

tro días de trabajo salía de las entrañas de la tierra como río bienhechor una capa de agua de 4,500 litros por minuto.

A los cinco años de análogos trabajos se habían perforado cincuenta pozos, que daban cerca de 40,000 litros de agua por minuto, 57 millones de litros diarios, sin que los gastos hubiesen excedido en totalidad de 300,000 francos. Los resultados fueron más de 30,000 palmeras plantadas, numerosos oasis levantados de sus ruinas, y dos nuevas poblaciones creadas en el desierto. Todavía se prosigue hoy con éxito esta obra civilizadora.

CAPÍTULO IV

LAS BOMBAS

I

TEORÍA DE LAS BOMBAS

Supongamos un cilindro hueco en el cual pueda subir y bajar rozando con sus paredes un émbolo provisto de una varilla y en cuyo fondo hay un orificio (fig. 187). Hallándose el émbolo en la parte inferior del cilindro, metamos el instrumento en una vasija ó depósito lleno de agua, y en seguida subamos el émbolo tirando de su varilla. ¿Qué sucederá? Que el espacio vacío de aire que el émbolo deja debajo de sí en su marcha ascendente, se llenará de agua, primero hasta que el nivel del líquido sea en el cilindro el mismo que en el depósito, lo cual sucederá en virtud del principio del equilibrio de los líquidos en los vasos comunicantes, aun cuando hubiese aire debajo del émbolo. Pero el agua continúa subiendo por cima de ese nivel, siguiendo instantáneamente al émbolo cuya sección inferior toca sin cesar; fácilmente se comprende que su movimiento tiene por causa la presión que el aire exterior ejerce en la superficie líquida del depósito.

Supongamos que el cilindro tiene más de $10^m,33$ de elevación, y que el depósito contiene suficiente cantidad de agua; la columna líquida aumentará en altura hasta llegar poco más ó menos á los mismos $10^m,33$. En este momento su peso equilibra la presión atmosférica: si el émbolo sigue subiendo, el agua se detendrá. Este es precisamente el obstáculo con que tropezaron los fontaneros de Florencia y que hizo creer á los físicos de la corte del gran duque que la Naturaleza cesaba de tener *horror al vacío* más allá de 32 pies.

Tal es en principio la bomba á que se da el nombre de *bomba aspirante*, porque el émbolo parece aspirar el líquido á medida que sube. Veamos ahora cómo está construído el aparato para llenar el objeto al cual se le destina, es decir, para suministrar agua luego que ésta se ha elevado á cierta altura sobre el nivel del depósito.

El cilindro ó *cuerpo de bomba* está provisto de un tubo cilíndrico de diámetro menor, cuyo extremo inferior penetra en el depósito. Al orificio de separación va adaptada una válvula que se abre y cierra de abajo arriba. El mismo émbolo está atravesado por muchas aberturas provistas de válvulas cuyo juego se efectúa en el mismo sentido que la primera (fig. 188). Ahora se comprenderá ya lo que debe suceder cuando se imprime al émbolo un movimiento alternado en el cuerpo de bomba. Al subir por primera vez se hace debajo de él el vacío. El aire del tubo de aspiración levanta la válvula por

efecto de su presión, y el agua sube hasta cierta altura. Cuando el émbolo baja, comprime el aire que se ha introducido en el cuerpo de bomba; por una parte su presión cierra la válvula inferior, y por otra levanta las del émbolo y el gas se escapa al exte-

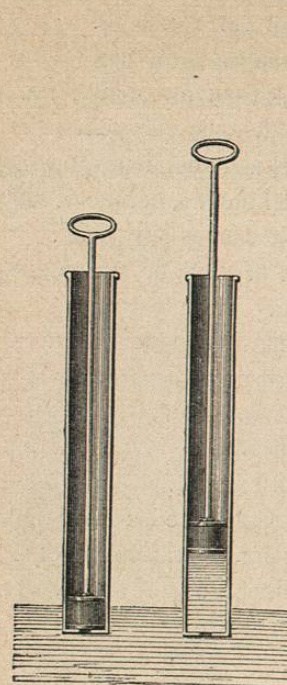


Fig. 187.—Principio de la bomba aspirante

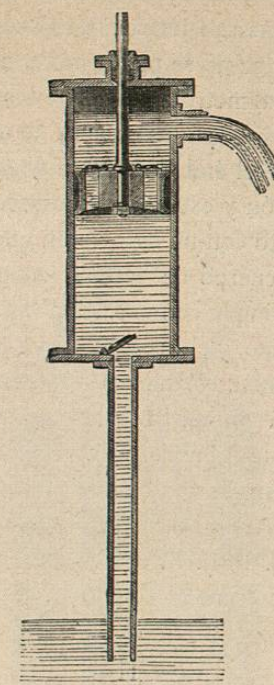


Fig. 188.—Bomba aspirante

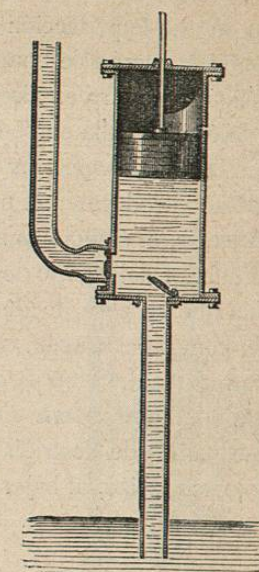


Fig. 189.—Bomba aspirante é impelente

rior. A cada movimiento análogo el agua se eleva más y más, y acaba por ponerse en contacto con la parte inferior del émbolo y por pasar sobre su cara superior: la bomba está ya alimentada. Entonces es fácil ver cómo debe salir el agua al exterior por un orificio lateral practicado en la parte superior del cuerpo de bomba. Por otra parte tan luego como la bomba está alimentada y el émbolo sube, se hace debajo de él el vacío y el agua no cesa de agolparse contra su cara inferior. La válvula del tubo de aspiración permanece ya constantemente abierta, y el movimiento de abajo arriba del émbolo es el que hace subir el líquido.

Es fácil calcular los esfuerzos que se requieren para subir ó bajar el émbolo cuando la bomba está alimentada. Si el émbolo baja, sus propias válvulas se abren; las presiones transmitidas á sus dos caras por el líquido son iguales por una y otra parte, y las únicas resistencias que se experimentan proceden de los rozamientos del líquido y del émbolo. Pero, cuando se levanta, la presión atmosférica es la única que se anula, por cuanto se ejerce sobre el depósito por una parte, y sobre el nivel superior del líquido por

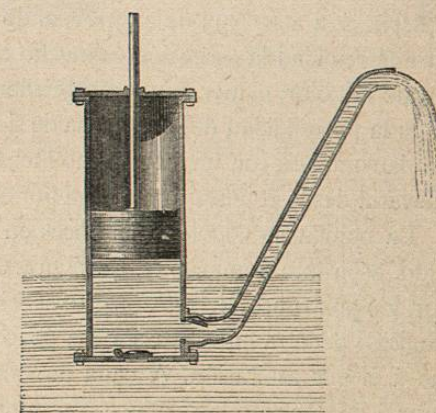


Fig. 190.—Bomba impelente

otra, y el esfuerzo que se ha de hacer se calcula teniendo en cuenta el peso de una columna de agua cuya base sea la superficie del émbolo y su altura la distancia vertical de los dos niveles del líquido. Si esta distancia es, por ejemplo, de 2 metros, y la base del émbolo tiene un decímetro cuadrado, se necesitaría una fuerza de 20 kilogramos para levantar el émbolo, sin contar las resistencias ocasionadas por el rozamiento.

La experiencia demuestra que no se puede dar á la bomba aspirante una profundidad ó altura que exceda de 7 á 8 metros, en vez de los $10^m,33$ que indica la teoría. La razón de esta imperfección consiste en los escapes de aire y de agua que siempre existen entre el cuerpo de bomba y el émbolo; aparte de esto, el agua del depósito contiene casi siempre aire en disolución y este aire se desprende del líquido, porque la superficie de éste se halla en contacto con un espacio en que la presión es muy débil.

En la *bomba impelente* el cuerpo de bomba penetra en el agua, de suerte que el líquido se introduce en él por simple comunicación (fig. 190).

Además, el émbolo es macizo, y el tubo que sirve para elevar el agua arranca de la parte inferior del cuerpo de bomba, estando provisto en el orificio de separación de una válvula que se abre de dentro afuera. En este caso el émbolo, en su marcha descendente, comprime el agua, cuya presión cierra la válvula del cuerpo de bomba, abre por el contrario la del tubo de ascensión y hace salir el líquido al exterior.

La bomba *aspirante é impelente* participa de las disposiciones de las dos bombas que acabamos de describir (fig. 189). El agua sube en ella por aspiración, y como el émbolo es macizo, al bajar comprime el líquido en el tubo lateral de descarga.

II

LAS BOMBAS APLICADAS Á LOS USOS DOMÉSTICOS Ó INDUSTRIALES

La figura 191 demuestra cómo se instala por lo regular una bomba aspirante sobre un pozo cuando la profundidad del pozo está á siete ú ocho metros debajo del punto adonde el agua debe subir. Teóricamente hablando, el agua debería elevarse por el tubo de aspiración á $10^m,33$ de altura cuando la presión barométrica es de 760 milímetros; pero en realidad la ascensión es mucho menor, porque, según hemos demostrado en el párrafo anterior, el mecanismo no puede funcionar con la perfección que se requiere.

Si la profundidad del pozo pasa de siete ú ocho metros, la bomba aspirante no basta, y se la completa con un mecanismo merced al cual puede impeler el agua á mayor altura y llevarla desde el punto á que llega por aspiración hasta aquel en que se la debe utilizar.

La bomba se convierte entonces en una *bomba aspirante y elevadora*, ó mejor dicho, aspirante é impelente. La figura 192 presenta el modelo generalmente adoptado para los pozos profundos. Consiste sencillamente en una bomba aspirante cuyo cuerpo cilíndrico penetra en el interior del pozo á suficiente profundidad para que el agua llegue á él por aspiración. A cada movimiento ascendente del émbolo va el líquido á parar á un depósito instalado en el interior del pozo y al tubo que pone en comunicación este depósito con el cuerpo exterior de la bomba. Cuando el émbolo baja, el peso del agua acumulada cierra la válvula superior lateral, de modo que el líquido no puede retroceder al cuerpo de bomba. De esto resulta que después de cierto número de golpes de émbolo, necesarios para alimentar el aparato, el agua sale con intermitencias por el grifo. Claro está que con el mismo mecanismo se podría elevar el agua á cualquier altura y hacerla subir, por ejemplo, á todos los pisos de una casa.

Se da á las bombas y á los diferentes órganos que las componen una porción de formas y de arreglos, cuya descripción detallada exigiría volúmenes; pero como los detalles de que hablamos no alteran en nada el principio físico en el que se basa la construcción de las bombas, carecería aquí de interés. Tan pronto obedecen estas modificaciones al destino particular que se desea dar á las bombas como á la disposición con que el inventor ha creído oportuno construir el aparato para obviar un inconveniente ó conseguir esta ó la otra ventaja.

A veces se construyen bombas aspirantes é impelentes de doble efecto con objeto de evitar la intermitencia del chorro. Están hechas de suerte que la aspiración y el em-

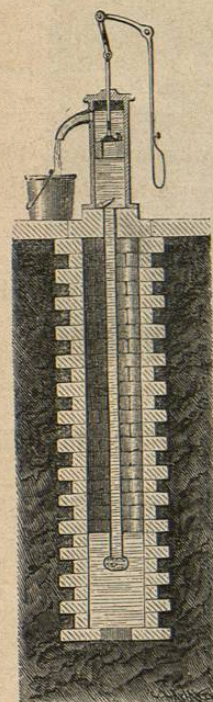


Fig. 191.—Bomba aspirante

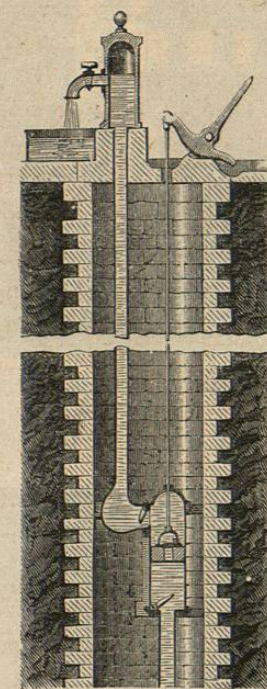


Fig. 192.—Bomba aspirante é impelente, llamada elevadora

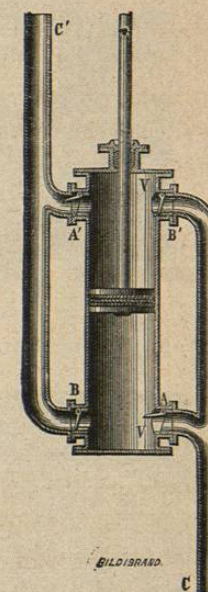


Fig. 193.—Bomba de doble efecto

puje del agua se efectúan á la vez, y tanto al subir como al bajar el émbolo. El de estos aparatos es macizo, y el cuerpo de bomba tiene cuatro orificios provistos de válvulas, como se ve en la figura 193. Durante el movimiento ascendente del émbolo, se abre la válvula A y se introduce por aspiración cierta cantidad de agua en la parte inferior V del cuerpo de bomba; la que contiene ya el tubo de salida C' cierra la válvula B; por el contrario, la válvula A' se abre dando paso al agua contenida en V debajo del émbolo, la cual va á parar á C'; y por último, la presión de esta agua cierra la válvula B'. Al bajar el émbolo, todo ocurre de distinto modo; las válvulas A y A' se cierran, B y B' se abren, de suerte que el agua es aspirada por arriba y expulsada por abajo. Por consiguiente, el chorro es casi continuo; pero fácilmente se comprende que la palanca, volante ó manubrio necesita doble esfuerzo. Empléase especialmente esta clase de bombas en los trabajos de desecación, y entonces se adapta á la máquina un volante manejado por dos ó varios hombres, y hasta por una máquina de vapor.

La naturaleza de los motores que imprimen á los émbolos de las bombas sus mo-

vimientos de vaivén es también muy variada. Las bombas comunes destinadas para los usos domésticos y pequeñas están provistas de palancas que oscilan alrededor de un

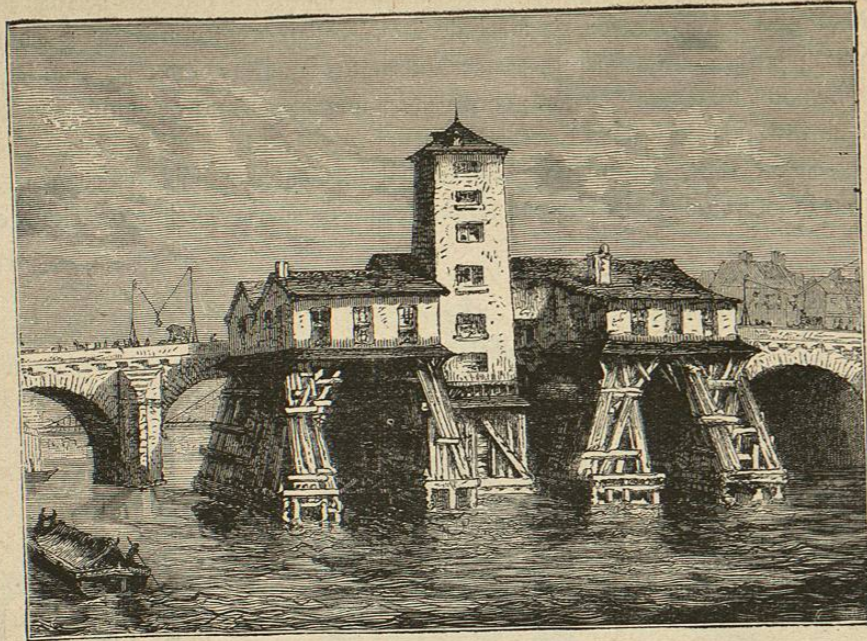


Fig. 194.—Antiguas bombas del puente de Nuestra Señora en París

punto fijo y que se mueven á brazo, ó bien de un manubrio ó rueda á la que se da

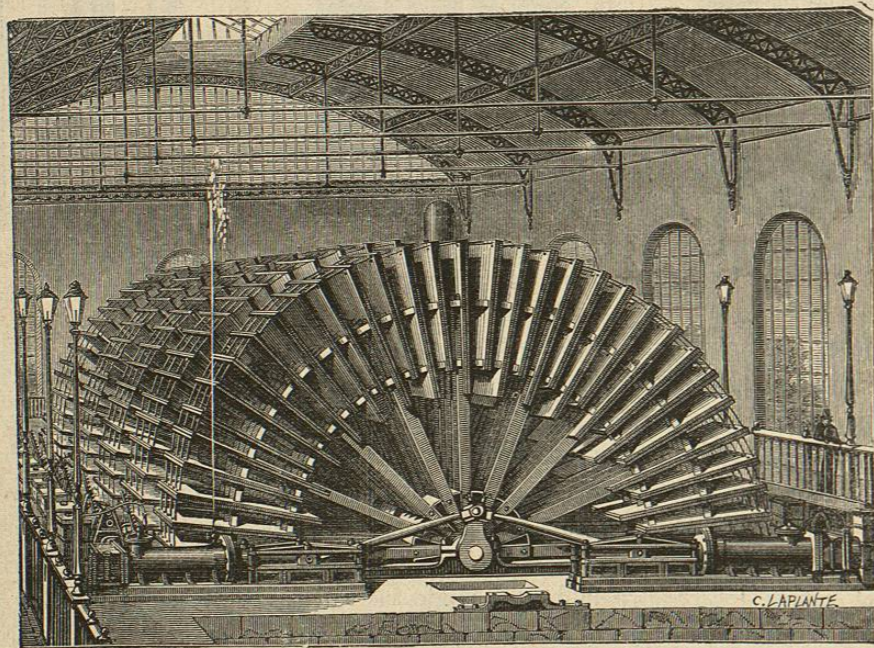


Fig. 195.—Nuevas ruedas hidráulicas y bombas de Marly

vueltas del mismo modo (figs. 196 y 197). Pero, cuando se requiere mayor fuerza, se emplea como motor un caballo que da vueltas á un malacate, ó bien el vapor, ó bien un salto de agua. La máquina elevadora del puente de Nuestra Señora en París, que

ha desaparecido hace algunos años, era una bomba movida por ruedas hidráulicas situadas en un punto del Sena en que la rapidez de la corriente suministraba una fuerza considerable. Lo propio sucedía con la antigua máquina de Marly, que elevaba las aguas del Sena hasta los sitios reales de Marly y de Versailles por medio de 14 ruedas hidráulicas que ponían 221 bombas en movimiento. Hoy cinco solas ruedas, cada una de las cuales mueve cinco bombas horizontales, suministran una cantidad de agua mucho mayor que la de la antigua máquina, lo cual puede dar idea de los perfeccionamientos

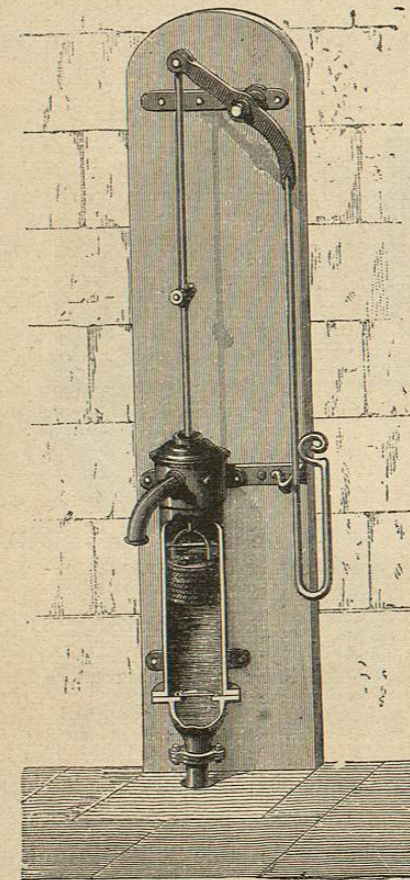


Fig. 196.—Bomba doméstica de balancín

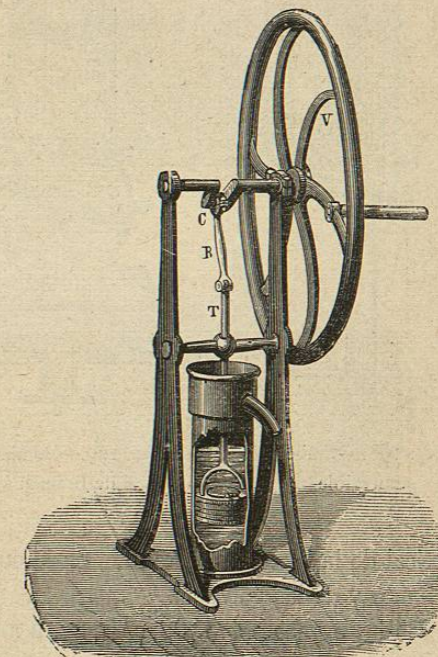


Fig. 197.—Bomba de rueda

introducidos de dos siglos á esta parte en las construcciones mecánicas. Las bombas de Chaillot están movidas por vapor: también es una máquina de vapor, instalada á unos cien metros de la orilla del Sena, la que pone en movimiento las bombas que proveen de agua á Fontainebleau. Los inmensos trabajos de desecación emprendidos en Holanda se han efectuado largo tiempo con bombas cuyo motor era el viento. En 1840 todavía se empleaban con este objeto más de 2,500 molinos de viento. Hacia la misma época se emprendió la desecación del lago de Harlem con el auxilio de una máquina de vapor de 350 caballos que ponía en movimiento 11 bombas, las cuales extraían por término medio 475,000 metros cúbicos de agua cada 24 horas.

Los diferentes órganos de las bombas empleadas en las grandes obras hidráulicas deben estar contruídos con gran solidez á causa de las presiones y resistencias conside-

rables que han de soportar. En este caso el émbolo suele ser un cilindro metálico macizo como lo representa la figura 198, y se le da el nombre de *émbolo buzo*.

El mecanismo que sirve para producir la aspiración del agua en las bombas aspirantes no es siempre un émbolo que sube y baja en un cuerpo cilíndrico y hace el vacío hacia el lado del tubo por donde sube el líquido. En ciertas bombas llamadas *oscilantes* es una pieza fija que oscila alrededor de un eje haciendo las veces de émbolo, y que á la vez aspira el agua haciendo el vacío por una de sus partes al paso que expelle el agua atraída ya por el movimiento de la otra. La figura 199 representa la sección

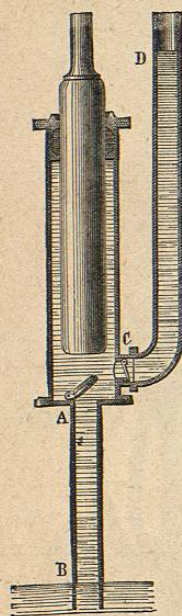


Fig. 198.—Émbolo sumergible

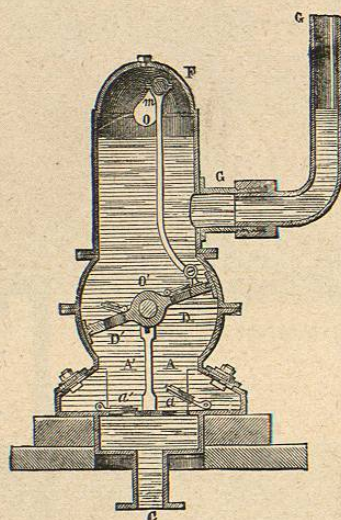


Fig. 199.—Bomba oscilante de Bramah (1)

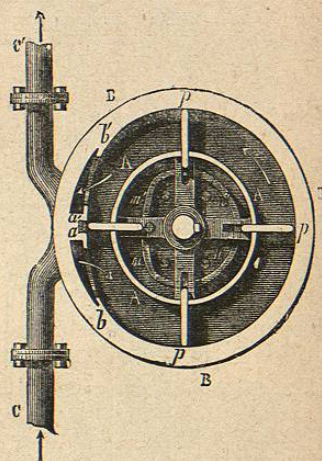


Fig. 200.—Bomba rotatoria de Stoltz

vertical de la bomba de Bramah, en la cual se ve fácilmente cuál es el juego de la pieza oscilante y de las válvulas.

En las bombas *rotatorias* (la fig. 200 reproduce el corte de la de Stoltz) los tubos de aspiración C y de salida C' van á parar por dos orificios *a* y *a'* á un tambor circular A, en cuyo interior se mueve un anillo concéntrico al tambor B. Varias piezas *pppp* que se apoyan por una parte en el contorno interior del tambor y por otra en el de una excéntrica, cierran herméticamente el espacio anular, y por consiguiente hacen tras sí el vacío expulsando el agua y viniendo á ser otros tantos émbolos.

La bomba rotatoria sistema Behrens (fig. 201), que funciona también como máquina de vapor (y de la cual nos ocuparemos al tratar de estas máquinas), tiene un mecanismo todavía más sencillo.

Un motor cualquiera, el vapor por ejemplo, pone en movimiento un árbol que por un sistema de engranajes hace mover en sentido contrario los ejes de dos émbolos C y C'. Estos giran en el interior de un tambor que comunica con el tubo B de aspiración y con el tubo D de salida. Cada émbolo tiene la forma de una porción de corona maci-

(1) *Caa'*, tubo y válvulas de admisión; *AA'*, capacidades separadas por un tabique; *DD'*, émbolo oscilante alrededor del eje *O'*; *Om*, manubrio que comunica el movimiento al émbolo.

za que deja libre un espacio anular *aa'*. Cuando este espacio empieza á colocarse delante del orificio de admisión, el émbolo, en virtud de su movimiento, va agrandando cada vez más tras sí la capacidad libre: hácese progresivamente el vacío y lo llena cierta cantidad de agua; mientras tanto el otro émbolo impele por el orificio de salida el agua que se encontraba ya allí; á cada media vuelta los dos émbolos cambian sus funciones, el que aspiraba expelle, y recíprocamente, de suerte que la bomba es en cierto modo una bomba de doble efecto. Fácilmente se comprenderán las circunstancias de este doble efecto examinando lo que ocurre en una vuelta entera de rotación, y comparando, por ejemplo, en la figura 212 las posiciones respectivas de los émbolos y de los espacios *aa'* después de los intervalos sucesivos de cada cuarto de la rotación total.

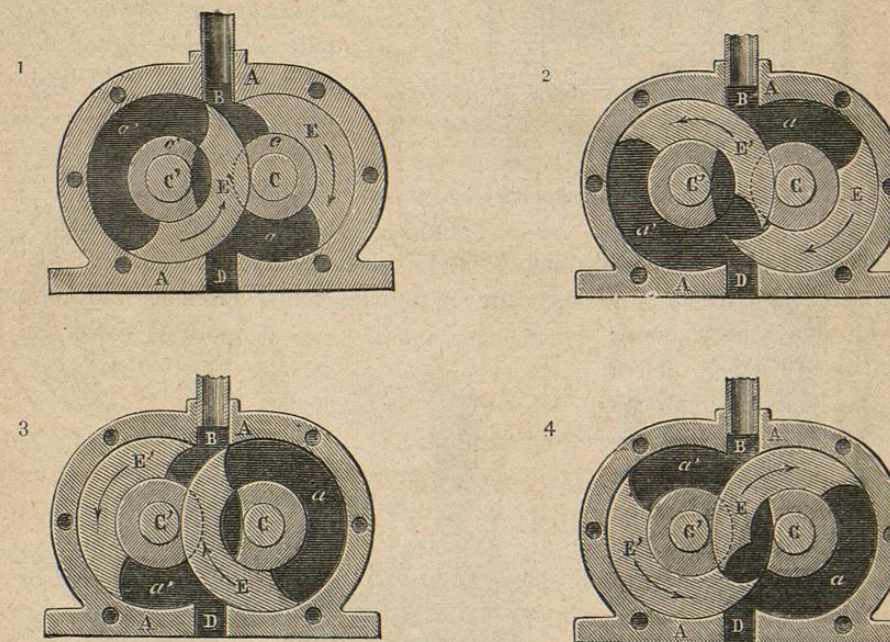


Fig. 201.—Bomba rotatoria de Behrens: fases de un movimiento de rotación

Réstanos decir unas cuantas palabras acerca de las bombas impelentes para completar lo relativo á este artículo, aun cuando, según hemos dicho antes, su construcción no esté en modo alguno basada en el principio de la acción de la presión atmosférica.

III

BOMBAS CONTRA INCENDIOS

Las bombas contra incendios y las que se usan para el riego de jardines son bombas impelentes.

Las primeras (fig. 202) consisten por lo común en dos bombas impelentes acopladas, fijas en el depósito de agua, el cual se llena con cudos y formando la cadena, ó bien con mangas ó tubos adaptados á las bocas de riego que suele haber en las principales ciudades.