

M. Vidi es el inventor de este barómetro, que ha sido perfeccionado recientemente por el óptico inglés M. Cooke.

Estos barómetros son preferibles con mucho á los de cuadrante, si bien se ha

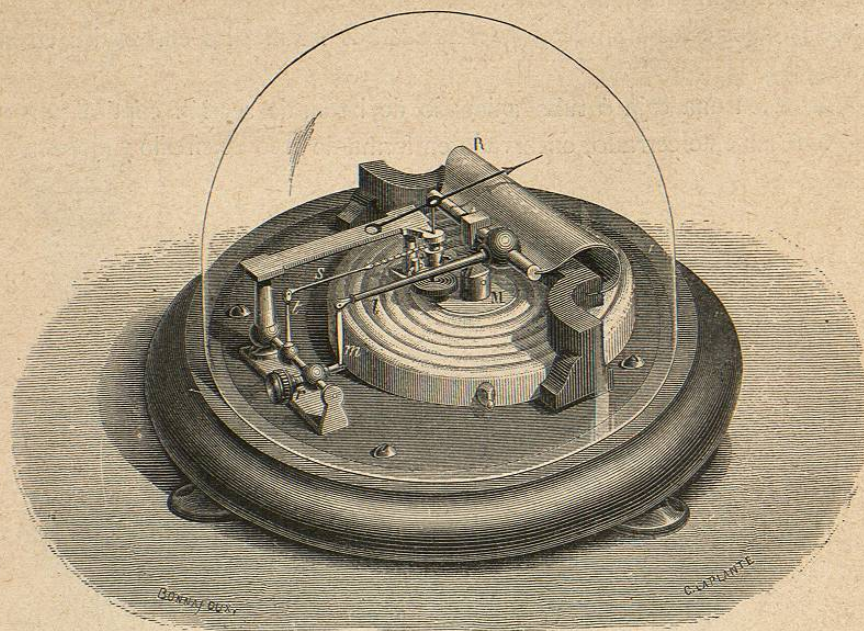


Fig. 80.—Mecanismo del barómetro de Vidi

M, caja en cuyo interior se ha hecho el vacío; R, muelle al cual se comunican los movimientos de oscilación de la caja; *l, m, r, t*, sistema de palancas articuladas que transmiten el movimiento á una cadenilla *s*; *s*, cadenilla que se enrosca en el eje de la aguja indicadora del barómetro.

reconocido la necesidad que hay de corregir de vez en cuando su gradación á causa de las variaciones que sufre el estado molecular del tubo en el barómetro Bourdón, ó el de la caja metálica y del muelle antagonista que lleva el de M. Vidi.

CAPÍTULO VIII

GRAVEDAD DEL AIRE Y DE LOS GASES

I

LA MÁQUINA NEUMÁTICA. — MÁQUINA NEUMÁTICA ORDINARIA. — MÁQUINA BIANCHI DE UN SOLO CUERPO DE BOMBA

Según hemos visto anteriormente, el descubrimiento de la gravedad ó peso del aire y de la presión atmosférica data tan sólo de poco más de dos siglos. Pero la aplicación del principio se había anticipado á la teoría, con mucha anterioridad á los trabajos de Galileo y Torricelli, y así lo prueba el relato mismo que hemos hecho y que nos ha transmitido la historia. La presión del aire es en efecto la causa del movimiento ascensional del agua en las bombas, atribuyéndose generalmente la invención de estos utilísimos aparatos á Ctesibio, geómetra y mecánico célebre que vivía en Alejandría 130 años antes de Jesucristo, ó sea un siglo casi después de Arquímedes.

Aplazaremos naturalmente la descripción de las distintas clases de bombas usadas en las artes industriales para cuando nos ocupemos en especial de las aplicaciones de la gravedad: sin embargo, no podemos dispensarnos de describir aquí dos clases de bombas que son de uso constante en las investigaciones científicas, una de ellas destinada á hacer el vacío en un recipiente lleno de aire ó de cualquier otro gas, ó cuando menos á enrarecerlo; y la otra, por el contrario, usada para condensar ó comprimir un gas en un espacio cerrado. Estas bombas especiales se conocen con los nombres de *máquina neumática* y de *máquina de compresión*.

El experimento del tubo de Torricelli proporcionaba un medio muy sencillo de hacer el vacío todo lo más perfecto posible, pues tal es el espacio situado sobre la columna de mercurio y al cual se da el nombre de *cámara barométrica*. Pero si el medio es sencillo, dista mucho de ser práctico, toda vez que requeriría una enorme cantidad de mercurio cuando la capacidad que se quisiera enrarecer fuese algo grande, y porque á cada operación habría que tomar precauciones muy molestas. Así es que de mucho tiempo atrás se ha recurrido á otros medios.

Otto de Guericke ideó y construyó en 1654 la primera máquina neumática. Ya hemos tenido ocasión de citar muchos experimentos curiosos debidos á tan ingenioso observador. Boyle, Papín, Muschenbroeck, S' Gravesande y otros, introdujeron poco después importantes perfeccionamientos en dicha máquina, que en un principio sólo tenía un cuerpo de bomba, pero en breve se reconoció la necesidad de añadirle otro para anular la gran resistencia que se experimentaba al manejarla.

He aquí las principales disposiciones de la máquina actual.

Supongamos dos cuerpos de bomba, provistos en su base de una válvula que se abre de abajo á arriba, y de un émbolo atravesado por otra válvula que se abre como la anterior. Los dos orificios inferiores están en comunicación por un conducto común á ambos con una placa perfectamente lisa, sobre la cual se coloca el recipiente y á la cual va á parar la abertura del conducto susodicho. La figura 81 representa la sección longitudinal de uno de los cuerpos de bomba con sus dos válvulas y el conducto de comunicación. Una vez comprendido bien el juego de esta mitad del aparato, será fácil comprender cómo funciona el conjunto.

Partamos desde el momento en que el émbolo toca la base inferior del cuerpo de bomba. El recipiente está lleno de aire á la presión atmosférica. Al levantar el émbolo se hace el vacío en la parte inferior del cuerpo de bomba: el aire del recipiente que llena el conducto ó canal de comunicación levanta por efecto de su fuerza elástica la válvula inferior *a* (fig. 83), y se esparce en seguida por el vacío así formado. Mientras tanto la válvula *b* del émbolo permanece cerrada en virtud de la presión del aire que se ejerce exteriormente sobre toda la superficie del émbolo. El aire del recipiente sigue pasando desde éste al cuerpo de bomba hasta que el émbolo ha llegado á su mayor altura. Claro está que en este momento la cantidad de aire contenida en el recipiente

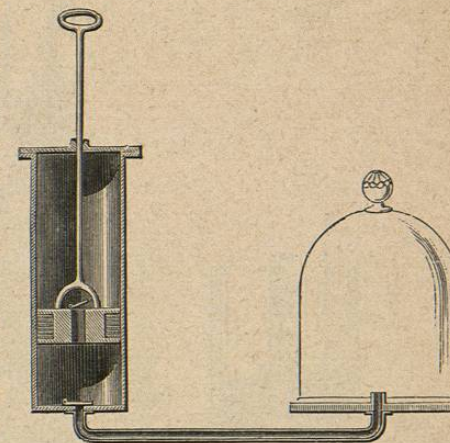


Fig. 81.—Juego del émbolo y de las válvulas en la máquina neumática (movimiento descendente)

ha disminuído, y que esta disminución ha sido de *una mitad*, si el volumen del cuerpo de bomba es precisamente igual al del recipiente.

Hagamos ahora recorrer al émbolo un camino inverso. En el momento en que empieza á bajar, la capacidad del cuerpo de bomba disminuye, la presión del aire contenido en él aumenta, sobrepuja á la del aire del recipiente, y la válvula inferior se cierra. Entonces, á medida que el descenso del émbolo reduce la capacidad inferior, aumenta la densidad del aire contenido en ella: en nuestra hipótesis, esta densidad volverá á ser

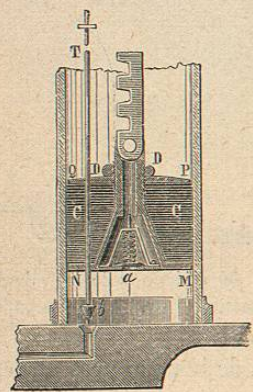


Fig. 82.—Detalle del émbolo y de las válvulas (movimiento ascendente)

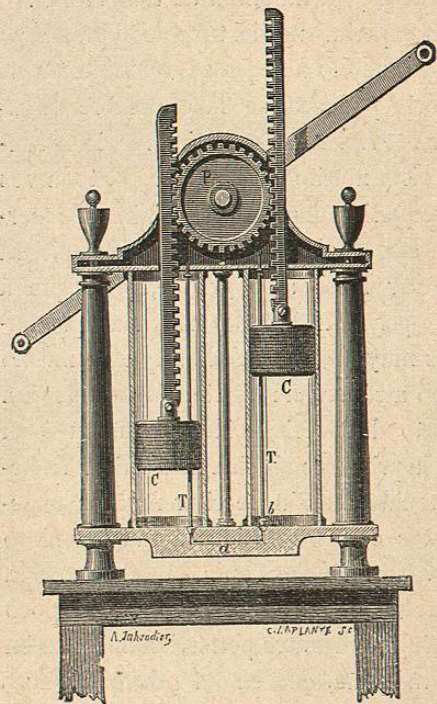


Fig. 83.—Máquina neumática de dos cuerpos de bomba. Sección transversal

igual á la del aire atmosférico tan luego como el émbolo llegue á la mitad de su carrera. Al bajar éste más, la presión interior aumenta, levanta la válvula del émbolo (fig. 81), y el aire se escapa en su totalidad á la atmósfera no bien toca el émbolo de nuevo el fondo del cilindro.

Este único movimiento de subida y de bajada, analizado en sus efectos como acabamos de hacerlo, explica toda la serie de la operación, puesto que ha bastado para enrarecer en su mitad el aire contenido en el recipiente. Un segundo golpe de émbolo, luego un tercero, enrarecerán de nuevo y en la misma proporción el aire restante, cuya presión se irá reduciendo á la cuarta, la octava, la décimasexta parte de la presión primitiva, conforme lo veremos muy en breve al demostrar la ley de Mariotte. Es evidente que la progresión cambiará si cambiase también la relación entre la capacidad del cilindro y la del recipiente.

Las figuras 82 á 85 nos explicarán ahora la disposición real de la máquina, demostrándonos cuál es la utilidad del segundo cuerpo de bomba. En la primera de dichas figuras se ve cómo están colocadas las dos válvulas, esto es, la del émbolo y la de la parte inferior del cuerpo de bomba. La válvula del émbolo es una plaquita *a*, comprimida sobre la abertura por un muelle flojo en espiral y que cede á una débil presión en

sentido inverso. La válvula *b* del cuerpo de bomba es cónica: un vástago de hierro que corre á frotamiento suave por el émbolo la levanta ó la baja, pero á corta distancia. La figura 83 demuestra que las barras de los émbolos son dos cremalleras que engranan con una rueda dentada, de suerte que por medio de un manubrio de dos brazos se baja un émbolo cuando se sube el otro. Gracias á esta disposición, se hace doble trabajo con una sola maniobra, y por consiguiente, la operación durará para un mismo grado de vacío la mitad menos que si sólo hubiese un cuerpo de bomba, y sobre todo la resistencia

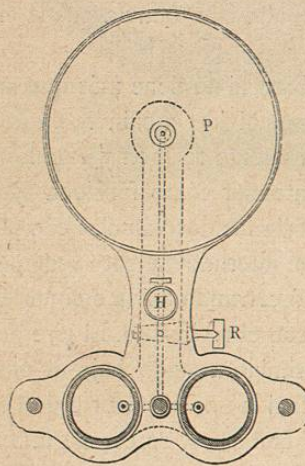


Fig. 84.—Plano de la máquina neumática de dos cuerpos de bomba

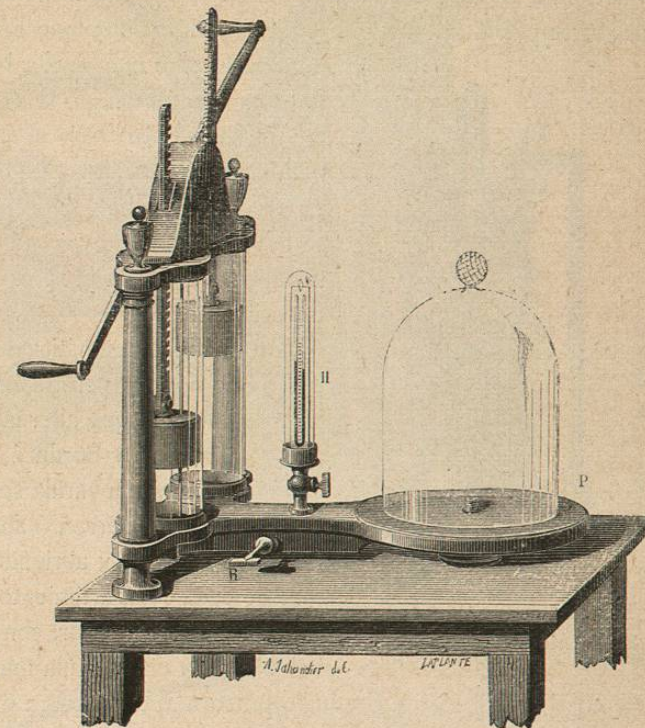


Fig. 85.—Vista exterior de la máquina neumática

queda reducida á su menor expresión, que era el principal objeto que se propusieron los reformadores de la primitiva máquina, pues á medida que se hace el vacío, aunque cada émbolo tenga que soportar al subir la presión atmosférica que se ejerce sobre su base, esta misma presión ayuda al otro émbolo á bajar. De este modo hay una compensación ó equilibrio entre dos fuerzas, que obran á la verdad en el mismo sentido, pero cuya resultante se aplica al eje del manubrio, resultante que se encuentra contrabalanceada ó vencida por la resistencia de la máquina, sin fatigar al operador. Las figuras 84 y 85 representan el plano y la vista exterior de la máquina neumática de dos cuerpos de bomba.

En ellas se ve cómo comunica el conducto que reúne los dos cuerpos de bomba con el centro de la *platina*: dase este nombre á una placa circular *P* de cristal deslustrado, perfectamente lisa ó plana, en la cual se colocan los recipientes de los que se quiere extraer el aire, untando sus bordes de sebo. Si éstos tienen la forma de tubos, globos, campanas, etc., se los atornilla al orificio del conducto en el centro de la platina.

En medio del tubo de comunicación hay una llave *R* (fig. 85) con algunos agujeros, merced á los cuales se puede establecer ó suprimir la comunicación entre la máquina y

el recipiente, ó bien hacer que el aire exterior penetre en los cuerpos de bomba ó tan sólo en la campana.

En el trayecto del mismo conducto se ve un pequeño recipiente fijo H que contiene un tubo barométrico ó manómetro, el cual sirve para indicar el grado de vacío obtenido bajo la campana, es decir, cuál es la presión de la escasa cantidad de aire que aún contiene esta última.

Finalmente, las buenas máquinas están provistas de un aparato inventado por M. Babinet. Este aparato consiste en una llave, por medio de la cual y por un conducto particular se puede hacer que el recipiente no comunique más que con un solo cuerpo de bomba. El aire que queda todavía en aquél después de funcionar algún tiempo la máquina, va á parar de rechazo por otro conducto bajo el émbolo del segundo cuerpo de bomba, y allí, gracias al aumento de presión que resulta de este rechazo, acaba por levantar la válvula. De este modo se lleva el grado de vacío á un límite tal, que el manómetro apenas marca la presión del aire que todavía queda en el recipiente.

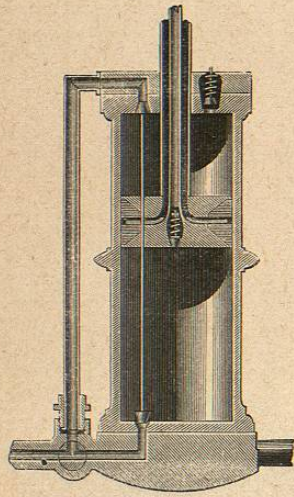


Fig. 86.—Máquina neumática de Bianchi: vista interior del cuerpo de bomba

La máquina neumática de Bianchi no tiene más que un cuerpo de bomba, pero el émbolo divide el cilindro en dos compartimientos que alternativamente reciben y expulsan el aire. La figura 86 da á entender cómo funciona esta bomba. Una misma varilla soporta las dos válvulas cónicas movibles que se cierran ó abren alternativamente según el juego del émbolo, y abriendo ó cerrando así la comunicación de cada compartimiento con el recipiente. El aire del compartimiento inferior, comprimido cuando baja el émbolo, levanta una válvula mantenida por un resorte de hélice en el orificio de un conducto practicado en la barra del émbolo, y se escapa al exterior por este conducto. El aire del compartimiento superior sale por una válvula de la misma clase adaptada á la cubierta del cuerpo de bomba. Con un manubrio se pone en movimiento un sistema de engranaje, y como el cuerpo de bomba puede oscilar en un plano vertical, el movimiento alternado del émbolo obedece á otro continuo de rotación, cuya velocidad está regulada por un volante muy pesado (fig. 87). Con esta máquina se puede hacer rápidamente el vacío en recipientes cuya capacidad crece con las dimensiones del cuerpo de la bomba.

II

NUEVAS MÁQUINAS NEUMÁTICAS. — BOMBA DE MERCURIO

¿Es posible hacer el vacío absoluto en un recipiente cualquiera con las máquinas que acabamos de describir? Ciertamente que no; el cálculo y hasta un sencillo raciocinio prueban que el grado de vacío es forzosamente limitado, puesto que cada golpe de émbolo tan sólo expulsa una fracción del aire ó del gas que queda en el recipiente; lo cual se expresa diciendo que para conseguir un vacío perfecto el número de golpes de émbolo debería ser *infinito*.

Aparte de esto, es menester contar con las imperfecciones de la máquina, por cui-

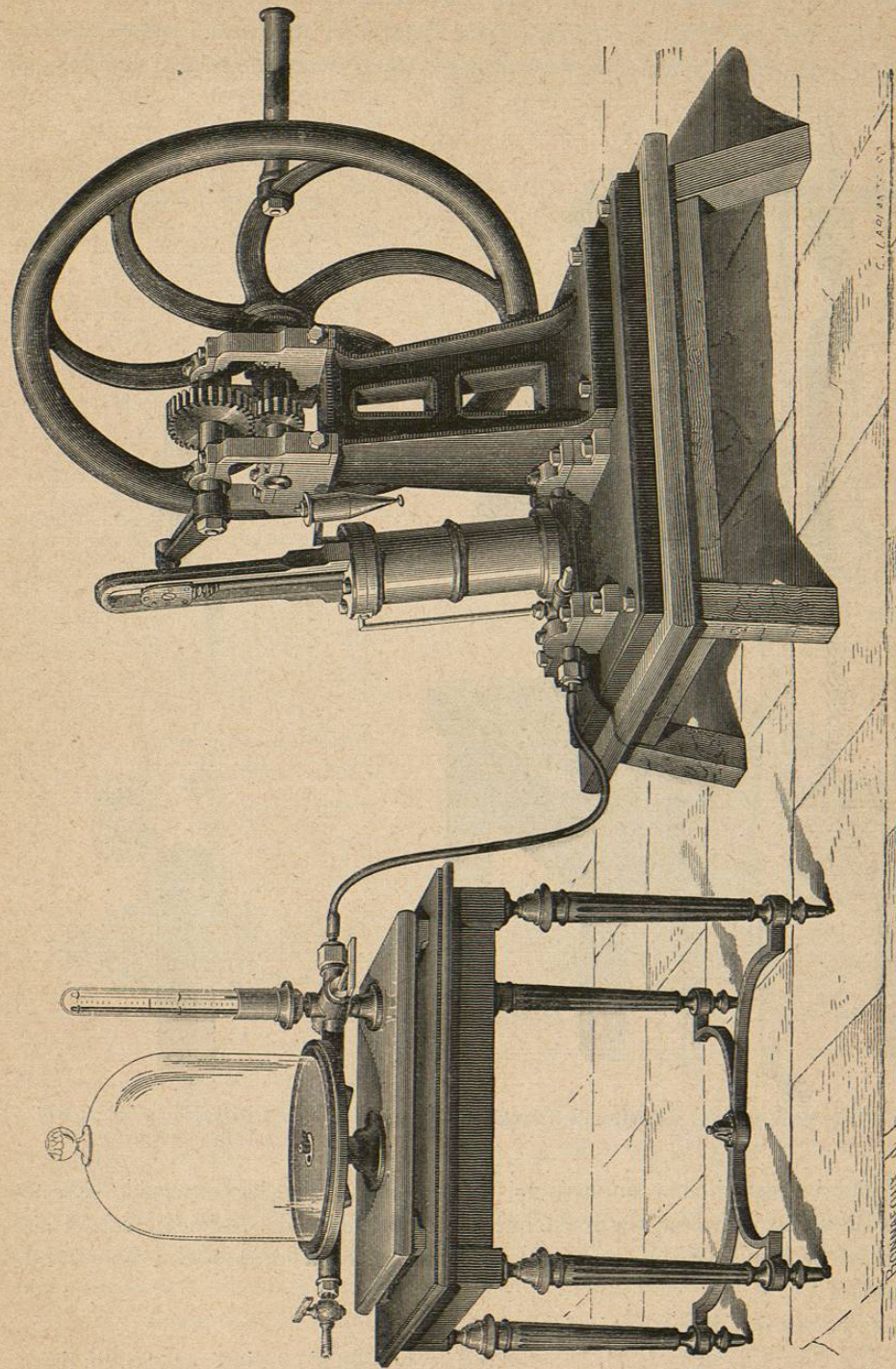


Fig. 87.—Máquina neumática de Bianchi

dadosamente construída que esté. Entre los émbolos y los cilindros, en las válvulas, en todas las juntas, hay forzosamente resquicios, imperceptibles sin duda, pero que bastan para dar paso al aire exterior. En suma, una buena máquina puede hacer el vacío hasta 1 ó 2 milímetros de diferencia; es una fracción de atmósfera bastante notable todavía, lo menos de un milésimo. Pero al hacer experimentos de física ó de fisiología

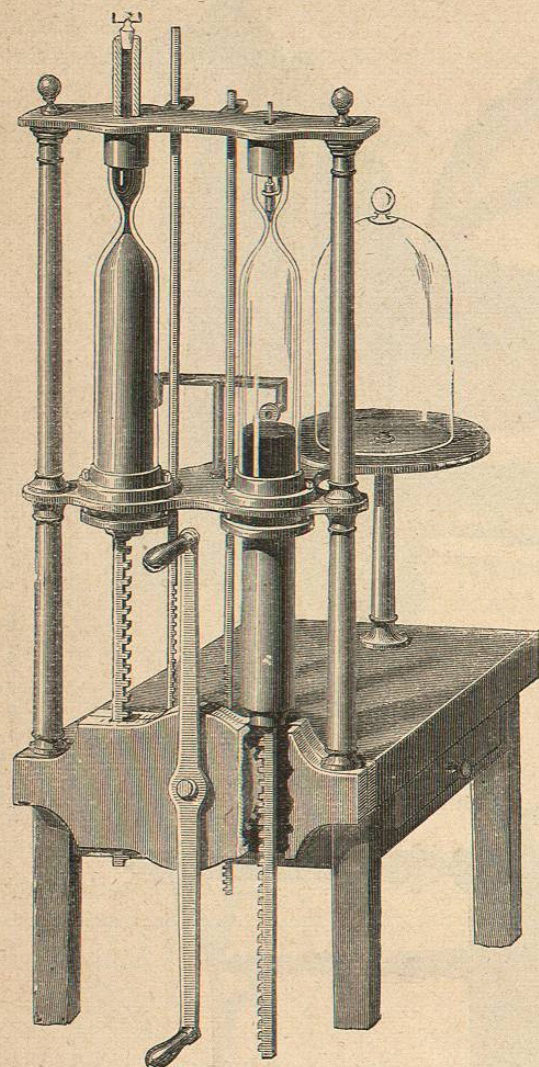


Fig. 88.—Máquina neumática de Kravogl

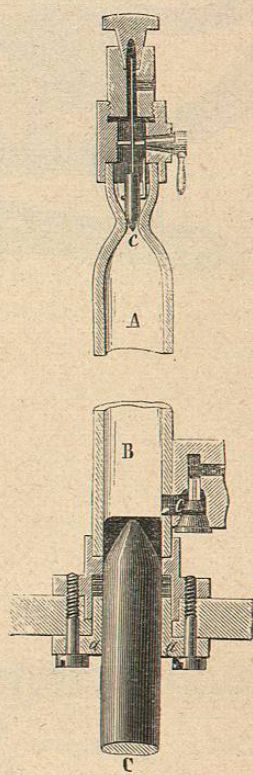


Fig. 89.—Detalles de un émbolo de la máquina de Kravogl

se necesita á veces obtener un vacío más perfecto, lo que se ha conseguido en estos últimos años con ciertos aparatos en que la comunicación del recipiente con el aire exterior queda completamente obstruída mediante una capa líquida poco evaporable de mercurio.

Describamos dos de estas máquinas.

Una de ellas, que es la de M. Kravogl, está representada en la figura 88. Su disposición general es la de una máquina ordinaria de dos cuerpos de bomba y se la hace funcionar del mismo modo. Pero la parte superior A de los dos cilindros (fig. 89) termina en un cono en que va á encajarse el émbolo de acero C, que es cónico también, cuando ha terminado su ascensión. Por cima del émbolo hay una capa de mercurio que

baña su vértice y que sobresale de él cosa de medio milímetro cuando el émbolo está en la parte inferior de su carrera. Cada cilindro se prolonga hacia arriba en forma de embudo con el cual comunica por una parte estrangulada. Por ella sale el aire repelido por el émbolo ó por la capa de mercurio puesta sobre él. Al funcionar la máquina muévase automáticamente una válvula *c*, la cual se levanta, dando salida al aire, mas al propio tiempo el mercurio penetra en el embudo é impide la introducción del aire exterior. Al empezar el movimiento descendente, la misma válvula *c* se levanta de nuevo y deja caer el mercurio, pero quedando siempre debajo de ella una parte de dicho líquido.

Vese á la derecha, en *z*, la válvula por la cual llega el aire del recipiente al cuerpo de bomba.

Según M. Privat Deschanel, "si el mercurio de este aparato está bien seco, se puede hacer el vacío hasta $\frac{1}{10}$ de milímetro. El estado de sequedad del mercurio es condición de suma importancia, porque á las temperaturas ordinarias la fuerza elástica del vapor de agua tiene un valor bastante apreciable. Cuando se quiere utilizar toda la potencia de enrarecimiento de la máquina, conviene poner entre la vasija de la cual se desea extraer el aire y el cuerpo de bomba un aparato desecador."

La bomba de mercurio ó máquina neumática de M. Alvergniat, representada en la figura 90, fué ideada en principio por el eminente físico Víctor Regnault; perfeccionada luego en un punto secundario, ha obtenido el mayor grado posible de precisión gracias á los esfuerzos del constructor cuyo nombre lleva.

Consiste en un tubo barométrico terminado en su parte superior por un recipiente de cristal A y puesto en comunicación por la inferior, mediante un tubo de goma, con otro recipiente C que hace las veces de cubeta, y cuya capacidad es un poco mayor que la del depósito A. El segundo recipiente puede correr á lo largo de una ranura practicada en la armazón del aparato, por medio de una cremallera, siendo fácil mantenerlo fijo á cualquier altura. Encima de A hay una cubeta de mercurio D, que comunica con el recipiente por un tubo al cual va adaptada una llave de tres conductos. Véase el modo cómo funciona la bomba de mercurio cuando se quiere hacer el vacío en un recipiente E.

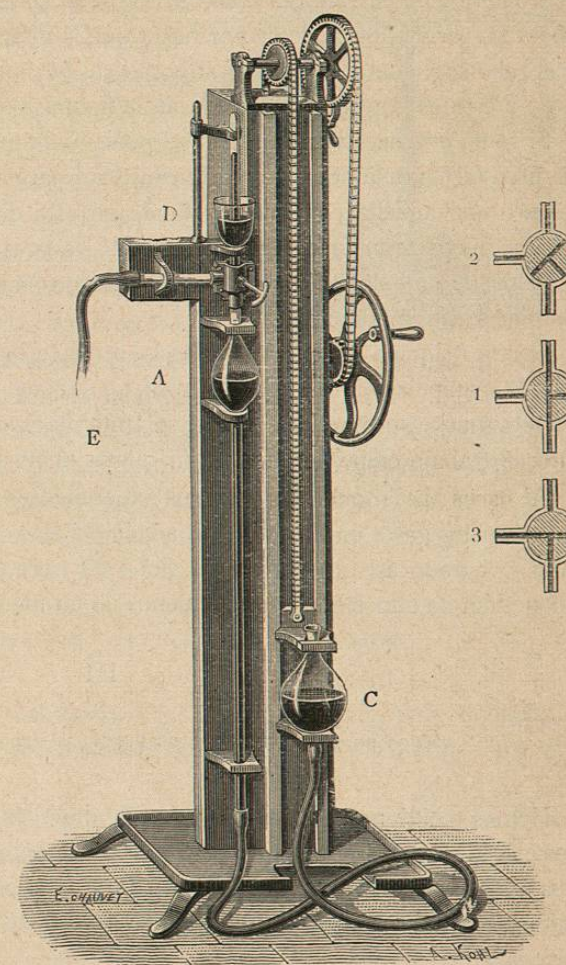


Fig. 90.—Máquina Alvergniat ó bomba de mercurio