

CAPÍTULO XIII

Bombas y máquinas automóviles.

PLAN DE AMBOS CAPÍTULOS. Propiamente la materia de este capítulo está comprendida en el anterior, pero la longitud extraordinaria de este último nos obliga á dividirlo en dos. Además de esto, hay razones intrínsecas para efectuar dicha division, puesto que los medios hasta aquí descritos para elevar el agua, la levantan mecánicamente arrastrándola como si fuera un sólido, y haciendo poco uso de las propiedades características de los líquidos. Por el contrario, en las bombas nos valemos de la presión atmosférica para efectuar el movimiento, y nos servimos del principio de igualdad de trasmisión de las presiones en todos sentidos que caracteriza á los fluidos, si bien ambos no son los únicos ni quizá los principales en algunas bombas modernas.

Incluimos también en este capítulo los aparatos automáticos, ó sea aquellos que teniendo cierta analogía con las bombas, emplean la fuerza motriz de un salto de agua para su movimiento, como son, por ejemplo, los arietes hidráulicos.

Si examinamos el capítulo anterior nos encontramos con cierto orden en la descripción de los aparatos, correlativo con el que vamos á describir en el actual. A falta de un método natural y lógico para clasificar los aparatos de elevación de aguas, hemos apelado á la manera como efectúan su destino dichas máquinas. De aquí el haber empezado por los cubos y cubetas, medio rutinario, pero sencillo, que se completa con el uso del torno y malacates para la mejor aplicación de la fuerza motriz. Inmediatamente nos hemos ocupado del empleo de la pala y su perfeccionamiento en el achicador holandés; terminando con el chaduf egipcio y la cubeta de báscula los aparatos en que se eleva el agua por intermitencias. Pasábamos luego á los que efectúan esta operación de un modo casi continuo, en cuyo caso se encuentran las ruedas de paletas, cajones y cangilones: parecida á éstas en cuanto al medio es la rueda de timpano, pero en cuanto á la forma interior tiene cierta analogía con la rosca de Arquímedes, y de aquí el haber seguido este mismo orden en su exposición.

Las norias debieran haberse dado á continuación de las ruedas de cangilones, pero había que romper el orden prescrito en cuanto á la rueda de timpano, por lo cual no hemos entrado en ellas hasta terminar con la rosca de Arquímedes. En cuanto á dichas norias, hemos explicado no sólo las comunes, sino también sucesivamente las perfeccionadas, y como complemento de su estudio nos hemos ocupado de los rosarios hidráulicos, que son verdaderas norias, si bien en algunas hemos hecho notar su semejanza con las bombas. Por esta razón sirve el examen de los rosarios de paso entre el de los aparatos anteriores y el de las bombas, objeto del presente capítulo, lo cual comprueba la utilidad del orden seguido.

Respecto de las bombas comenzaremos por el estudio de las propiamente tales, en que la presión atmosférica es la fuerza motriz mediata, continuando con las bombas rotatorias, que si bien se sirven de este principio, empujan mecánicamente el líquido en algunos casos. Estas bombas se aplican más cada día é importa su vulgarización. Seremos más parcios en el examen de los aparatos automáticos porque no tienen el interés práctico de los anteriores.

VÁLVULAS. El órgano característico de las bombas propiamente tales es la válvula, y merece por consiguiente un examen especial. Llámase válvula una tapadera de un agujero, de tal modo dispuesta que se abre para dejar paso al líquido por el agujero en un cierto sentido, por ejemplo, de arriba para abajo, y se cierra por el impulso mismo del líquido cuando éste tiende á marchar en sentido opuesto al anterior, impidiendo que efectúe dicha salida. En cuanto á su forma, las principales clases de válvulas son tres, la de charnela, la cónica, la esférica.

La válvula de charnela consiste en una chapa poco mayor que el agujero correspondiente y que puede girar al rededor de una visagra situada en un punto de su perímetro. Supongamos que el agujero en cuestión está en una pieza horizontal: de suerte que la chapa de la válvula ha de ser también horizontal; si la válvula está encima del agujero, claro es que no puede abrirse sino hacia arriba y por tanto sólo deja pasar el agua desde abajo para arriba; la acción del líquido en sentido contrario empuja la válvula contra su asiento, tanto más cuanto mayor es dicha presión; por el contrario, la acción del líquido desde abajo para arriba levanta fácilmente la válvula, cuyo peso es pequeño, la hace girar al rededor de la visagra, abriéndola tanto más cuanto mayor sea el empuje del líquido. Si se hubiera colocado la válvula en la parte inferior del agujero sucedería lo contrario, esto es, la presión del líquido cerraría la válvula desde abajo para arriba y la abriría en sentido contrario.

La placa de la válvula citada está generalmente forrada de cuero para que ajuste mejor sobre los bordes del agujero: á veces este mismo cuero tiene una prolongación que se sujeta ó clava á la pieza donde está el agujero y hace de charnela en vez de la visagra. Otras veces se forra de caoutchouc, que tiene la ventaja de adherirse á los bordes, aunque haya en ellos algunos cuerpecillos salientes, como arenas. Debe haber un tope para que la abertura de la válvula no sea tal que la impida volver fácil y prontamente á su posición, ó un resorte que ayude á este efecto, aunque esta última adición no es indispensable.

La válvula cónica es un tronco de cono que ajusta en un agujero de la misma forma. A veces está dispuesta para dar paso al líquido desde abajo hacia arriba y en él está abierta por completo. Un vástago tropieza en una brida para impedir que la válvula sea arrastrada más allá de lo conveniente y para guiarla, de suerte que pueda volver á su primitiva posición. Se dispone la válvula en sentido inverso, si se desea que el líquido pase desde arriba

para abajo. Esta válvula es completamente metálica: conviene que la parte cónica sea de bronce y aun toda ella, para que no se oxide con la humedad. Las partes cónicas, móvil y fija, han de estar perfectamente torneadas.

Esta válvula tiene el inconveniente, que tambien es comun á la de charnela, de que al formar el agua remolinos pasando por el agujero, se forman depósitos de cuerpos extraños que impiden la buena cerradura.

La válvula esférica es una esfera maciza ó hueca, que tapa el agujero, y que tiene encima unos alambres contra los cuales tropieza cuando pasa de cierta altura, y deja abierto el agujero. Al caer la bola en cualquiera direccion tapa el orificio. Puede servir tambien para dar paso al agua desde arriba hácia abajo. Si la bola es grande se la hace hueca para que no sea pesada; generalmente es de bronce, y perfectamente torneada; se emplean tambien bolas de caoutchouc que ajustan mejor contra el contorno del agujero.

A veces hay dos válvulas juntas, cuando no basta una y no se puede disponer de orificios considerables; esto sucede, por ejemplo, en piezas anulares sobre cuya superficie no se pueden abrir agujeros de más diámetro que el del espacio anular. La colocacion de las válvulas depende de la forma y servicio de la bomba.

EMBOLOS Y CAJAS DE ESTOPAS. En toda bomba propiamente tal hay una parte cilíndrica perfectamente torneada, que se llama *cuerpo*, dentro del cual se mueve un cilindro que ajusta perfectamente y se llama *émbolo* ó *piston*. El ajuste debe ser lo más perfecto posible, como que de él depende la accion de la bomba, pero sin que pase de tales límites que dificulten el movimiento del émbolo. Conviene, pues, que por entre el émbolo y el cuerpo de bomba no pueda pasar el agua y al mismo tiempo que no haya un frotamiento excesivo, el cual se traduciría prácticamente por un gran consumo inútil de la fuerza motriz.

Para conseguir esto, se han ideado varias formas de émbolos, y una de las más sencillas consiste en dos placas entre las que hay un cuerpo cilíndrico más delgado, sobre el cual se arrollan trenzas de estopas bien comprimidas; estas estopas son las que ajustan contra el cuerpo de bomba, sin que el frotamiento sea excesivo y sin dejar escapar el líquido. Estas estopas deben estar encebadas; á veces se sustituyen por cuero ó caoutchouc. Por desgracia se estropean pronto y es preciso sacar el émbolo para disponer otras estopas ó arreglar las que habia antes. Con objeto de ejecutar esta operacion sin sacar el émbolo se han ideado diversos procedimientos, harto complicados, y lo más que puede hacerse es disponer el disco inferior con pernos que le permitan acercarse más ó ménos al superior; en este caso se aprietan los tornillos cuando se aflojan las estopas, lo cual obliga á éstas, comprimidas entre los discos, á empujar contra las paredes del émbolo.

El émbolo lleva por una de sus caras y á veces por ambas, un cilindro sólidamente unido al mismo que se llama *vástago* ó *varilla*. Cuando es preciso dar paso al líquido de un extremo á otro del émbolo, se abren uno ó varios agujeros en el espacio que queda entre el vástago y la guarnicion, provistos de válvulas.

Dicha guarnicion no es siempre la indicada; se han ideado tambien otras más duraderas, y para presiones considerables pueden emplearse las de anillos metálicos, parecidas á los que se usan en los émbolos de las máquinas de vapor. Tambien se usan mucho en el día las guarniciones de caoutchouc ya citadas.

El vástago sale fuera del cuerpo de bomba, toda vez que á él se aplica la fuerza motriz impulsora del émbolo, y como dicho cuerpo de bomba puede estar lleno de líquido, es preciso impedir que se escape por el agujero que da paso al vástago: esto se consigue gra-

cias al aparato llamado *caja de estopas*. Consiste en un collar que penetra en el agujero destinado al paso del émbolo, y cuyo diámetro es bastante mayor que el de éste; dicho collar va fundido con el cuerpo de bomba, y lleva por dentro estopas comprimidas hasta ajustar perfectamente con el vástago, de suerte que éste frota con las estopas sin dejar salir el líquido y sin consumir más que una pequeña parte de la energía motriz. La parte interior del collar no es completamente cilíndrica, sino más bien algo cónica, y sobre él hay otro collar más estrecho unido al anterior por pernos, el cual empuja hácia abajo las estopas, de modo que cuando se gastan éstas, basta apretar los pernos citados para que ajusten bien contra el vástago.

A veces son más complicadas las cajas de estopas, pero con lo dicho queda expuesto su principio fundamental. Conviene que dichas estopas estén humedecidas ó lubricadas con aceite para disminuir el frotamiento.

Con los nombres de *émbolo macizo* ó *sumergido* se designa el caso en que éste no frota con las paredes del cuerpo de bomba, y únicamente contra la caja de estopas, por tener el mismo diámetro en toda la parte que penetra en el cuerpo de bomba. La figura 41 indica dicha disposicion, y advertimos que en ella se han suprimido los pernos para mayor simplificacion. El émbolo es *A*; hácia la parte *D* se ve la caja de estopas; *E* es un órgano auxiliar del que hablaremos en otro lugar, así como del papel que desempeña la válvula *C* y las dos *B*, todas de charnela. Este género de émbolos se usa bastante.

Respecto de las demás piezas que constituyen una bomba, sólo diremos que son generalmente de fundicion. Cuando sus dimensiones son considerables, y en todos casos para facilitar su transporte, se dividen los tubos y órganos en trozos que se unen los unos á los otros por medio de rebordes sujetos con pernos; en la cara de union de éstos rebordes conviene colocar una chapa de plomo ó de caoutchouc para que impida las filtraciones, no bien se las comprima con dichos pernos.

Despues de estos elementos sobre la construccion de las bombas, pasemos á indicar algunas generalidades sobre aquellas en que el émbolo tiene un movimiento de vaiven ó sea alternativo, dejando para más adelante aquellas otras llamadas rotatorias, cuyo órgano impulsor tiene un movimiento de giro.

CLASES DE BOMBAS. Llámense así las máquinas que sirven para elevar el agua, porque una pared móvil en un vaso produce un vacío en uno de los lados, ejerce una especie de succion, lo que hace que el líquido se introduzca en un sitio conveniente, en virtud de la presion á que está sometido dicho líquido y que se comunica por igual en todos sentidos. Otro movimiento de la misma pared, que es el émbolo, arroja enseguida el líquido hácia el sitio á que se quiere conducir. Válvulas y conductos facilitan estos movimientos del agua, dirigiendo su marcha é interceptando ó restableciendo, cuando se desee, los pasos de comunicacion.

En la mayor parte de las bombas el émbolo recibe un movimiento rectilíneo de vaiven y se mueve en un cilindro hueco vertical, de metal ó de madera, que es el cuerpo de bomba. El émbolo es un cilindro cuyo contorno se adapta perfectamente á la superficie lisa del cuerpo de bomba; está hecho de madera, en las bombas económicas, con guarniciones de cuero, ó bien como antes dijimos.

Para las elevaciones pequeñas pueden servir las bombas impelentes; el cuerpo de bomba se sumerge en el agua, que penetra en él por una válvula que se abre de abajo arriba. En el movimiento de ascension del émbolo la válvula se abre, y el agua entra en el cuerpo

de bomba. Cuando el émbolo descende se cierra la válvula e impele el agua en el tubo de elevación, que está colocado lateralmente y parte del fondo de la bomba.

Para las elevaciones inferiores á 10 metros se usan las bombas aspirantes. Un conducto de aspiración que tiene ménos de 10 metros, ó por mejor decir, una altura menor que la presión atmosférica mínima del local en que se establece expresada en altura de agua, viene á desembocar en el cuerpo de bomba, con el que comunica por una válvula que se abre de abajo arriba. En el cuerpo de bomba se mueve el émbolo con un movimiento de vaiven; está atravesado por una abertura que cierra una válvula, abriéndose también de abajo arriba. El émbolo debe tener por límite inferior de su carrera la base del cuerpo de bomba, en la que está establecida la válvula del conducto de aspiración; si hubiese una distancia entre los puntos indicados, resultaría una disminución en la altura á la que la aspiración podría hacer subir el agua. Encima del punto que forma el límite superior de la carrera del émbolo se halla el tubo de derrame, por el que se vierte el agua de una manera intermitente, cuando el émbolo se eleva, para cesar cuando baja.

Una bomba simplemente aspirante se convierte en *elevadora* cuando el tubo de derrame no arroja el agua inmediatamente por encima del límite superior de la carrera del émbolo. Se puede, en efecto, elevar el agua á una altura indefinida sobre el émbolo, pero entonces es necesario soportar un peso calculado por el de una columna de agua que tenga por base la sección del émbolo y por altura la elevación total. Ofreciendo este peso, en el caso de una grande altura, una resistencia considerable, se adoptan diversas disposiciones para aligerar los órganos de la máquina. Por ejemplo, la varilla del émbolo atraviesa una caja de grasa y otra de estopas, y el tubo de ascension, colocado lateralmente con relación al cuerpo de bomba, comunica con él por medio de una válvula, que se levanta cada vez que el émbolo sube, pero vuelve á cerrarse enseguida, de tal suerte, que la válvula del émbolo pueda abrirse sin experimentar demasiada resistencia.

Las bombas elevadoras se llaman de émbolo macizo, cuando, provisto de una válvula, está constantemente introducido en el agua. Son á la vez aspirantes é impelentes, cuando el émbolo es macizo y tienen dos válvulas, una en el tubo de aspiración, que se levanta durante el ascenso, y otra en el tubo de ascension, que se levanta si el émbolo descende. Muchas veces, para impeler el agua á gran altura, se la hace pasar primero á la parte inferior de un vaso intermedio en forma de campana, cuya capacidad superior está llena de aire que se comprime á tantas atmósferas, más una, cuantas veces contenga 10 metros la altura de elevación. Este principio se aplica en las bombas de incendios y en muchas bombas agrícolas. Para las alturas muy grandes, tales como los pozos de mina, se fraccionan muchas veces las distancias y se establecen muchos pisos de bombas.

Para hacer desaparecer el movimiento intermitente del agua en los tubos de aspiración y ascension, se emplea el sistema de doble efecto, con el que por cada embolada se eleva dos veces más agua que con el sistema sencillo; pero entonces es preciso aplicar á la bomba doble fuerza motriz.

BOMBAS ASPIRANTES É IMPELENTES. La bomba aspirante consta de un tubo *N* (fig. 42) llamado de aspiración que se une al cuerpo de bomba *AB*; en dicha union hay una válvula de charnela *D*; dentro del émbolo va otra válvula análoga á la *D*. El tubo que hay en la parte alta del cuerpo de bomba, y hácia su derecha, es el de salida del líquido. Se ve la union del émbolo *C* con el vástago por medio de una armazón, á fin de permitir un hueco mayor para la válvula; dicho vástago sale al exterior por la caja de estopas que hay en lo alto de la figura.

Al elevar *C* se cierra su válvula por el empuje del aire exterior, se abre *D* por la rarefacción, y una parte del líquido sube por *N*. Al bajar *C* el mismo abre su válvula, cierra *D* y la columna líquida no se altera. Dando así varias emboladas se consigue que el agua pase por *D*, luego por *C* y salga por el tubo superior. A partir de este momento se repite el juego de las válvulas, pero más intenso, por la poca compresibilidad del líquido, pues no bien se baja *C* queda cerrada la válvula *D*.

El principio fundamental de estas bombas es la presión atmosférica, y como ésta es menor á medida que nos elevamos sobre el nivel del mar, resulta que la acción de la bomba es tanto más limitada cuanto mayor es la *altitud* del pueblo en que se va á establecer la bomba. La altura de la columna de agua que al nivel del mar equilibra á la presión atmosférica es 10,33 metros, y de aquí que la altura del tubo de aspiración *N*, desde la superficie del líquido, hasta el punto más elevado de la posición de *C*, no puede pasar de dicha cifra. Madrid, que está á bastante altitud, no permite que ésta exceda de 9,6 metros, y en la práctica no conviene acercarse demasiado á estas cifras.

Pasemos á la bomba impelente. Su cuerpo de bomba es *AD* (fig. 42 bis); *EF* es el tubo de ascenso y *MN* el nivel del líquido. Se ve sobre *A* la caja de estopas; el émbolo *C* es macizo, y hay dos válvulas, una *B* que se abre de abajo arriba y otra *O* que se abre de dentro á fuera.

Al elevar *C* se produce en *AD* una rarefacción, que no puede ser equilibrada con aire que venga por *FE*, porque esta rarefacción cierra á *O*. El agua sube, pues, por *B*. Al bajar *C* el aire y agua de *AD* cierran *B*, abren *O* y suben por *EF*. El cabo de pocas emboladas ha sido expelido todo el aire de *AD* y solo sube agua por *EF*.

La altura á que se eleva el agua en una bomba impelente es indefinida y depende sólo del impulso que se da á *C*. Si la columna *EF* tiene, desde el punto en que termina hasta *MN* una altura de 10,33 metros; habrá que dar al vástago una fuerza igual al producto del área del émbolo, en centímetros cuadrados por 13,03. Así si el diámetro del émbolo es de 12 centímetros, ó sea su área 113 centímetros cuadrados, la fuerza del vástago será 146 kilogramos. Si el camino recorrido por el émbolo en cada embolada es 6 decímetros, el trabajo será $146 \times 0,6 = 9,6$ kilogramómetros, poco ménos de un caballo de vapor. La cantidad de agua suministrada por esta bomba será en cada embolada $113 \times 60 = 6.780$ centímetros cúbicos ó sea 6,78 decímetros cúbicos, esto es, litros.

Si en el ejemplo anterior la altura fuera doble, triple etc., la fuerza aplicable en el vástago será también doble, triple, etc., y el trabajo en kilogramómetros asimismo doble, triple, etc.

Si en vez de sumergirse en el agua la bomba de la figura última, se coloca á continuación de *B* un tubo de aspiración, convertiremos la bomba impelente en una aspirante-impelente. Estas son las más comunes en la práctica. La altura del tubo de aspiración es limitada, como antes dijimos.

EJEMPLOS DE BOMBAS. Las bombas aspirante-impelentes varían mucho en cuanto á su forma, disposición de las válvulas, émbolos, etc., pero bajo el punto de vista mecánico difieren poco de las indicadas y el cálculo del trabajo se efectúa del modo que lo hemos hecho, aunque dividiendo el trabajo teórico por un coeficiente, que varía más bien con la bondad de la construcción que con el sistema, para tener el trabajo práctico que es preciso aplicar al extremo del vástago por el motor exterior.

La cantidad de agua que se puede obtener con una bomba depende del diámetro interior del cuerpo de bomba. Se dice que la fuerza de la bomba es pequeña cuando este diá-