

suscitar su ebullición á bajas temperaturas y mantener esta ebullición sin cambiar estas temperaturas una vez obtenidas. No nos entretendremos en describir los aparatos y las operaciones en virtud de las cuales M. Pictet ha sabido realizar estas condiciones. Bástenos decir que los órganos que sirven para mantener las bajas temperaturas en cuestión son frigoríficos que contienen anhídrido sulfuroso líquido, y en los que, por la acción de una bomba especial, la evaporación de este ácido ocasiona un descenso de temperatura que varía entre 25° y 50° bajo cero. Por lo demás, son unos frigoríficos en un todo semejantes á los de las máquinas de fabricación de hielo del mismo inventor.

Otra aplicación industrial de las máquinas frigoríficas es la que tiene por objeto el enfriamiento del mosto de la cerveza después de cocido. Cuando esta cocción ha terminado, el mosto pasa desde la caldera por unos tubos de cobre á grandes depósitos poco profundos, llamados *enfriadores* é instalados en graneros perfectamente aireados. Esta operación, merced á la cual se depositan las diferentes sustancias en disolución ó en suspensión en el mosto, puede activarse empleando varios de los frigoríficos cuya descripción hemos dado. Utilizábase asimismo para hacer *cerveza de conserva*, la cual se obtenía antes dirigiendo el producto de la primera fermentación á grandes cubas situadas en cuevas rodeadas de hielo ó *neveras*. Hace algunos años que se ha abierto en el Cairo una cervecería en la que se usan las máquinas Raúl Pictet para hacer el hielo necesario á fin de mantener á baja temperatura las cuevas en que se fabrica la cerveza.

Entre las aplicaciones de las máquinas frigoríficas que, según creemos, no se han llevado aún á cabo, pero que nos parece se llevarán de un momento á otro, figura la ventilación en verano de los grandes salones de reunión, de los teatros, y sobre todo de los hospitales. Este problema de higiene, de tan difícil solución, puesto que hasta ahora apenas se ha conseguido otra cosa que sustituir el aire viciado del interior con el aire puro, mas siempre caliente, del exterior, tendría así una solución. Bastaría hacer pasar previamente el aire exterior por *cámaras de frío* en las que unas máquinas de hielo mantuviesen constantemente una baja temperatura. ¿Costaría mucho esta sustitución? Quizá esté aquí el nudo ó la dificultad de la solución del problema.

CAPÍTULO VII

LA MÁQUINA DE VAPOR

I

EL VAPOR COMO FUERZA MOTRIZ

De todas las aplicaciones del vapor, y aun podemos añadir, de todas cuantas los demás agentes físicos han permitido realizar, no hay ninguna cuya importancia pueda compararse con la del vapor usado como fuerza motriz. Apenas han transcurrido dos siglos desde que se hicieron los primeros ensayos que dieron por resultado la máquina de vapor; aún no hace cien años que empezó ésta á tomar posesión de los talleres, y ya ha producido una revolución en la industria del mundo entero. Después de invadir

las fábricas, la navegación y las vías férreas, se difunde por las granjas y auxilia los trabajos agrícolas. Las consecuencias económicas ó sociales de la sustitución de las fuerzas del hombre ó de los animales por este poderoso motor se desarrollan á nuestra vista con rapidez prodigiosa. No creemos por lo tanto que nuestros lectores lleven á mal el que consagremos varios capítulos al estudio de la máquina de vapor bajo sus variadas formas.

Los antiguos conocían la fuerza elástica del vapor de agua. Sin tener nociones claras, precisas, de sus propiedades físicas —ya se ha visto que los inventores modernos no estaban mucho más adelantados al principio, —habían procurado sacar partido de esta fuerza.

Con tal objeto, Herón de Alejandría inventó la máquina á la que se ha dado el nombre de *eolípila* y otros aparatos en los que entraba en juego la acción del aire comprimido ó dilatado. Vamos á ver, en efecto, que el movimiento de la eolípila tenía por causa la fuerza expansiva del vapor, pero obrando de un modo muy distinto de como obra en las modernas máquinas de vapor.

Consistía en una marmita ó caldera llena en parte de agua, puesta sobre un hornillo y cerrada con una tapadera. En ésta había un tubo hueco y doblado, provisto de una llave, el cual sostenía, penetrando en ella, una esfera metálica hueca que estaba sostenida exteriormente por otro montante igual en el extremo del mismo diámetro. La esfera era, pues, movable alrededor de este diámetro ó eje.

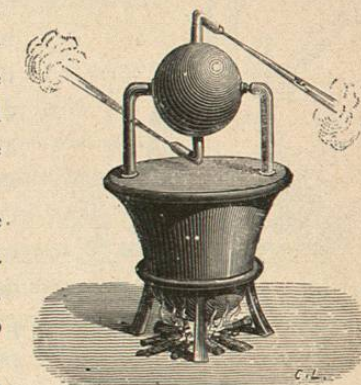


Fig. 733.—Eolípila de Herón de Alejandría

Otros dos tubos huecos y doblados partían de la superficie de la esfera, en los extremos de un diámetro perpendicular al eje. Esto sentado, vamos ahora á comprender la acción motriz del vapor en este pequeño aparato. Se abre la llave, el vapor pasa de la caldera al tubo hueco y llena la esfera metálica: si ésta no tuviese ninguna abertura, permanecería inmóvil, pero el vapor que tiende á ejercer su presión en la superficie interior de la esfera con la misma fuerza en todos los puntos, encontrando dos salidas, se escapa por ellas con ruido condensándose en el aire; la reacción, que le hubiera equilibrado en el caso de estar completamente cerrada la esfera, se ejerce, pues, en sentido contrario, y ésta gira con mayor ó menor rapidez en dirección opuesta á la de la salida del vapor.

La *eolípila* (nombre que significa *puerta de Eolo* ó *puerta del aire*) es, como se ve, una máquina en que la fuerza elástica del vapor obra por reacción. Por lo demás, nunca ha sido otra cosa sino un objeto de física recreativa, aun cuando llamó la atención de los sabios y de los experimentadores de los siglos que precedieron al de Papín, y por más que se le haya descrito proponiendo utilizarlo para hacer dar vueltas á los asadores.

El aparato descrito por Salomón de Caus en su opúsculo titulado: *Las razones de las fuerzas motoras* (1615) es un ejemplo de una aplicación más directa de la fuerza expansiva del vapor. Por la llave D (fig. 734) se introduce agua en la esfera hueca A que se pone al fuego después de cerrar la llave de introducción. Un tubo BC pasa por otra abertura B y llega al agua, pero sin tocar al fondo. Cuando se ha formado sufi-

ciente cantidad de vapor y su tensión es bastante fuerte, se abre la llave B y el agua, comprimida en su superficie interior por la fuerza elástica del vapor, salta fuera por el tubo.

El relato completo y detallado de todas estas tentativas, de estos esbozos mecánicos con los que se buscaba el modo de utilizar diferentes fuerzas naturales, las del aire dilatado ó comprimido y la del vapor, tiene un innegable interés para la historia del progreso de las aplicaciones de la ciencia humana. Pero todo esto no ha sido sería y verdaderamente instructivo hasta la época en que, saliendo la física de la fase de las explicaciones sutiles é infecundas, ha entrado en la vía de la práctica, merced á los Galileo, á los Boyle, á los Huyghens.

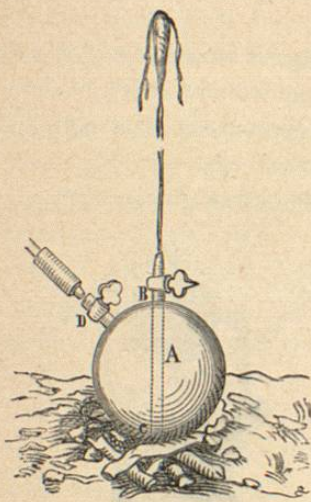


Fig. 734. — Aparato de Salomón de Caus

La máquina de vapor no podía nacer, y sobre todo no podía recibir los perfeccionamientos que han hecho de ella un verdadero motor industrial, sino en el siglo en que se han descubierto las propiedades del aire, la máquina neumática, el barómetro y el termómetro; Papín y Watt son los hijos de Torricelli y de Galileo. La máquina de vapor es hija de dos inventos tan sencillos como fecundos: el del *barómetro*, que demuestra y mide la presión de la atmósfera, y compara con ella las fuerzas elásticas de los gases y vapores; y el del *termómetro*, que mide los grados de

calor. También acababa de darse con el modo de hacer el vacío, ya en la cámara barométrica ó ya en un recipiente del que se extrae el aire con una bomba, preciosa invención de Otto de Guericke, cuando el ilustre Dionisio Papín echó las bases de la mayor revolución industrial que ha visto el mundo.

Mas, para precisar mejor la serie de ideas que han debido concebir los grandes talentos que tuvieron la gloria de unir sus nombres al descubrimiento de la máquina de vapor, es indispensable entrar en algunos detalles.

II

PAPÍN; PRIMERAS PRUEBAS; SAVERY. — ÓRGANOS ESENCIALES DE LA MÁQUINA DE VAPOR MODERNA

Ya en 1680 había pensado Huyghens en utilizar la fuerza expansiva de la pólvora, y he aquí cómo; en un cilindro provisto de un émbolo hacía estallar cierta cantidad de pólvora, y la expansión de los gases expulsaba el aire contenido en el cilindro por dos aberturas arregladas de modo que podían cerrarse en seguida. Hacíase, pues, el vacío, á lo menos parcialmente, de suerte que la presión de la atmósfera se ejercía sobre la cara superior del émbolo con una energía proporcional á su superficie y en relación con el grado de vacío obtenido.

Un modesto médico francés, Dionisio Papín, á quien la revocación del edicto de Nantes obligó á expatriarse, empezó por idear (1) el modo de perfeccionar la máquina propuesta por Huyghens, máquina que, en concepto de su autor, "no tan sólo podía

(1) Esta primera tentativa data del año 1688.

servir para elevar toda clase de grandes pesos y aguas para las fuentes, sino también para disparar balas y flechas con mucha fuerza, al modo de las balistas de los antiguos." Pero dos años después, ó sea en 1690, pensó en sustituir á la pólvora otro agente á propósito como ella para hacer el vacío debajo del émbolo, y dejando á la presión atmosférica toda su preponderancia.

Este agente era el vapor de agua, con el cual ya estaba familiarizado Dionisio Papín, puesto que en 1681 había inventado su famosa marmita, el *Nuevo digestor*, del que nos ocuparemos más adelante. He aquí, en pocas líneas, la descripción de la primera máquina de vapor tal como Papín la había ideado y la explicación de sus efectos, facilísima de comprender.

B es un émbolo provisto de un vástago vertical D, y móvil en un cilindro del mismo diámetro, en cuyo interior se ha echado una corta cantidad de agua. En el émbolo se ha abierto un agujero L, que se puede cerrar cuando se quiera por medio de la espiga M.

Supongamos ahora que el émbolo está tan metido en el cilindro, que llega á tocar la superficie del agua, una parte de la cual ha podido salir por el agujero que á la sazón está cerrado por medio de la espiga. Coloquemos en seguida el cilindro, cuyas paredes son metálicas, en un hornillo encendido; el agua se convierte al poco rato en vapor, y venciendo éste á causa de su fuerza elástica el peso del émbolo y la presión atmosférica, hace que aquél suba hasta lo alto del cilindro. Tan luego como el émbolo llega al punto culminante de su carrera, una espiga C, movable alrededor de uno de sus puntos y mantenida hasta entonces en contacto con el vástago del émbolo por medio de un muelle G, penetra en una hendidura de dicho vástago, cuando el movimiento ascendente la pone enfrente de la espiga, y por consiguiente, detiene al émbolo en su subida.

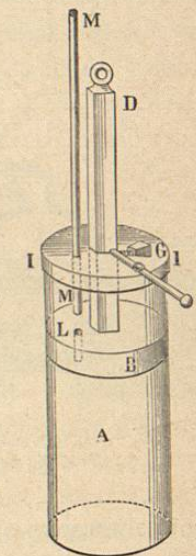


Fig. 735. — Primera máquina de vapor de Papín.

Quitemos ahora el hornillo de debajo del cilindro; al poco rato se enfrían las paredes de éste y el vapor de agua que contenían; el vapor se condensa y queda el vacío debajo del émbolo, de suerte que si se hace salir la espiga de la hendidura en la que mantiene sujetos el vástago y el émbolo, el peso de la atmósfera que gravita sobre éste le empujará de arriba abajo, y se podrá aprovechar esta presión considerable para hacerle levantar grandes pesos.

En una palabra, la disposición de la máquina de Papín difiere un poco de aquella en que Huyghens hacía el vacío por medio de la pólvora, pero el efecto producido es el mismo. La principal diferencia consiste en que en aquella es el vapor de agua el que actúa, su fuerza elástica la que hace subir el émbolo, y su condensación por el frío la que hace el vacío.

Tomemos aquí nota de dos hechos. Papín, en su primera máquina de vapor, emplea desde luego el fluido elástico á una presión algo superior á la atmosférica; entonces le sirve para levantar el émbolo; luego lo condensa por enfriamiento hasta producir el vacío, resultando que la presión de la atmósfera es el verdadero motor, la que efectúa el trabajo útil en vista del cual se ha construido la máquina.

Más adelante modificó su primera idea, aunque á la verdad con poca fortuna; la máquina que acabamos de definir es la que en realidad constituye su principal título

de gloria, su derecho incontestable á que se le considere como inventor de la máquina de vapor.

Vino después Savery (1698), y tuvo la feliz idea de producir el vapor en un recipiente separado, condensándolo en otro, pero su máquina, de la que trataremos más adelante, es por otro concepto una retrogradación respecto de la de Papín, porque en ella se emplea la fuerza elástica del vapor para rechazar el agua directamente, al paso que la de Papín se sirve de esta fuerza, según acabamos de ver, para poner en movimiento un émbolo, movimiento que bastará transformar por medios puramente mecánicos para hacer de la máquina de vapor un motor universal.

Pero antes de continuar esta reseña histórica, que completaremos más adelante describiendo la máquina de Savery, veamos someramente cuál es el principio de la máquina de vapor moderna, y de qué órganos esenciales se compone. Ante todo, hay

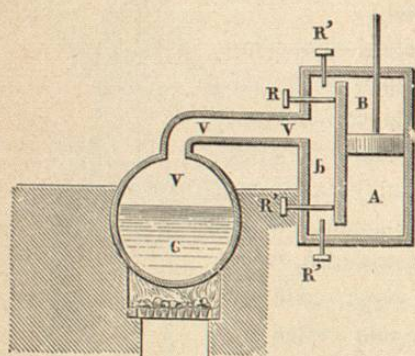


Fig. 736.—Órganos esenciales de la máquina de vapor

que pensar en desarrollar la fuerza, es decir, en producir y recoger cierta cantidad de vapor de agua. Esto se consigue calentando á la lumbre de un hornillo una marmita ó caldera llena de agua, en parte al menos. Tal es el *generador de vapor*, una de las tres partes esenciales ó constitutivas de toda máquina.

El vapor pasa desde la caldera á una capacidad ó depósito de forma cilíndrica, dividido en dos por un émbolo movable; allí es donde, en virtud de ciertas disposiciones cuya descripción haremos muy luego, ejerce su acción el vapor, ora á un lado, ya á otro del émbolo, de modo que le imprime un movimiento

alternativo ó de vaivén, movimiento que es el objeto de la máquina.

El cilindro, el émbolo y las piezas accesorias que distribuyen el vapor por las dos cámaras ó divisiones del cilindro constituyen la parte de la máquina que forma el *mecanismo motor*; es la máquina cuyo juego no podría comprenderse bien si no diésemos algunos detalles más.

Consideremos el grabado 736 que representa la máquina de vapor reducida á sus órganos esenciales.

Dicho grabado figura el generador en el que el agua se transforma en vapor que llena el espacio situado encima del agua de la caldera así como el tubo VV. Por este tubo pasa el gas elástico á una capacidad B contigua al cilindro, y que se llama caja de vapor.

Merced á dos llaves R'R' puede llegar el vapor, cuando una ú otra está abierta, ya á la cámara superior B ó ya á la cámara inferior A del cilindro. Supongamos por de pronto que la llave superior está abierta y la otra cerrada. El vapor pasa á B, empuja el émbolo y tiende á imprimirle un movimiento descendente en el cilindro. Si en este momento se cierra la llave superior y se abre la otra, el vapor pasará á A, y empujando al émbolo por su cara inferior propenderá á hacerlo subir.

Pero aquí se presenta una dificultad: si el vapor se encontrara á la vez en A y en B, como su fuerza elástica es igual en ambos lados, su acción sobre la cara inferior del émbolo contrabalancearía la ejercida sobre la cara superior y por consiguiente no habría movimiento.

Era menester, pues, hallar el medio de anular su fuerza elástica una vez ejercida su acción, y esto alternativamente en las dos cámaras del cilindro. Esto se consigue abriendo sucesivamente las llaves R' y R', cada una de las cuales está adaptada á un orificio por el que se pone el vapor en comunicación con un espacio vacío de aire, que contiene agua fría, y cuyas paredes están á una temperatura baja. Este espacio no está figurado en nuestro dibujo. Tan luego como el fluido penetra en dicho espacio, que se llama el *condensador*, se precipita en estado líquido casi por completo, y lo que de él queda no tiene sino una densidad insignificante, muy inferior á la tensión que tiene el vapor, ya sea en la caldera, ó ya en el cilindro. Esta disposición es necesaria en las máquinas en que el vapor no obra sino con una tensión poco mayor que la presión atmosférica. Cuando aquel tiene una tensión igual á muchas atmósferas, no se necesita condensador, por cuanto la condensación se verifica al aire libre.

Es fácil ya comprender que, en cada uno de estos casos, la dificultad indicada queda vencida; pues supongamos que la llave superior R está abierta y la inferior cerrada, mientras que la llave superior R' está cerrada y la inferior abierta. El vapor afluye á B, en donde ejerce su acción; el que había en A se condensa, y se hace el vacío debajo del émbolo que desciende hasta el fondo del cilindro. En este momento, inviértese el juego de las llaves. El vapor de la caldera penetra en A; el de B se condensa y el émbolo es empujado de abajo arriba, y así sucesiva é indefinidamente.

Tal es, en su principio y en sus disposiciones fundamentales, la máquina de vapor moderna. Un movimiento rectilíneo alternativo, determinado por la acción de la fuerza elástica del vapor en un cilindro cerrado por todas partes, acción que cesa bruscamente tan luego como el mismo vapor se condensa por enfriamiento. Una vez obtenido el movimiento, sólo resta hacerle producir un efecto útil, transformándolo de mil maneras, según las necesidades de la industria, y exigiéndole por ejemplo unas veces pujanza, otras rapidez, y otras rapidez y pujanza reunidas. El mecanismo que efectúa esta transformación es el tercer elemento que habremos de estudiar para completar la descripción de la máquina de vapor, de suerte que se puede resumir del modo siguiente todo el objeto de la parte técnica de este capítulo:

El *generador* ó la *caldera*;

El *receptor* ó *mecanismo motor* y el *mecanismo de distribución*;

El *mecanismo de transmisión*.

Estudiemos en detalle cada una de estas partes de la máquina.

III

LA CALDERA Ó EL GENERADOR

Las formas de caldera adoptadas hoy son tantas que ni siquiera intentaremos enumerarlas; para el objeto que nos proponemos bastará hacer comprender en qué se parecen y en qué difieren sus principales sistemas. Mas antes de llegar á esto, menester será que conozcamos de un modo preciso un ejemplar de alguno de ellos. Consideremos, pues, la caldera más generalmente adoptada en las grandes fábricas en que se usan máquinas fijas, es decir, construídas, instaladas de un modo estable en el sitio mismo en que funcionan. La figura 737 representa su aspecto exterior. Veamos cuáles son sus disposiciones interiores.

En la parte superior de la obra de mampostería descansa un gran recipiente de hie-

ro fundido, de forma cilíndrica en toda su longitud, y terminado en los dos extremos en dos casquetes ó fondos hemisféricos. Es el cuerpo de la caldera más voluminosa, la

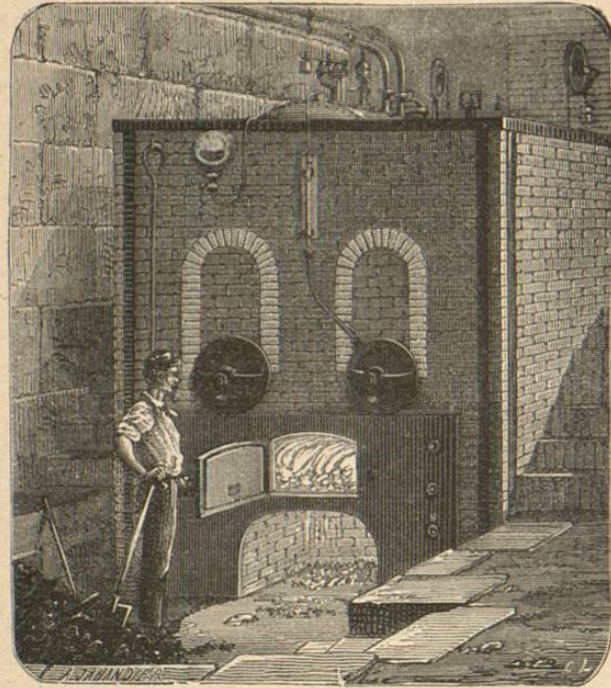


Fig. 737.—Caldera de dos hervidores: vista exterior

que contiene la mayor masa de agua para vaporizar. Las figuras 738 y 739 la presentan en CC, figurando sus dos secciones, longitudinal y transversal. Debajo del cuerpo principal se ven dos y á veces tres largos tubos también cilíndricos BB, que comunican con él por ciertos conductos llamados *toberas*.

Dichos tubos son los *hervidores*, enteramente llenos de agua y situados directamente encima del hogar, cuyas llamas lamen su superficie exterior, siendo en su seno á no dudarlo donde empieza desde luego la ebullición ó donde se forman las primeras burbujas de vapor, justificando así su nombre de hervidores.

Los dos grabados siguientes indican con bastante claridad la posición y dimensiones del hogar, de la parrilla y del cenicero, para que nos eximan de la necesidad de detenernos más en su descripción. Por lo que hace á la chimenea, vésele en su base, pudiendo seguirse la marcha del humo y de los gases de la combustión desde su origen por encima del hogar hasta dicha base, á través de los conductos de humo ó humerales, *cc*, que están situados entre los hervidores, el cuerpo principal de la caldera y la obra de mampostería que los rodea. Conviene fijarse en la colocación de estos humerales; el que está debajo de los hervidores obliga á la llama y á los gases calientes á marchar hasta el fondo de la hornilla y á calentarse directamente y ante todo los mismos hervidores. Al llegar allí, los gases suben á uno de los dos conductos de humo laterales superiores, cediendo todavía parte del calor que han conservado á la pared de la caldera con la cual se ponen en contacto. Finalmente, hacen una tercera marcha y pasan al otro conducto de humo lateral para escaparse en seguida por la chimenea. Fácil es comprender el objeto á que todo se encamina. Trátase de utilizar en lo posible el calor que emana del hogar, ya

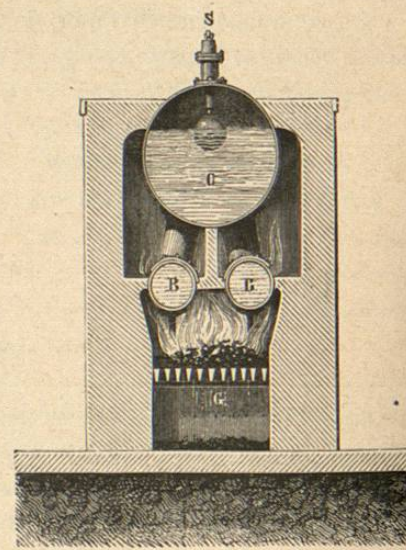


Fig. 738.—Sección transversal de una caldera de dos hervidores

sea por el contacto y por la acción directa de la llama, ó bien por la de los gases de la combustión, los cuales, aun cuando no estén ya incandescentes, no por ello dejan de conservar una enorme cantidad de calor que se consumiría estérilmente si al salir los gases del hogar pudieran perderse inmediatamente en la atmósfera.

Una previsión análoga es la que ha hecho inventar los hervidores. Las antiguas y primitivas calderas eran hemisféricas en su parte inferior, y no presentaban más que una escasa superficie á la acción del hogar, si se considera la masa de agua que era preciso vaporizar: no tenían sino una insignificante superficie de calefacción. El aumento de esta superficie ha sido uno de los primeros adelantos en que han debido pensar los constructores de máquinas, habiendo sido Watt el primero. El asunto era economizar

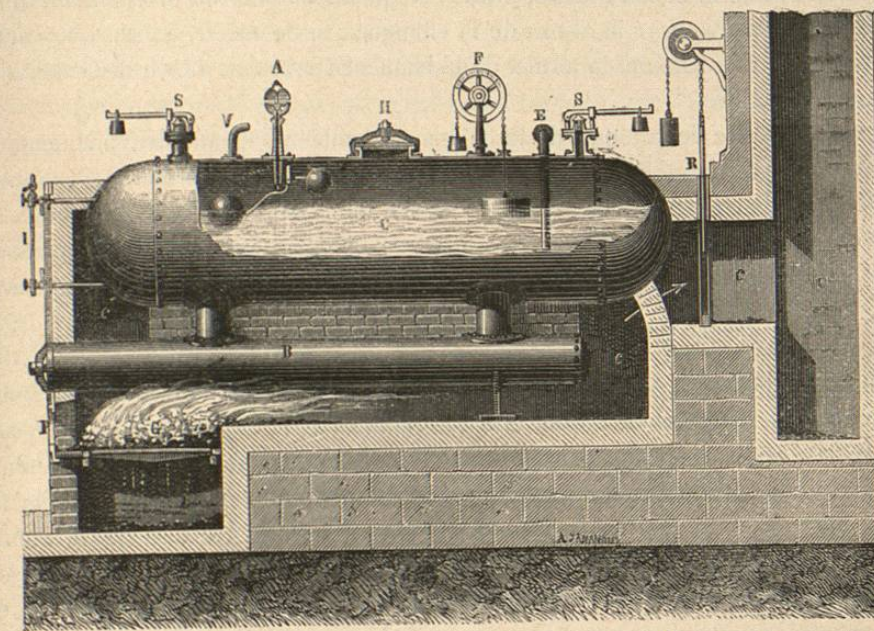


Fig. 739.—Caldera de dos hervidores: sección longitudinal. A, flotador y silbato de alarma; B, hervidor; C, cuerpo de la caldera; E, tubo de alimentación; F, flotador de cuadrante, indicador del nivel del agua; H, orificio (*trou d'homme*) para la limpieza; S, S, válvulas de seguridad; R, registro del tiro; U, chimenea; V, tubo de toma del vapor; *c, c*, humerales; I, indicador del nivel de agua; G, hogar; P, puerta del hogar.

combustible, problema cuya solución, después de muchas investigaciones felices y de muchos progresos realizados, es aún el *desiderátum* de las industrias que se valen del vapor.

En vista de cuanto acabamos de decir, parece que si los gases procedentes de la combustión pudieran enfriarse, al llegar á la base de la chimenea, á una temperatura igual, por ejemplo, á la del aire exterior, resultaría de esto una gran ventaja, puesto que el calor del hogar ó del combustible se utilizaría casi en su totalidad. Mas por desgracia esto no es posible, ó más bien, si se lograra este resultado, cesaría el tiraje y la renovación del aire necesario para alimentar la combustión, ó cuando menos se aminoraría considerablemente. Ardiendo mal la hulla, no siendo el calor del hogar suficientemente intenso, los gases hidrógeno *proto* y *bicarbonados* que en gran abundancia se desprenden del combustible no podrían arder completamente. Ellos son los que forman la humareda espesa y negra que se ve salir con tanta intensidad siempre que se introduce en el hogar, enfriándolo, una cantidad algo considerable de combustible fresco.