

APARATOS HIDRÁULICOS

de la

EXPOSICION UNIVERSAL DE 1867.

BOMBA DE FUERZA CENTRÍFUGA CON TRASMISION
TELODINÁMICA DE MM. NEUT ET DUMONT.

Con el anterior epígrafe está anotada en el Catálogo general de la Exposicion una bomba de fuerza centrífuga, situada cerca del rio, y que se emplea en la alimentacion de un depósito, cuya agua se consume en las diversas necesidades del palacio y del parque.

Antes de dar una descripcion del aparato y de su manera de funcionar, conviene fijar la atencion sobre el medio empleado para transmitirle el movimiento, medio completamente nuevo, cuya teoria promete realizar muchas ventajas, algunas de las cuales han sido ya sancionadas por la experiencia.

El problema que hay que resolver en toda máquina es vencer una resistencia con una potencia dada; pero como la resistencia se halla en un punto y la potencia activa en otro, es menester trasladar, por decirlo así, la potencia al punto en que se ejerce la resistencia con la ayuda de cuerpos intermedios: estos cuerpos intermedios, estas transmisiones de movimiento consumen una parte de la fuerza que reciben, y si la resistencia y la potencia no se encuentran á cierta distancia, casi siempre muy limitada, el problema es industrial ó mecánicamente imposible. El medio de trasmision de que nos vamos á ocupar tiene por objeto ensanchar los límites de la distancia entre el motor y el operador. En el caso presente la máquina de vapor está situada á 150 metros de la bomba, y el movimiento se transmite por medio de un cable de alambre.

Bien se comprende que si la trasmision hubiera de efectuarse por medio de un árbol motor, como se hace generalmente en las máquinas de vapor, las dimensiones de dicho árbol deberian ser considerables y el efecto útil muy pequeño, relativamente al transmitido. El principio de la trasmision telodinámica está fundado en la definicion del trabajo. El trabajo de una fuerza es el producto de esta fuerza por el camino recorrido, esto es, por la velocidad: cuando este camino se recorre en la mitad de tiempo, puede, por consiguiente, disminuirse el esfuerzo y aumentar la velocidad de manera que se obtenga el mismo tra-

bajo. En el aparato que nos ocupa una polea de gran diámetro, animada de velocidad considerable, mueve por medio de un cable de alambre sumamente delgado, y de muy poco peso por consiguiente, otra polea de diámetro próximamente igual; la velocidad es grande, y aun cuando el esfuerzo á que pudiera someterse el cable es pequeño, puede obtenerse el trabajo deseado.

Empezaremos por una ligerísima reseña histórica del aparato y de las diversas modificaciones que se han introducido en el sistema.

Fué aplicado por primera vez en la Alsacia, en ocasion en que se queria hacer funcionar operadores colocados en edificios muy lejanos unos de otros, y solo se disponia de una máquina de vapor colocada tambien á gran distancia; hubiera sido posible aplicar el método de trasmision por medio de árboles, pero los obstáculos que se oponian á su colocacion eran grandes, y hubiera sido considerable la pérdida de trabajo.

Ante estas dificultades se ocurrió aplicar el sistema de que nos ocupamos, con la sola diferencia de que se empleó una cinta de acero en vez de un cable de alambre. La cinta de acero tenia 160 metros de longitud, 6 centímetros de ancho y un milímetro de grueso; dicha cinta fué arrollada sobre dos poleas de madera de 2 metros de diámetro, que marchaban á una velocidad de 120 revoluciones por minuto. Dos grandes inconvenientes se presentaron: el menor viento agitaba fuertemente la cinta, y además las ruedecillas que servian para mantenerla en contacto con la polea se rompian con frecuencia. A pesar de estas imperfecciones, el aparato continuó funcionando diez y ocho meses, transmitiendo una fuerza de 12 caballos; hasta que un ingeniero inglés, Mr. Tregoning, tuvo la idea de reemplazar la cinta por un cable metálico convenientemente construido.

El cable tenia 0,005 de diámetro y fué colocado sobre las mismas poleas de madera, haciéndoles una ranura á propósito para recibirlo. Habiendo dado esta segunda modificacion resultados muy satisfactorios, se quiso ensanchar el campo de las aplicaciones y aumentar la longitud del alambre hasta 480 metros, pero entonces se presentó una nueva dificultad: la extremada longitud del cable, su mayor diámetro, y por consiguiente su mucho peso, hacian que el punto medio descendiese hasta tocar la tierra, fué pues necesario hacer uso de los apoyos intermedios con poleas. Es-

tas poleas se gastaban con rapidez ó deterioraban el cable; se hizo la garganta de cobre, de fundición perfectamente pulida, de madera dura, se revistió de cautchuc, de cuerno, madera guayacan, etc.; nada daba buen resultado y el sistema parecía defectuoso desde el momento en que la distancia era grande. Finalmente, se hizo en la garganta una ranura en figura de trapecio y se revistió el interior de dicha ranura de gutta-percha; esto ha dado magníficos resultados, y la polea con que se hizo la experiencia, que fué colocada en 1860, funciona hoy perfectamente sin que haya sido necesaria la más pequeña reparación.

Desde esta época hasta el día se han hecho infinitas aplicaciones de esta idea, pero una de las más interesantes ha sido hecha en Rusia, en una fábrica de pólvora en que la caldera de vapor se halla situada á 1500 metros del lugar donde se fabrica la pólvora, haciendo así imposibles las explosiones que tan frecuentemente tienen lugar, por la proximidad del fuego y de las materias inflamables en esta clase de industria.

Para hacer un estudio mecánico del sistema en sí, y compararlo luego con el de un árbol motor, estudiaremos el problema en dos casos: 1.º La distancia á que hay que transmitir el movimiento es bastante pequeña para no hacer necesario el empleo de poleas intermedias. 2.º El empleo de poleas intermedias es necesario.

En el primer caso, tres son las causas que determinan la pérdida de trabajo:

- 1.º La resistencia del aire en los brazos de las poleas.
- 2.º La rigidez del cable.
- 3.º El rozamiento de los muñones de las poleas sobre los coginetes.

Para determinar el trabajo perdido por todas las anteriores resistencias, se ha hecho un experimento con poleas de cuatro metros de diámetro, animadas de una velocidad media de 144 revoluciones por minuto, y movidas por un cable de 0,012 que comunicaba el movimiento á distancia de 40 á 50 metros, longitud para la que no es necesario recurrir á poleas intermedias. En semejantes condiciones, la pérdida de trabajo no ha pasado nunca de tres caballos; repetidas estas experiencias á distintas distancias, sin pasar nunca de 150 metros, es decir, sin emplear poleas intermedias, la pérdida de trabajo ha sufrido muy pequeñas variaciones sin pasar nunca de dichos tres caballos.

Segundo caso.—Cuando la distancia á que hay que transmitir el movimiento excede de 150 metros, se hace necesario el empleo de poleas intermedias por las razones que ántes hemos expuesto: naturalmente la pérdida de trabajo es mayor que en el caso en que el movimiento se comunica sin el auxilio de dichas poleas, creciendo aquella cuanto más número de apoyos se necesita. Las pérdidas son ocasionadas por las mismas causas que anteriormente, y por las que introduce el empleo de los apoyos. Para una trasmision de 120 caballos, con cuya fuerza se ha hecho el experimento, las poleas eran de fundición, tenían dos metros de diámetro y pesaban 150 kilogramos; además cada 150 metros de cable, que es la distancia que separaba á los apoyos, pesaban 75 kilogramos; de manera que el peso que actuaba en el eje de cada polea era de 225 kilogramos: así, con la velocidad de 228 vueltas por minuto correspondiente á la polea, siendo el diámetro del eje 0,045, y tomando 0,05 por coeficiente de rozamiento, el trabajo de resistencia resulta de 6 kilogramos por polea, y como cada apoyo lleva dos, cada uno de ellos ocasiona 12 kilogramos. Para cada kilómetro son necesarios siete apoyos, de manera que el trabajo total perdido es, en un kilómetro intermedio cualquiera, de $2 \times 7 \times 6 = 84$ kilogramos. Tenemos, pues, que aun cuando quisiéramos transmitir el esfuerzo á 10.000 metros, la pérdidas serian de tres caballos, ó 225 kilogramos, ocasionadas por las poleas extremas, más 840 kilogramos por los apoyos, es decir, un total de 1.065 kilogramos, ó sean $14 \frac{1}{2}$ caballos; de modo que sin contar con la resistencia del aire, ni con la rigidez del cable, pueden transmitirse $105 \frac{1}{2}$ caballos de los 120 desarrollados. La resistencia del aire y la rigidez del cable ocasionan, segun las experiencias, una pérdida de $1 \frac{1}{2}$ caballos por kilómetro próximamente, de manera que en este caso seria de 15 caballos, quedando siempre 90 caballos transmitidos.

Para hacer resaltar la ventaja de este sistema de trasmision sobre el de árbol motor, vamos á hacer un cálculo del trabajo absorbido por este medio.

El diámetro que necesita el árbol en cada punto se determina, segun Poncelet, por la fórmula

$$\frac{D}{2} = \sqrt[3]{\frac{2EK}{T\pi}}$$

en que E es el esfuerzo tangencial á que está

sujeto el árbol, expresado en kilogramos; K el brazo de palanca con que actúa dicho esfuerzo;

T el coeficiente de torsion, y π la relacion de la circunferencia al diámetro.

Para hacer más fácil el empleo de esta fórmula multipliquemos y dividamos por $n \pi$, siendo n el número de revoluciones que el árbol hace en la unidad de tiempo, y tendremos

$$\frac{D}{2} = \sqrt[3]{\frac{2 E K n \pi}{T n \pi^2}}$$

ó bien llamando f al trabajo en el punto considerado

$$D = \frac{2}{\sqrt[3]{\pi^2 T}} \sqrt[3]{\frac{f}{n}}$$

Tomando $T = 2.000.000$ de kilogramos por metro cuadrado, valor muy aceptable si se atiende á que el árbol será de hierro dulce y de grandes dimensiones, y efectuando las operaciones indicadas, resulta

$$D = 0,00740 \sqrt[3]{\frac{f}{n}} \dots (1)$$

En realidad el árbol tendria que ser de diferentes piezas unidas por medio de manguitos y apoyadas en puntos intermedios por cojinetes; pero para simplificar el problema admitiremos que el árbol es de una pieza, y como el rozamiento depende solo de su peso y no de la extension superficial de los apoyos, prescindiremos del número de estos, calculando la pérdida de trabajo que corresponde al peso de cada elemento de dicho árbol.

Sea l la longitud del árbol, siendo el peso del metro cúbico de hierro forjado igual á 7800 kilogramos el peso de un cilindro infinitamente corto será

$$dp = \frac{7800 \times 3,1416}{4} D^2 dl \dots (2)$$

Siendo n el número de revoluciones en la unidad de tiempo, el camino recorrido por cada punto de la circunferencia en ese tiempo será $n \pi D$. Tomando 0,05 como coeficiente de rozamiento, el trabajo infinitamente pequeño df , consumido por ese cilindro infinitamente corto, será

$$df = 0,05 \frac{7800 \times 3,1416 D^2}{4} dl D \times 3,1416 n$$

Reduciendo se tiene

$$df = 962,29 n D^3 dl;$$

pero el diámetro ha de tener en cada punto un

valor dado por la ecuacion (1) por lo ménos; y reemplazándolo aquí, resulta

$$df = 0,00039 f dl \dots (2)$$

Podrá ahora suceder que el diámetro sea constante en toda la longitud del árbol, en cuyo caso estará determinado por el trabajo máximo del sistema, que es el del motor: llamándolo F , se tendrá primero

$$df = 0,00039 F dl,$$

é integrando entre los límites de la longitud total del árbol, que llamaremos L , resulta

$$F - F' = 0,00039 F L,$$

en cuya ecuacion F' representa el trabajo que se utiliza en la última extremidad del árbol, y el segundo miembro es, por consiguiente, el trabajo consumido por la trasmision. Como se vé, en pasando L de 2500 metros, esta pérdida equivale á la totalidad del trabajo producido.

Es pues necesario, para grandes distancias, variar el diámetro como lo pida la disminucion de trabajo. Efectúase esta de una manera discontinua al pasar el árbol por cada punto de apoyo, pero para simplificar, supondremos repartida esa pérdida de trabajo en todos los puntos de la longitud, y que con arreglo á ella varía el diámetro. Entonces f es variable en la ecuacion (2), é integrando entre los mismos límites, resulta

$$1. \frac{F}{F'} = 0,00039 L,$$

ó

$$\frac{F}{F'} = e^{0,00039 L},$$

siendo e la base de los logaritmos neperianos.

Trasformando estos logaritmos en ordinarios, para lo cual basta multiplicar por 2,3026, se tiene

$$\log. F = \log. F' + 0,0009 L.$$

Si con esta fórmula se quiere averiguar qué fuerza se necesita en el motor para que se aprovechen 100 caballos á 4 kilómetros de distancia, se tendrá

$$\log. F = 2 + 3,6 = 5,6$$

y

$$F = 398100 \text{ caballos.}$$

Con la trasmision telodinámica se perderian 3 caballos por las poleas extremas, y 200 kilogramos por kilómetro, ó sean 800 por los apoyos intermedios, de modo que con 114 caballos habria suficiente para obtener los 100 á esa distancia.

Tratemos ahora de resolver el problema inverso. Para obtener 100 caballos útiles con un

motor que produzca 200, la mayor distancia de trasmision estará dada por la fórmula

$$L = \frac{\log. 2}{0,0009},$$

de donde

$$L = 334,75,$$

es decir, que aun desarrollando un trabajo doble del que debe emplearse, no puede ser aquel conducido mucho más allá de 300 metros, al paso que á esta distancia, de los 200 caballos producidos, podrian aprovecharse más de 195.

El cable se ha construido atendiendo á que sea resistente y flexible á la vez; si se hubiera hecho de alambres paralelos solamente, no se hubiera podido satisfacer á la segunda de las condiciones, así es que el cable no es completamente de alambre, sino que tiene un núcleo central formado por una cuerda de cáñamo embreada, y sobre esta cuerda se arrojan tres cables formados de tres alambres retorcidos sobre un cordón de cáñamo tambien embreado. Se vé, pues, que los materiales que lo componen son muy á propósito para el uso á que se le destina. Debemos hacer notar que esta trasmision no solamente funciona en línea recta, como hasta ahora hemos supuesto, sino que por medio de poleas verticales, horizontales é inclinadas se le daría todas las direcciones imaginables, pudiendo salvar pendientes de 50° y 60° sin que cambie visiblemente su accion. Las figuras 1.ª y 2.ª dan algunos detalles de estas poleas que podrán suplir á una explicacion más detallada.

Describa la manera de poner en movimiento la bomba, vamos á ocuparnos de su descripcion. Hemos dicho ya que es de fuerza centrífuga, y haremos notar que la mayor parte de las que han estado expuestas lo son, lo cual prueba las ventajas de ese sistema. El órgano principal es en esta bomba, como en todas las de su clase, una rueda de paletas, colocadas oblicuamente á manera de turbina, animada de una gran velocidad, y la fuerza centrífuga que se desarrolla en virtud del movimiento, lleva á la circunferencia el agua que se encuentra en el centro, obligándola á salir por un tubo de ascension, y llenándose el vacío que queda en el centro de la rueda, por medio de un tubo de aspiracion que hace llegar el agua, que á su vez se vé forzada á subir, y así sucesivamente.

La bomba es, pues, aspirante é impelente. Bien se comprende que la altura á que puede subirse el agua depende de la potencia de la

máquina, y de las disposiciones interiores del aparato.

Las figuras 3.ª y 4.ª representan dos cortes verticales y parte de proyeccion de la bomba; la figura 5.ª es un corte horizontal, y la 6.ª un alzado de frente. El cuerpo de bomba está formado por dos cascos M M, fuertemente atornillados, y entre ellos va colocada la turbina B, montada sobre un eje X, que atraviesa una caja de estopas F; y una polea G comunica el movimiento de un motor cualquiera. En la bomba que nos ocupa lo recibe, por medio de la comunicacion telodinámica, de una máquina de vapor situada á 150 metros; *d d* son dos conductos que se reunen en C y que ponen en comunicacion el centro de la rueda con el tubo de aspiracion.

Las paletas van comprendidas en una corona *b* de seccion abocinada: cuatro solamente llegan al centro y enlazan esa corona con el eje; las demás *c* no alcanzan el espesor entero de dicha corona.

El agua que conducen delante de sí las paletas queda contenida en la circunferencia por medio de los diafragmas cilíndricos *j j*, y se precipita con fuerza en el conducto K K, cuya seccion va aumentando á medida que se acerca al tubo de ascension. Con este aumento de seccion se evitan los remolinos que se forman en otras bombas de fuerza centrífuga en que no se ha tomado la misma precaucion, y que ocasionan por consiguiente grandes pérdidas de fuerza viva.

En la placa de fundicion que sirve de asiento á la envolvente de la turbina, hay practicada una cavidad N N, que forma parte del espacio que dejan entre sí los dos cascos, y de esta manera se consigue dar mayor rigidez al sistema, colocando más bajo el eje de la bomba; haciendo por consiguiente posible extraer el agua de mayor profundidad con ménos trepidacion del aparato.

La caja de estopas F está dispuesta, como se ve en la figura, de una manera muy ingeniosa para evitar la introduccion del aire. Para esto dicha caja está dividida en dos compartimentos *o o'*, separados por un anillo *c*; el primero contiene las estopas, y el segundo, que está incomunicado con el interior de la bomba, está en comunicacion directa con una capacidad *p*, que por medio de un tubo recibe la presion de la columna de agua ascendente, de manera que, si por una causa cualquiera, se produjese un vacío en el interior de la bomba, no será aire lo que entrará por las estopas,

sino agua, evitando así que pudiera entorpecerse la marcha de la bomba.

En el tubo de aspiracion hay colocada una válvula que se abre de abajo á arriba, y mientras el aparato está funcionando se encuentra abierta á causa de la presion del agua, pero cuando no, se cierra por su propio peso, quedando el tubo de ascension y el espacio en que está encerrada la turbina lleno de agua; así, en el momento en que la máquina empieza á funcionar, el agua sube por el tubo de ascension, sin necesidad de cargarlo de agua más que la primera vez que se instala. Pudiera suceder que por un entorpecimiento en el tubo de aspiracion, porque la válvula no se abriese completamente, ó por otra causa cualquiera, la cantidad de agua que conduce el tubo de ascension fuese mayor que la que conduce el tubo de aspiracion, y llegase aire hasta el centro de la rueda, entorpeciendo su marcha. Para evitar esta causa de entorpecimiento se han practicado los pequeños orificios *s* que ponen en comunicacion el centro de aspiracion *a* con el espacio comprendido entre los bordes de los cascos M M, donde el agua se encuentra á la presion de la columna ascendente: si una cierta cantidad de aire llega al centro de la rueda, se escapa en parte, por su menor densidad, por los orificios *s*, saliendo al exterior por el tubo de ascension; el agua se introduce luego por los mismos orificios á llenar el vacío dejado por el aire, y la turbina arrastra lo demás, continuando el aparato con su marcha regular.

Se han establecido tres registros, dos para visitar la parte central, y uno para la circunferencia, haciéndose esto indispensable cuando la bomba ha de servir para la ascension de agua enturbiada por cualquier materia.

El aparato es sumamente sencillo, de muy poco precio, y un artesano puede montarlo fácilmente en un tiempo muy corto; no tiene piezas de movimiento alternativo que siempre ocasionan choques, y por lo tanto pérdidas de trabajo y deterioros en la máquina, y su pequeño volúmen hace muy fácil los cambios de lugar; debiendo observarse además que, por lo mismo que es continuo su movimiento, no exige las fundaciones necesarias en las bombas de movimiento alternativo por sus fuertes vibraciones. La arena y grava que deterioran fácilmente las piezas de las bombas de émbolo, no alteran su mecanismo, pudiendo dar paso á cuerpos de 4 á 5 centímetros de diámetro, circunstancia que la hace muy á propósito para los grandes agotamientos de las obras públicas.

Un experimento para determinar el efecto útil de estas bombas, se hizo con un modelo cuyas dimensiones eran las siguientes:

Diámetro interior de la turbina 0,^m250.

Id. exterior 0,^m300.

Id. de los tubos de aspiracion y ascension 0,^m250.

Altura de aspiracion 4,^m20.

Id. de ascension 1,^m30.

Id. total de elevacion 5,^m50.

Como fuerza motriz se empleó una locomóvil que comunicaba el movimiento á la bomba por medio de una correa arrollada al volante y á una rueda montada en el eje de la turbina.

La relacion del diámetro del volante al de la polea era de 5 á 1.

La presion del vapor era de cinco atmósferas.

La cantidad de agua elevada con esta presion, cuidadosamente medida, fué de 138 litros por segundo, cuyo producto correspondia á un trabajo de 759 kilográmetros; el del vapor, medido por medio del freno de Prony, era de 1526 kilógramos próximamente; el efecto útil resulta pues de 57 ¹/₂ por 100.

El número de revoluciones era de 500 por minuto, y se ha observado que el volúmen no aumentaba pasado este límite.

El precio de estas bombas varía naturalmente con el gasto que puede obtenerse con ellas; por regla general, para un gasto comprendido entre 6 y 2000 metros cúbicos por hora, el precio varía entre 250 y 4500 francos.

(Se continuará.)

MARIANO CÁRCEA.

FERRO-CARRILES ECONÓMICOS.

(Continuacion.)

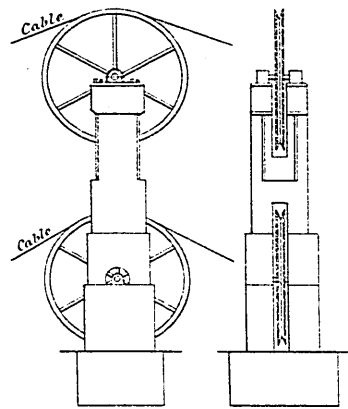
Descripcion de las máquinas.—Empleáronse en los experimentos dos máquinas: la empleada en el ensayo practicado en Inglaterra, y otra construida despues, y que difiere de aquella en puntos de la mayor importancia.

La primera tiene dos mecanismos enteramente distintos. Uno de ellos constituye una locomotora ordinaria de cilindros exteriores y 4 ruedas acopladas. Las dimensiones de sus partes esenciales son las siguientes:

	Metros.
Diámetro de los cilindros.	0,298
Carrera.	0,457
Separacion de los ejes.	1,401
Diámetro de las ruedas.	0,685

El segundo mecanismo dirige las ruedas que obran sobre el carril central. Son estas en número de 4, movidas por dos cilindros interiores colocados en el

Apoyo intermedio



*Sección transversal
de una garganta de polea:*

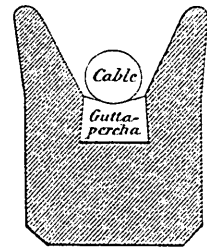
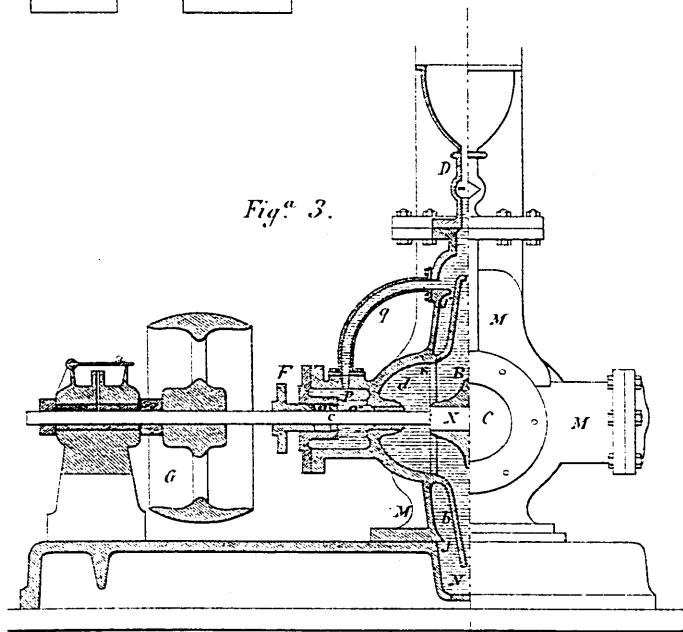
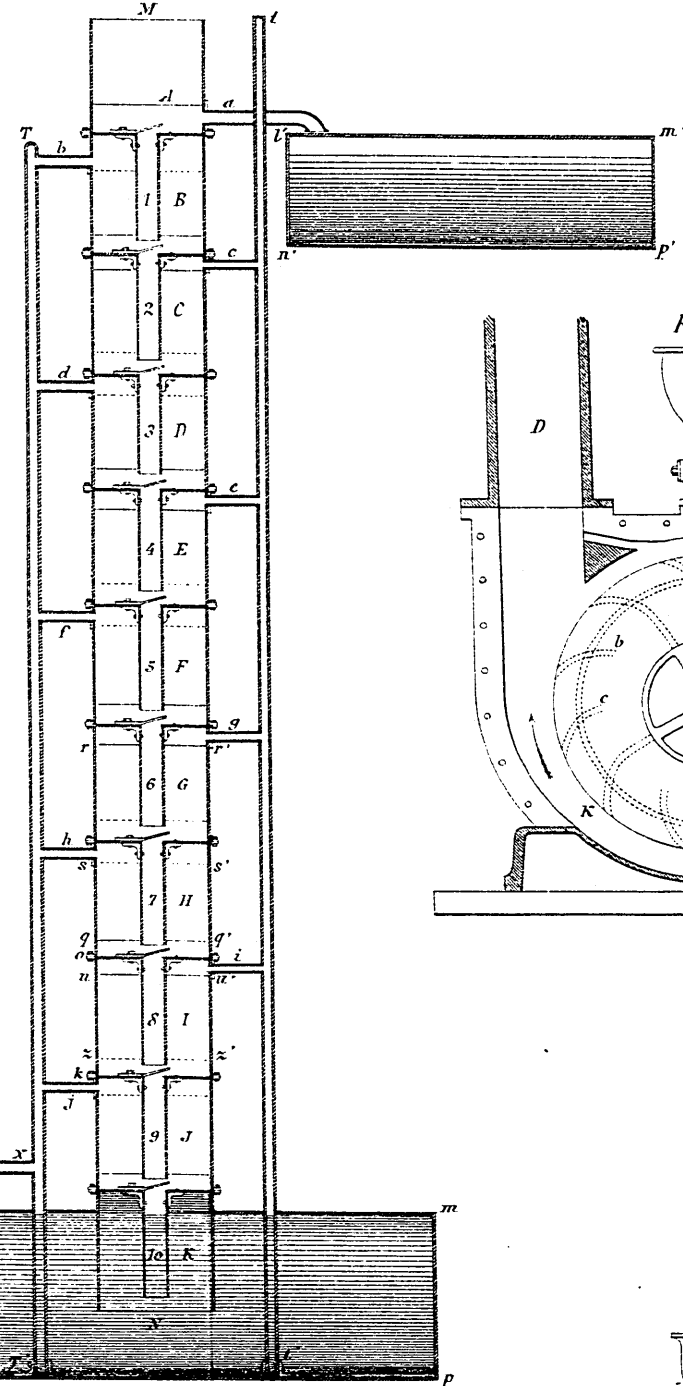


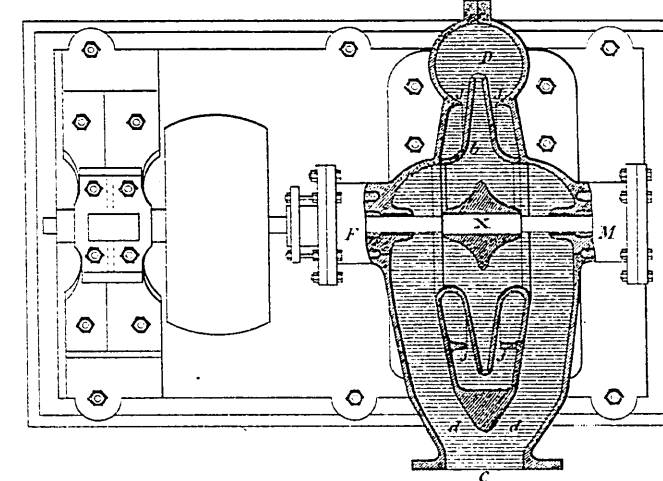
Fig.^a 3.



M



Fig^a. 5.



Fig^a 6.

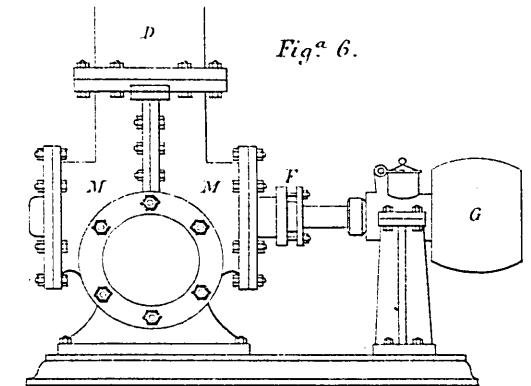
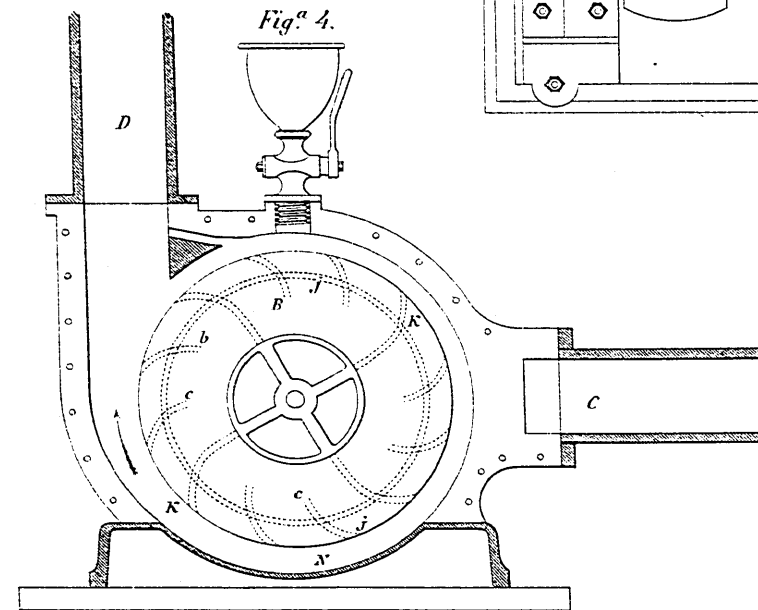
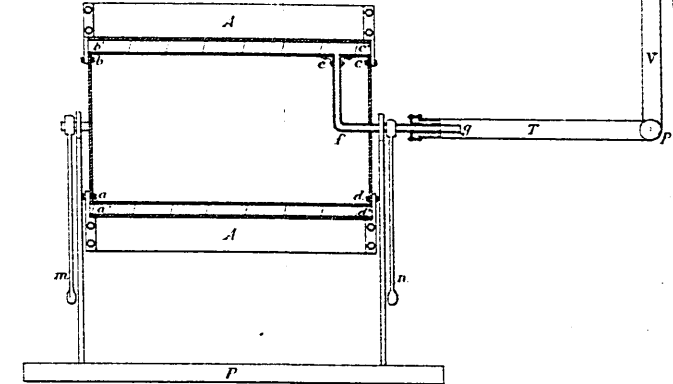


Fig.^a 4.



Fig^a 9.



Fig^a. 8.

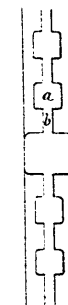
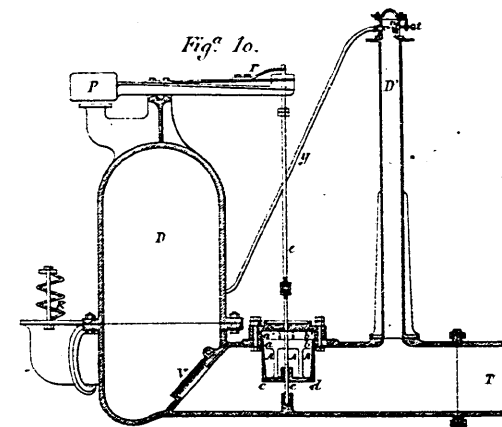


Fig.^a 10.



Fig^a 11.

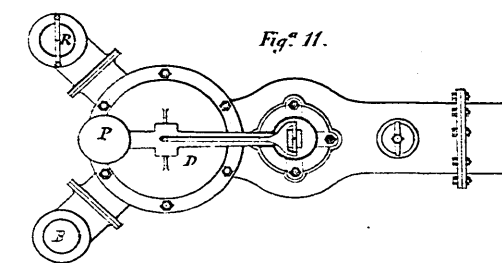


Fig.^a 12.

