

CAPITULO VIII

LA MÁQUINA DE VAPOR.—EL MECANISMO MOTOR

I

EL CILINDRO MOTOR

El vapor sale del depósito de la caldera por un tubo que lo conduce al interior de un cilindro; alternativamente obra sobre una de las dos caras de un émbolo movable en dicho cilindro, y de esta acción alternativa resulta un movimiento de vaivén del émbolo y de su vástago.

Al pasar el vapor desde la caldera al cilindro, ejerce ante todo su acción en una de las caras del émbolo y lo empuja hacia el extremo opuesto. En este momento, el vapor debe penetrar por el otro lado del cuerpo de bomba para ejercer su acción en la otra cara del émbolo. Para que esta nueva acción sea posible, hay que extraer el vapor que acaba de obrar en sentido inverso, porque la fuerza elástica que conserva todavía se opondría al movimiento. Lógrase este resultado, dando alternativamente al vapor que ha llenado ya su cometido una salida al exterior del cilindro. El espacio adonde pasa es unas veces el aire libre, y otras un receptáculo vacío de aire y mantenido á una baja temperatura, merced á un chorro continuo de agua fría.

En el primer caso, que es siempre el de las máquinas en que el vapor funciona á *alta presión*, es decir, con una fuerza elástica igual á muchas atmósferas, el fluido que acaba de trabajar se escapa, y su tensión queda rápidamente reducida á la de la misma atmósfera, lo que permite al vapor obrar sobre la superficie opuesta del émbolo.

En el segundo caso el vapor se condensa bruscamente á causa de su introducción en el espacio vacío y frío (que por esta razón se llama *condensador*). Su fuerza elástica, que apenas excedía de una atmósfera, queda anulada instantáneamente ó por lo menos muy reducida, de suerte que la cámara del cilindro en la que acaba de funcionar queda á su vez vacía; y por lo tanto el vapor introducido por el otro lado no tiene ya ningún obstáculo que vencer sino el émbolo mismo.

Los diferentes mecanismos ideados para conducir de este modo el vapor en el cilindro á uno y á otro lado del émbolo, y luego al aire libre ó al condensador, con objeto de destruir ó reducir su fuerza elástica tan luego como la ha empleado, constituyen lo que se llama *distribución del vapor*; vamos á ver cuáles son los principales sistemas empleados con este objeto:

Ocupémonos ante todo del *cilindro*, que es la pieza capital del mecanismo motor.

Por lo común consiste en una pieza de hierro fundido (fig. 750), cuyo interior, de forma perfectamente cilíndrica, ha sido torneado y limado con el mayor esmero; uno de sus fondos está á veces fundido con la misma pieza y otras atornillado sólidamente como el otro fondo, de modo que se puede quitar enteramente uno de los dos para meter el émbolo.

Uno de los fondos da paso al vástago *tt* del émbolo P, y la abertura que sirve para este objeto está provista de una caja de estopa (*stuffing-box*), á fin de que el vástago al subir y bajar no presente ningún escape al vapor del cilindro.

En cuanto al émbolo, se construye de muy distintos modos. Por lo común está formado de dos platillos ó discos metálicos de un diámetro algo más pequeño que el del cilindro y sólidamente unidos entre sí, así como al vástago que los atraviesa. En su contorno hay practicadas unas muescas ó gargantas para meter la

guarnición, es decir, la parte del émbolo cuya superficie exterior debe rozar suavemente, pero con perfecta adherencia, con la superficie interior del cilindro, de modo que el vapor no pueda pasar de una de las cámaras á la otra. Antes consistía la guarnición en un trenzado de cáñamo que era menester engrasar á menudo y hasta cambiarlo á causa de la rapidez con que se estropeaba. Hoy se le ha sustituido

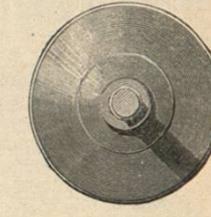
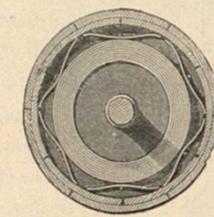
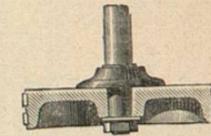
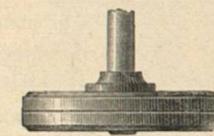


Fig. 748.—Embolo de muelle

Fig. 749.—Embolo sueco

ventajosamente con guarniciones metálicas, formadas de fragmentos de anilla comprimidos por muelles interiores, como se ve en la figura 748; siendo también preferido á este método el de los émbolos Ramsbottom, cuyo cuerpo se compone de un solo disco hueco para que sea más ligero y rodeado de dos aros de acero dulce fundido, que penetran en dos gargantas exteriores y sobresalen algún tanto. La superficie de estos círculos ejerce así presión sobre las paredes del cilindro, formando una excelente guarnición, muy sencilla y poco costosa. El émbolo sueco (fig. 749) no difiere del anterior sino por la anchura de los aros, que es mayor, y por su composición, que es de hierro fundido endurecido con un poco de estaño.

II

DISTRIBUCIÓN DEL VAPOR

Construídos y arreglados de este modo el émbolo y el cilindro, fáltanos ver cómo se verifica la introducción y la salida, en una palabra, la *distribución del vapor*.

Examinemos la figura 750, que representa la sección longitudinal del cilindro. Vese en *aa'*, cerca de cada uno de los fondos, la abertura de un doble conducto, *aa'*, practicada en el espesor de la cara lateral; son los orificios por donde llega el vapor alternativamente, empujando ya una cara, ya otra del émbolo: dáseles el nombre de *orificios ó registros de admisión*. Estos dos orificios desembocan exteriormente en una cara bien recta, y entre las dos se ve una tercera abertura, E, que sirve para que el vapor se escape cuando ha producido su efecto, por cuya razón se la llama *registro de escape*. Por este tubo pasa el vapor á esparcirse por el aire ó á perder su fuerza elástica en el condensador.

Ahora ¿en virtud de qué mecanismo se opera la distribución, compuesta, como se

ve, de dos operaciones parciales, la introducción y la salida del vapor, que deben repetirse dos veces para tener una fase completa del movimiento de vaivén de la caja de distribución? Este mecanismo varía según las máquinas; describamos desde luego el que representa nuestro grabado.

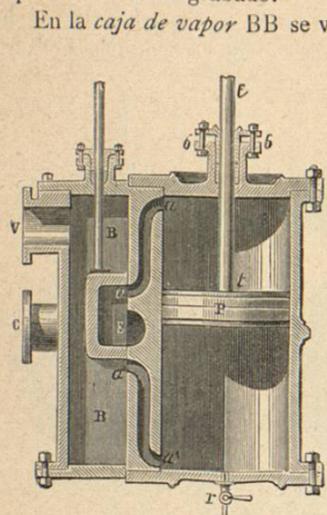


Fig. 750.—Sección longitudinal de un cilindro

Tal es el mecanismo de esta distribución en las máquinas en que se ha adoptado la *caja de distribución de conchas*. Pero, según hemos dicho, se han empleado y se emplean todavía otros mecanismos. Estos mecanismos son en primer lugar el sistema de las *válvulas de distribución de Watt*; luego la *caja de distribución de émbolos*, debida al mismo inventor, y por fin, la *caja de distribución en D*, cuyo nombre se debe á la semejanza de la sección de la pieza principal con la letra D (figura 752).

En el primero de estos sistemas hay dos cajas con válvulas adaptadas á los dos extremos del cuerpo del cilindro. Cada una de ellas está dividida por dos válvulas movidas por un sistema de varillas en tres compartimientos, estando el de en medio en comunicación directa con cada orificio; al paso que los otros dos compartimientos comunican, el superior con el tubo de vapor, el inferior con el aire exterior ó con el condensador.

La caja de distribución de émbolos se llama así porque consiste en dos émbolos, movidos por una espiga en un espacio cilíndrico contiguo al cilindro, que tan pronto dejan que el vapor penetre libremente en uno de los orificios ó registros de admisión y

En la *caja de vapor BB* se ve otra prismática abierta por un lado, la cual lleva los nombres de *caja de distribución* ó simplemente *distribuidor*. Esta se aplica por su lado abierto contra el plano bien recto en que, según hemos visto, desembocan exteriormente los tres registros. El espacio BB se llama caja de vapor, porque en efecto el vapor salido de la caldera pasa á ella libremente por el tubo V; pero la capacidad de la caja de distribución está, por el contrario, cerrada al vapor afluente, al paso que éste comunica siempre con el tubo de salida, y también con uno ó con otro de los conductos de admisión del cilindro.

Por último, la misma máquina imprime el movimiento á la caja de distribución por medio de una barra y de una excéntrica sujeta al árbol del volante.

Observando el movimiento sucesivo y alternado de la caja de distribución, representado en la figura 751, se comprenderán fácilmente las fases de la distribución del vapor.

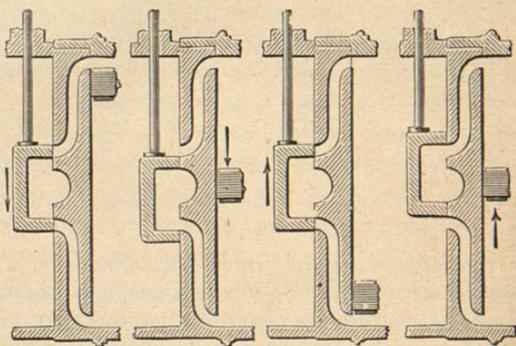


Fig. 751.—Fases del movimiento de vaivén del émbolo y de la caja de distribución

en la cámara correspondiente del cilindro, como ponen esta cámara y el vapor que acaba de obrar en ella en comunicación con el condensador.

Por último, la *caja de distribución en forma de D* (fig. 752) es una pieza hueca, movable en la caja de vapor, que se aplica y resbala por sus dos extremos planos contra la cara del cilindro á la que van á parar los orificios de admisión. El vapor que procede de la caldera por el orificio V puede circular siempre alrededor de la caja de distribución sin penetrar jamás por uno ni por otro de sus extremos; al contrario, éstos se hallan de continuo en libre comunicación con el condensador. Así pues, los dos bordes planos de la caja de distribución dejan alternativamente, en su movimiento de vaivén, que uno de los orificios reciba el vapor de la caldera, mientras que el vapor, después de ejercer su acción en el émbolo, sale por el otro orificio y se precipita en el condensador ó al aire libre.

En cada uno de estos sistemas de distribución es fácil comprender los movimientos correspondientes del émbolo, de las cajas de distribución y de las válvulas en sus diferentes fases. Lo que hemos dicho con respecto á la caja ó distribuidor de conchas bastará para dar una idea de ello.

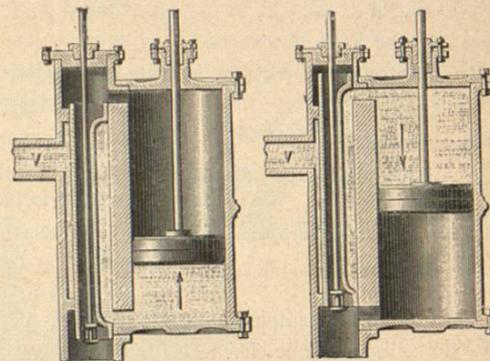


Fig. 752.—Distribución del vapor; caja de distribución en forma de D

III

EXPANSIÓN DEL VAPOR

Considerando las subidas y bajadas correspondientes del émbolo y de las diferentes piezas que constituyen el sistema de distribución del vapor, se ve que hemos supuesto siempre que los dos orificios del cilindro tenían la misma anchura que las bandas maticas del distribuidor ó caja de distribución, de suerte que tan pronto estaban cerrados como abiertos. De aquí resulta que el vapor de la caldera afluye con plena presión á cada cara del émbolo durante todo el movimiento de éste, lo cual se expresa diciendo que el *vapor trabaja á toda presión*.

En un principio no se conocía otro modo de hacer funcionar el vapor. Watt, cuyo nombre figura en casi todos los descubrimientos capitales que han transformado la máquina de vapor primitiva, conoció que había una doble ventaja en no dar acceso al vapor á cada lado del cilindro sino durante una parte tan sólo de la marcha del émbolo, de lo cual resultaba ante todo mayor regularidad en el movimiento mismo, y luego, á trabajo igual, una notable economía de vapor y por consiguiente de combustible.

El fluido, introducido por ejemplo tan sólo durante el primer tercio de la marcha del émbolo, continúa ejerciendo su acción sobre éste, pero como el espacio que en seguida ocupa va aumentando hasta el fin, obra dilatándose como un muelle que se dis-

tiende, de suerte que su fuerza disminuye hasta que el émbolo termina su movimiento. En este caso se dice que *el vapor trabaja con expansión*.

Este sistema es el que se ha adoptado hoy casi universalmente. Pero antes de fijarnos en las ventajas que presenta y de precisar la economía de vapor ó de combustible que origina la expansión, es menester que digamos en virtud de qué modificación del mecanismo se logra obtenerla.

Si me propusiera escribir un tratado completo de la máquina de vapor, también podría describir aquí diferentes sistemas de expansión; mas para el objeto que me propongo será suficiente dar una idea de uno ó dos de los más importantes.

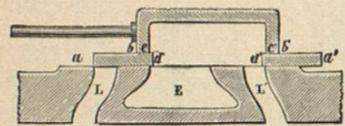


Fig. 753.—Sistema de expansión de Clapeyron

Empecemos por el *sistema de expansión*, llamado de *Clapeyron*, porque su mecanismo se debe á este sabio ingeniero. Consiste en una simple modificación de la caja de distribución, ó más bien de la anchura de las bandas que cierran los registros. En vez de dar á esta anchura la dimensión exacta de la de cada registro, se la hace un poco mayor. Los rebordes *a b, a' b', c d, c' d'*, exteriores é interiores, forman lo que se llama *recubrimiento* del repartidor, porque su objeto es disminuir la duración de la entrada del vapor en el cilindro por cada uno de los dos registros. Tendríamos que descender á detalles demasiado prolijos

y técnicos para seguir el movimiento del distribuidor de expansión en todas sus fases y para hacer ver con toda claridad cómo funciona el vapor en las mismas fases; pero podemos resumir esta explicación, diciendo que cada introducción del fluido en el cilindro da lugar á cuatro períodos sucesivos que vamos á caracterizar.

En el primer período hay *admisión de vapor* que trabaja durante este tiempo á toda presión, es decir, á la presión de la caldera, después de lo cual el orificio de admisión se cierra.

En el segundo hay *expansión del vapor* introducido, que trabaja entonces con una fuerza decreciente, hasta el momento en que se abre el orificio de escape.

El *escape* caracteriza, pues, el tercer período, pero como, á consecuencia del recubrimiento, cesa antes que el émbolo haya llegado al fondo del cilindro, queda en éste cierta cantidad de vapor que el émbolo empuja y comprime un poco antes del principio del nuevo período de admisión.

De aquí resulta el período cuarto ó *de compresión* que termina el ciclo de los movimientos alternativos del distribuidor y vuelve al émbolo á la misma posición que al principio.

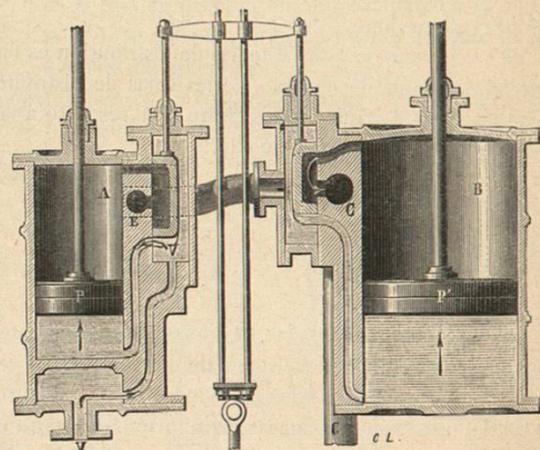


Fig. 754.—Sección de los dos cilindros en el sistema de expansión de Wolff

La expansión de Clapeyron es la que principalmente se emplea en las máquinas de movimientos rápidos, como las locomotoras.

En el sistema de expansión de Meyer, la caja de distribución tiene dos orificios que comunican alternativamente con los registros de admisión; son dos bloques con un movimiento independiente del de dicha caja que cierran estos registros, haciendo cesar la entrada del vapor y empezar la expansión de éste.

En el sistema de Wolff, la expansión no se verifica en el cilindro mismo, sino en otro cilindro de mayor diámetro contiguo al primero (fig. 755), por cuya razón se da á

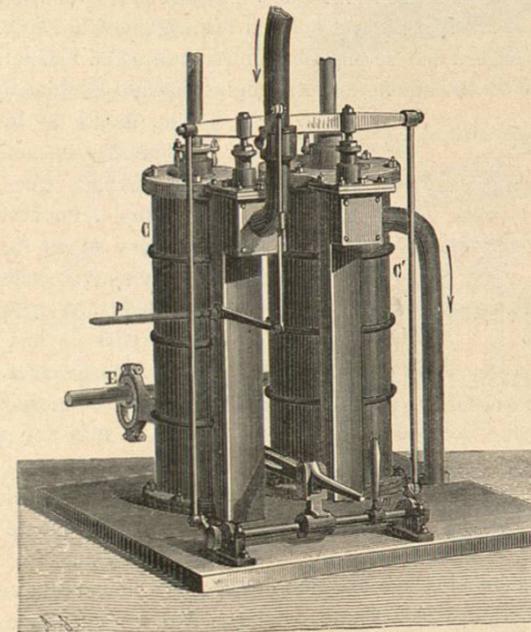


Fig. 755.—Sistema de distribución y de expansión de Wolff

las máquinas que emplean este sistema de expansión el nombre de *máquinas de dos cilindros*.

La figura 754 va á hacernos comprender el mecanismo de la distribución en estas máquinas.

Cada uno de los dos cilindros A B está provisto de una caja de vapor en la cual se mueve un distribuidor ordinario, y los orificios de admisión y de escape dispuestos como ya es sabido. El vapor de la caldera llega por el orificio V, y al principio se esparce por la caja del cilindro A, penetrando en seguida por debajo del émbolo P, por ejemplo. Este émbolo recibe, pues, un movimiento de abajo arriba; repele el vapor que había en el otro lado al tubo de escape E, el cual, en vez de comunicar con el condensador como en las máquinas de un solo cilindro, desemboca en la caja de vapor del cilindro B. Allí penetra por el registro inferior de admisión por debajo del émbolo P', y distendiéndose, produce asimismo el movimiento ascendente del émbolo. Por lo que hace al vapor que había al otro lado en la cámara superior del cilindro mayor, va como siempre á condensarse en el tubo C C ó al aire libre.

El movimiento simultáneo de los dos distribuidores en sentido inverso dará lugar á un movimiento de arriba abajo de los dos émbolos, y el vapor obrará á toda presión en el cilindro pequeño, al paso que en el mayor obra siempre con expansión.

IV

EL MECANISMO DE TRANSMISIÓN

Réstanos demostrar cómo se transmite el movimiento del émbolo, en virtud de que mecanismo se le transforma, se le arregla, se asegura su continuidad regular. El problema que se ha de resolver no es peculiar á las máquinas de vapor. Cualquiera otro motor puede dar lugar á que se plantee la misma cuestión. "Dado el movimiento de vaivén de la barra de un émbolo, es decir, un movimiento alternado y rectilíneo, hallar

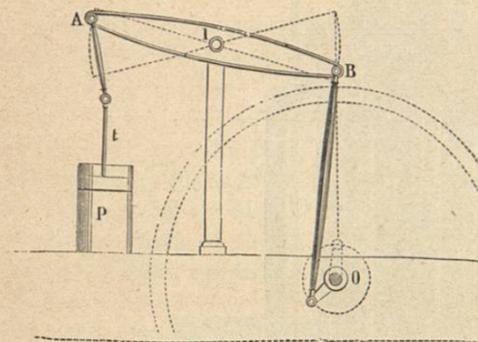


Fig. 756.—Principio de la transmisión en las máquinas de balancín

un modo de transmisión que lo convierta en movimiento continuo y circular, que haga girar, por ejemplo, un árbol motor el cual haga á su vez dar vueltas simultáneamente, ó cuando sea necesario, á todas las máquinas y aparatos parciales de una fábrica ó taller.,"

Mencionemos someramente todos los sistemas al efecto discurridos. El más antiguo, adoptado todavía en un gran número de máquinas, comprende las *de balancín*, cuyo principio se manifiesta en la figura 756.

El vástago *t* del émbolo, cuyo extremo describe una línea recta vertical, está unido al extremo de una gran pieza oscilante, ó palanca *AB*, á la cual hace mover alrededor de un punto fijo *I*, en un plano vertical. Esta pieza es el *balancín* en cuyo extremo opuesto se articula una barra ó *biela* que actúa á su vez sobre una manivela ensamblada en *O* al árbol que hay que poner en movimiento. Gracias á esta disposición, el movimiento rectilíneo alternativo del émbolo se transforma en movimiento circular continuo.

Aquí el balancín está sobre el vástago del émbolo, pero también puede estar debajo, y ya veremos ejemplos de esta disposición en las máquinas de vapor marinas que tendremos ocasión de describir más adelante.

Acabamos de decir que por medio del balancín, de la biela y de la manivela, el movimiento alternativo y rectilíneo del émbolo se transforma en circular y continuo; pero esta transformación no es directa, porque los extremos del balancín oscilan describiendo cada uno un arco de círculo, ora en un sentido, ora en otro: así pues, el movimiento es desde luego circular alternativo, y la biela y la manivela acaban la transformación y producen la continuidad del movimiento circular.

Resulta de aquí que el vástago del émbolo no puede sujetarse directamente al extremo del balancín, á causa de moverse en sentido vertical, pues de lo contrario éste le obligaría á seguir el contorno del arco, y por consiguiente, lo torcería tan pronto

á derecha como á izquierda. Para obviar este inconveniente, que deterioraría muy pronto la máquina, Watt imaginó un sistema de articulación muy ingenioso, conocido con el nombre de *paralelógramo articulado de Watt* y cuya sucinta descripción es la siguiente:

El vástago del émbolo, en lugar de estar directamente unido con el extremo *E* del balancín (fig. 757), lo está con el vértice *D* del paralelógramo *CBD E*, cuyos cuatro lados, rígidos y de dimensiones invariables, se articulan con los vértices, de suerte que los ángulos varían según el movimiento que imprimen las oscilaciones del balancín. Además, el vértice *B* está sujeto por un vástago *BO* ó un punto fijo *O* del cuerpo de la máquina. Las longitudes relativas de estas diferentes líneas están calculadas de tal suerte que el vértice *D* describe una línea recta vertical, mientras que los puntos *C*, *E*, *B*, trazan arcos de círculo, teniendo por centros los dos puntos *O O*. Verdad es que, para que así suceda, la oscilación del balancín no debe exceder de 20 grados á una y otra parte de la horizontal. El punto medio del lado *BC* goza de la misma propiedad que el punto *D*; así es que se le utiliza en las máquinas de Wolff, en las que los émbolos de los dos cilindros deben moverse de concierto.

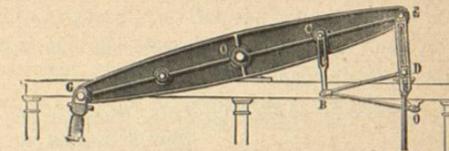


Fig. 757.—Paralelógramo articulado de Watt

Compréndese que el sistema que acabamos de describir se reproduce del propio modo á cada lado del balancín en el sentido de su espesor, lo cual hace que en realidad el vástago del émbolo esté articulado con un eje horizontal que enlaza los dos puntos *D*.

V

LOS REGULADORES

Se ve, examinando la figura 759, que en el árbol motor movido por el sistema de biela y de manivela descrito más arriba, va montada una gran rueda, de hierro fundido por lo común, á la cual se da el nombre de *volante*. Esta pieza, que todas las máquinas motoras llevan, tiene por objeto regularizar el movimiento.

En una máquina motora, tal como la de vapor, la velocidad está sujeta á sufrir variaciones que pueden depender, ya de la misma fuerza motriz, es decir, del vapor que sale del generador con mayor ó menor abundancia y está dotado de una presión más ó menos considerable, ó ya del uso que se haga de la fuerza en la fábrica en que se halla establecida la máquina. Compréndese que se tenga interés en que estas variaciones no pasen de ciertos límites, lo cual se consigue de varios modos, y en primer lugar, por el uso de los volantes que aumentan la masa de las partes móviles de la máquina.

Cuando hay exceso de velocidad, la masa del volante absorbe el exceso de trabajo motor en forma de fuerza viva, que restituye, cuando se aminora el movimiento, á las diversas partes de la máquina. Dase á la vez al volante un gran peso y un gran diámetro, y la mayor parte de su masa está repartida en el anillo que forma su circunferencia.

Las dimensiones y los pesos de los volantes se calculan teniendo en cuenta la potencia de la máquina y la mayor ó menor irregularidad del trabajo motor y del trabajo resistente.

El uso de un volante para regularizar el movimiento de una máquina de vapor no llena su objeto sino en tanto que la velocidad es, ó superior ó inferior á la velocidad normal. Pero si hubiese motivo para creer que esta velocidad fuese siempre excesiva ó siempre corta, el volante no podría evitar este inconveniente, porque á su vez adquiriría una velocidad demasiado grande ó sobrado pequeña, y este exceso podría ir aumentando, en el primer caso, hasta ocasionar la rotura. La fuerza centrífuga, que crece con el cuadrado de la velocidad, sería la causa de este percance que requiere el uso de un regulador de otro género.

Me refiero al *regulador de fuerza centrífuga*, con cuya ayuda la máquina regula por sí misma su velocidad cuando el vapor afluye de la caldera con superabundancia ó exceso de presión, ó cuando no llegando en cantidad suficiente, va más despacio el motor.

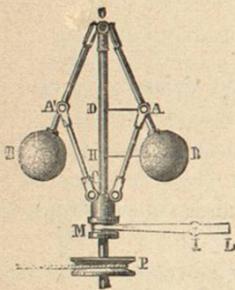


Fig. 758.—Regulador de Watt, de fuerza centrífuga

Este aparato se compone de dos esferas metálicas BB, sostenidas por dos vástagos OA, OA', articulados alrededor del punto fijo O perteneciente á un eje vertical. Otros dos vástagos, articulados en A y A', se unen con un cilindro ó manguito M, que rodea el eje vertical y sube ó baja á lo largo de este eje.

Además, todo el sistema recibe por medio de una polea P un movimiento de rotación transmitido por el árbol motor de la máquina.

Por último, el cubo M está cogido por una horquilla ó grapa que forma el extremo de uno de los brazos de la palanca IL. Cuando la máquina funciona con su velocidad reglamentaria, la palanca MIL permanece horizontal. Si aquella aumenta, la fuerza centrífuga separa las esferas del eje, el cubo sube y con él el brazo de la palanca IM; el otro brazo IL baja girando sobre el punto I. Si por el contrario la rapidez disminuye, la fuerza centrífuga disminuye también, y las esferas se acercan al eje, haciendo que el cubo baje y que la palanca se mueva de diferente modo que antes.

Esta palanca está en comunicación con una válvula del tubo por donde llega el vapor de la caldera, y de tal suerte que la válvula se cierra progresivamente en el primer caso, ó se abre más en el segundo. Por consiguiente, cuando la velocidad de la máquina excede del límite normal, llega el vapor en menor cantidad, y por el contrario, penetra con mayor abundancia cuando se retarda el movimiento.

Hay otros dos sistemas de reguladores (Farcot y Flaud) cuya disposición difiere algún tanto de la del *regulador de fuerza centrífuga* (que también se conoce con el nombre de *moderador de Watt* ó de *péndulo cónico*); ambos están asimismo fundados en la acción de la fuerza centrífuga aplicada á masas que giran con un eje puesto en movimiento por la máquina. Pero el péndulo cónico tiene un inconveniente de que se hallan exentos los reguladores Farcot y Flaud, y es que regula, con la velocidad de régimen, la potencia de la máquina, al paso que éstos permiten hacer variar esta potencia, sin que la velocidad de régimen varíe mucho, lo cual es á veces muy útil en ciertas industrias.

CAPÍTULO IX

VARIOS TIPOS DE MÁQUINAS DE VAPOR

I

MÁQUINA DE BALANCÍN DE WATT

Volvamos ahora á nuestra máquina, al mecanismo de transmisión, y hagamos ver cómo se utiliza el movimiento del balancín ó del árbol motor para que funcionen la caja de distribución y las bombas de alimentación y de agotamiento.

En el árbol motor de la máquina va ajustada una *excéntrica*, que se ve en *dd* en la figura 759 y cuya función consiste en producir el movimiento alternativo de la caja

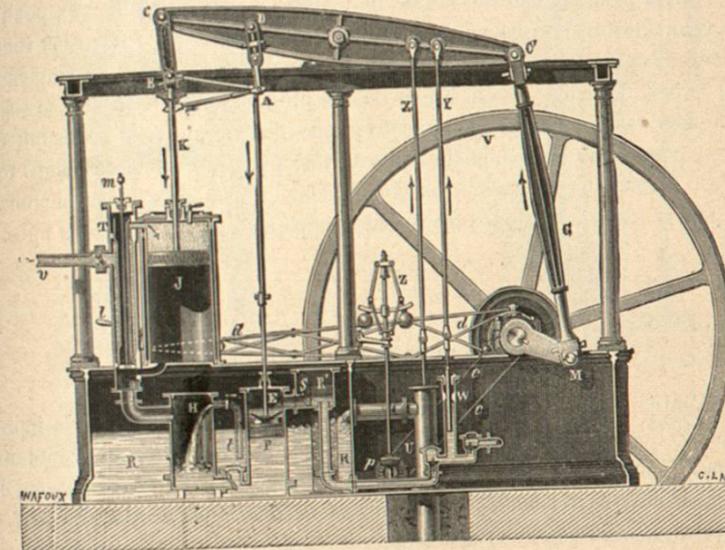


Fig. 759.—Máquina de balancín de Watt: v, tubo de entrada del vapor; T, distribuidor; J, cilindro; H, condensador; PE, bomba de agotamiento; WY, bomba de alimentación de la caldera; UX, bomba de alimentación del depósito R; pl, regulador; dd, excéntrica; ABCD, paralelogramo; GM, biela y manivela; V, volante.

de distribución. He aquí, en cuatro palabras, cómo se obtiene este resultado. La excéntrica se compone de una pieza circular metálica atravesada por el árbol en un punto que no es su centro. Su movimiento de rotación ocasiona el de una brida que lleva un largo triángulo metálico. Pero el extremo de éste va adherido á uno de los brazos de una palanca acodada, cuyo segundo brazo sostiene la espiga de la caja de distribución. El movimiento de oscilación de la palanca producido por la rotación de la excéntrica da lugar á un movimiento alternativo vertical de la espiga, y la caja de distribución funciona como anteriormente dijimos.