

hasta entonces para la tipografía. Los resultados obtenidos son notables, y la rapidez de la tirada ha proporcionado una economía importante á una industria seriamente amenazada por la competencia que le hacían los productos tipográficos.

VII

ESTADÍSTICA DE LAS MÁQUINAS DE VAPOR

Terminemos esta ligera reseña de las innumerables aplicaciones del vapor con algunos datos de estadística general á propósito para demostrar la verdad del aserto de que el vapor es el origen de la revolución más fecunda que hasta el presente haya transformado la producción humana, y propio también para justificar el nombre de *siglo del vapor* que á veces se da á nuestra época.

Francia tenía en 1865 un total de 19,724 máquinas de vapor con una fuerza total de 242,209 caballos. En este número no están comprendidas las locomotoras, que pasaban de 4,000. Esto representa para nuestro país un aumento de potencia productiva equivalente á una población activa de más de 5 millones de obreros, resultado que indudablemente es hoy bastante mayor. Tan sólo en París había en la misma época 1,189 motores de vapor de una fuerza total de 9,782 caballos, y comprendiendo los alrededores (en el solo departamento del Sena), había 2,480 máquinas con una fuerza de 19,150 caballos. El movimiento de viajeros y mercancías por las vías férreas aumentaría en una gran proporción los servicios que, en vista de las cifras precedentes, presta el vapor en nuestro país.

Agregando á las máquinas fijas empleadas en la industria las locomotoras y las máquinas de los buques de vapor, tanto de los mercantes como de los de guerra, podríamos calcular en 780,000 caballos de vapor la fuerza motriz total puesta á la sazón en actividad en Francia.

En Inglaterra, según el ingeniero Feyburn, la fuerza empleada asciende á la enorme cifra de 3,650,000 caballos; fuerza que equivale al trabajo de 76 millones de obreros, es decir casi treinta veces igual á la de los brazos que sirven de auxiliares á las industrias británicas.

Carecemos de datos referentes á la industria manufacturera de los demás países de Europa y América; pero es posible formarse una idea de lo que pueden ser, considerando el inmenso desarrollo que ha tomado la red de los caminos de hierro en el mundo entero, red surcada día y noche por el vapor, así como el que va adquiriendo de día en día la navegación por vapor en los mares, los lagos y los ríos.

En 1867 la longitud total de todas las líneas férreas explotadas en el globo llegaba á 156,663 kilómetros, casi diez y seis veces la circunferencia entera de nuestro planeta. Desde entonces, la América del Norte por sí sola ha aumentado su red en 20,000 kilómetros y la Rusia en más de 6,000; casi en todas partes se han construído ó empezado nuevas líneas; las locomotoras esparcen ahora sus torbellinos de humo por las Indias, por la Australia y hasta por el Japón, y los *steamboats* surcan todos los mares. La marina ha seguido, en efecto, el ejemplo de la industria manufacturera y de los transportes terrestres, en menor escala á la verdad, pero en proporción siempre creciente.

En Europa, de 100,000 buques que forman poco más ó menos el total de la marina mercante, hay 4,500 vapores; pero debemos agregar que por lo general la cabida

de éstos es mucho mayor que la de los barcos de vela. Así es que en Francia, mientras la cabida media de estos últimos buques es de 60 toneladas, la de los vapores llega á 280, por término medio también.

VIII

EXPLOSIÓN DE LAS MÁQUINAS DE VAPOR

Acabamos de indicar los beneficios de que la civilización es deudora á la invención de la máquina de vapor y á la introducción progresivamente creciente de este poderoso motor en todas las industrias. Veamos ahora las desgracias que ha ocasionado, cuyos lamentables relatos leemos de vez en cuando en los periódicos. Toda medalla tiene su reverso. La explosión de las máquinas de vapor en las fábricas, en los ferrocarriles, en los buques causa todos los años cierto número de víctimas. ¿Será un tributo forzoso que la humanidad debe pagar siempre, como una triste compensación, á todos los progresos que debe á la ciencia?

Todas las explosiones de las máquinas de vapor tienen en realidad una causa: por un motivo ó por otro, la presión del vapor producido en la caldera excede del límite de la resistencia de las paredes de ésta; el metal se raja, estalla empujado por la fuerza irresistible del fluido, y lanzando en todas direcciones sus fragmentos, acumula en torno suyo ruinas y víctimas. A los efectos mecánicos de esta terrible explosión, se unen los que no puede menos de producir una masa de vapor de elevadísima temperatura; el fogonista, los operarios ó los maquinistas, en una palabra, todas las personas á quienes alcanzan los trozos de metal ó el vapor abrasador, salen horriblemente heridas, magulladas ó quemadas.

¿Cuáles son las causas de la explosión? Acabamos de decirlo. Un aumento anormal de presión, el cual puede proceder de las causas siguientes:

1.º Descenso del nivel del agua, que tiene por consecuencia una elevación de temperatura de las superficies metálicas sometidas á la acción de los gases incandescentes del hogar sin ser enfriadas interiormente por el agua de la caldera. Estas superficies llegan á ponerse á la temperatura del rojo; su resistencia disminuye, se deforman y se rajan. El peligro es mucho mayor si en tal momento la alimentación de la caldera pone bruscamente en contacto con ésta el agua que se transforma en vapor en condiciones anormales. El exceso de fluido que resulta de aquí basta para ocasionar la explosión.

2.º Pueden producir el mismo accidente las incrustaciones que el agua va dejando en las paredes. La costra salina impide el contacto del líquido con el metal, el cual se enrojece, y si esta costra llega á desprenderse bruscamente, al tocar el agua las superficies enrojadas ocasiona una repentina y considerable formación de vapor cuya consecuencia puede ser la explosión de la caldera.

3.º El agua privada de aire y en reposo puede calentarse, sin hervir, á una temperatura que exceda con mucho de 100 grados; pero el menor choque ocasiona una ebullición súbita y un exceso de vapor peligroso, según hemos visto al referir el experimento de Donny.

Estas son tres causas de percances, independientes del buen estado de la máquina ó por lo menos de la solidez de su construcción, independientes también del cuidado y vigilancia del maquinista, excepto la primera, que á decir verdad es una de las más

frecuentes. En cuanto á ésta, los remedios preventivos son una vigilancia atenta del nivel del agua, y si éste ha bajado, el cuidado de introducir el líquido poco á poco y después de quitar fuego. La elección de un agua no incrustante, ó en caso contrario, la limpieza frecuente del interior de la caldera son dos cosas que deben tener muy en cuenta los maquinistas, ó los jefes ó dueños de las fábricas.

4.º El vapor puede llegar á tener una presión que exceda de los límites de la resistencia si las válvulas de seguridad son insuficientes ó funcionan mal, ó lo que es peor, aunque por desgracia muy frecuente, si no funcionan absolutamente nada. Por lo tanto, debe tenerse una vigilancia incesante con estos aparatos. "Un maquinista que carga las válvulas, dijo con enérgica convicción un ingeniero inglés contemporáneo, M. Fairbairn, es comparable al insensato que se precipita en un almacén de pólvora con una antorcha en la mano., Solamente á ignorancia puede atribuirse una costumbre tan deplorable, siendo un imprescindible deber de los jefes de fábrica y de los ingenieros el hacerla cesar, no empleando sino maquinistas entendidos, ó instruyendo á los poco capaces.

5.º Por último, otra causa de explosión es la construcción defectuosa de una caldera, ó lo que es lo mismo, el mal estado procedente de la vejez ó del desgaste de sus distintas partes.

Al describir los diferentes tipos de calderas, hemos visto cuáles son las que ofrecen menos riesgo de explosión, pero como la elección de tipos no está subordinada á esta sola condición, los accidentes son por decirlo así inevitables. En las fábricas donde se usan máquinas fijas y en los buques de vapor en que se hallan expuestas á más causas de destrucción, las explosiones son más frecuentes y temibles; en las locomotoras son mucho más raras, lo cual depende sin duda de la mayor vigilancia que sobre ellas se ejerce; también son en éstas menos peligrosas, porque á menudo se limitan á la rotura de un tubo, accidente que remedia con facilidad el maquinista, cerrando el tubo con tapones.

CAPITULO XII

LAS MÁQUINAS DE VAPORES COMBINADOS, DE AIRE CALIENTE Y DE GAS

I

LAS MÁQUINAS DE VAPORES COMBINADOS

Los principios de la teoría mecánica del calor permiten demostrar que el valor de una máquina térmica, su rendimiento, ó lo que es igual, su *coeficiente económico*, depende, en igualdad de circunstancias, de la diferencia de las temperaturas extremas entre las que funciona. Poco importa, por tal concepto, que se haga uso de este ó del otro líquido para obtener el vapor cuya fuerza elástica se emplea como motor. Siendo la misma la cantidad de calor consumida, como este calor es el que se convierte en trabajo, el trabajo de la máquina subsiste siempre el mismo.

Compréndese, pues, que pueda ser ventajoso valerse de un líquido que se vaporice á una temperatura inferior á la de la vaporización del agua. Por ejemplo, el éter sulfúrico hierve á los 37º. El vapor de agua que, al salir del cilindro, va á liquidarse en

el condensador, abandona una cantidad de calor suficiente para vaporizar el éter. El vapor de este último líquido puede entonces servir para hacer funcionar otra máquina aneja á la primera y á cuyo condensador se le puede mantener así á una temperatura inferior á la del condensador del vapor de agua. Esta combinación viene á aumentar la diferencia entre las temperaturas extremas en que el fluido elástico funciona desde su entrada en el cilindro hasta su condensación ó su salida al aire libre; y por consiguiente, la cantidad de calor utilizada ó de trabajo mecánico se habrá aumentado otro tanto.

Tal es el principio en que están basadas las máquinas de vapores combinados, de las que vamos á ocuparnos sucintamente.

El ingeniero francés du Tremblay discurrió y mandó construir en 1840 una máquina de vapores combinados de agua y éter, que fué instalada en un vapor de la línea de Argel á Marsella. Véase cuáles eran sus disposiciones principales.

Al salir del cilindro, el vapor de agua llega á un condensador cerrado, atravesado por una serie de tubos verticales llenos en parte de éter. El vapor de agua se condensa alrededor de los tubos, les comunica su calor de vaporización y eleva su temperatura lo bastante para que el éter que contienen se reduzca á su vez á vapor. Recogido éste en un depósito superior, pasa desde él á un cilindro en el cual actúa sobre un émbolo cuyo vástago está unido al árbol de la máquina. El trabajo de este émbolo se agrega por tal manera al del que está puesto en movimiento por el vapor de agua.

Al salir el vapor de éter del segundo cilindro, pasa á un condensador especial compuesto también de un sistema de tubos, pero éstos rodeados de una masa de agua fría renovada de continuo. Este vapor recobra, pues, el estado líquido por efecto del enfriamiento de los tubos, y una bomba que mueve el balancín impele el éter que de dicho enfriamiento resulta al depósito situado en la parte inferior de los tubos del primer condensador. El agua de condensación, calentada por el exceso de calor del vapor de agua, va á parar á su vez á la caldera.

La gran inflamabilidad del éter, que á pesar de las mayores precauciones se escapaba por las juntas de las piezas, hacía peligrosas estas máquinas á causa de las explosiones ó de los incendios posibles. Esto no obstante, se las ha experimentado largo tiempo en los buques *du Tremblay* y *Galileo*, así como en una fábrica de cristal de Lyon, donde funcionaba una máquina fija de este sistema.

El oficial de marina Lafond substituyó el cloroformo al éter; pero si el vapor de esta substancia no es inflamable, es en cambio asfixiante; además, la práctica ha demostrado que su acción deterioraba muy pronto las guarniciones de los émbolos. Las pruebas de que hablamos se han hecho en la máquina del *Galileo*. Se han empleado también los vapores combinados de agua y de sulfuro de carbono, ó bien de agua y de cloruro de carbono.

Otra máquina muy interesante, que funcionó en la Exposición universal de 1867, es la máquina de amoníaco de M. Frot, ingeniero naval. Este inventor substituye el agua de la caldera con una disolución amoniacal. Es sabido que á la temperatura ordinaria de 15º el agua disuelve unas 750 veces su volumen de gas amoníaco, y que, si se la calienta hasta á 100º, el gas disuelto se evapora enteramente, no quedando vestigio de él en el agua de disolución. M. Frot se ha basado en esta doble propiedad para construir su máquina, habiéndole probado los experimentos que hizo sobre la tensión del líquido á diferentes temperaturas, que esta tensión, que á 100º es de siete atmósferas y media, llega á diez atmósferas á 120º. Mas para hacer práctico y económico el uso