

esté perfectamente horizontal el brazo CF, condicion facil de llenar con los pernos *bb* y *aa*.

Redúcese entonces la cuestion á determinar el efecto dinámico producido, hasta que el freno vuelve á ponerse horizontal, en virtud del movimiento de la máquina.

Sea *P* el peso colocado en *H*;

R la distancia entre el centro de gravedad y el centro del eje; *r* el radio del eje y π la relacion del diámetro á la circunferencia;

Q la unidad dinámica, igual á un peso convenido, multiplicada por una altura igualmente convenida, á la cual se supone elevado ese peso durante la unidad de tiempo. *M* el número de unidades de fuerza que representan el efecto dinámico que se trata de determinar.

Por medio de ciertas consideraciones matemáticas, ha obtenido *M. Prouy* la relacion

$$M = \frac{2\pi NPR}{Q},$$

en cuya ecuacion son conocidos los valores π , *P*, *Q* y *R*, siendo *N* igual á *K* ó número de revoluciones en un tiempo dado, dividido por el número de unidades de tiempo,

es decir, que tenemos $\frac{K}{T} = N$. (Véanse los *Annales des Mines*, t. XII, p. 94; y la p. 463 del tomo XIX de los *Annales de Chimie et de Physique*.)

Cálculo de los efectos dinámicos de las máquinas de vapor.

421. Se ha convenido en tomar por unidad de medida un metro cúbico de agua elevado á un metro de altura.

1° Para las máquinas de condensador, sin expansion, se entabla y ejecuta el cálculo por un método sencillísimo.

Sea *T* la temperatura del vapor de la caldera, *H* la fuerza elástica del vapor á esa temperatura, *t* la temperatura del condensador y *h* la fuerza elástica correspondiente; llamemos *B* á la base del émbolo y *L* por fin la altura del cilindro que recorre; la fuerza que obra sobre el émbolo, se representa por

$$BLH - B/h = BL(H-h) \dots (A)$$

Si *B* y *L* estan espresados en metros y *H* y *h* en alturas de agua, el resultado será un cierto número de metros cúbicos de agua elevados á un metro en la unidad de tiempo.

2° El cálculo para las máquinas de expansion puede hacerse, con el auxilio de los principios elementales. Sean *b* la base del émbolo menor, *l* la altura del cilindro que recorre, *H* la elasticidad del vapor en la caldera y cilindro menor, *H'* la elasticidad en el mayor y *h* la del condensador; despues de la expansion total, tendremos la presion ejercida en el cilindro menor, representada por la espresion

$$bl \left(H - \frac{H+H'}{2} \right).$$

La presion ejercida sobre el cilindro mayor es

$$BL \left(\frac{H+H'}{2} - h \right).$$

y la fuerza total que el vapor comunica á los dos émbolos es

$$bl \left(H - \frac{H+H'}{2} \right) + BL \left(\frac{H+H'}{2} - h \right) \dots (B)$$

Debemos advertir que este cálculo no es mas que aproximado, porque el vapor no tiene exactamente la misma

elasticidad que en la caldera, y los medios aritméticos no son por otra parte muy rigurosos. Por último al entablar el cálculo debe determinarse H' , admitiendo que el vapor sigue en su expansión la ley de Mariotté, cosa que no se aparta mucho de la verdad cuando las presiones no son muy elevadas; y para llegar á esa determinación no hay mas que entablar la proporción

$$H:H'::BL:bl, \text{ de donde } H' = \frac{Hbl}{BL} \text{ ó } \frac{Hb}{B}.$$

pues que generalmente $L=l$. De todos modos basta este pequeño cálculo para dar idea de lo ventajoso que es emplear la expansión del vapor.

Ejemplo.

$$B=24, b=10, T=140^\circ \text{ y } t=35^\circ.$$

Por la tabla del nº 449, tomo I, sabemos que $H=2^m,58$ y $h=0^m,040$. Multiplicando H y h por la densidad del mercurio igual á 15,586, se tendrán las alturas de agua correspondientes.

Por medio de estos datos y por las fórmulas (A) y (B) pueden hallarse los efectos dinámicos de una máquina de Watt sin expansión y de una de Woolf con ella.

Máximo efecto que produce la cantidad de vapor formada por la combustión de una kilograma de carbon en una máquina ordinaria.

122. H presión del vapor en el cilindro. } en alturas de
 H' presión en el condensador. } agua.

P el peso de un metro cúbico de agua á la misma densidad que la correspondiente á las alturas H y H' . V el volumen del vapor, cuyo efecto se obtiene por la fórmula

$$P.V.H' - PVH, \text{ ó bien } PHV \left(1 - \frac{H'}{H}\right);$$

es decir, la presión ejercida sobre una de las caras del émbolo por el vapor de la caldera, menos la presión ejercida por el vapor del condensador.

$1 - \frac{H'}{H}$ es conocido; solo queda por calcular P.H.V, en

cuya expresión no hay mas incógnita que V, que puede fácilmente hallarse según lo que queda dicho acerca de los gases y vapores. Si llamamos h la presión y V el volumen del vapor á 100° se tiene, suponiendo que la ley relativa á los gases sea aplicable á los vapores,

$$\frac{H}{h} = \frac{v(1+0,00565t)}{V \times 4,565} \text{ por consiguiente}$$

$$PHV = Phv \frac{(1+0,00565t)}{4,565}.$$

Fáltanos ahora calcular V ó el volumen del vapor á 100° que se puede formar con una kilograma de carbon tomando el agua á la temperatura del condensador. Una kilograma de carbon puro desprende 7914 grados de calor; y suponiendo que el agua, al entrar en la caldera, está á 50° se halla que una kilograma de carbon volatiliza 15 kil., 07 de agua á 0^m,76, lo que da un volumen de $15,07 \times 1^{mc}7 \text{ ó } 22^{mc}21$; de manera que se tendrá

$$PHV = P.0,76 \times 22^{mc},21 \frac{(1+0,00565t)}{4,565}, \text{ en cuya expresión}$$

todo es conocido, y $PHV \left(1 - \frac{H'}{H}\right)$ se convierte en

$$\left(1 - \frac{H'}{H}\right) P.0,76.22^{mc},21 \frac{(1+0,00565t)}{4,565}.$$

He ahí la expresion de la potencia mecánica de la cantidad de vapor, que produce una kilógrama de carbon, representado todo en kilógramas y en una máquina sin expansion en la que el agua entra en la caldera á 50° de temperatura. Segun mis esperimentos 7914 representa el número de grados á que se eleva la temperatura de una kilógrama de agua por el calor que produce la combustion de una kilógrama de carbon puro. En la mayor parte de las obras relativas á las máquinas de vapor ese número varia desde 7000 á 7050 grados, que á mi parecer es demasiado pequeño. La hornaguera ó turba, desprende al quemarse aun mas de 7914 grados de calor. Es cierto que ese combustible contiene siempre cerca de $\frac{1}{20}$ de tierra, pero la gran cantidad de hidrógeno que le acompaña compensa mas que suficientemente los $\frac{1}{20}$ de materia inerte.

125. Son demasiado complicados los cálculos necesarios para determinar rigurosamente el efecto que puede producir la combustion de una kilógrama de carbon, para tratarlos en una obra elemental, y nos limitaremos únicamente á recomendar, á las personas que desean conocerlos, una memoria que M. Combes ha publicado en el tomo IX de los Anales de Minas.

Máquinas locomotrices. — Barcos de vapor.

124. Papin, en 1695, concibió la idea de aplicar la fuerza del vapor á la navegacion¹; Jonatas Hull publicó en 1756

¹ Ya que el autor entra en esta cuestion, que, como alguna otra, nos parece agena de un curso elemental de fisica, citaremos, por temor de pasar por demasiado negligentes, una nota que el señor de Navarrete ha publicado, en 1826, en la correspondencia astronómica del baron de Zach, y que le habia sido trasmitida por D. Tomas Gonzalez, director del real archivo de Simancas; dice así:

la descripcion de un buque de vapor; construyó Perier un barco de esta especie en el Sena en el año de 1775; sin embargo hasta que el americano Fulton se ocupó en esa

« Blasco de Garay, capitan de navío, propuso, en el año de 1545, al emperador Carlos V, una máquina con la que podian vogar las embarcaciones, aun en calma, sin remos y sin velas.

« A pesar de los obstáculos y contrariedades con que luchó este proyecto, ordenó el emperador que se hiciese el esperimento en el puerto de Barcelona, como efectivamente se verificó el día 17 del mes de junio del dicho año de 1545.

« Aun cuando Garay no quiso hacer público su descubrimiento, notóse sin embargo en el momento de la prueba, que consistia en una gran caldera de agua hirviendo, y ruedas de movimiento colocadas á uno y otro lado de la embarcacion.

« Hizose el ensayo en un navío de 200 toneladas, llamado la *Trinidad*, que venia desde Colibre á descargar trigo á Barcelona, á las órdenes del capitan Pedro de Scarza.

« Asistieron á este acto, por orden del emperador Carlos V, D. Henrique de Toledo, el gobernador D. Pedro de Cardona, el tesorero Ravago, el intendente de Cataluña, y algunas otras personas.

« Aprobóse, en todas las relaciones que se hicieron al emperador, la excelencia de esta ingeniosa invencion, sobre todo por la facilidad con que el navío viraba.

« Celoso el tesorero Ravago y enemigo declarado del proyecto, dijo que él haria caminar dos leguas en tres horas las embarcaciones; que la máquina era muy complicada y demasiado costosa, y que habia siempre la esposicion de que la caldera rebentase. Y los otros testigos, á su vez, aseguraban que el navío viraba con tanta velocidad como las galeras, por el método ordinario, andando una legua por hora, cuando menos.

« Acabado el esperimento, se apoderó Garay de la máquina de que habia armado el navío, y depositando el maderage en los arsenales de Barcelona, guardó para sí todo lo restante.

« A pesar de la declarada oposicion y perseveradas contradicciones de Ravago, quedó aprobada la invencion de Garay, y si la espedicion que ocupaba entonces el ánimo del emperador no hubiera sido un grande obstáculo para la realizacion, hubiera, sin duda, obtenido la invencion una acogida mas favorable.

« Concedió sin embargo un grado al inventor, hizole presente de

materia, no se conocían buques completamente perfectos.

Navegaron los primeros barcos de vapor en América en 1807; pasaron á Inglaterra en 1812 y en 1816 se construyeron en Francia.

200,000 maravedises, dió la orden competente á la tesorería para que se le abonasen todos los gastos y adelantos, y acordó por fin otras varias mercedes.

« Resulta, cuanto va referido de los documentos y registros originales que se conservan en los reales archivos de Simancas, entre los papeles del estado del comercio en Cataluña, y los de las secretarías de guerra, de tierra y de mar, del mismo año 1545.

« TOMAS GONZALEZ.

« Simancas, 27 de agosto 1825. »

Hemos tomado esta nota de una noticia sobre las máquinas de vapor, publicada por M. Arago en *les Annales du bureau des longitudes de 1829 et 1837*. Añade ese sabio francés varias razones por las cuales cree que deben desecharse las pretensiones á que da lugar la nota citada, y en resumen presenta las tres causas siguientes: 1.^a que el documento de que se trata no ha sido impreso ni en 1545, ni aun despues; 2.^a que no prueba que el motor de la barca de Barcelona fuera una verdadera máquina de vapor; 3.^a en fin que si, en efecto, habia tal máquina de vapor, seria, segun todas las apariencias, la eolípila de reaccion descrita ya en las obras de Heron de Alejandria.

No me atreveré á comentar ni discutir las razones del señor Arago, por no sentirme con fuerzas suficientes para sostener una polémica con persona de tan avanzada y general reputacion; pero no puedo dejar de observar que, para nosotros, los Españoles, es el archivo de Simancas el tesoro mas respetado de la nacion, y que á pesar de las continuas revoluciones de que nuestro pais ha sido teatro, ningun partido, ningun Español ha dudado un solo momento de la autenticidad de sus documentos. Y en fin permitásenos añadir que si gratuito es suponer que una caldera con agua hirviendo que hacia mover dos ruedas colocadas á los costados del navío, era una máquina de vapor; no es mas riguroso decir que, segun todas las apariencias, no podia ser otra cosa, sino la eolípila descrita por Heron, como asienta el señor Arago en sus conclusiones. — N. del T.

Las ruedas de los barcos de vapor son de paletas, y reciben su movimiento por medio del arbol que directa ó indirectamente comunica con la gran barra que en las máquinas de vapor está sujeta al extremo del balancin, que á causa de la poca altura de las embarcaciones, se halla generalmente debajo de cubierta. Hay casos en que se pone una sola rueda ó popa, y esto basta para que el buque navegue; pero lo mas general es colocar una á cada lado, y el arbol entonces está siempre transversal unas veces en el medio, otras mas cerca de una punta del navío que la otra. Del mismo modo que en todas las demas máquinas de vapor, regúlase en los buques la velocidad por medio de un volante, aunque poniendo dos máquinas, no hay necesidad de aquella pieza; el vapor, v. g. que va desde París al Havre tiene dos máquinas de simple presion, y cuando el émbolo de la una se eleva, desciende el de la otra y asi sucesivamente, consiguiéndose con tal disposicion que el movimiento del arbol sea regular.

Empleábase en un principio y casi esclusivamente la máquina de baja presion; pero en la actualidad se mueven los barcos con las de media y aun alta presion. (Véanse una obra de M. Marestier, el curso de M. Dupin, una nota de M. Morard en los *Annales de Chimie et de Physique*, t. XXIII, y una discusion de M. Arago en el *Annuaire du Bureau des Longitudes*. — 1850).

Carruajes de vapor.

125. Hace algunos años que se han aplicado las máquinas de vapor á la conduccion de carruages en caminos de carriles, á los que comunmente se llaman *caminos de hierro*. Andan 5, 4, 3 y mas leguas por hora arrastrando tras sí un convoy de 8, 12 y 16 carruages cargados de mercancías ó viajeros, y hay caminos en los que se ha logrado

dar 15 leguas por hora, aunque esto es una escepcion porque en los caminos ordinarios, no pasa de 2 á 5 leguas.

No tienen esas máquinas, como el lector podrá imaginar, condensador; funcionan bajo presiones de 5 á 4 atmósferas y tienen comunmente la fuerza de 8 á 10 caballos.

Han sufrido tantas mejoras en estos últimos tiempos, que ya en el día se manejan con facilidad y no son muy dispendiosas.

Armas de vapor.

426. Perkins ha hecho diferentes ensayos para lanzar directamente los proyectiles sirviéndose de la fuerza elástica del vapor, y con una gran rapidez ha llegado á lanzar un número considerable de balas, que á gran distancia taladraban tablas de pino de once líneas de espesor. Colocabalas en una especie de tolva, de donde caía al cañon que las arrojaba en el mismo instante.

Prometiase este ingeniero lanzar del mismo modo las balas de diferentes calibres; pero M. Madalein, capitán de artillería, ha demostrado que el proyecto de M. Perkins no es util para la guerra, asegurando que dicho ingeniero no podrá dar bastante velocidad á los proyectiles, aun cuando sean de los mas pequeños, como balas de á 4. El mismo señor Madalein tomando la cuestion bajo otro punto de vista, cree, que para defender las plazas cuando el enemigo está cerca, puede sacarse partido de las máquinas ordinarias de vapor haciéndolas mover grandes volantes con mucha velocidad y comunicando el movimiento por medio de engranages. Los volantes deberian estar armados de fuertes y elásticas paletas; estas arrojarian uno á uno proyectiles del mismo calibre, y cuyo peso podría

subir hasta diez y seis libras, colocados en una tolva que giraria combinando su movimiento con el del volante, y situando las máquinas en las casamatas, etc. (Véase el diario des *Sciences Militaires*. (Enero 1827).

Máquinas movidas por el ácido carbónico, etc.

427. Ademas del vapor de agua, se han propuesto últimamente como motores, el vapor de mercurio y el gas ácido carbónico. Como el primero presenta muchos inconvenientes, pasaremos inmediatamente á ocuparnos en la máquina de Brunel en la que el ácido carbónico sirve de motor pasando alternativamente de líquido á gas.

Conviértese en líquido el gas ácido carbónico á 56 atmósferas de presión y temperatura del hielo al derretirse, y su fuerza elástica casi se duplica, cuando la temperatura sube 40 á 50 grados, en cuya propiedad se funda la nueva máquina de Brunel.

Representa la Fig. 404 una seccion vertical de la máquina, en la que se ve un cilindro AB, cuyo émbolo P se trata de poner en movimiento.

Son semejantes entre sí los dos cilindros C y C'; ambos estan llenos de aceite hasta la mitad de su altura y sobre sus niveles se ven dos cuerpos flotantes F y F'. Cada cilindro está encerrado en una caja ó cubierta exterior, y el espacio intermedio E sirve para echar alternativamente agua caliente y fria.

El ácido carbónico sale de un gasómetro convenientemente dispuesto y pasa á los cilindros D y D' por medio de una bomba impelente. A su debido tiempo pasa el ácido carbónico á los cilindros C y C'; se liquida en ellos y entonces se cierran las aberturas O y O' por donde se ha introducido.

Si se pone agua caliente en el espacio E del cilin-

dro C, por ejemplo, entonces se convierte en gas el ácido carbónico que comprimiendo al cuerpo flotante F y este al aceite, hace subir al émbolo P. Llega despues el agua caliente á la cubierta E' y el agua fria á la cubierta E, y entonces, por la inversa, el émbolo descende; de manera que la fuerza de impulsión es la diferencia entre las elasticidades del ácido carbónico á la temperatura ordinaria y la de 50 á 60°.

No se ha establecido aun en grande ninguna máquina de esta especie, porque presentan graves inconvenientes; primeramente como la presión interior es muy considerable, es necesario que todas las partes ajusten muy bien unas con otras para que no se salga el gas, y que sean muy recias para evitar las explosiones. En segundo lugar, los cambios repentinos de temperatura deben deteriorar los cilindros que contienen el ácido carbónico y el gran consumo de agua caliente debe aumentar los gastos; de manera que es mas que probable que esta máquina no presente ventajas positivas al ponerla en práctica aunque es siempre una ingeniosa aplicación de las propiedades de los gases, por cuya razón nos ha parecido oportuno describirla.

Creemos que los nuevos descubrimientos de Thylorier sobre el ácido carbónico líquido, darán margen á nuevos proyectos de máquinas mas sencillas.

De las explosiones de las máquinas de vapor.

428. Por desgracia, sucede en ciertas ocasiones que las válvulas de seguridad no son bastante eficaces para impedir las explosiones, de cuya fuerza podrá formarse idea por los ejemplos que vamos á dar á continuación. El 5 de febrero de 1814 rebentó la caldera de una máquina de vapor que con la presión de 4 atmósferas funcionaba

en una fábrica de aguardientes de Loctrin, cerca de Edimburgo; un gran trozo de la caldera, cuyo peso era de 440 quintales, atravesó el techo elevándose á 70 pies de altura. El 4 de marzo de 1827 rebentaron á un tiempo varias calderas del buque llamado Ródano, lanzando masas de 50 quintales á mas de 250 metros de distancia, de resultas de que el ingeniero habia cargado las válvulas con esceso.

2º Podriamos citar varios ejemplos de explosiones precedidos en unos casos de la abertura, ó despues de haber descargado las válvulas, y en otros, de una disminución notable en la elasticidad del vapor. Los señores Tabareau, Rey, etc., han observado que cuando las válvulas se abren aumenta en seguida el resorte del vapor. Arago y Dulong han obtenido lo contrario en los esperimentos, cuyos principales resultados hemos espuesto en el número 496 del tomo I.

La esplicación de las explosiones producidas en el momento en que se abre la válvula y cuando no hay mucha agua en la caldera, no es difícil de comprender. Cuando no es abundante el agua de la caldera, puede suceder que su parte superior esté á la temperatura roja del mismo modo que el vapor que está en contacto con ella, y que la superficie del agua sea mas pequeña, que en las circunstancias ordinarias en que la caldera funciona con regularidad.

Tambien puede suceder que ademas de todo eso la temperatura del agua no pase de 100 y algunos grados. Si en tal estado se abre la válvula, disminuye la presión, y una porción del agua será proyectada contra la parte superior de la caldera, y trasformándose súbitamente en vapor, adquirirá una elasticidad capaz de vencer la resistencia de la caldera y determinará súbitamente su explosión.

Algunas veces tambien se aplastan, abriéndose en se-

guida, los cilindros de las calderas de hogar interior, á causa de la presión del vapor contenido en el espacio anular; el agua caliente se esparce entónces por los talleres ó el edificio en que está colocada y suele causar graves daños. Es indispensable que en tales casos se forme un vacío en el cilindro mas pequeño. Cuando se cierra el registro ó compuerta de la chimenea, dejando abierto el hogar, continúan desprendiéndose los gases de la combustión, y mezclándose entónces con el aire del hogar puede efectuarse la detonación, á la que seguirá un vacío que producirá acto continuo la explosión del cilindro; tal es la explicación que ha dado John Taylor de la explosión del Mold-Mines en la que se notó una bocanada de llamas antes que el cilindro interior rebentase.

M. Arago, en un artículo (*Annuaire* 1850), de donde hemos tomado los hechos citados, observa que sería muy útil dar mayor latitud á los boquetes de las válvulas. Cree además que los ensayos que se hacen con las calderas no son suficientes para impedir las explosiones, 1º porque esos ensayos se hacen á frío, y es sabido que la tenacidad del hierro forjado es mucho menor en caliente que en frío; 2º porque un aumento súbito de la elasticidad del vapor puede ocasionar una ruptura en el mismo punto en que no producía el mas mínimo efecto una presión graduada; 3º porque la caldera se deteriora con el tiempo; 4º porque permaneciendo largo tiempo la válvula de seguridad en reposo, puede perder la facultad de moverse con libertad á causa de la oxidación.

(Véanse en los *Anuarios* ó de 1829 ó 1857 un artículo de M. Arago sobre la historia de las máquinas de vapor.)

129. «M. Jacquemet¹, de Burdeos, acaba de señalar un

¹ M. Lamé, en su *Curso de Física de la Escuela Politécnica*, dice en la pág. 474 del tom. I, lo que copiamos en el texto. — N. del T.

hecho enteramente desconocido, del que puede deducirse una nueva teoría de las explosiones de las calderas. Hé aquí en que consiste ese fenómeno. Cuando en una caldera existe una presión superior á la de la atmósfera y se da salida al vapor por la parte mas alta, sale únicamente vapor si dicha sección es muy pequeña relativamente á la de la pared en contacto con el fuego. Si el boquete es mayor se desprende juntamente con el vapor, una cierta cantidad de agua, tanto mas abundante cuanto mayor es su sección. Por fin llegado un cierto límite de sección, inferior siempre á la que tienen las válvulas, no sale mas que agua que obstruyendo el paso al vapor, hace primero ceder al manómetro, pero el nivel de este sube luego con tal rapidez, que sería peligroso prolongar tal situación.

« La explicación siguiente abraza perfectamente todas las circunstancias del fenómeno. Si la tensión del vapor es de 5 atmósferas, por ejemplo, y se levanta una válvula que deje gran abertura, disminuye súbitamente la presión interior, pues que el barómetro desciende en el mismo instante. De aquí resulta que gran parte del líquido se trasforma en vapor que gana el orificio de salida arrastrando consigo el cieno del fondo de la caldera.

« Un chorro de la misma sección, formado de vapor puro, saldría bajo la presión de 5 atmósferas con una velocidad de 562 metros por segundo, llevándose una cantidad de calor latente que podría llegar á ser, al maximum, diez veces mayor que el que produce el hogar; resultaría de aquí enfriamiento súbito en la caldera y su temperatura descendería á 400°. Pero cuando el chorro se compone casi esclusivamente de líquido, las circunstancias no son las mismas. La masa es entónces mas considerable, y su velocidad, bajo la misma presión, se reduce á 28 metros por segundo; cierto es que el agua que sale de este

modo roba á la caldera una cantidad de calor mucho mayor que cuando el chorro es de vapor puro, pero es sin embargo facil de ver que la temperatura interior, á pesar de eso, debe crecer. En efecto, el vacío que deja el líquido detras de sí, es reemplazado por el vapor que toma su calórico latente al calor termométrico del agua contenida; pero esta pérdida que no es, segun la relacion de las susodichas velocidades, mas que la vigésima parte de la que resultaria del primer chorro, es ademas la mitad del calor que produciria el hogar. El exceso de ese calor debe, por consiguiente, elevar la temperatura de la caldera; la densidad y elasticidad del vapor interior deben tambien aumentarse.

« Si el calor penetrara únicamente por la parte inferior y se dividiera uniformemente entre toda la masa líquida, como acontece en el estado normal, la elevacion de temperatura seguiria una progresion bastante lenta. Pero si á consecuencia del descenso de nivel una parte de las paredes y el vapor se hallaran muy calientes en el momento de empezar el chorro, se formarían una porcion de vapores, no instantánea sino rápidamente, lo cual explicaria suficientemente la ascension del manómetro. En efecto, en tales circunstancias, bastarian algunos segundos para que la tension subiera desde 5 á 14 atmósferas. En resumen, segun M. Jacquemet, la proyeccion del agua sobre paredes muy calientes, no basta para explicar la explosion, porque la formacion de vapor que se sigue no es instantánea sino que se prolonga durante un cierto número de segundos: en este corto instante, los chorros de vapor que salen por las válvulas bastan para oponerse á un aumento peligroso de tension. Pero si esta funcion importante de las válvulas se destruye en parte por los chorros casi líquidos, la formacion rápida de vapores que resulta del contacto de la espuma con las partes muy calientes, puede ocasionar la explosion; porque hallándose

obstruidas las aberturas, no deben cesar los progresos de la presion interior.

« El fenómeno que sirve de base á esta teoria es análogo á otros varios hechos conocidos. La diferencia del chorro, segun la seccion de la abertura, se observa al destapar las botellas llenas de licores cargados de gas, como el vino de Champaña, la cerveza, etc., sin soltar el tapon se le debe inclinar en el cuello para formar una abertura bastante ancha y entonces sale únicamente el gas; si esa abertura es muy ancha el chorro es totalmente líquido, y cuando el corcho cede enteramente á la presion interior, la espuma le sigue inmediatamente, y sale el líquido casi en totalidad cuando hay mucho gas disuelto. El estado de la masa heterogénea contenida en la caldera, cuando sale el chorro líquido, es comparable al de la leche hirviendo sobre un hogar bastante activo; todo el mundo sabe que este líquido se convierte en espuma, y que el único medio que se conoce para impedir que se salga de la vasija es retirarla del fuego ¹.

¹ Hay todavía otra causa mas poderosa que contribuye á las explosiones de las calderas, y la mas terrible de todas. Cuando la caldera no contiene mucha agua, y la temperatura del hogar es enérgica, se descompone parte del vapor del modo siguiente; todo el mundo sabe que el agua, y de consiguiente su vapor, se compone de dos gases, oxígeno é hidrógeno; el primero, en el caso presente, se combina con el hierro, y le oxida, ó enmohece, como vulgarmente se dice; el segundo tiene la propiedad de detonar cuando se halla *mezclado* (no combinado químicamente, sino mezclado mecánicamente) con el oxígeno ó el aire atmosférico. Estos hechos que son consecuencia de las leyes de la afinidad y propiedades químicas de los cuerpos, son conocidos desde hace mucho tiempo; pero nadie sospechaba que podían ocasionar en las calderas las explosiones de que hablamos, porque estaba generalmente admitido que en esas calderas no habia aire que pudiera mezclarse con el hidrógeno. En este mismo año, M. Jobard, profesor del Museo de la Industria de Bruselas, se ha ocupado en ese asunto, probando, despues de repetidos experimentos, que las bombas alimenticias introducen en la caldera

450. « Esta es la ocasion de referir un hecho muy singular que se observa en el vapor que se escapa por la válvula de seguridad de una caldera. Si se coloca la mano en medio del chorro se experimenta una sensacion de calor muy diferente, segun que la caldera es de alta ó de baja presion : en el último caso es insufrible el calor y se que-

ciertas cantidades de aire, y que todo lo demas se verifica del modo que hemos espuesto. Pero añade ademas que hay todavía otro hecho con el que puede explicarse la incandescencia de la mezcla. En efecto, es sabido que cuando un chorro de vapor sale rozándose contra los bordes del boquete de una válvula, etc., se produce electricidad; de aquí resulta la chispa que, al desprenderse, inflama la mezcla detonante, segun han experimentado M. Jobard y algunos otros individuos del ya citado Museo. Esto explica porqué las esplosiones se verifican casi siempre, ó cuando la máquina empieza á funcionar, ó cuando se levanta alguna válvula. Por otra parte, es mas que probable que el disco de la válvula produzca en ciertos casos el efecto del platillo de electróforo (véase su descripcion en el cap. *Electricidad*) al levantarse de su asiento. Añade por fin M. Jobard que cree casi imposible, segun sus experimentos, que una caldera llena de agua fria ó caliente pueda reventar, porque los agujeros, antes de romperse, se ovalan ó dejan salir el vapor y el agua por todas partes.

Cree que de 7 á 14 partes de gas hidrógeno se mezclan con 400 de aire, y producen las mezclas de que se ha hablado.

Como las calderas de cobre no pueden descomponer el agua, las creemos ventajosas á las de hierro para este género de accidentes.

Tienen otra ventaja las de cobre, y es que ese metal se utiliza cuando las calderas están estropeadas, al paso que el hierro en tal estado no puede aprovecharse.

En el párrafo 244 del tomo I, y refiriéndonos á la obra de M. Lamé, citamos un hecho muy singular, á saber, que el agua á una temperatura muy elevada se evapora lentamente, y que la evaporacion es casi repentina cuando baja la temperatura. Por esta razon, es muy peligroso disminuir súbitamente el calor de los hogares de las calderas, cuando están muy calientes, porque, bajando entonces repentinamente de temperatura, puede producirse instantáneamente tal cantidad de vapor, que ni la caldera ni las válvulas basten á contenerle, y entonces es inevitable la esplosion. — N. del T.

ma la mano como si se metiera en el agua hirviendo; en el primero, es decir, cuando es de alta presion, es muy tolerable el calor y la mano puede permanecer impunemente en medio del chorro.

« Cuando la caldera es de baja presion, posee el vapor la misma fuerza elástica que el aire que desaloja, conservando su densidad y la temperatura de 400°. Cuando es de alta presion, el vapor tiene una tension de muchas atmósferas; se dilata rápidamente al mezclarse con el aire, y una parte de su calor sensible se convierte en calor latente; si esa dilatacion cesa cuando la tension del vapor llegase á ser igual á la presion atmosférica, la temperatura del chorro descende á 400°; pero en virtud de la velocidad adquirida por las moléculas de gas, pasa ese limite la dilatacion, se mezclan el vapor y el aire, y disminuyendo su temperatura, baja tanto mas cuanto mas considerable era la tension primitiva; de manera que es necesario que la temperatura final no pase de 50 á 400 para que sea soportable la sensacion que produce. » (Lamé)