ( $\approx 0,85$ ).
- $\Delta U$  = 3 por 100 de U, siendo U la tensión entre fases.

Los cálculos a que hacen referencia las fórmulas anteriores, así como los deducidos de los gráficos, son válidos para condiciones de trabajo con temperaturas inferiores a 25°. En función del incremento de la temperatura, la densidad de corriente admitida por el conductor queda reducida de la siguiente forma:

- Para temperatura de 30°, 92 por 100.
- Para temperatura de 40°, 75 por 100.
- Para temperatura de 50°, 53 por 100.
- Para temperatura de 55°, 38 por 100.

Por tanto, a las secciones que se calculen deberá aplicárseles el coeficiente de corrección oportuno en función de la temperatura a que se prevea que han de trabajar los conductores.

En las instalaciones fijas, estos conductores están sumergidos en el pozo, y dadas las excelentes condiciones para la refrigeración, no es previsible un aumento en la temperatura de trabajo.

Sin embargo, en los equipos móviles suelen existir longitudes importantes de conductor sobrante en la superficie, que no sólo está expuesto al calor del sol, sino que con frecuencia se deja enrollado, dificultando el efecto de refrigeración natural del ambiente.

Dado el elevado costo de este material, conviene dimensionarlo adecuadamente; atendiendo a la potencia del grupo moto-bomba a que ha de alimentar y a las condiciones de trabajo que se prevean.

El arranque en estrella-triángulo tiene la ventaja de que la sección de los conductores es inferior que para el arranque en directo; pero tiene la desven-

taja de precisar dos ramales trifásicos, en vez de uno, como ocurre en directo.

En instalaciones fijas se recomienda en general la colocación de los dos ramales, siempre que la potencia sea superior a 10 CV. En los equipos móviles, aunque también es aconsejable el arranque en  $\Delta - \Delta$  para evitar intensidades punta muy superiores a la nominal de trabajo, por razones de rapidez y comodidad se utiliza con frecuencia un sólo ramal para arrancar en directo.

Los conductores deben revisarse de forma periódica para evitar accidentes mortales por electrocución, dadas las desfavorables condiciones del entorno (agua, objetos metálicos, etc.).

### Selección del transformador o generador

Las instalaciones elevadoras definitivas suelen contar con un centro de transformación a pie de sondeo; siendo los grupos electrógenos o generadores el sistema más usual de suministrar energía eléctrica a los equipos de bombeo móviles.

La potencia necesaria que debe tener un transformador o generador para poder accionar una bomba determinada, viene dada por la relación:

$$P = \frac{P_b}{R_m}$$

siendo  $P_b$  la potencia en caballos de la bomba y  $R_m$  el rendimiento del motor (0,9).

Como 1 CV = 0,736 Kw, la potencia expresada en Kw será:

$$P = \frac{P_b}{0,9} \times 0,736 \text{ Kw}$$

Si se tiene presente que un transformador o generador suministra conjuntamente energía activa y reactiva (KVA), y que el factor de potencia ( $\cos = 0,85$ ), la potencia teórica necesaria en KVA para alimentar una bomba, vendrá dada por la siguiente relación:

$$P_r = \frac{P_b \times 0,736}{0,9 \times 0,85} = 0,96 \cdot P_b$$

En la práctica el número de KVA del transformador o generador será igual al de CV del motor de la bomba.

Conviene trabajar con un factor de potencia elevado para reducir la energía reactiva y hacer económicamente más rentable la instalación.

Es frecuente que los generadores de los equipos móviles tengan que soportar intensidades muy superiores a la nominal como consecuencia del arranque en directo de las bombas.

Resulta, por tanto, aconsejable sobredimensionar moderadamente la fuente

de energía para que pueda absorber las intensidades punta que se originen en el arranque. Caso de no disponer de este sobredimensionado, habrá que recurrir al auxilio de un arrancador-transformador, no siempre posible por imperativos de espacio libre, o bien como se ha visto, a la solución de un arranque en  $\lambda - \Delta$ .

Se aconseja arrancar la bomba reduciendo el número de revoluciones del motor y, por tanto, el voltaje, e ir gradualmente regulando dichas revoluciones hasta alcanzar su régimen normal de funcionamiento. Asimismo es conveniente la instalación de relés térmicos de protección que pongan fuera de servicio la bomba por una sobrecarga de corriente que podría quemar el bobinado del estátor del motor.

Los sistemas de alarmas constituyen un factor de seguridad importante para prevenir accidentes derivados de anomalías de funcionamiento imprevistos.

## Material complementario

Se entiende por material complementario todas aquellas unidades y accesorios que suplementan a un equipo de bombeo móvil, y que son imprescindibles para que dicho equipo funcione con la suficiente garantía, seguridad y rentabilidad.

Pieza fundamental en este conjunto es el vehículo para el transporte del material pesado. El camión destinado a tal fin deberá ser elegido y acondicionado atendiendo al tipo de carga a transportar. Es importante que el vehículo esté dotado de tracciones en sus ejes delantero y traseros, para poder superar las frecuentes dificultades que se presentan en los accesos a los sondeos. Asimismo resulta de suma importancia el buen diseño de la caja, prestando especial atención a la distribución racional de la carga y garantizando la seguridad en los traslados.

Otro de los componentes primordiales es la grúa. Esta deberá instalarse sobre el camión con carácter fijo. La grúa hace posible los trabajos propios de montaje y desmontaje del grupo motor-bomba y de la columna de impulsión, facilitando notablemente los trabajos de carga y descarga del material pesado. La grúa debe estar concebida para realizar cualquier operación movilizadora de material en el entorno próximo al punto de trabajo. Su potencia, por razones de seguridad, será superior al máximo esfuerzo que se le vaya a exigir. Conviene efectuar una revisión periódica y minuciosa de cada uno de los componentes de la grúa para prevenir accidentes que, por las especiales condiciones de trabajo, pueden resultar mortales.

El alojamiento para el personal de campo es otro elemento a considerar. Se debe disponer de una caravana para protegerse de las inclemencias del tiempo, sobre todo durante el invierno. Téngase presente que, con frecuencia, los bombeos se prolongan durante algunos días, con las correspondientes noches, lo cual hace especialmente penoso este tipo de trabajo.

Con el fin de evitar continuos desplazamientos para transportar el necesario

combustible, siempre que sea posible, se instalará un depósito sobre el vehículo de transporte de la máxima capacidad. Para valorar la magnitud de este problema, baste decir que los grupos electrógenos que accionan bombas de gran potencia (300 CV) tienen un consumo de combustible del orden de 100 l/hora.

Una serie de accesorios o material auxiliar, conforman lo que debe ser un equipo móvil de bombeo lo suficientemente dotado. Entre ellos se citan los siguientes:

- Vehículo todo terreno para el transporte de combustible hasta lugar de trabajo.
- Vehículo ligero para el transporte del personal que presta servicios en campo.
- Uno o varios hidroniveles de repuesto, en previsión de posibles averías en el utilizado normalmente.
- Linternas, caja de herramientas, cinta para empalmes, bombillas, extintores, botiquín, etc., son los accesorios más elementales con que debe contar un equipo de bombeo.

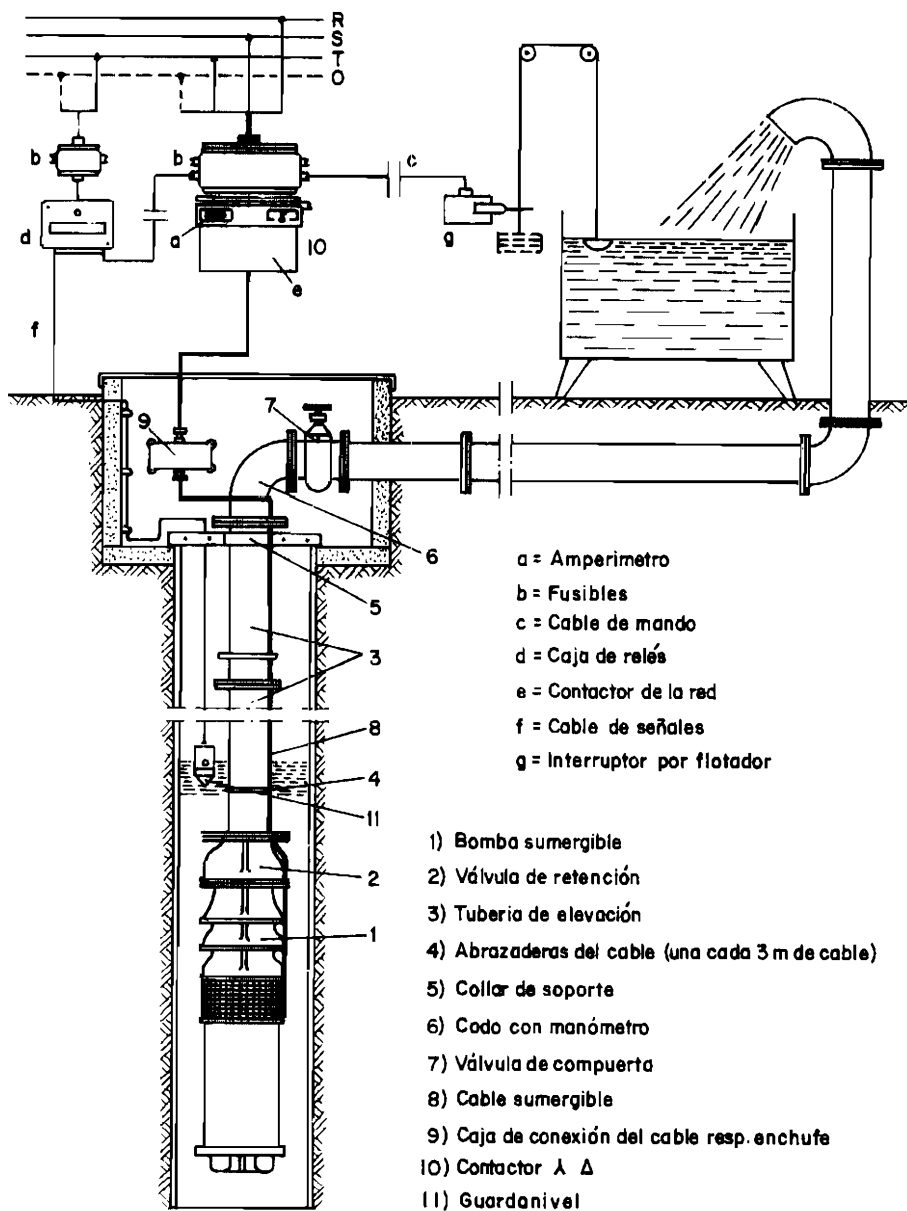


Fig. 34.—Esquema de instalación elevadora.



Fig. 35.—Grupo móvil de bombeo del IGME.



Fig. 36.—Grupo moto-bomba de 175 CV IGME.