



TREDGLOD

MAQUINAS

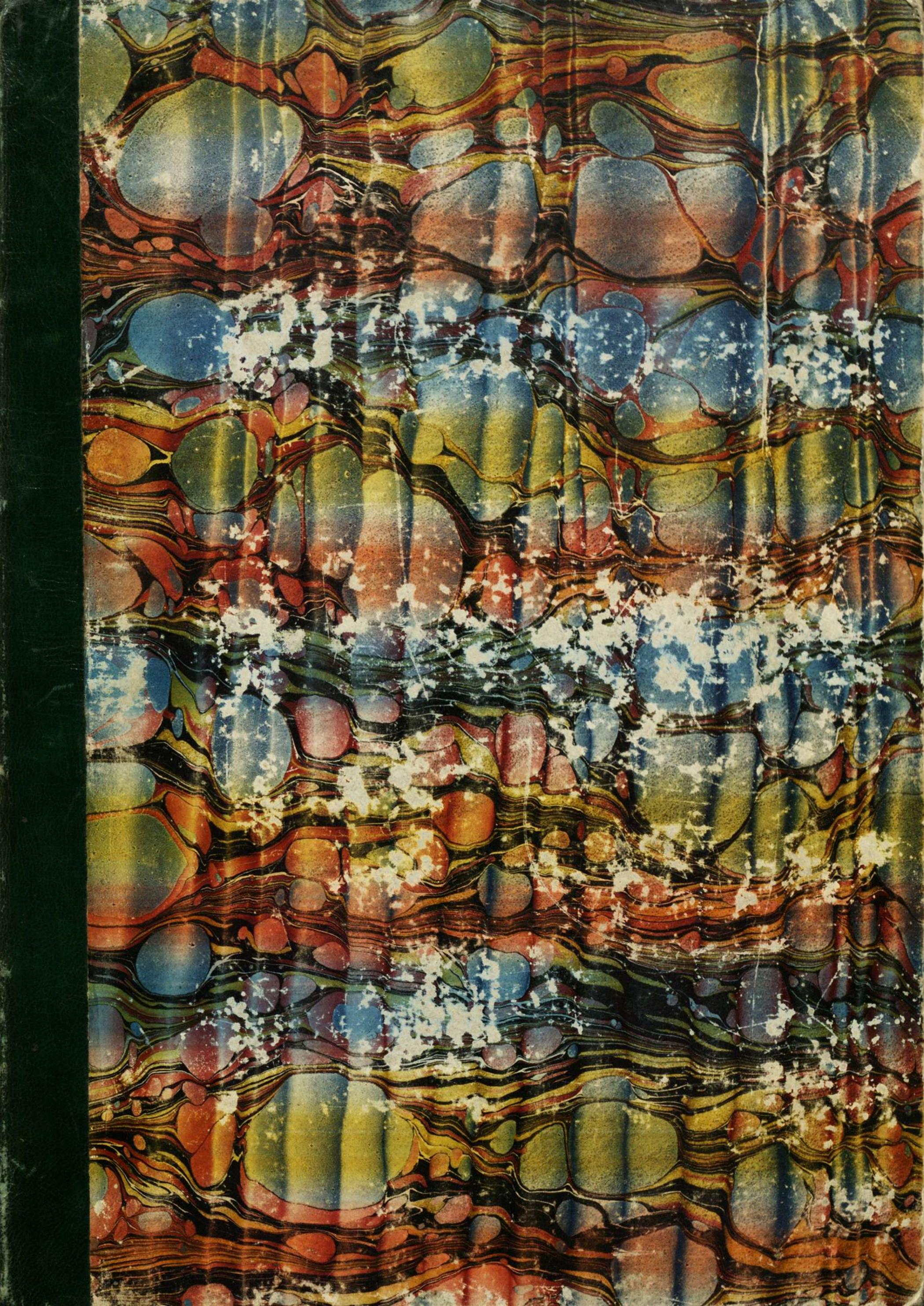
DE

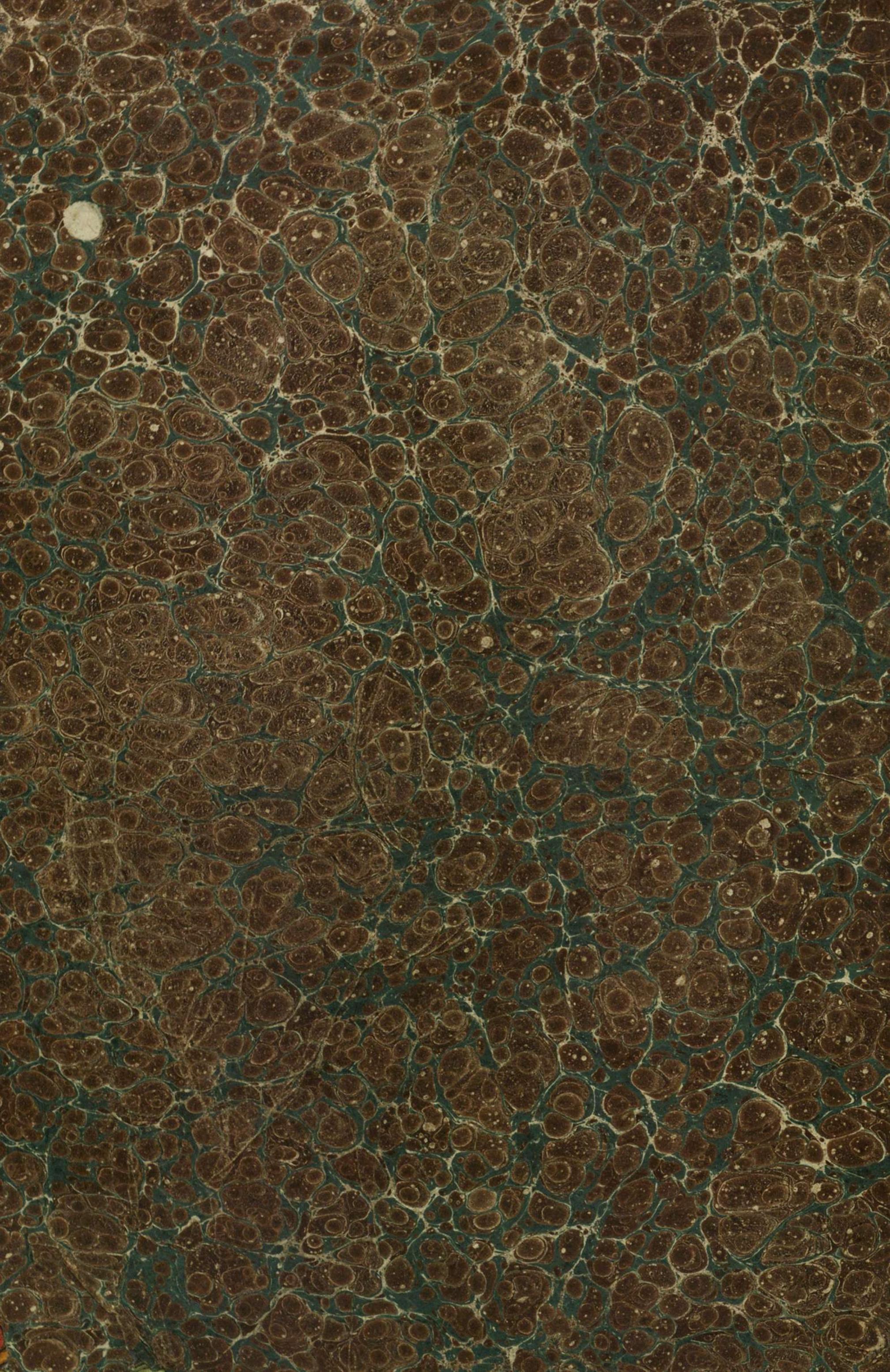
VAPOR



214









UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID



0400107151

X

TRATADO

DE LAS

MAQUINAS DE VAPOR,

Y DE SU APLICACION

A LA NAVEGACION, MINAS, MANUFACTURAS ETC.

Nº 2040

Libro nº 204 tabla 2ª
Acto

TRATADO

MAQUINAS DE VAPOR

A LA YAZONIA DE LA UNIVERSIDAD DE LA PLATA

23 c

214

TRATADO DE LAS MAQUINAS DE VAPOR,

Y DE SU APLICACION

A LA NAVEGACION, MINAS, MANUFACTURAS etc.

CONTIENE

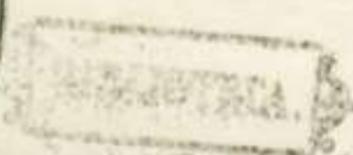
LA HISTORIA DE LA INVENCION Y MEJORAS SUCESIVAS DE ESTAS MAQUINAS, LA ESPOSICION DE SU TEORIA Y DE LAS PROPORCIONES MAS ADECUADAS DE SUS DIVERSAS PARTES, ACOMPAÑADA DE UN GRAN NUMERO DE TABLAS SINOPTICAS QUE COMPRENDEN LOS RESULTADOS MAS UTILES PARA LA PRACTICA, CON UN ATLAS DE VEINTE Y CUATRO LAMINAS Y SU ESPLICACION POR SEPARADO:

ESCRITO EN INGLÉS

por el Ingeniero civil TH. TREDGOLD, traducido al francés por F. N. MELLETT, y de este idioma al castellano



de orden del Rey N. S.,



A QUIEN VA DEDICADO,

por Don Gerónimo de la Escosura,

del Consejo de S. M., su Secretario con ejercicio de decretos, Vocal de la Real Junta de Fomento de la riqueza del Reino.

MADRID: SETIEMBRE 1831.

Imprenta de D. Leon Amarita.

C-4

El Rey R. S.

Señor:

Entre las repetidas y señaladas muestras
del paternal anhelo con que V. M. procura

labrar la felicidad de sus súbditos, ocupará siempre un distinguido lugar la de la publicación de esta obra á espensas de su augusta munificencia.

A la aplicación inmediata de sus luminosos principios á las artes debe en gran parte la industria estrangera el rápido vuelo que ha tomado en estos últimos años, y deberá sin duda sus progresos la española, si sabe aprovecharse de la protección y fomento que el magnánimo corazón de V. M. está siempre pronto á dispensar á todos los conocimientos útiles y ventajosos.

Mas en tanto que el tiempo acelera dia tan suspirado, dignese V. M. permitirme que anticipándome á la espresion de la gratitud

*pública, llegue á ofrecer á los pies de su Poe-
gio Solio el homenaje de mi mas respetuoso
y profundo reconocimiento.*

Señor:

A L. R. P. de V. M.

Su mas humilde y fiel vasallo

Gerónimo de la Escosura.

PRÓLOGO

DEL AUTOR.

Entre las varias obras publicadas sobre una materia de tan grande importancia nacional como las máquinas de vapor, no hay una sola ni en nuestra lengua ni en las extranjeras, en que se espongan completamente y de una manera satisfactoria los principios de estas máquinas. Esta circunstancia basta por sí sola para hacer inútil y superflua cualquiera otra apología de la obra que ahora ofrezco al público. Como Autor he reclamado frecuentemente, y tal vez no en valde, su atencion; y espero merecerle hoy igual acogida, y sobre todo acreditar, por el esmero y cuidado que he puesto en este importante trabajo, el valor que doy al carácter, en cierto modo público, que he adquirido, como tambien á las numerosas exhortaciones que se me han hecho. Hemos oido con mucha frecuencia á los matemáticos en estos últimos tiempos lamentarse de la falta de proteccion, y censurar la autoridad sobre su negligencia en fomentar las ciencias, olvidándose de que las investigaciones, de cualquiera especie que sean, jamás serán apreciadas sino en razon de su utilidad inmediata; pero mientras que continúen limitando su estudio á conocimientos abstractos, y no dediquen la mayor parte del tiempo á hacer la aplicacion de ellos á las necesidades y bien estar de la sociedad, se deberán resignar á no obtener mas que una escasa porcion de las ventajas que resultan de la combinacion de la capacidad teórica con la habilidad práctica. Que se acuerden de que Watt no hubiera adquirido ninguna reputacion, si hubiese vivido en un siglo ó en un

pais, en que no fuese conocida la importancia de la potencia mecánica. Mas no se crea que por estender las aplicaciones de las ciencias á las artes, he dejado de añadir alguna cosa á los progresos de la ciencia pura, pues lejos de desconocer el mérito de las investigaciones abstractas, deseo que se continúen con nuevo vigor por los que tienen bastante fortaleza para abrirse paso por medio de las preocupaciones de los sistemas existentes, y que solo quieren estudiar en la naturaleza. Sin embargo no debemos entregarnos á la cultura de las ciencias sino con el deseo de alcanzar el gran fin de todas las investigaciones humanas; es decir, el de mejorar y perfeccionar la condicion del hombre; de lo contrario los sueños fantásticos de los filósofos de la Grecia tendrian los mismos derechos á la atencion de los hombres estudiosos. Espero que estas advertencias animarán á los que tratan de adelantar nuestros conocimientos, ya sea con la energia que presta el vigor de la juventud, ó ya con el entusiasmo mas permanente aun de la edad madura. El arte, bien asi como la naturaleza, debe ser siempre el resultado de las proporciones y leyes invariables que rigen la materia, y se puede decir que sus objetos no tienen límites verdaderamente. La imperfeccion del entendimiento humano nace en general de que no está en estado de prever todas las circunstancias que influyen sobre los fenómenos; pero á medida que vamos adquiriendo conocimientos, adquirimos tambien mayor fuerza de comprension: lo que al principio era difícil, se hace despues fácil; y muchas veces la inteligencia se despierta por los rayos luminosos de la verdad, que penetran, por decirlo así, accidentalmente al través de una nube de ideas confusas, y muestran de un golpe con la mayor claridad la verdadera solucion de las dificultades: entonces es, como lo ha notado mi sabio compatriota Emerson, quando desaparecen en un instante las fatigas de la investigacion de la verdad.

Daré ahora una idea de esta obra, que sin duda parecerá demasiado estensa para su objeto; pero aunque se limita al estudio de un solo motor, la potencia de este agente es gigantesca, y abraza tal número de doctrinas, tan nuevas é importantes en la mecánica pura y aplicada, que

era imposible, en rigor, encerrar este tratado en menor espacio.

La obra se divide en diez secciones.

La *primera* contiene la historia de los adelantos progresivos de las máquinas de vapor, desde la época en que las propuso por primera vez el marques de Worcester hasta los últimos grados de perfección á que han llegado en nuestros días.

La *segunda* presenta el análisis de la naturaleza del vapor del agua y de los otros vapores; las leyes de su combinación con el calor; las de su fuerza elástica, de su densidad y su potencia dinámica comparada: los principios y métodos del cálculo de su velocidad, de las pérdidas de fuerza por el enfriamiento, etc. En esta sección se demuestra que de todos los fluidos que se conocen, el mas á propósito para la producción del vapor es el agua.

La *tercera sección* trata de las leyes de la combustión, y de la potencia calorífica de diversas especies de combustibles; de las proporciones de los fogones y chimeneas para las calderas de vapor, así como de las precauciones que se deben tomar para su seguridad y eficacia. En esta misma sección se hallará también una discusión completa sobre la naturaleza y uso de los aparatos de seguridad, seguida de la exposición de las leyes relativas á la condensación del vapor.

La *cuarta* está dedicada á la valuación de la potencia producida por una cantidad dada de vapor, y á los diferentes modos de realizarla. Esta exposición se presenta á un mismo tiempo bajo un punto de vista elemental, y bajo la forma científica: un artículo trata especialmente de las imperfecciones teóricas de las máquinas rotantes. Siguen después los diferentes modos de aplicar la fuerza del vapor, con la clasificación de las máquinas que de aquí resultan. La sección se termina por la investigación de la velocidad, y de las proporciones que dan el *maximum* de efecto en las máquinas, y por la exposición de la naturaleza y servicio de las bombas de aire, así como de la pérdida de fuerza que ocasiona su juego.

La *quinta* trata de la construcción de diversas variedades de máqui-

nas sin condensador. Estas máquinas son todas de alta presión, y se han desenvuelto, con respecto á cada una de ellas, las causas de la pérdida de efecto, los medios de emplear el vapor con la mayor ventaja, y en fin los métodos para calcular su potencia dinámica, y las proporciones de sus partes.

En la *sesta sección* se trata del mismo modo de la construcción, proporciones, potencia y resultados económicos de las máquinas de condensador.

En estas dos secciones no solo se esponen por primera vez, sino que se reducen á una medida precisa todas aquellas pequeñas causas que atacan la acción del vapor; y esta valuación me parece que está hecha de una manera que puede ser muy útil, no solo para los que quieren hacer aplicación de las máquinas de vapor, sino tambien para los que tratan de perfeccionarlas.

La *séptima sección* tiene por objeto el examen de las proporciones y construcción de las partes de las máquinas, tales como las llaves, válvulas, tiradores, émbolos, cajas de estopas, etc.; los distintos modos de juego de las válvulas y reguladores; la descripción de los diferentes medios de mantener en una dirección rectilínea los vástagos de los émbolos; y en fin el hacer investigaciones sobre los movimientos del manubrio. Se han añadido algunas reglas prácticas para establecer la fuerza de resistencia que conviene á las diversas partes de las máquinas, y especialmente á las calderas de diferentes formas.

La *octava sección* trata primeramente de los modos de regularizar el juego de las máquinas de vapor, ya sea por medio de volantes, ya con el auxilio de contrapesos; en segundo lugar, de los medios de arreglar la fuerza de las máquinas, valiéndose de válvulas, reguladores ó moderadores; en tercero, de los procedimientos para determinar el estado y la intensidad de las fuerzas de las máquinas, así como de los métodos para calcular su efecto dinámico; y en cuarto y último lugar, del modo de manejar las máquinas de vapor.

En la *sección novena* se esponen las aplicaciones de la fuerza del va-

por á la elevacion de las aguas, al desagüe de las minas y estraccion de los minerales, al movimiento de las máquinas de las fábricas y de la agricultura, y en fin al transporte por ruedas en los caminos de hierro.

La *décima seccion* se destina á la navegacion por el vapor. Contiene investigaciones sobre la estabilidad de los barcos, sobre la resistencia que experimentan á moverse en los fluidos, sobre los medios de hacerlos andar, y sobre las proporciones que se deben establecer entre la potencia motriz y los efectos que se desean. Estas investigaciones son precisamente nuevas, porque la teoría de la resistencia de los fluidos, enseñada hasta aqui en las escuelas, es errónea é inaplicable. He procurado, pues, esponer mis propios métodos, mas bien bajo un punto de vista elemental, que no bajo una forma rigurosamente científica, reservándome esplanar en una obra separada mis ideas sobre este ramo importante de la ciencia.

Las tablas que se ponen al fin de esta obra no dejarán de ser útiles para la práctica: las láminas van acompañadas de leyendas que facilitan la inteligencia de algunos lugares, cuya aclaracion tienen por objeto, y que me permiten referirme á ellas.

Debo á la amistad y generosidad de algunos de mis compañeros muchas noticias, que no hubiera adquirido sino por ellos; sin embargo, algunas no llegaron á tiempo, como no sea para mi propia satisfaccion, cuando las he hallado conformes con los principios sentados en este tratado. No he puesto mas que una parte de las esperiencias del Señor Bevan sobre la resistencia de los barcos, porque las otras se resienten de la seccion limitada del canal en que se hicieron. La lámina XVII me la facilitó el Sr. White, mecánico, y algunas otras se escogieron entre los bellos grabados hechos por Clemente, y publicados en el *Bosquejo histórico de las máquinas de vapor* de Partington; el resto se grabó por mis propios dibujos.

Mi objeto principal ha sido guiar al lector en el estudio de los principios de las máquinas de vapor, y suministrarle, no solo los materiales de este estudio, sino tambien los métodos de raciocinio, va-

riándolos suficientemente, para ponerle en estado de resolver todos los casos nuevos que puedan presentársele. Cuanto mas se entregue á este estudio, conocerá mejor la utilidad de los primeros pasos que habré dado examinando un asunto tan vasto como interesante.

Concluiré con las palabras que dijo Newton en una circunstancia mas grave: «Deseo sinceramente que se lean mis escritos con candor, y que se atienda menos á echarme en cara los defectos en que he incurrido, que á suplirlos haciendo nuevas investigaciones.»

TH. TREDGOLD.

MEDIDAS Y VALORES

EMPLEADOS EN ESTA TRADUCCION.

Las medidas que se emplean son siempre las métricas, á menos que se prevenga lo contrario.

Las medidas antiguas son esclusivamente las inglesas.

Hé aqui la correspondencia entre las medidas métricas francesas, las inglesas y las españolas.

Medidas métricas.	Medidas inglesas.	Medidas españolas.
1 metro	= 3pies, 281	= 3pies, 588.
1 <i>id.</i> cuadrado	= 10pies cuadr., 764	= 12pies cuadr., 880.
1 <i>id.</i> cúbico	= 35pies cúb., 316	= 46pies cúb., 226.
1 decímetro	= 3pulgadas, 937	= 4pulgadas, 306.
1 <i>id.</i> cuadrado	= 15pulgadas cuadr., 488	= 18pulgadas cuadr., 547.
1 <i>id.</i> cúbico	= 63pulgadas cúb., 90	= 79pulgadas cúb., 879.
1 centímetro	= 0pulgadas, 3937	= 0pulgadas, 4306.
1 <i>id.</i> cuadrado	= 0pulgadas cuadr., 155	= 0pulgadas cuadr., 185.
1 <i>id.</i> cúbico	= 0pulgadas cúb., 064	= 0pulgadas cúb., 079.
1 miriámetro	= 6millas, 211	= 1legua, 8.
1 kilometro	= 0millas, 621	= 0leguas, 18.
1 grama	= 15, 48granos de troy	= 20granos, 031.
1 hectograma	= 3onzas, 528avoir du poids	= 3onzas, 477.
1 kilograma	= 2lib., 205	= 2lib., 173.
1 tonelada métrica	= 0ton., 964	= 1ton., 086.
1 grado centesimal	= $\frac{2}{5}$ de 1.º de Fahrenheit.	

La temperatura centesimal = $\frac{2}{5}$ de la temperatura de Fahr. disminuida de 32º,

$$\text{ó } T = \frac{5}{9} (T' - 32).$$

Las otras unidades adoptadas en esta obra son:

Unidad de calor, 1 kilograma de agua elevado á 1º;

Equivale á 3lib., 97 de agua elevadas á 1º de Fahr. ó cerca de 4 unid. ingl.

Unidad dinámica, 1 metro cúbico de agua elevado á 1 metro;

Equivale á 115pies cúb., 9 de agua elevados á 1 pie,

$$\text{ó } 7243\text{lib. de agua elevadas á 1 pie.}$$

:

Unidad de potencia para las máquinas de vapor.

FUERZA DE UN CABALLO. (Vapor.)	por segundo.	por minuto.	por hora.	
En medidas métricas. .	75kil.	4500kil.	270000kil., ó	270m.cub. } elevados á 1 metro
En medidas inglesas. .	54 ² lib.,6	32556lib.	1953360lib., ó	31254p. cub. } elevados á 1 pie.
Id. (Valuacion de Watt.)	550lib.	33000lib.	1980000lib., ó	31680p. cub.

Valores comparativos de las presiones.

PRESIONES.	COLUNA de agua equivalente.	COLUNA de mercurio equivalente.	PRESION por superficie cuadrada.	PRESION por superficie circular.
Presion de 1 atmósfera.	10met., ² / ₃	76 centim.	Por cent., 1kil., ² / ₃	Por cent., 0kil.,8116
	33pies.,9	29pulg.,92	Por pulg., 14lib.,7	Por pulg., 11lib.,55
Presion de 1 kilograma por centímetro cuadrado.	10met.	73,5 cent.	Por cent., 1 kil.	Por cent., 0kil.,785
	32pies.,81	28pulg.,94	Por pulg., 14lib.,2	Por pulg., 11lib.,17
Presion de 1 kilograma por centímetro circular..	12met.,37	93,6 cent.	Por cent., 1kil.,237	Por cent., 1 kil.
	41pies.,78	37pulg.,7	Por pulg., 18,08	Por pulg., 14lib.,2

Resulta de esta tabla, que la presion de una atmósfera equivale con corta diferencia á una columna de agua de 10 metros, ó á una columna de mercurio de $\frac{2}{3}$ de metro, ó á una presion de un kilograma por centímetro cuadrado, ó en fin, á una presion de 8 hectogramas por centímetro circular. En la mayor parte de los casos estos valores aproximados serán bastantemente exactos para la práctica, y harán los cálculos mucho mas fáciles.

TABLA DE LAS MATERIAS.

Fechas.	Artículos.	Pág.
Prólogo del Autor.....	I	
Medidas y valores empleados en la traducción.....	XIII	

SECCION PRIMERA.

Historia de la invencion y mejoras sucesivas de las máquinas de vapor.

1663. Marques de Worcester.....	4 ..	3
1683. Sir Samuel Morland.....	5 ..	5
1690. Dionisio Papin.....	6 ..	6
1698. Tomás Savery.....	7 ..	7
1698. Dionisio Papin.....	8 ..	9
1705. Tomás Newcomen.....	10 ..	10
1718. Enrique Beighton.....	11 ..	14
1720. Leupold.....	12 ..	15
1736. Jonathan Hulls.....	14 ..	16
1739. Bernardo Belidor.....	15 ..	18
1741. Juan Payne.....	16 ..	<i>ibid.</i>
1751. Francisco Blake.....	19 ..	22
1757. Keane Fitzgerald.....	20 ..	24
1758. Guillermo Emerson.....	21 ..	25
1762. José Black.....	23 ..	26
1765. Juan Smeaton.....	24 ..	<i>ibid.</i>
1766. Juan Blakey.....	25 ..	31
1769. Jaime Watt.....	26 ..	32
1781. Jonathan Hornblower.....	32 ..	39
1782. El Marques de Jouffroy.....	34 ..	41
1788. Patricio Miller.....	36 ..	<i>ibid.</i>
1790. Bentancourt.....	40 ..	43
1790. R. de Prony.....	41 ..	<i>ibid.</i>
1795. Juan Banks.....	42 ..	45
1797. Edmundo Cartwright.....	43 ..	<i>ibid.</i>
1797. Juan Curr.....	44 ..	48
1799. Mateo Murray.....	46 ..	49
1799. Guillermo Murdoch.....	49 ..	50

Fechas.	Artículos.	Pág.
1801. Juan Robison.	50 ..	51
1801. Jose Bramah.	52 ..	53
1801. Juan Dalton.	54 ..	55
1802. Guillermo Symington.	55 ..	56
1802. Trevithick y Vivian.	56 .	<i>ibid.</i>
1804. Arturo Woolf.	57 ..	57
1806. Oliverio Evans.	58 ..	59
1807. Roberto Fulton.	59 .	<i>ibid.</i>

SECCION SEGUNDA.

De la naturaleza y propiedades del vapor, su fuerza elástica y expansiva, y su potencia dinámica.

Del equilibrio del calor.	65... 64
Del calor propio para la evaporacion del agua y de los otros cuerpos.	71- 82... 65
De la fuerza elástica del vapor de agua y de los otros vapores.	83... 76
Regla para la fuerza del vapor de agua.	88... 81
Esperiencias de Watt sobre el vapor de agua salada.	94... 84
Esperiencias del mismo sobre el vapor de agua pura.	94... 86
Esperiencias de Robison.	95... <i>ibid.</i>
Esperiencias de Dalton.	96... 89
Esperiencias del doctor Ure.	98... 92
Esperiencias de Southern.	99... 95
Esperiencias del señor Taylor.	100... 96
Esperiencias del señor Arsberger.	102... 97
De la fuerza elástica del vapor de espíritu de vino.	104-105... 100
Fuerza elástica del vapor de éter sulfúrico.	106-108... 103
Esperiencias de Cagniard de la Tour.	107... 104
Esperiencias del doctor Ure y de Dalton sobre el éter.	108... 105
Fuerza elástica del sulfuro de carbono.	109... 106
Esperiencias de Cagniard de la Tour.	111... 107
Fuerza elástica del vapor de aceite de petroleo, de la esencia de Terebentina y del gas del aceite.	113... 109
Fuerza elástica de los gases comprimidos.	115-117... 111
Esperiencias de Faraday.	117... 112
Ensayos del señor Brunel.	113
Fuerza elástica de los vapores separados de los líquidos que los produgeron.	118... 114

TABLA DE LAS MATERIAS.

XIX

Artículos. Pág.

Volumen ocupado por el vapor de una fuerza elástica dada.....	120...116
Mezcla de aire y de vapor.....	122-126...118
Esperiencias del general Roy.....	125...119
Del movimiento de los fluidos elásticos y de los vapores.....	127-134...121
Movimiento del vapor en una máquina.....	135...123
Pérdida de fuerza por el enfriamiento del vapor en los tubos.....	145...128
Area de los tránsitos ó pasos del vapor.....	150-154...130
Pérdida de fuerza en el cilindro.....	155...132
En las máquinas de doble efecto.....	157...133
En las de simple efecto.....	160...134
En las atmosféricas.....	161-164. <i>ibid.</i>
Temperatura de la condensacion que produce el <i>maximum</i> de efecto en las máquinas atmosféricas.....	165...138
Ascenso del humo en las chimeneas ó tiro.....	168-172...139
Salida del vapor por las válvulas de seguridad.....	173-175...142

SECCION TERCERA.

De la produccion y condensacion del vapor, y de los aparatos propios al efecto.

De la combustion y de los combustibles.....	177-196...145
Tabla de los efectos caloríficos de diferentes cuerpos.....	187-191...149
Operacion de la combustion.....	192-196...156
Del aire necesario para la combustion, y de la superficie de las parrillas para el fogon.....	197-199...157
De la superficie de la caldera adecuada para recibir la accion del fuego.....	200-209...161
Espacio para el vapor y el agua en las calderas.....	210-220...167
Espacio para el agua.....	217...171
De la fuerza de las calderas de baja presion.....	221...173
Figura de las calderas relativamente á sus efectos.....	222-224...174
Calderas de Watt.....	224. <i>ibid.</i>
Calderas cilindricas.....	227...176
Calderas del conde de Rumford.....	232...179
Calderas de Woolf.....	233...180
Calderas de barcos de vapor.....	239...183
Calderas portátiles de alta presion.....	244...185
De los fogones y los hornillos.....	245-250. <i>ibid.</i>

	Artículos.	Pág.
Fogones <i>fumivoros</i> de Watt.....	246...	186
Hornillos <i>fumivoros</i> de Robertson.....	247..	<i>ibid.</i>
Fogones mecánicos de Brunton.....	250...	188
Aparatos dependientes de las calderas.....	251...	190
Aparatos alimenticios.....	<i>ibid.</i>	<i>ibid.</i>
De los reguladores del fuego para las calderas de vapor.....	256-258...	192
Reguladores mecánicos.....	257...	193
Reguladores de aire mecánicos.....	258...	194
Válvulas de seguridad.....	259-274.	<i>ibid.</i>
Area de la seccion ó corte de las chimeneas para las calderas de las máquinas de vapor.....	274-278...	203
De la condensacion del vapor.....	279-288...	205

SECCION CUARTA.

De la potencia mecánica del vapor, y de la naturaleza, proporciones y clasificacion de las máquinas de vapor.

De la fuerza del vapor y medios de realizarla.....	290-301...	211
Por condensacion.....	291-294.	<i>ibid.</i>
Por produccion.....	295-296...	212
Por expansion.....	297-301...	213
Del cálculo de la fuerza del vapor para producir el movimiento rectilíneo.....	302-311...	215
Del cálculo de la fuerza del vapor para producir el movimiento de rotacion.....	312-318...	219
Efecto dinámico.....		221
Modo de aplicar la fuerza del vapor.....	319-326...	224
Clasificacion de las máquinas de vapor.....	323-326...	225
De la razon entre la longitud del curso del émbolo y el diámetro del cilindro.....	327-330...	226
<i>Máximum</i> de efecto útil en las máquinas de vapor.....	331-343...	228
Velocidad del émbolo.....		229
En las máquinas cuyo movimiento se arregla por un volante.....	332-338...	228
En las máquinas de subir el agua.....	339-343...	233
Proporcion de las bombas de aire y de los condensadores para las máquinas de vapor.....	344-352...	234
Aire contenido en el agua de inyeccion y en el vapor.....		236
Fuerza necesaria para mover la bomba de aire de una máquina de vapor.....	353-355...	238

TABLA DE LAS MATERIAS.

Artículos. XXI
Pág.

SECCION QUINTA.

De la construccion de las máquinas sin condensador.

Definicion y clasificacion.....	356-360...	242
1. ^a ESPECIE, ó máquinas de presion constante.....	361-370...	243
Proporciones de sus partes.....	366...	245
De la fuerza de las máquinas sin condensador, funcio- nando á presion constante.....	367-370. <i>ibid.</i>	
2. ^a ESPECIE. Máquinas sin condensador obrando por es- pansion.....	371-380...	247
Fuerza de las máquinas de expansion.....	377-380...	250
Máquinas de expansion de dos cilindros.....	381-383...	252
De la presion del vapor mas conveniente para las máqui- nas sin condensador.....	384...	253

SECCION SESTA.

De la construccion de las máquinas de condensacion.

Descripcion general y clasificacion de las máquinas de con- densacion.....	385-391...	257
De la construccion de las máquinas obraudo por condensacion.	392...	260
Máquinas atmosféricas.....	393-405. <i>ibid.</i>	
Máquina atmosférica ordinaria.....	393-399. <i>ibid.</i>	
Proporciones de estas máquinas.....	395...	261
Cálculo de la fuerza de una máquina atmosférica.....	396-399...	262
Máquinas atmosféricas con condensador separado.....	400-405...	264
Máquinas obraudo por la presion inmediata del vapor.....	406-410...	267
Máquina de simple efecto de Boulton y Watt.....	406. <i>ibid.</i>	
Proporciones de sus partes.....	407...	268
Regla para calcular su fuerza.....	408-410. <i>ibid.</i>	
Máquinas del mismo efecto obraudo por expansion.....	411-41...	3270
De la máquina de doble efecto de Boulton y Watt.....	414-418...	272
Proporciones de las partes para una máquina de doble efecto obraudo á presion constante.....	415...	273
Cálculo de la potencia de una máquina de doble efecto..	416-418. <i>ibid.</i>	
Cálculo de Watt.....		275
Máquina de doble efecto obraudo por expansion.....	419-423. <i>ibid.</i>	

	Artículos.	Pág.
Máquinas de dos cilindros.....	424-429...	278
Máquina de doble efecto y de dos cilindros.....	425.	<i>ibid.</i>
Proporciones de sus partes.....	426...	279
Cálculo de las máquinas de dos cilindros.....	427-429.	<i>ibid.</i>

SECCION SEPTIMA.

De las proporciones y construccion de las diversas partes de las máquinas de vapor.

De las llaves y de las válvulas.....	432-461...	282
Principios y disposiciones generales.....	432-435.	<i>ibid.</i>
Observaciones de señor Clement Desormes.....		285
Válvulas de suspension.....	436-442...	284
Válvula de Hornblower.....	441...	286
Forma perfeccionada de la misma válvula.....	442...	287
Válvulas de tirador.....	443-450.	<i>ibid.</i>
Válvula de tirador de Bramah.....	444.	<i>ibid.</i>
Válvula de tirador ó de corredera de Murray.....	446...	288
Válvula de corredera de Murdoch.....	447...	289
Sistema de las válvulas de émbolo.....	448.	<i>ibid.</i>
Llaves y válvulas giratorias.....	451-461...	291
Llaves de cuatro aberturas de Bramah.....	457...	293
Llave del mismo género para cerrar la entrada del vapor á un periodo cualquiera del curso.....	456...	292
Llaves de dos aberturas.....	459...	294
Válvulas giratorias de disco plano.....	466...	298
Regulador.....	461...	295
De los émbolos.....	462-474.	<i>ibid.</i>
Embolo de Belidor.....		297
Embolo de Woolf.....	468...	299
De los émbolos metálicos.....	469-473...	300
Embolo de Cartwright.....	469...	<i>ibid.</i>
Embolo de Barton.....	470...	302
Embolo de Jessop.....	473...	304
Embolo de Perkins.....		305
Del rozamiento de los émbolos.....	474.	<i>ibid.</i>
Cuellos de los vástagos de los émbolos ó cajas de estopa.....	475-477...	306
Medio de abrir las válvulas, llaves y tiradores.....	478-485...	308
De las guias de los émbolos.....	486-495...	313

TABLA DE LAS MATERIAS.

XXIII

	Artículos. Pág.
Manubrio.....	487...314
Tabla de la variacion de la fuerza de rotacion, cuando se mueve el manubrio por una fuerza constante.....	487...315
Paralelogramo.....	488-495...316
De la fuerza de las máquinas de vapor, y regla práctica para calcularla.....	496-529...322
Fuerza de los vástagos soportando un esfuerzo de traccion.....	503...324
Fuerza de los vástagos soportando alternativamente esfuerzos de traccion y de compresion.....	505-507...325
Fuerza ó resistencia de los brazos de las balanzas y de los manubrios.....	508...327
Balanzas.....	509...328
Manubrios.....	510... <i>ibid.</i>
Radios de las ruedas.....	511...329
Tabla de la fuerza etc., de los dientes y de los radios de las ruedas.....	513...330
Fuerza de los árboles.....	515...331
De la resistencia de los tubos y de los cilindros.....	516-520...332
De la resistencia de las planchas al esfuerzo de la presion del vapor ó de los otros fluidos elásticos.....	521...335
Del exceso de la fuerza necesaria en las calderas para disminuir el peligro.....	522-523...337
Calderas de hierro batido.....	524-527...340
Observaciones del señor William, maestro forjador..	<i>ibid.</i>
Calderas de hierro colado.....	528-529...343
Del enchufe de los tubos y demas partes de las máquinas...	530-533...345

SECCION OCTAVA.

De los medios de regularizar la accion de las máquinas de vapor, arreglar su potencia, calcular su efecto util, y manejarlas.

De los modos de regularizar la accion de las máquinas de vapor.....	535-541...347
Del volante.....	536... <i>ibid.</i>
Caso 1.º Máquinas de doble efecto con manubrio.....	540...351
Caso 2.º Maquina de simple efecto con manubrio.....	541...352
Contrapesos.....	542... <i>ibid.</i>

	Artículos.	Pág.
De los medios de arreglar la potencia de las máquinas.....	543-556...	353
Válvulas de cuello ó garganta.....	544...	354
Modo de arreglar el movimiento por mas ó menos expansion.....	546...	355
Válvula de Field.....	547..	<i>ibid.</i>
De los balancines de resorte.....	549...	356
Péndulo cónico ó moderador.....	550..	<i>ibid.</i>
Regulador.....	554...	358
Cataracta ó péndulo hidráulico.....	556...	359
De los medios de determinar el estado y la fuerza de las máquinas de vapor.....	557-563...	360
Manometro para el vapor.....	558..	<i>ibid.</i>
Manometro para el condensador.....	559...	361
Indicador de la presion.....	560-561...	362
Modo de medir el efecto util de una máquina.....	562...	365
El contador.....	563...	366
Del manejo ó modo de conducir las máquinas de vapor.....	564-568...	367
Sistema de alimentacion con el agua de mar de Maudslay y Field.....		369
Del manejo de las máquinas de condensacion.....	566..	<i>ibid.</i>
Del manejo del fuego.....	567...	370

SECCION NOVENA.

De la aplicacion de las máquinas de vapor á diferentes usos.

De la elevacion del agua.....	570-572...	372
Desagüe de las minas.....	573-578...	374
Extracto de una relacion mensual sobre las máquinas de Cornouailles.....	576...	375
Estraccion de los minerales, etc.....	579...	379
Máquinas de pilones.....	580...	380
Establecimientos de bombas para el servicio de las poblaciones.....	581..	<i>ibid.</i>
Aplicacion de las máquinas de vapor al movimiento de las máquinas de las manufacturas.....	583-586...	381
Fundiciones, fraguas, máquinas de soplar.....	584..	<i>ibid.</i>
Filatura de algodón.....	585...	383
Molinos de papel.....	586..	<i>ibid.</i>
De la aplicacion á los trabajos campestres.....	587-589...	384
Máquinas de trillar.....	588...	385
Molinos de trigo.....	589...	386
De la aplicacion de la fuerza del vapor al movimiento de los carruages.....	590-592..	<i>ibid.</i>

TABLA DE LAS MATERIAS.

XXV

	Artículos.	Pág.
Por máquinas estacionarias.....	591...	387
Por carros de vapor ó máquinas amovibles.	592...	388

SECCION DECIMA.

De la navegacion por el vapor.

De la forma de los barcos con respecto á la estabilidad, velocidad, capacidad y fuerza.....	594...	391
De la estabilidad de los barcos.....	595-610..	<i>ibid.</i>
En el sentido de la longitud.....	598...	392
En el de la latitud.....	599-610..	<i>ibid.</i>
De la resistencia de los barcos.....	611-623...	395
De los mecanismos para mover los barcos de vapor.....	624-642...	403
Motor espiral ó rosca hidráulica.	626-627...	405
Ruedas de paletas.....	628-641...	409
Modificacion de ellas.....	642...	416
Fuerza de los barcos.....	643...	418
Uso de las velas.	645...	419
Regla para calcular la potencia de las máquinas para los barcos.	650...	422
Disposiciones para apropiiar las máquinas motrices al movimiento de los barcos.....	652-656...	423
Tablas de los barcos de vapor construidos.	657-660...	427
Métodos para calcular el tonelage registrado de los barcos...	661...	433

T A B L A S.

1. ^a <i>Tabla.</i> De las propiedades del vapor á diferentes grados de fuerza elástica.....	662...	436
2. ^a <i>Tabla.</i> De las proporciones de las máquinas de vapor de simple efecto.....	663...	438
3. ^a <i>Tabla.</i> De las proporciones de las máquinas de doble efecto.....	664...	440
Tabla alfabética de las materias.....		449

DE LAS

MÁQUINAS DE VAPOR.

PRIMERA SECCION.

Historia de la invencion y mejoras sucesivas de las máquinas de vapor.

1. Se llama *máquina de vapor* la combinacion de los vasos y máquinas que se emplean para obtener una fuerza efectiva, bien sea por la produccion sola, ó por la produccion y condensacion reunidas del vapor de un líquido. Esta máquina ha sido conocida por largo tiempo bajo el nombre de *máquina de fuego*, y no sin fundamento, porque el agente real es el calor ó el fuego. El agua es el líquido que se emplea generalmente para producir el vapor; pero se puede obtener tambien por medio del espíritu de vino, el éter y otros fluidos: sin embargo el agua, que es entre todos los líquidos el mas facil de adquirir, produce un efecto mecánico igual, si no superior al de los otros.

2. Desde los tiempos mas remotos se debió haber conocido que el agua calentada se evapora, y que el vapor producido de este modo sale con fuerza por una pequeña abertura hecha en el vaso que se emplea para esta operacion. El eolipylo, y otros muchos instrumentos de este género, que sirven para explicar los fenómenos naturales, han sido bien conocidos de los egipcios, los griegos y los romanos. Vitrubio (1), que escribia en el reinado de Augusto, se vale del eolipylo para explicar el efecto del calor en la formacion de los vientos; pero es evidente que no tenia ninguna idea de que se pudiese sacar utilidad alguna

(1) Lib. 1. cap. 6.

del vapor como potencia mecánica. Philibert de l'Orme propuso que se colocase un eolipylo sobre el fuego, como un medio para hacer subir el humo á las chimeneas (1). Se encuentran aun otras muchas aplicaciones de este instrumento descritas en las obras de Salomon de Caus, Branca, Van Drebbel y otros varios escritores, citados en la mayor parte por el señor de Montgery, autor que hizo numerosas investigaciones para manifestar que la máquina de vapor no es de origen inglés (2).

3. Pero á menos que no se demuestre que se ha inventado realmente una máquina de vapor, y que haya sido aplicable á los mismos usos que la han hecho despues tan importante, parece bien inútil ir á buscar autoridades, pues semejantes investigaciones no deben ocupar ni la atencion ni el tiempo de un verdadero sábio. El soplo de un eolipylo está muy distante de producir los efectos para que se emplean las máquinas de vapor; y una prueba de esta ineficacia es, que nunca se han servido del mismo principio de accion, es decir, del impulso, para producir en una máquina de esta especie efectos mecánicos aplicables á trabajos útiles.

No me detendré por consiguiente en averiguar en qué época se reconoció que el vapor era una fuerza, pero sí procuraré trazar de un modo práctico la historia de las proposiciones y ensayos á que ha dado lugar, y la de sus aplicaciones á las artes y manufacturas; desenvolver las diferentes mutaciones y mejoras que ha experimentado; en fin, distinguir, entre la multitud de proyectistas, las personas cuyas luces han contribuido á estender nuestros conocimientos, ya sea con respecto á la teoría y construccion de este poderoso motor, ó ya en lo que concierne á su uso.

La empresa, á la verdad, es tan árdua como se deja conocer bien facilmente; pero al cabo, si la desempeño con juicio y sinceridad, habré contribuido á añadir un complemento precioso á un ramo importante de la ciencia mecánica. Esto me alienta á continuarla; y me lisonjeo de dejar convencido al lector de

(1) *Tratado de arquitectura*, en folio, París 1567.

(2) *Noticia histórica sobre la invencion de las máquinas de vapor.*

que mis juicios acerca de los inventores de cada parte de las máquinas de vapor estan fundados sobre la equidad.

1663. *El marqués de Worcester, que falleció en 1667.*

4. La idea de emplear la fuerza impulsiva del eolipyllo, parece que es la única que antes del marqués de Worcester se habia tenido para aplicar el vapor como origen del movimiento. Este escritor, en un opúsculo intitulado *Centuria de títulos de descripciones de inventos*, habla incontestablemente de un método para emplear la presión del vapor, como á propósito para la elevación del agua á grandes alturas (1). Este opúsculo salió á luz por la primera vez en 1663; y en el invento señalado con el número 68 hallamos el título y la descripción siguiente:

«LXVIII. *Bomba de fuego.*—Método admirable y poderoso «para elevar el agua por medio del fuego, y no para sacarla de «abajo arriba por aspiración, porque este último medio no pue- «de tener lugar, como dicen los físicos, sino *infra spheram ac- «tivitatis*, es decir, solamente á una cierta distancia. Mi méto- «do no tiene límite alguno, si los vasos son bastante fuertes; «porque yo tomé un cañon que se le habia roto la caña, y le «llené de agua hasta las tres cuartas partes, y despues de haber- «le cerrado á rosca la boca, como tambien el fogon, le puse so- «bre un fuego activo y bien alimentado; al cabo de 24 horas re- «ventó con grande estrépito. Habiendo tenido modo de hacer «mis vasos bastante fuertes para resistir la presión interior, y de «llenarlos uno despues de otro, he visto el agua elevarse á 40 «pies de altura, y salir con fuerza en chorro continuo: un vaso «de agua rarificada por el fuego eleva 40 de agua fria. La per- «sona que dirige la máquina no tiene mas que dar la vuelta á «dos llaves, para que luego que un vaso quede vacío, empiece «otro á obrar y á llenarse de nuevo de agua fria, y así sucesiva- «mente, suponiendo que el fuego se mantenga siempre á un al-

(1) Otra máquina, que el marqués llamó *máquina de comprimir el agua*, parece que fue por la que el Parlamento le concedió, por medio de una acta, el goce esclusivo de los beneficios que resultasen de su uso.

«to grado de actividad, á lo cual puede atender la misma persona en los intervalos de la operacion de dar la vuelta á dichas llaves.»

Esta descripcion prueba hasta la evidencia que el marques de Worcester no ignoraba que el vapor, calentado en un vaso cerrado, adquiere un grado inmenso de fuerza, y que esta fuerza se puede emplear con buen éxito para elevar el agua. No parece que conoció el efecto de la condensacion, y asi su método de proceder debe haber sido muy sencillo, y probablemente tal como lo manifiesta la figura 1.^a, lámina 1.^a, en la cual B es la caldera, C uno de los vasos con un tubo *a* para conducir el agua á un reservatorio alto D.

Supóngase ahora que el vaso C, por medio de un conducto, se alimente de agua fria del reservatorio A, de manera que pueda llenarse, abriendo la llave E, y que esta llave se cierre despues: en el momento en que el vapor que se desenvuelve en la caldera tiene la fuerza suficiente, abierta la llave F, la presion del vapor sobre el agua contenida en el vaso C hace subir esta desde C, por el conducto *a*, hasta el reservatorio D. Vacío el vaso C, y cerrada la llave F, se llena de agua, abriendo la llave E.

Se necesita aun otro vaso C, con sus llaves y tubos, para completar la especie de máquina de vapor indicada en esta descripcion; y este segundo aparato se puede colocar al otro lado de la caldera.

Este modo de hacer subir el agua debia ser muy dispendioso, á causa de la condensacion considerable que se efectuaba, cuando el vapor se ponía en contacto con el agua fria; pero podia producir todo el efecto espresado, el cual equivale solamente á elevar 20 pies cúbicos de agua, ó 1250 libras, á un pie de altura, mediante una libra de carbon, lo cual viene á ser con corta diferencia la 200.^a parte del efecto de una buena máquina de vapor. Se puede, pues, admitir que el marques de Worcester es el primero que inventó y ensayó el modo práctico de aplicar el vapor como motor, y el primero tambien que lo aplicó á uno de aquellos grandes trabajos, con los cuales hizo desde entonces tan importantes servicios á la sociedad.

1683. *Sir Samuel Morland, muerto en 1695.*

5. Segun una parte de un manuscrito que existe en la coleccion *harleyana* del Museo británico, parecería que Sir Samuel Morland habia propuesto á Luis XIV un modo de elevar el agua por el vapor, semejante al del marques de Worcester. No se encuentra en dicho manuscrito descripcion alguna del procedimiento que el autor se proponia emplear; pero bien se echa de ver que no le faltaban conocimientos en la materia. La parte que trata de la potencia del vapor se intitula: *Principios de una nueva fuerza de fuego, inventados por el caballero Morland en 1682, y presentados á S. M. Cristianísima en 1683.* Estos principios se esponen de la manera siguiente: «Convertida el agua en vapor «por la fuerza del fuego, este vapor necesita bien pronto un espacio con corta diferencia 2000 veces mayor que el que ocupaba «antes el agua; y rompería un cañon primero que permanecer «encerrado en él; pero esta fuerza bien manejada segun las leyes de la estática, y reducida por el cálculo á cierta medida, peso y equilibrio, entonces soporta la carga tranquilamente como un buen caballo, y es del mismo modo muy útil al hombre, sobre todo para elevar el agua con arreglo á la tabla siguiente, que marca (1) el número de libras que se pueden elevar 1800 veces por hora á la altura de 6 pulgadas, por medio de cilindros llenos de agua hasta la mitad, como tambien los diferentes diámetros y las alturas de dichos cilindros.

CILINDROS.		PESO de la carga que se levanta.
Diámetro en pies.	Altura en pies.	
1	2	15 libras.
2	4	120
3	6	405
4	8	960
5	10	1875
6	12	3240

Estos números son evidentemente proporcionales á la capa-

(1) Las medidas de esta tabla son francesas. No se han reducido á las

cidad de los cilindros. La tabla del original se extiende hasta señalar el efecto producido por un cierto número de cilindros, de dimensiones mayores que las que se acaban de estampar, cada uno de los cuales es capaz de levantar 3240 libras.

Morland calculó el aumento de volúmen que adquiere el agua en el estado de vapor, bajo las presiones ordinarias, de un modo tan aproximado, que se puede suponer que ha sido el resultado de la esperiencia; al paso que lo que dice de la fuerza del vapor como suficiente para reventar un cañon, y la proposicion que hizo de su procedimiento á un Príncipe extranjero, dan márgen para presumir que la obra publicada veinte años antes por el marqués de Worcester no le era desconocida.

Las investigaciones de Morland no parece que tuvieron mas que una pequeña influencia en los progresos del uso práctico del vapor.

1690. *Dionisio Papin.*

6. En este año el doctor Papin propuso emplear la expansion y contraccion del vapor, á fin de formar un vacío parcial debajo de un émbolo para elevar el agua, y tomar por motor la presion de la atmósfera sobre la parte superior del émbolo (1). Los verdaderos autores de la máquina atmosférica son probablemente deudores de una gran parte de su invento á esta idea; pero ni el mismo Papin, ni su rival Savery, descubrieron el medio de sacar partido de ella. En efecto, la forma en que se propuso esta idea, no era practicable. El fuego se debia aplicar al cilindro y retirarse alternativamente, y la expansion del agua que contenia debia levantar el émbolo por el calor; su contraccion por el enfriamiento, cuando se retiraba el fuego, debia formar el vacío parcial, y por consiguiente el descenso del émbolo se habia de verificar por la presion de la atmósfera. Si se ensayó alguna vez la ejecucion de este proyecto, el resultado debe haber sido de

nuestras, por evitar los quebrados que resultarían; pero el lector lo podrá hacer con facilidad, teniendo presente que la razon del pie francés al español es de 0,32484: 0,27864, y la de la libra de 0,48951: 0,46009. *Nota del traductor español.*

(1) *Transact. philosoph. Abrégé*, vol. IV. p. 155 (1697).

tal naturaleza que haya hecho desmayar á Papin, y abandonar su primera idea para adoptar otra, cuyo partido abrazó despues de haber visto un grabado de la máquina de Savery.

1698. *Tomás Savery.*

7. Estos proyectos de máquina de vapor para elevar el agua no estuvieron largo tiempo sin aplicacion: en el mes de julio de 1698 se concedió al capitan Tomás Savery la primera patente que se dió por una máquina de vapor. El doctor Robison refiere que esto se verificó despues de la ejecucion de varias máquinas, cuya descripcion hizo Savery en un folleto publicado en 1699 (1) bajo el título de *El Amigo del minero*, reimpresso con algunas adiciones en 1702.

En junio de 1699 presentó el capitan Savery un modelo de su máquina á la Sociedad Real, que quedó muy satisfecha de las esperiencias que se hicieron con ella (2). Esta máquina (Lámina I, fig. 2) consistia en un horno, y una caldera B; de esta última salian dos tubos, á los cuales estaban adaptadas las llaves C, y que se prolongaban hasta los dos vasos de vapor S, que estaban en comunicacion con unos conductos que iban á dar á un gran tubo D, el cual venia de alto abajo, y hasta otro tubo A, que iba de abajo arriba. Cada par de conductos tenia las válvulas *a*, *b*, para impedir que descendiese el agua elevada por la condensacion ó por la fuerza del vapor. No se ve mas que un solo vaso S, los otros estan detrás. Luego que uno de los vasos se llena de vapor, se hace la condensacion por medio de una proyeccion de agua fria, que proviene de un reservatorio E situado sobre el vaso; y hecho el vacío parcial por este medio, el agua era impelida al vaso, á lo largo del tubo D, por la presion de la atmósfera, que la elevaba asi de cerca de 6 metros de profundidad. Introducido el vapor de nuevo en los vasos, se cerraba la

(1) Segun Robison, esta publicacion se hizo en 1696; pero esto no parece exacto. Switzen en su sistema de *Hydrostática*, tom. II p. 326, pone la data en 1699, que es la verdadera, segun todas las apariencias.

(2) *Transact. philosoph. Abrégé*, vol. IV. p. 198 (1699).

válvula *b*, que impedía el descenso del agua, mientras que el vapor habiendo adquirido fuerza en la caldera, su presión hacia que el agua levantase la válvula *a*, y subía hasta una altura proporcional al escedente de la fuerza elástica del vapor sobre la presión de la atmósfera.

El capitán Savery simplificó después considerablemente esta máquina, no empleando más que un vaso de vapor. Para impedir que la caldera se rompiese, hizo uso de la válvula de seguridad ó de romana *V* que Papin había inventado para su olla. Las llaves se dirigían á mano, y para proveer de agua la caldera, había otra pequeña contigua para calentar la que aquella necesitaba, y evitar la pérdida de tiempo que habría al llenar la caldera grande de agua fría.

Parece que el modelo de Savery ha sido imitado muchas veces, y siempre con buen éxito, cuando el agua no necesitaba subir á mayor altura que la de 12 metros; pero esta elevación no era suficiente para las minas que exigían una máquina poderosa y capaz de obrar á cualquiera profundidad.

Los nuevos principios que Savery introdujo en la máquina de vapor consisten en efectuar la condensación en el vaso del vapor, y por medio de la aplicación del frío en el exterior. Empleaba además un procedimiento para alimentar la caldera con agua caliente: imaginó un medio de asegurarse de la cantidad de agua que había en ella, adaptando la llave *g*, llamada de *prueba*, y aplicó la válvula de seguridad para precaver los accidentes.

Los defectos de su máquina se echan de ver muy fácilmente. Sucedia que el frío del vaso y del agua condensaba el vapor á cada operación, y hacía perder una gran parte de él. La altura á que podía el agua elevarse, á menos que se hiciese uso de un vapor tan fuerte como peligroso, era muy limitada para que la máquina fuese aplicable á los trabajos de las minas. Sin embargo el efecto de esta máquina sería muy superior al de la máquina del marqués de Worcester; y ya sea que el capitán Savery tuviese ó no conocimiento de los proyectos anteriores, es preciso reconocer los derechos que tiene á la invención original, y confesar que somos deudores á su osadía y á sus talentos de la

primera máquina de vapor que ha producido efectos útiles.

1698. *El doctor Dionisio Papin.*

8. El doctor Papin, profesor de matemáticas en Marbourg, de cuyo primer proyecto hemos hecho mencion (art. 6.º), se dice que hizo por orden de Carlos, Landgrave de Hesse, en 1698, muchas esperiencias para elevar el agua por la fuerza del fuego. Publicó en 1707 un pequeño tratado sobre la materia, en el cual atribuye al Landgrave todo el mérito de la primera idea de una máquina de vapor. Los ensayos que hizo Papin en 1698, cualesquiera que hayan sido, no produjeron nada útil; y al paso que reconoce francamente que el proyecto de Savery no ha sido tomado de nada de lo que se habia ejecutado sobre este ramo en Alemania, no parece que habia dado importancia á sus propios experimentos antes del mes de junio de 1705, en cuya época vió un plano de la máquina de Savery. Esta prueba basta para sentar que sus ensayos no tuvieron un resultado satisfactorio; y hay distancia de los experimentos hechos sin buen éxito á la invencion.

Para hacer justicia á Papin, vamos á describir su máquina en el estado de su mayor perfeccion, y tal como la presentó él mismo despues de haber tenido conocimiento de lo que habia hecho Savery. Esta máquina (fig. 3) consistia en una caldera B, provista de una válvula de seguridad V, y en un cilindro (G H), unido á la caldera por un tubo S. El cilindro estaba cerrado por la parte superior, y contenia un émbolo fluctuante P; la base del cilindro se terminaba en un cañon curvo T, que subia á otro cilindro M; este cañon curvo tenia un tubo Y, que venia de un reservatorio de agua, con el cual se comunicaba, y tenia una válvula en r. Supongamos ahora que el cilindro G H se llene de agua fria por el tubo Y del reservatorio, y que la caldera contenga vapor á alta presion. Abriendo la llave E, entrará el vapor, y comprimiendo el émbolo fluctuante P, hará subir el agua al cilindro M; la válvula K impide que baje; cerrando la llave E, y abriendo la R, para dejar salir el vapor condensado por el tubo R, el agua del reservatorio llena el cilindro de vapor

por el cañon Y, y la máquina está pronta para empezar de nuevo la operacion. El agua elevada sube por el tubo D, para darla el destino que se quiera (1).

Ateniéndonos al plan del marqués de Worcester, se verá que Papin no hizo mas que repetir sus experimentos. La idea de aumentar el efecto por la introduccion de un hierro ardiendo en el cilindro G H, es demasiado absurda para hacer mérito de ella; pero este absurdo está en algun modo compensado con el pensamiento de que el agua elevada por el vapor puede emplearse para dar vueltas á una rueda hidráulica, lo que dá la idea del uso de una máquina de vapor como motor de máquinas.

9. En 1699 publicó Amontons la descripción de una máquina, destinada á ser puesta en movimiento por el resorte del aire dilatado por el calor, y contraido despues por el contacto del agua fria (2). El contacto continuo del aire caliente con el agua acabaria por saturar el aire de vapor; y aun entonces no sería nunca mas que una máquina de aire, y bastante insignificante, en razon de ser escesivamente complicada.

1705. Tomas Newcomen.

10. Los ensayos hechos con las máquinas de Savery, dieron á conocer sus defectos, pero confirmaron la opinion de que el vapor es un medio eficaz para elevar el agua. Los inmensos gastos que se necesitaban para agotar el agua en las minas profundas, eran en tal manera onerosos á los propietarios, que habia en aquella época motivos muy poderosos para poner el mayor empeño en hacer investigaciones ulteriores sobre la materia. A esta causa se debe otra especie de máquina de vapor, concebida por Tomas Newcomen, herrero de Dartmouth, que en union con Juan Cowley, plomero de la misma ciudad, y el capitan Savery, obtuvo una patente por este invento en 1705 (3).

(1) Belidor, *Architect. hydraulique*, tom. II, p. 328.

(2) *Nouvelle Architect. hydraulique* de Prony, tom. II, p. 89 (nota), en donde se halla la descripción de esta máquina.

(3) Switzen dice, refiriéndose á otras autoridades, que la invencion de Newcomen era tan antigua como la de Savery (*Syst. d'Hydrost.* tom. II, p. 312).

La novedad de esta construcción consiste únicamente en la condensación del vapor debajo de un émbolo bien ajustado, que se mueve en un vaso cilíndrico abierto por arriba. Es probable que esta idea haya sido tomada del proyecto de Papin, que data de 1690 (véase el art. 6.º), y tanto más que Newcomen siguió correspondencia sobre este asunto con el doctor Hook, que conocía muy bien el procedimiento de Papin. En cuanto al modo de obtener este resultado, no tenía ninguna relación con el de Papin. Consiste en introducir vapor debajo de un émbolo; primero se condensaba el vapor por medio de la aplicación del agua fría á la parte exterior del cilindro, pero luego se vió que una inyección de agua fría en el interior produciría mayor efecto; por lo demás es un descubrimiento hecho casualmente (1). Lo que sigue es una descripción de la máquina en el grado de perfección en que la dejó Newcomen (véase la lám. I, fig. 4.ª). B representa la caldera y su horno para producir el vapor: un poco más arriba de la caldera está un cilindro de metal C, barrenado regularmente, cerrado por abajo y abierto por arriba. Se abre una comunicación entre la caldera y el fondo del cilindro por medio de un tubo corto S. La abertura inferior de este tubo se cierra con el disco *p*, que está muy bien torneado y muy liso, á fin de que pueda adaptarse exactamente á toda la circunferencia de la abertura: este disco se llama *regulador*, ó *llave de vapor*; gira horizontalmente sobre un eje *a*, que atraviesa la parte superior de la caldera por una abertura muy justa; un mango *b* sirve para abrirle y cerrarle.

Un émbolo P entra justo en el cilindro: los bordes, para impedir la introducción del aire, están guarnecidos de estopa bien impregnada en sebo, de manera que disminuya la frotamiento.

(1) Desaguliers, *Physique experimentale*, tom. II, p. 533. El émbolo estaba detenido por una capa de agua que tenía encima; y en el momento en que los inventores hacían funcionar la máquina por la condensación exterior, se quedaron admirados de verla dar muchos golpes y con mucha rapidez, y advirtieron que esto provenía de un agujero que había en el émbolo, el cual dejaba bajar el agua, y hacía condensar el vapor: esto fué lo que sugirió la idea de la inyección.

cion, y la parte superior está cubierta de agua para impedir la salida del vapor. El émbolo está unido á un vástago P A, suspendido por una cadena en la estremidad superior D del arco de círculo de la balanza, que gira sobre el muñon G; esta balanza tiene un arco semejante en la otra estremidad E F, que lleva el vástago H de la bomba para sacar el agua de la mina. El extremo de la balanza que mueve este vástago de la bomba, es mas grueso para equilibrar el peso y rozamiento del émbolo en el cilindro de vapor; y cuando el agua se estrae de una profundidad tal, que el émbolo del vapor es demasiado pesado para este fin, es necesario añadir un contrapeso en Y, hasta tanto que el émbolo se mueva en el cilindro de vapor con la velocidad conveniente. A cierta altura sobre la tapa del cilindro está un reservatorio L, llamado *reservatorio de inyeccion*, alimentado de agua por la bomba de presion R. De este último baja el tubo de inyeccion M, que entra en el cilindro por su fondo, y se termina en uno ó muchos agujeros pequeños N: este tubo tiene una llave O, llamada *llave de inyeccion*, guarnecida de un mango. Al lado opuesto del cilindro, y un poco encima del fondo, se halla un tubo recurvo de abajo arriba por su estremidad, y con una válvula V, llamada *válvula reniflante*, la cual está rodeada de un pequeño depósito de agua destinada á impedir la entrada del aire.

Del fondo del cilindro sale un cañon Q, cuya estremidad inferior se encorva, y está cubierta con una válvula *v*. Esta parte está sumergida en un reservatorio llamado *de agua caliente*; el cañon mismo tiene el nombre de *cañon de salida*. Para que se pueda arreglar la fuerza del vapor en la caldera, tiene esta una válvula de seguridad, construida y empleada del mismo modo que la de la máquina de Savery, pero cargada de medio hectograma, ó uno á todo mas por centimetro cuadrado.

Resta ahora hablar del modo con que obra. Cuando el émbolo llega al fondo del cilindro de vapor, se cierra el regulador ó válvula de vapor P, y el émbolo quedará entonces detenido en el fondo por la presion de la atmósfera. Caliéntese la caldera hasta que el vapor se vaya por la válvula de seguridad: abriendo despues el regulador, se levantará el émbolo por efecto de

la fuerza del vapor y la accion del contrapeso del otro lado de la balanza. Cuando llegue el émbolo á lo alto del cilindro, ciérrase el regulador P, y abriendo la llave de inyeccion O, hágase entrar un chorro de agua fria, que condensará el vapor en el cilindro, formando un vacío parcial: el émbolo bajará por la presion de la atmósfera, levantando el agua de la mina por medio del vástago H del émbolo de la bomba. El aire que se encuentra en el vapor y en el agua inyectada, es arrojado al través de la válvula *reniflante* V, por la fuerza del descenso del émbolo, y la agua de inyeccion sale por el cañon Q. El trabajo útil de esta máquina se efectúa por la repeticion de estas dos operaciones alternativas; esto es, por la introduccion del vapor y la inyeccion del agua fria.

Estas operaciones se hicieron á mano hasta la época en que un muchacho, llamado Humphrey Potter, pensó en atar cuerdas y ganchos á la balanza, para hacer abrir y cerrar los tubos por la máquina misma, mientras que estaba entretenido en los juegos de su edad (1): despues, para llegar al fin propuesto, se echó mano de aparatos de mas consistencia y duracion; y este fué un paso mas para dar á la máquina la propiedad de funcionar por sí misma.

Esta máquina en el estado simple, pero eficaz, en que acabamos de describirla, recibió el nombre de *máquina atmosférica*: llegó á este grado de perfeccion hácia el año 1712, y se establecieron otras semejantes en diferentes puntos. La novedad de esta máquina consiste sobre todo en su mecanismo; pero como este mecanismo constituye toda la diferencia que hay entre una máquina eficaz y otra sin efecto, me inclino á darle mas importancia que al descubrimiento casual de un nuevo principio. Sería difícil determinar lo que realmente se debe á Newcomen; y á falta de datos ciertos, debemos contentarnos con el examen de la máquina misma. La admision del vapor debajo de un émbolo que cierra la comunicacion con la atmósfera, y está unido á un brazo de la balanza con el contrapeso conveniente; la condensacion rápida por medio de una inyec-

(1) Desaguliers, *Physiq. expériment.* tom. II, p. 533.

cion de agua, objeto esencial para producir efecto, y en fin, el modo de vaciar el cilindro del aire y del agua á cada golpe, todos estos procedimientos son otras tantas adiciones á los principios y mecanismo ya usados, y todos ellos se deben exclusivamente á Newcomen ó á sus compañeros.

1718. *Enrique Beighton, miembro de la Sociedad Real, muerto en 1743* (1).

11. El arreglo y disposicion de las partes que componen la máquina atmosférica, el modo de colocarlas, y el mecanismo para abrir y cerrar las válvulas, se mejoraron considerablemente por Enrique Beighton, mecánico en Newcastle sobre el Tine: tambien parece que fué el primero que estableció reglas razonadas para el cálculo de las fuerzas de las máquinas. Publicó en 1717 una tabla de las dimensiones y potencia de las máquinas de vapor, que se ha encontrado acorde con la práctica (2), y dirigió la construccion de muchas grandes máquinas: tambien observó el hecho de que el vapor por su condensacion, calentaba proporcionalmente una grande cantidad de agua, y comunicó al doctor Desaguliers algunas esperiencias sobre el volumen de vapor formado por una cantidad de agua dada. El resultado de esta observacion se estableció falsamente por consecuencia de un error singular del cálculo; y es igualmente evidente que la simple cantidad de agua y el volumen del cilindro no podian dar el resultado que se esperaba, aun suponiendo que el cilindro se mantuviese á 100° durante la esperiencia (3). Antes de dejar los traba-

(1) El doctor Hutton hace la observacion de que es probable que Beighton hubiese muerto en 1743 ó 1744; porque parece que ha redactado el *Calendario de las Damas* para la Compañia de Libreros desde 1714 hasta 1744 inclusive. Desempeñó este encargo tan á satisfaccion de la Compañia, que ésta conservó á su viuda el usufructo de esta pequeña obra muy útil, permitiéndola que se valiese de un literato para sustituirla. En este calendario fué donde insertó Beighton en el año 1721 una tabla muy curiosa de cálculos sobre las máquinas de vapor. *Abrégé des Transact. philosoph.*, tom. VII, p. 442.

(2) *Cours de Physiq. experiment.* de Desaguliers, tom. II, p. 534.

(3) En la esperiencia hecha por Beighton (*Physiq. experiment.* de Desagu-

jos de Beighton, notaré que aunque no se haya distinguido por la novedad de sus miras, sin embargo las sanas nociones que tenia de la ciencia, parece que han sido de hecho de mayor auxilio para los que pretendian sacar partido de la máquina de vapor, que las ciegas tentativas de sus predecesores.

1720. *Leupold.*

12. Hacia esta época se ocuparon muchos escritores en dar á conocer por sus escritos las diferentes máquinas que se habían construido; pero no haremos mencion de los que no han añadido nada, ni en cuanto á la teoría, ni en cuanto á la experiencia, ni por lo que respecta á la construcción; porque estos detalles serian tan inútiles como enojosos. Sin embargo, nos abstendremos de colocar en esta clase al ingenioso aleman Leupold, compilador de una coleccion de inventos mecánicos: á él se debe el primer diseño de una máquina de alta presión y de émbolo, muy notable, señaladamente por su llave de cuatro aberturas para la entrada y salida del vapor.

El plan de Leupold es sencillo: coloca sobre una caldera B (fig. 5, lám. I) dos cilindros C, C, á los cuales se adaptan dos émbolos *p p*. Una llave de cuatro agujeros S está colocada en-

liers, tomo II, pág. 533) sobre las máquinas de vapor, para conocer la cantidad de este fluido producida por una cantidad de agua dada, halló por muchos ensayos hechos con un peso de romana colocado sobre la válvula de seguridad de las calderas de Griff y Wasington, que cuando la elasticidad del vapor era exactamente de una libra por pulgada cuadrada, bastaba esto para hacer andar la máquina, y que cerca de cinco pintas de agua por minuto alimentarian la caldera, y producirian en este tiempo bastante vapor para que el émbolo diese 16 golpes por minuto. El cilindro de Griff consumia 113 galones de vapor por cada golpe, ó 904 pintas, por cuanto un galon equivale á 8 pintas; por consiguiente $113 \times 16 = 1808$ galones $= 14464$ pintas; luego 5 pintas de agua producian 14464 pintas de vapor. Así una pinta produciria 2893 pintas de vapor, á la densidad y temperatura en que se hallaba el vapor en el cilindro al fin de cada golpe; pero no estando determinadas ni esta temperatura ni esta densidad, la experiencia no demuestra el volumen que corresponde á la presión atmosférica, porque la fuerza elástica del vapor en la caldera, difiere considerablemente de la fuerza de este fluido en el cilindro.

tre la caldera y los cilindros, de modo que deja al vapor alternativamente entrar en un cilindro y salir del otro. El émbolo se levanta por la introducción del vapor de alta presión que proviene de la caldera, y hace bajar la estremidad opuesta de una balanza á que está asido el vástago de una bomba: esta hace subir el agua por el cañon, de suerte que por la acción alternativa del vapor en los cilindros, la máquina hace subir una corriente continua de agua. Así se presentó la primera idea del principio del empleo del vapor de alta presión, obrando debajo de un émbolo.

13. No parece que Desaguliers haya aumentado en nada los conocimientos existentes sobre las máquinas de vapor, aunque la pasión que tenia este sábio por la física espermental hiciese esperar que hubiera desempeñado bien el importante objeto de reducir á principios fijos los fenómenos que tenia diariamente ante sus ojos, y que describió en su Tratado. Pero no sucedió así; y en cuanto á lo que concierne á las noticias históricas, tenia evidentemente demasiada parcialidad por algunos individuos, para que se pueda creer que haya referido los hechos con candor y fidelidad: por esta razón los materiales sacados de su *Física espermental*, no tienen otro mérito mas que el de dar á conocer el estado de la máquina en aquella época, y de esponer una parte de las investigaciones de Beighton.

1736. Jonathan Hulls.

14. La máquina de vapor atmosférica perfeccionada por Beighton, empezó á ser generalmente adoptada para las minas de carbón y de cobre. No parece que se necesitó un grande esfuerzo de entendimiento para aplicar una potencia tan eficaz á otros usos mas que á la elevación del agua.

Sin embargo la primera idea de que haya vestigios fué la de aplicar el vapor á la navegación, y fué presentada por *Jonathan Hulls*, que el 21 de diciembre de 1736 obtuvo una patente por un invento que merece rigorosamente el nombre de *barco de vapor*.

Las cartas patentes y la descripción de este barco, acompa-

ñadas de una lámina, fueron publicadas en un folleto por *Hulls* en 1737, bajo el siguiente título: *Descripcion y plano de una máquina nuevamente inventada para remolcar toda especie de barcos, dentro y fuera de las ensenadas, puertos ó rios, contra viento y marea, ó en tiempo de calma.*

Como la invencion de los barcos de vapor ha dado lugar á grandes contestaciones, se ha citado este opúsculo, que es muy raro y muy difícil de encontrar, como una prueba de que *Jonathan Hulls* es el primero que ha sugerido la idea de aplicar la fuerza del vapor para mover las ruedas de paletas. Su método de cambiar el movimiento alternativo de la máquina en un movimiento de rotacion, es menos sencillo que la cigüeña, pero fué la primera tentativa, y se presentó como se vé en la fig. 6, Lám. I. Sean *a, b, c*, tres ruedas fijas sobre un eje, y *d, e*, dos ruedas de rozamiento suave sobre otro eje *A B*, que tiene unas cuerdas para no dejar girar al eje, sino cuando las ruedas giran en un sentido: *f, g, h*, son tres cuerdas, y *P* el émbolo de la máquina. Cuando el émbolo baja, las ruedas *a, b, c*, giran de derecha á izquierda, y las cuerdas *g, h*, ponen en movimiento las ruedas *e d*, la primera *e* de derecha á izquierda, y la rueda *d* de izquierda á derecha; la última levanta el peso *G* que hace despues mover la rueda *d* de derecha á izquierda, mientras que el émbolo sube; por consiguiente el eje *A B* con las ruedas de paletas, se mantendrá en un movimiento de rotacion continuo, y con una fuerza uniforme. Es ciertamente una invencion preciosa para hacer uniforme un motor tan irregular; y atendiendo al uso á que estaba destinado, se debe confesar que la disposicion de la máquina no es complicada; porque ademas de la uniformidad, proporciona el medio de aumentar ó disminuir la velocidad, en razon de los diámetros de las ruedas. El folleto de *Hulls* muestra un entendimiento ilustrado y una grande inventiva, y sentimos que sus miras no hayan sido auxiliadas como lo merecian (1).

(1) El folleto de *Hulls* se puede ver en el Museo Británico, y en el Instituto de Lóndres, ó en poder de varios ingenieros civiles que han llegado á enriquecer sus bibliotecas.

1739. *Bernardo Belidor, que nació en 1698, y falleció en 1761.*

15 Belidor, escritor de primer orden sobre la teoría y la práctica de la arquitectura civil y militar, trató en 1739 de las máquinas de vapor, y dió incontestablemente las noticias mas exactas que se tenían en Francia en aquella época sobre la materia (1). Empieza haciendo un ligero bosquejo de la historia de la máquina, y concluye, segun sus investigaciones, que las tres naciones de Europa mas adelantadas en las ciencias, han producido cada una un sabio que ha participado de la gloria de este importante descubrimiento: dice que Papin en Alemania, Savery en Inglaterra, y Amontons en Francia, se ocuparon de los medios de sacar partido de la accion del fuego como motor de máquinas, pero reconoce que la primera idea, que se ha presentado de un modo inteligible, se debe al marqués de Worcester. Belidor hace ademas al fin de su noticia histórica la observacion de que todas las máquinas de fuego construidas en el continente habian sido ejecutadas por mecánicos ingleses; y despues pasa á describir la máquina atmosférica establecida en Fresnes, cerca de Condé, con aquella exactitud y claridad que tanto realce dan á sus escritos; pero este autor no añadió nada á la teoría sobre la accion del vapor. Las fórmulas que ha establecido para calcular la carga conveniente de una máquina no son, ni sencillas, ni exactas, ni pueden aplicarse, como sucede con las de Beighton, mas que al equilibrio estático de la máquina.

1741. *Juan Payne.*

16. La primera esperiencia directa para determinar la densidad del vapor fué hecha por Juan Payne (2): su procedimiento está bien pensado, pero le faltaba haber empleado un termómetro. Tomó una esfera ó globo de cobre de 12 pulgadas de diá-

(1) *Architect. hydraul.* tom. II, p. 300 á 303.

(2) *Transact. philosoph.* vol. II, p. 821, ó *Abrégé*, vol. VIII, p. 518.

metro, á la cual estaban adaptadas dos llaves y una pequeña válvula. Preparado así el vaso, se suspendió encima de otro mas grande, en el cual estaba el agua convertida en vapor. Un tubo conducía el vapor á una de las dos llaves, de donde pasaba al globo; y abriendo igualmente la otra, el vapor que se dejaba escapar por ella espelia el aire contenido en el globo, y ocupaba su lugar; entonces las dos llaves se cerraban á un tiempo, y el globo se apartaba para suspenderle sobre un vaso lleno de agua fria, y la llave inferior se sumergia en el agua. Apenas se abria esta, cuando al instante entraba rápidamente el agua en el globo hasta llenar el vacío; la llave se cerraba entonces de nuevo, y el globo lleno de agua se ponía en una balanza, en la cual se vió que el peso ascendía á 713 onzas. Si se resta ahora este peso de 727 onzas que se tenían antes de la operacion, no resulta mas que una diferencia de 14 onzas. Concluye Payne de aqui que el vapor habia espelido casi todo el aire contenido en el globo. Hizo de nuevo salir el aire del globo por medio del vapor; y cerradas las dos llaves, puso el globo lleno de vapor en la balanza, y encontró que pesaba 202^{onz.}5: despues abrió una de las llaves para que entrase el aire, y añadiendo un peso al otro plato de la balanza, vió que el peso total era de 203 onzas, cuyo resultado manifestaba que el peso del aire contenido en el globo era igual á 0,5 onzas, ó 218,75 granos. Se volvió á llenar el globo como antes de vapor, el cual se condensó despues por medio de agua fria aplicada exteriormente; y luego que se secó el metal y se introdujo el aire en el globo, se encontró que el agua que provenia del vapor condensado pesaba 96 granos. Es digno de notarse que la razon de la densidad del vapor á 100° seria á la del aire á 15° como 96 : 218,75, ó como 0,44 : 1. La verdadera densidad del vapor á 100° está en la razon de 0,48 : 1.

Cuando el globo se llenó de vapor como al principio, Payne, ignorando el efecto de la temperatura, continuó dejando entrar el vapor, lo que le dió un grado de calor mas elevado; habia encontrado en efecto por sus esperiencias, que el mas pequeño grado de frio debajo de la temperatura del vapor condensaria de nuevo una parte de él, y que así le seria imposible asegurarse de la cantidad que arrojaría al aire de un espacio dado, objeto

esencial, no obstante, de la experiencia. Consiguió espeler el aire con menos vapor; porque habiendo pesado el globo, cuando el vapor estaba condensado, introducido despues el aire, y habiéndose enfriado todo, halló que el peso del agua de condensacion no era mas que de cerca de 48 granos, y que convertida en vapor ocupa un espacio de 925 pulgadas cúbicas, de modo que espele casi todo el aire; de donde concluyó, que una pulgada cúbica de agua forma 4000 pulgadas cúbicas de vapor. Para hacer una comparacion, deberia haber observado la temperatura, porque yo tengo mis dudas de que el vapor estuviese bastante enrarecido por el calor para dar este resultado.

17. Payne hizo tambien algunos ensayos con el objeto de hallar un nuevo procedimiento para producir el vapor. Su aparato consiste en un vaso de hierro colado de la figura de un cono truncado, cuyo diámetro inferior era de 4 pies, y el otro extremo terminaba en una semi-esfera de cobre de cerca de 5½ pies de diámetro. Se colocó en el interior un pequeño vaso, que Payne llamaba *dispersador*, y que tenia dos tubos en su circunferencia. El fondo descansaba en un eje central, sobre el cual giraba, de manera que iba desparramando el agua que recibia por un tubo de hierro de un reservatorio que estaba en la parte superior; la estremidad de dicho tubo atravesaba la tapa hemisférica por un agujero bien justo, que le permitia recibir con facilidad un movimiento circular, de modo que el agua pudiese desparramarse y caer en lluvia sobre las paredes del vaso cónico candente. Con arreglo á esta experiencia refiere Payne, que un vaso del tamaño y forma que acabamos de describir, mantenido en un calor rojo obscuro, y desparramada el agua con cierta regularidad, convertiria 6½ pies cúbicos (184 litros) de agua en vapor por hora. Añade, que por varios esperimentos hechos en Wednesbury y Newcastle-sur-Tyne, habia encontrado que 112 libras (51 kilogramas) de carbon de piedra, podian reducir á vapor por este método 12 pies cúbicos (340 litros) de agua. Este resultado es casi exacto; pero la operacion no ofrece ventajas, y el aparato no dura mucho tiempo. Sin embargo, un hombre ingenioso debe dar cuenta de sus tentativas, para establecer verdades útiles, aun cuando no consiga su intento: de este

modo se ve cuál era en su tiempo el estado de los conocimientos sobre la materia, y á lo menos resulta la ventaja de evitar que otras personas repitan esperiencias inútiles. El modo de producir el vapor que acabamos de describir, ha sido renovado mas de una vez en nuestros dias.

18. La máquina de Savery habia necesitado hasta entonces un hombre para abrir y cerrar las llaves. Un francés, llamado Gensanne, parece que fue el primero que remedió este inconveniente, por medio de un aparato que obraba por sí mismo, y que inventó al efecto en 1744. Mas adelante, De Moura, portugués, envió á la sociedad Real un modelo de otro procedimiento, que está perfectamente descrito por Smeaton en las *Transacciones* relativas al año 1751 (1). Su descripcion general bastará para demostrar el modo con que la accion se verifica. La máquina consiste en un recipiente con llaves de vapor y de inyeccion: tiene un tubo de aspiracion y otro de presion, cada uno con una válvula, y una caldera que podia ser de figura esférica como se usaba entonces. Como su construccion no tiene nada de particular, no hay necesidad de hacer una descripcion de ella, asi como tampoco de las otras partes ya mencionadas, y que se encuentran en todas las máquinas de esta especie. Lo que es peculiar de esta máquina, es un flotador que hay en el recipiente, y consiste en una ligera esfera de cobre, que se halla fija á la estremidad de una palanca que sube y baja por efecto de este flotador, mientras que el otro extremo de ella está fijo en un eje: por consiguiente, segun que el flotador sube ó baja, gira el eje, ya en un sentido ya en otro. El eje es de figura cónica, y atraviesa una caja de la misma forma, que está fija en el lado del recipiente. En una de las estremidades del eje que sale fuera de la caja, hay otra palanca, que el eje hace mover tambien hácia atrás, ó hácia adelante, segun que el flotador sube ó baja. Por estos medios, el ascenso ó descenso de la superficie del agua en el recipiente comunica un movimiento correspondiente al exterior, y da los movimientos convenientes al resto del aparato, que arregla la abertura y cierre de las llaves de vapor y de inyeccion, lle-

(1) *Transact. philosoph.* vol. XLVII, p. 436, ó *Abrégé*, vol. X, p. 252.

nando el mismo objeto que las soleras con clavijas en la máquina de Newcomen.

1751. *Francisco Blake, miembro de la Sociedad Real.*

19. El Señor Francisco Blake publicó en 1751 una memoria sobre las mejores proporciones de los cilindros de las máquinas de vapor (1). Este escrito es digno de atención, por cuanto contiene los primeros vestigios de las investigaciones teóricas concernientes á las proporciones de las máquinas, y al mismo tiempo por los resultados que obtuvo.

El autor tiene por evidente, según los principios de la mecánica, que siendo la capacidad del cilindro una misma, la cantidad de agua elevada á cada golpe del émbolo será igual en todos los casos, y esta igualdad se obtiene proporcionando la distancia del centro del émbolo al eje de la balanza. Se admite también que el escedente de la columna atmosférica sobre la del agua, es equivalente á un peso sobre el émbolo, que le hace bajar á una profundidad de cerca de 5 pies en el cilindro, con un movimiento que la construcción actual hace al principio acelerado; pero este movimiento se disminuye, cuando la fuerza aceleratriz viene á quedar compensada, por el rozamiento y la resistencia del vapor no condensado que queda en el cilindro, aun después de la inyección, y que crece en elasticidad por la disminución de su volumen. Pero prescindiendo del rozamiento, podemos sentar, á pesar de esta disminución de fuerza ocasionada por el vapor que queda en la parte inferior del cilindro, que las razones de la velocidad y los tiempos del descenso de los émbolos en los cilindros de profundidades desiguales, son exactamente las mismas que si no hubiese ninguna resistencia.

De este modo resolveremos sin dificultad la cuestión de que estamos tratando. Sean MN (fig. 1, Lám. II), un cilindro de vapor de la altura ordinaria, igual en diámetro á otro cilindro más pequeño *m m*. Suponiendo igual la rarefacción en entrambos, $AQ = aq$, $RQ = rq$, y $AR = ar$, representan respectivamente el

(1) *Transact. Philosoph.* vol. XLVII, p. 197, ó *Abrégé*, vol. X, p. 187.

esceso del peso de la atmósfera sobre el de la columna del agua, la resistencia que el resto del vapor hace experimentar á los émbolos, y en fin la fuerza efectiva. Tomemos $ak : AK :: an : AN$.

En todas las posiciones semejantes, la resistencia bc de mn , y la presión kc sobre su émbolo, serán iguales á la resistencia BC de MN , y á la fuerza KC sobre su émbolo; y (por la proposición 39 de los *Principios de Filosofía* de Newton sobre el descenso de los cuerpos) tenemos

$$\sqrt{akcr} : \sqrt{AKCR} :: \text{velocidad en } k : \text{velocidad en } K;$$

Pero siendo estas areas evidentemente como los paralelogramos correspondientes kq y KQ , y estos como sus alturas, las velocidades producidas estan en razon subdupla de ak á AK , como si la resistencia hubiese sido invariable.

Apliquemos esto á las máquinas de vapor. Si TW es un cilindro de la misma capacidad que el cilindro MN , la cantidad de agua dada por uno y otro á cada golpe del émbolo será la misma, como se ha observado; pero el cilindro TW no tiene mayor altura que mn , y supuesta igual la rarefacción del vapor, resulta, de lo que se ha probado con referencia al tiempo, que la duracion del descenso del émbolo en TW , será á la del descenso del émbolo mn

$$:: \sqrt{EW} : \sqrt{AN};$$

luego, en un tiempo dado, el cilindro pequeño TW producirá mas efecto que el cilindro largo MW de igual capacidad, y esto en razon de sus diámetros; porque puesto que

$$\overline{TE} \times EW = \overline{MA} \times AN,$$

y

$$EW : AN :: \overline{MA} : \overline{TE};$$

será

$$\sqrt{EW} : \sqrt{AN} :: MA : TE.$$

A esto añade aun Blake, que el rozamiento se disminuye con la lentitud del movimiento, porque la circunferencia del émbolo se aumenta en menor razon que su area. La con-

secuencia de todo este raciocinio persuade el uso de un cilindro de corta altura, y es preciso confesar que no deja de ser ingenioso. Pero la verdadera cuestion es averiguar, qué forma de cilindro producirá mas efecto con menos vapor, y no el mayor efecto en menos tiempo, con un cilindro de una capacidad dada (Véase la Seccion IV). Blake investigó tambien la razon entre la potencia y la resistencia, que en un tiempo dado produce mayor efecto cuando el movimiento se acelera despues del momento de reposo, asi cuando la fuerza es uniforme, como cuando es variable y se aumenta como la distancia (1). (Véase la Seccion IV).

1757. *Keane Fitzgerald*, miembro de la Sociedad Real.

20. Era muy natural que haciéndose entonces grande uso de las máquinas de vapor, se pensase en economizar el combustible, sobre todo en los parages en que era costoso. A este efecto propuso K. Fitzgerald en 1757 (2), el agitar el agua en la caldera por una corriente de aire, segun el plan del doctor Hale para la vaporizacion, desconociendo asi la diferencia que hay entre los procedimientos para producir el vapor, y los de acelerar la vaporizacion del agua: Hale en consecuencia se dirigió á él para que le hiciese unos ventiladores de minas, que habian de moverse por máquinas de vapor; y como para esto se necesitaba de un movimiento de rotacion, Fitzgerald pensó en uno para hacer la máquina de vapor aplicable á este uso. El método que adoptó se parece mucho, en cuanto al principio en que se funda, al que inventó Hulls para su barco de vapor (art. 14); pero en lugar de dar regularidad á su mecanismo por medio de un peso, Fitzgerald propuso emplear un volante, y hace la observacion de que por este medio se podia aplicar la máquina de vapor á los molinos de trigo, á la extraccion del carbon de piedra, etc. Fitzgerald hizo ver tambien la impropiedad del modo usado entonces de suspender la balanza, que tenia el eje debajo

(1) *Transact. Philosoph.* vol. LI, p. 1, ó *Abrégé*, tomo XI, p. 317.

(2) *Transact. Philosoph.* tom. L, p. 53 y 157.

de su centro de gravedad; cambió el lugar del eje de la balanza de la máquina hidráulica de York, y obtuvo así en los efectos grandes ventajas.

1758. *Guillermo Emerson, que nació en 1701, y murió en 1782.*

21. Emerson publicó en su *Mecánica* una descripción sucinta, pero clara, de la máquina atmosférica, é indicó un método para calcular su fuerza, en cuanto no se considerase mas que el equilibrio estático entre la potencia y la resistencia.

Dió además en sus *Miscelaneas* la solución de un problema, que tiene por objeto determinar la razón entre la fuerza y la resistencia para producir el mayor efecto, el cual se puede enunciar así: dadas en una máquina de vapor la presión efectiva de la atmósfera sobre el émbolo, y la longitud del espacio que corre, determinar la cantidad de agua elevada á cada golpe, de modo que en un tiempo dado se eleve la mayor cantidad posible, suponiendo la fuerza uniforme y el brazo de la balanza de igual longitud. La solución de Emerson difiere de la de Blake (art. 19), en cuanto considera toda la duración de la subida y bajada del émbolo, y no asimila la fuerza motriz á la gravitación de una masa pesada. Este método es en efecto mas aplicable á la cuestión aunque no es completo, porque el dato que se ha de tener no es el del tiempo, sino el del espacio (V. Sec. IV).

22. El célebre ingeniero Brindley trató de perfeccionar las calderas de las máquinas de vapor, construyéndolas de madera y de piedra, y colocando un hornillo y una chimenea de bronce en el interior de la caldera, de modo que por todas partes esten rodeados de agua en cuanto sea posible. Esperaba utilizar por este medio mucha mayor parte del calor, y por consiguiente tomó una patente para este objeto en 1759. Pero no sería difícil probar que esta nueva disposición estaba fundada sobre falsos principios, en cuanto á la naturaleza de la combustión y á la cantidad de calor perdida (véase art. 190): por esta razón no se estendió mucho su uso.

1762. *El doctor José Black.*

23. En esta época se hizo un asunto de mucha importancia la investigación de la razón entre la cantidad del combustible y el efecto del vapor en una máquina; pero las diferentes cantidades de calor, combinadas con el mismo cuerpo, según se hallaba en el estado sólido, líquido ó gaseoso, ó con diferentes cuerpos á las mismas temperaturas, no se habían determinado aun, ó por mejor decir, no se habían percibido clara y distintamente. Por consiguiente eran demasiado groseras y poco sutiles las miras que dirigian á los sábios de aquella época, como sucede en el día con los ignorantes que tratan de perfeccionar las máquinas de vapor. Las primeras investigaciones sobre la combinación del calor con los cuerpos en el estado sólido, líquido ó gaseoso, se deben al doctor Black. Enseñó públicamente su doctrina en 1762, y demostró que el calórico combinado con estos cuerpos, era insensible al termómetro, y por esta razón le llamó *calor latente*. Halló igualmente que la cantidad de calor necesaria para convertir el agua hirviendo en vapor, escedia cinco veces á la cantidad necesaria para ponerla en ebullición. El doctor Black demostró también que cuerpos diferentes exigian diferentes cantidades de calor para producir el mismo cambio de temperatura. Black llamó á esta propiedad *capacidad para el calor*; ahora nos servimos de la voz *calor específico* (V. la Sección II art. 70).

Debemos á este profesor los principios sobre el modo de manejar los hornos, y muchas nociones sobre la naturaleza y efecto del combustible.

Sus investigaciones sobre el calor se continuaron por el doctor Yrving y el doctor Crawford, que hicieron esperiencias para determinar el calor específico y el calor latente de diferentes sustancias.

1765. *Juan Smeaton, miembro de la Sociedad Real, que nació en 1724, y murió en 1792.*

24. Smeaton no estaba dotado de toda la fuerza de enten-

dimiento necesaria para penetrar las miras espuestas por el doctor Black, ni habia nacido para sacar partido de ellas en el uso de la accion del vapor: su talento le llevó á perfeccionar la construccion y las proporciones de las máquinas existentes, escogiendo los mejores métodos conocidos, y haciendo ensayos sobre ellos. Hallamos que proyectó en 1765 una máquina atmosférica portatil, para hacer las esperiencias que emprendió en 1769 (1).

Despues dirigió Smeaton el establecimiento de muchas máquinas grandes atmosféricas, y las llevó á un grado de perfeccion, del cual nadie pasó despues de él.

Me propongo hacer una ligera reseña de sus mas importantes investigaciones, empezando por su máquina portatil. Es el primer ensayo que se practicó para hacer una máquina capaz de transportarse de un lugar á otro. Colocó el fogon en el interior de la caldera; y en lugar de la balanza ordinaria, una rueda de cerca de dos metros de diámetro servia, con el auxilio de una cadena, para comunicar el movimiento al vástago de las bombas.

El diámetro del cilindro era de 45 centímetros, su area de 2025 centímetros circulares; contando 5 hectogramas por centímetro cuadrado, carga que podia soportar muy bien un cilindro de estas dimensiones, como lo nota el autor, tenemos 1012,5 kilogramas. El número de golpes del émbolo por minuto se computa por diez, de 1^m,8 cada uno; por consiguiente el efecto será $2012,5 \times 10 \times 1^m,8 = 18225$ kilogramas elevados á un metro, lo cual equivale á la fuerza de cuatro caballos. Esto le pareció á Smeaton que suplia por seis caballos; y en consecuencia el cómputo que hace de la fuerza de un caballo equivale á 3038 kilogramas elevados á un metro por minuto, en lugar del valor ordinario de 4500 kilogramas.

En cuanto al combustible dice nuestro autor, que la experiencia ha demostrado que un cilindro de 6 decímetros necesita 80 kilogramas de carbon de Newcastle por hora, lo que, reducido en razon de la capacidad, dá 45 kilogramas por hora para el cilindro de 45 centímetros, ó para una máquina de cua-

(1) *Reports*, vol. I, p. 223, y vol. II, p. 338.

tro caballos, segun el uso ordinario del fuego. Piensa, y con razon, que una máquina construida á su modo no necesitaria mas de 30 kilogramas por hora para una fuerza de cuatro caballos.

El fogon de hierro colado era de figura esférica, y estaba colocado de firme en el interior de la caldera; los carbones se introducian en él por un cañon grueso adaptado á la parte exterior de la caldera; el humo salia por un cañon curvo, sobre el cual habia una chimenea de hierro para que saliese con facilidad. Las cenizas caian por una parrilla de 45 centímetros de diámetro. El fogon estaba unido á la caldera por medio de unos bordes, y cubierto continuamente de agua. En un conducto tan corto era imposible que el calor de la llama se absorbiese plenamente dentro de los límites de la caldera: por esta razon el cañon curvo estaba cercado de un vaso de cobre adaptado á su forma, en el cual se echaba el agua alimenticia, á fin de que se elevase á mayor grado de calor que si hubiese entrado inmediatamente desde el reservatorio ó depósito en la caldera. Resultaba tambien de esta disposicion que la parte mas fria del agua venia en contacto con el conducto, para aprovechar el calor del humo antes que subiese á la chimenea. Las barras de la parrilla estaban metidas en un aro movable que se podia quitar y poner segun fuese necesario. Las calderas de Smeaton estaban admirablemente dispuestas para producir el vapor; y en esta parte son casi iguales á las que se inventaron despues.

En un informe dado en 1771 sobre las máquinas hidráulicas del puente de Londres, propone Smeaton regularizar la potencia de la máquina por la inyeccion, por cuyo medio podria el que la maneja, mientras que la máquina está en movimiento, hacer variar la fuerza en proporcion á la coluna de agua que habia que elevar, lo cual evitaria los malos efectos que resultan de las variaciones de la coluna de agua ó de la resistencia, y economizaria ademas el combustible.

Parece que á principios del año de 1774 fue cuando Smeaton hizo la primera aplicacion efectiva de las mejoras que resultaron de sus esperiencias (1), y por su adopcion se disminuyó

(1) *Reports*, tom. II, p. 337.

en casi una tercera parte el gasto del combustible. En 1775 hizo el plano de las máquinas de Chase-water, cuyo cilindro tenia un diámetro de 1^m, 8, y el espacio que corria el émbolo era de 2^m, 7. Su fuerza era equivalente á la de 108 caballos, y el consumo de combustible se graduó en 510 kilogramas de carbon de Newcastle por hora. Esta máquina, estando en toda su fuerza, podia dar nueve golpes por minuto; pero debia arreglarse por la *cataracta* (1) á cuatro golpes y medio en el mismo tiempo. La construccion de la balanza y otras partes de la máquina, tiene muchas particularidades curiosas que merecen la atencion de los constructores (2).

Muy pocas son las circunstancias prácticas que Smeaton ha dejado de notar en sus investigaciones sobre la máquina atmosférica. Formó para su uso una tabla de las proporciones de las partes para las máquinas de diferentes magnitudes, la cual existe aun en la coleccion de sus papeles, adquirida por Sir José Banks. Pero la mas importante de todas sus investigaciones, es la que hace referencia á la carga del émbolo. Nota con este motivo, que habia encontrado máquinas en disposicion de sufrir un peso de 3 á 6 hectogramas por centimetro cuadrado; que las máquinas poco cargadas parecia que debian andar con la mayor velocidad; de suerte que una máquina de porte de 3 hectogramas por centimetro cuadrado, tendria doble velocidad que las que tenian de carga 6 hectogramas, teniendo los cilindros la misma area, para que los efectos de la fuerza sean iguales en ambos casos. Añade no obstante, que en estas máquinas como en las otras, hay un *maximum*, del cual no se puede pasar á menos que no se descubran nuevos principios de fuerza. Las malas proporciones y una construccion viciosa pueden reducir el efecto de una máquina á menos del que deberia tener; pero el *maximum* del efecto no puede ser aumentado ni aun por los mas hábiles constructores. La esperiencia, sin embargo, aconseja

(1) La *cataracta* es una especie de pendulo hidráulico, que se ha adaptado al regulador de algunas máquinas atmosféricas, para hacer variar, segun la necesidad, los intervalos de sus pulsaciones. (El traductor frances).

(2) *Rapports* de Smeaton (*Reports*, tom. II, p. 350.)

seja en algun modo que no se emplee mas que una carga mediana. Los primeros que obtuvieron patente (Newcomen y compañía), fundándose en los efectos de sus primeras máquinas, sentaron por principio el no cargar el émbolo mas que en 5 hectogramas y medio por centímetro cuadrado; pero una experiencia mas larga les hizo disminuir esta carga, y en las mejores máquinas construidas antes de Smeaton no fué mas que de $4\frac{1}{2}$ hectogramas por centímetro cuadrado. Smeaton asegura aún que cualquiera razon podrá convenir, si las partes estan bien proporcionadas; pero segun una larga série de esperiencias trabajosas, habia adoptado por base 5 hectogramas por centímetro cuadrado, comprendiendo la elevacion del agua de inyeccion.

Los trabajos de Smeaton demuestran hasta la evidencia el estado de imperfeccion en que estaba la ciencia mecánica aplicada á los trabajos usuales. Hizo el plano de una máquina que se habia de establecer en Long-Benton, para elevar el agua que debia mover una rueda hidráulica, para que esta estrajese el carbon de la mina (1). En 1781 propuso una de las máquinas de Boulton y Watt para elevar el agua que habia de poner en movimiento un molino de trigo (2), apoyando su opinion en argumentos como los siguientes: «Es de temer que ningun movimiento resultante del de la balanza de una máquina, pueda nunca obrar con un impulso y una velocidad tan uniformes, que pueda producir un movimiento circular semejante al que produce la caida regular del agua sobre una rueda hidráulica. Se sabe que el buen efecto de un molino, cuyo motor es el agua, proviene principalmente de que el movimiento comunicado á las muelas es perfectamente uniforme y regular: el menor sacudimiento ó agitacion perjudica á la bondad del trabajo. Además de esto, todas las máquinas que Smeaton habia visto estaban espuestas á interrupciones, y algunas veces tan violentas, que en un solo movimiento del émbolo pasaba la máquina de su mayor grado de fuerza y movimiento á un reposo absoluto; por otra parte, cuando el vapor baja á un cierto grado de tempe-

(1) *Rapports de Smeaton*, tom. II, p. 435.

(2) *Id.* tom. II, p. 478.

«ratura, por falta de fuego, ó por cualquiera otra causa, la máquina no puede ya funcionar; pero en la elevacion del agua, á cuyo objeto parece que estaba particularmente destinada, la interrupcion del movimiento no ocasiona mas daño que la pérdida de tiempo, mientras que en el movimiento de las muelas para moler los granos, semejante detencion podria producir efectos muy desagradables.»

No debe haber sido muy lisonjero para Smeaton el haber notado, que todas sus laboriosas investigaciones las habia hecho casi supérfluas la invencion de una disposicion mas sábia, y que su sistema tímido de analisis no era siempre el medio mas seguro para hacer las fuerzas de la naturaleza útiles á la sociedad. A pesar de esto, aun cuando no se hubiera dado á conocer mas que por sus trabajos sobre la máquina de vapor, tendria aun grandes derechos á nuestra estimacion y respeto. Las otras mejoras de esta máquina, como el cilindro cerrado, el doble efecto etc. deben, sin disputa, mucha parte de su perfeccion al uso de los mismos sistemas de mecanismo que Smeaton habia aplicado ya á la máquina pneumática.

1766. *Juan Blakey.*

25. Aunque las máquinas de Savery presentan en su modo de obrar una multitud de circunstancias que disminuyen el efecto, estas imperfecciones llamaron mas y mas la atencion de aquellos hombres especulativos que querian corregirlas, y Blakey fué uno de los que mas se dedicaron á este estudio. En 1766 obtuvo patente por un nuevo sistema de construccion de la máquina de Savery, valiéndose de dos recipientes colocados uno sobre otro, y comunicándose por un tubo. Una capa de aceite, que formaba una especie de émbolo ó flotador líquido, debia impedir el contacto del vapor y del agua. Propuso introducir el aire para formar una capa entre el vapor y el agua, y evitar de este modo la condensacion durante la compresion del agua por el vapor. Estos dos métodos son inferiores al émbolo flotante de Papin.

Blakey tuvo sin embargo bastante destreza para persuadir

al público que habia hecho un gran descubrimiento, y conseguir que el profesor Ferguson espusiese en sus cursos las ventajas que tenia para una fuente de vapor ó de compresion (1). La práctica manifestó bien pronto lo defectuoso de este método.

En cuanto á la produccion del vapor, parece que Blakey ha sido el primero que propuso tubos cilíndricos en lugar de calderas. Su descripcion salió á luz en 1774. Se le debe tambien el opúsculo siguiente: *Relacion histórica de la invencion, de la teoria y de la práctica de las máquinas de fuego*, impresa en Londres en 1793, y que contiene principalmente un sumario de sus trabajos, pero que en el dia no tiene ningun interés.

1769. Jaime Watt, miembro de la Sociedad Real, nació en 1739, y murió en 1819.

26. Las primeras investigaciones de Watt parece que datan de 1764, dos años despues de la época en que Black espuso sus doctrinas sobre el calor. Watt hizo primeramente esperiencias sobre la fuerza elástica y el volúmen del vapor, y desenvolvió gradualmente los principios que forman la base de las importantes mejoras que hizo en las máquinas movidas por este fluido. Pero hasta 1768 no le parecieron sus planes bastante maduros para solicitar una patente, que se le concedió en 1769. La especificacion de ella es corta y sin figuras; por consiguiente copiaré el texto, y señalaré mas adelante los principios y métodos de construccion que aun no se habian mencionado.

La patente de Watt de 1760 se le concedió por su «método de disminuir el consumo de vapor, y por consiguiente el gasto del combustible, en las máquinas de fuego.» He aquí la especificacion de su procedimiento.

Primeramente. El vaso en que debe obrar la fuerza del vapor para hacer andar la máquina, vaso llamado *cilindro* en las máquinas de fuego ordinarias, y al cual doy yo el nombre de *vaso de vapor*, se debe mantener, durante todo el tiempo que la máquina está en movimiento, en el mismo grado de calor

(1) *Leçons de Ferguson*, tom. I, p. 312.

que el vapor que se introduce en él. Para este efecto le encierro en una cubierta ó funda de madera, ó de cualquiera otra materia que no transmita el calor sino lentamente, despues le rodeo de vapor ó de otro cuerpo caliente; en fin, durante este tiempo no deajo entrar, ni aun acercarse á él, ni al agua, ni á ninguna otra sustancia mas fria que el vapor.

En segundo lugar. En las máquinas que han de ser movidas en su totalidad, ó en parte, por la condensacion del vapor, se debe condensar este fluido en vasos separados de los cilindros de vapor, pero que puedan comunicarse con ellos en caso necesario. A estos vasos los llamo *condensadores*. Mientras que las máquinas estan funcionando es preciso procurar que estos condensadores esten tan frios á lo menos como el ambiente, y esto por medio del agua ó de otros cuerpos frios.

En tercer lugar. La porcion del aire, ó cualquiera otro gas que no se condensa por la accion del condensador, y que puede ser un obstáculo para el movimiento de la máquina, debe ser espelida de los vasos ó condensadores, con el auxilio de bombas movidas por las máquinas mismas, ó por otro medio.

Cuarto. Me propongo emplear en muchos casos la fuerza expansiva (la presion) del vapor para obrar sobre los émbolos, ó sobre lo que se pueda sustituir en su lugar, del mismo modo que se sirven hoy de la presion atmosférica para las máquinas de fuego ordinarias. En los casos en que no se puede proporcionar toda el agua necesaria, las máquinas pueden ser movidas por la fuerza del vapor solo, haciendo á este salir al aire libre despues de haber funcionado.

Quinto. Cuando se necesitan movimientos de rotacion al rededor de un eje, doy á los vasos de vapor la forma de anillos ó cercos huecos, ó de canales circulares, con entradas y salidas para el vapor, y montados sobre ejes horizontales como las ruedas hidráulicas: en el interior de estos anillos ó canales hay un cierto número de válvulas, que no dejan paso á lo largo del conducto mas que en una sola direccion. A estos vasos de vapor estan adaptados ciertos pesos, dispuestos de modo que llenan una parte de sus canales, pero dejándoles la facultad de moverse libremente con el auxilio de los medios que se descri-

birán mas abajo. Cuando el vapor está ya introducido en las máquinas, entre los pesos y las válvulas, obra igualmente sobre unos y otras, de suerte que por un lado de la rueda hace levantar los pesos, y por la reaccion sucesiva sobre las válvulas da un movimiento circular á la rueda, abriéndose las válvulas en la direccion en que los pesos son impelidos, pero no en el sentido contrario. A medida que el vaso de vapor da vueltas, recibe vapor de la caldera, y el que ha hecho ya su oficio se puede vaciar en el condensador ó en la atmósfera.

Sexto. En algunos casos me propongo aplicar un cierto grado de frio insuficiente para convertir el vapor en agua, pero capaz de contraerle considerablemente, y de manera que la máquina se mueva por la expansion y contraccion alternativa del vapor.

En fin, en lugar de emplear el agua para impedir que el aire y el vapor pasen por las junturas del émbolo ó de las otras partes de la máquina, me valgo de aceite, cera, cuerpos resinosos, grasa de animales, azogue y otros metales en el estado líquido.

Se debe tener entendido que no es mi ánimo aplicar lo que comprende el artículo 4.º á las máquinas en que el agua que se quiere elevar entra, bien sea en el vaso de vapor mismo, ó en otro vaso con el cual esté en comunicacion (1).

La importante mejora descrita en esta especificacion consiste en condensar el vapor en un vaso separado, y á esta ventaja está necesariamente unida la de un nuevo método para evacuar el agua y el aire del condensador. La aplicacion de este principio no podia ser perfecta sino manteniendo el cilindro á la misma temperatura que el vapor, y teniendo el condensador tan frio como fuese posible sin mucho gasto. Los procedimientos propuestos por Watt para llegar á este fin son nuevos y juntamente eficaces.

Es verdad que se habia pensado ya en emplear la presion del vapor, y aun en hacer uso de él sobre el émbolo (art. 12); pero su aplicacion en un cilindro cerrado por medio de una caja de estopa, semejante á la de que se habia valido Smeaton para la

(1) Robison, *Physiq. mécan.* tom. II, p. 119. — *Repertory of Arts*, tom. I, p. 217 (1794).

máquina pneumática, era un método nuevo de construcción, del cual se puede suponer que Watt tuvo la idea de hacer uso en su máquina, aunque no haya hecho mención de él. En esta patente se publicó también, aunque de un modo muy imperfecto, el proyecto de una máquina rotante, ó rueda de vapor.

27. No habiendo surtido buen efecto el ensayo hecho con esta rueda de vapor, parece que el primer pensamiento de Watt fue el de convertir el movimiento alternativo del vástago del émbolo en un movimiento de rotación. Hulls y Fitzgerald habian inventado ya ciertos métodos para llegar á este fin. Stewart en 1769, así como Washborough en 1778, habian tomado cada uno una patente por procedimientos semejantes, y Stheed habia obtenido otra en 1781 por el movimiento de simple cigüeña.

A pesar de que existian ya estos métodos, se le dió patente á Watt en 1781 por otros cinco procedimientos, de los cuales el uno era el movimiento de rueda planetaria que empleó por algun tiempo, á causa del privilegio exclusivo de la cigüeña obtenido por Steed.

En 1782 consiguió Watt otra patente, que abrazaba varios métodos de aplicar el vapor: 1.º por una máquina de vapor de expansión, con seis mecanismos diferentes para hacer la potencia uniforme: 2.º la máquina de vapor de doble efecto, en la cual se emplea el vapor alternativamente en obrar en cada lado del émbolo, mientras se hace el vacío en el otro lado: 3.º una nueva máquina compuesta, ó método de ligar los cilindros y los condensadores de dos ó mas máquinas distintas, de manera que el vapor de que se hace uso para mover el émbolo de la primera, obre por expansión sobre el émbolo de la segunda, etc., y produzca así un aumento de fuerza para obrar, ya sea alternativamente, ya en unión con la del primer cilindro: 4.º la aplicación de una barra dentada, y de sectores también dentados en lugar de cadenas, á la estremidad de los vástagos ó de los émbolos de la bomba y de las balanzas: 5.º una nueva máquina de movimiento circular alternativo, y una nueva máquina rotante continua, ó rueda de vapor.

Por medio de la máquina de doble efecto, el mismo cilindro puede hacer dos veces tanta obra en el mismo tiempo que en la

de simple efecto, verificándose la presión del vapor y la condensación durante la subida y bajada del émbolo. Esta innovación, por más sencilla que parezca en el día, ofrece ventajas de importancia; hace la fuerza casi uniforme, disminuye la proporción de las superficies refrigerantes, y permite minorar el volumen y el peso de la caldera, como también el de la máquina.

Los medios más adecuados para regularizar la fuerza de las máquinas de vapor consistían: 1.º en limitar la abertura de las válvulas reguladoras que dejan paso al vapor para obrar sobre el émbolo, y en dejarlas abiertas de una cierta y determinada manera durante todo su curso: 2.º en no abrir estas válvulas sino al principio, y en cerrarlas después, cuando el émbolo no ha hecho más que una parte de su curso; ó por último en hacer uso de una válvula de cuello ó garganta, adaptada á un cañón de vapor, la cual obrando como la paradera ó compuerta de un molino, no deja entrar más que el vapor necesario para producir el efecto que se desea.

El segundo de estos métodos, para hacer regular la fuerza de una máquina, es el mejor, y el que constituye la base de la máquina llamada *máquina de expansión de Watt*. Por este método se aprovecha la fuerza del vapor, mejor que si el émbolo recibiese su impulso entero durante todo el curso. Dícese que este medio se empleó en una máquina en la manufactura de Soho y en algunas otras, hácia el año 1776, y en las máquinas hidráulicas de Shadewel, en 1778; pero no se hizo público hasta 1782, que es la fecha de la patente arriba mencionada. Un año antes había propagado Hornblower este mismo principio, pero con una aplicación diferente. Cuando se encuentran dos inventores de un procedimiento capaz de diferentes aplicaciones, el primero que le publica es el que se lleva la gloria, porque muy rara vez se tienen ocultos los inventos, como no sea por un motivo de interés; y cuando un individuo no obra sino por un principio de esta naturaleza, pierde por esto solo todo el derecho á la primacía del invento.

28. Quedaba aun un paso por dar para completar el mecanismo de la máquina de doble efecto; era preciso hallar un medio para guiar el vástago del émbolo, y es lo que parece que

se efectuó por la primera vez en 1784 por medio de la invencion del *paralelogramo*. Este procedimiento consiste en una combinacion ingeniosa de palancas, un punto de las cuales describe una línea casi recta; á este punto está unido el vástago del émbolo, de modo que su movimiento, convertido en rectilíneo, hace oscilar al punto la balanza. Watt, para asegurar la propiedad de este nuevo descubrimiento, sacó en 1784 una patente que ademas hacia mencion, 1.º de una nueva máquina rotante, en la cual el vaso de vapor debia girar sobre un polo ó quicio, y colocarse dentro de un fluido denso, cuya resistencia á la accion del vapor debia producir el movimiento de rotacion: 2.º de un sistema perfeccionado para aplicar la máquina de vapor al movimiento de las bombas, y á otros mecanismos alternativos, haciendo balancear los vástagos uno por otro: 3.º de un nuevo método para la aplicacion de la fuerza de las máquinas de vapor como motor de los molinos con muelas que dan vueltas juntas: 4.º de un modo simplificado para aplicar esta fuerza de las máquinas de vapor al movimiento de los martillos de las herrerías ó de los molinos de pilones: 5.º de un nuevo modo de construir y abrir las válvulas con un *encliquetage* (*) perfeccionado: 6.º en fin, de una máquina de vapor portatil, y de un mecanismo para los carruages de vapor.

En 1785 obtuvo Watt patente por una nueva construccion de hornos, en la cual aplicó los mejores principios de la física de aquel tiempo, para desarrollar el calor y consumir el humo del combustible. Aplicó igualmente á las máquinas de vapor el péndulo cónico como regulador, el *manometro* para la caldera y para el condensador, como tambien un instrumento precioso, que sirve para denotar el estado del vapor en la caldera, designado bajo el nombre de *indicador*.

29. El único punto de la teoría de la accion del vapor que Watt trató de determinar, partiendo de los primeros principios, es la potencia que da por la expansion, y es lo que hizo de un modo imperfecto. Las proporciones y el método de construccion que adoptó, no parece que son mas que el resultado de ensayos;

(*) Por esta voz francesa, que usan algunos relojeros entre nosotros, y que se conserva aqui por no hallar otra equivalente, se designa el juego ó mecanismo de dos piezas semejantes á las que se conocen en la relojeria con los nombres de *trinquete* y *rochete*. *El Traductor español*.

y de aqui se siguió, como era natural, que se pasó mucho tiempo antes que sus máquinas se pusiesen en uso; porque aunque estaba dotado de un talento particular para la inventiva, no tenia grandes medios para juzgar del mérito de sus combinaciones. En efecto parece que no tuvo otro modo de asegurarse de su bondad mas que el de hacer modelos y máquinas de experimentos, medio tan lento como costoso. Como no habia recibido ninguna indemnizacion de los considerables sacrificios que le habian ocasionado estos diferentes ensayos, se le prolongó el término de su patente hasta 1800, y esta concesion le valió, tanto á él como á sus asociados, una fortuna rápida. Watt consagró despues una grandísima parte de su vida á la química, y particularmente á su aplicacion á las artes. Como autor, se le deben sobre las máquinas de vapor algunas noticias históricas de sus propios inventos, algunas correcciones en el artículo insertado por el doctor Robison en su *Física mecánica*, y las notas que le ha añadido, concernientes á sus esperiencias sobre el calor latente y sobre la fuerza elástica del vapor, cuyos pormenores no se publicaron sino cuando investigaciones mas recientes los habian hecho ya inútiles.

3o. No se debe olvidar la parte que tuvo Boulton en la perfeccion é introduccion de la máquina de vapor: porque asi como lo ha notado el baron Dupin, «la máquina de Watt en la época en que la inventó, no era mas que una idea ingeniosa; y Boulton, con tanto espíritu como penetracion, empleó toda su fortuna en promover su buen éxito.» No titubeó en su designio, por mas que Smeaton hubiese asegurado que estaba íntimamente convencido de que jamás podria tener esta máquina una aplicacion general como agente útil. Fuera de esto Boulton hizo un gran servicio á Watt y á la Gran Bretaña, cuando por sus talentos extraordinarios en industria libró á su asociado de todo cuidado doméstico, de toda especulacion mercantil, y de todos los quebraderos de cabeza que traen consigo inevitablemente las grandes empresas de esta naturaleza.

Boulton hizo aun mas: triunfó de todos los obstáculos, que los intereses y las preocupaciones debieron oponer en un principio á los progresos, buen éxito y aplicacion de las máquinas de vapor. «Los hombres, añade el Sr. Dupin, que se dedican exclusivamente á perfeccionar la industria, sabrán apreciar en

«todo su valor los servicios que Boulton ha hecho á las artes y á las ciencias mecánicas, desembarazando el génio de Watt de una multitud de dificultades estrañas, que hubieran consumido unos dias, á los cuales estaba reservada una empresa mucho mas digna, la de perfeccionar las artes útiles.»

31. T. H. Zeigler inventó un procedimiento curioso para ensayar la fuerza elástica de diferentes vapores; la descripción está consignada en una memoria publicada en Basilea en 1769, con unas tablas que presentan los resultados de sus esperiencias; pero parece que no habia tenido cuidado de evacuar el aire de su aparato antes de los ensayos, y asi sus investigaciones no tienen interés alguno.

1781. *Jonathan Hornblower.*

32. En 1781 obtuvo Hornblower patente por un modo nuevo de aplicar la fuerza expansiva del vapor. Cuando este está limitado á un lado del émbolo, y que se ha formado en el otro lado un vacío parcial, hace mover el émbolo hasta que su acción esté en equilibrio con el rozamiento y el vapor no condensado; y toda la fuerza comunicada durante este movimiento, es otro tanto aumento al efecto ordinario de la presión del vapor. Para conseguir esta ventaja empleó Hornblower dos cilindros, en los cuales debia obrar el vapor, sirviéndose de este fluido despues que habia obrado en el primer vaso, para operar aun en el segundo dejándole dilatarse; cuyo resultado obtuvo uniendo los dos cilindros, y dejando pasos y aberturas por los cuales pudiese el vapor entrar y salir (1) en ciertos y determinados intervalos.

El efecto sería, con corta diferencia, el mismo que se lograría interceptando el vapor antes que el émbolo llegase al término de su curso, como lo hizo despues Watt (art. 28); pero tiene la ventaja incontestable de que ofrece un método mas uniforme de emplear la fuerza del vapor; y en las grandes máquinas, el procedimiento de Hornblower es aun superior, en cuanto se puede emplear con menos riesgo en un cilindro pequeño el vapor de alta presión: no parece, sin embargo, que pensó en ser-

(1) *Repertory of Arts*, vol. IV, p. 361 (1796).

virse de un vapor muy fuerte, y no pudo hacer uso de su invento, porque el método perfeccionado de condensacion era privilegio de Boulton y de Watt.

Otros muchos mecánicos pensaron, como Watt, que sería ventajoso aplicar la acción directa del vapor para producir el movimiento de rotación. Hornblower ensayó con este objeto dos mecanismos diferentes. El primero es una máquina ingeniosa, pero complicada, por la cual se le concedió patente en 1798 (1). El segundo es más sencillo, y se le aseguró la propiedad de él por otra patente en 1805: consiste en cuatro álas que dan vueltas en un cilindro al rededor de un eje. Las álas son como las de un asador de rueda, pero bastante gruesas para que pueda hacerse en ellas una ranura, que se guarnece de estopa con el objeto de cerrar las juntas: estas álas están montadas sobre un árbol, que tiene hacia el medio un cubo de rueda, en el cual están fijas y sólidamente unidas de dos en dos, de manera que las álas opuestas se muevan juntamente con ellas: de aquí resulta que si el ángulo de una ála con el árbol llega á tener alguna variación, el de la ála opuesta experimenta la misma alteración. Las álas opuestas están colocadas en ángulos rectos una con otra; de manera, que si una de ellas se presenta de canto al vapor, la opuesta no se presenta sino de plano, lo cual continúan haciendo durante su movimiento de rotación al rededor del eje comun. El vapor obra sobre la superficie de una ála en la extensión de un cuarto de círculo ó 90°; y luego que la ála ha corrido este cuarto de círculo por una vuelta súbita, se presenta de canto al vapor, mientras que en el mismo instante la otra ála, por una vuelta opuesta viene á recibir la acción del vapor, que produce así un movimiento de rotación continuo. Esta máquina debía tener el condensador y la bomba de descarga de Watt; pero Hornblower la añadió lo que consideraba como un medio más perfecto para evacuar el aire del condensador.

Es fácil probar, que el rozamiento y las demás causas que ocasionan la pérdida de fuerza, son mayores en la acción de rotación del vapor que no en la acción rectilínea, al paso que

(1) *Repertory of Arts*, vol. IX, p. 289, série antigua.

es muy poco lo que se pierde por la transformacion del movimiento alternativo en movimiento de rotacion (véase la Sección IV y VII); pero indico esta combinacion como una de las mas sencillas que se han propuesto para una máquina rotante.

33. En 1782 se publicó una série de esperiencias sobre la fuerza elástica del vapor, desde 0 hasta 100 grados, por el Señor Achard, que estudió ademas la fuerza elástica del vapor del espíritu de vino, y observó que en los casos en que el vapor del agua ó el del espíritu de vino eran de igual fuerza elástica, la temperatura de la última era cerca de 20 grados mas baja, pero que la diferencia de temperatura no era constante: esta diferencia parecia mayor ó menor, segun el mayor ó menor grado de la fuerza elástica.

1782. *El marqués de Jouffroy.*

34. La idea de emplear las máquinas de vapor para hacer andar los barcos, idea que habia sugerido Hulls (art. 14), fué por primera vez puesta en práctica por el marqués de Jouffroy, que construyó en 1782 un barco de vapor destinado al servicio del Saona en Lion: tenia 41 metros de longitud sobre 5 de latitud, y calaba un metro de agua. El marqués hizo varias esperiencias con este barco, del cual se hizo uso en el Saona por espacio de 15 meses (1).

35. En 1785 dió Perronet en la *Enciclopedia francesa* una descripcion muy detallada de una máquina atmosférica establecida cerca de Saint-Guilain, en el Hainault. Esta descripcion es notable, tanto por su claridad y los conocimientos prácticos que contiene, como porque empieza sentando, de una manera incongruente, que Papin es el inventor de la máquina de vapor, admitiendo al mismo tiempo que la primera que se construyó fué en Inglaterra.

1788. *Patricio Miller.*

36. Hacia la época de 1785 á 1788 se suscitaron varias competencias sobre la aplicacion del vapor á la navegacion. En América fueron rivales Jaime Rumsey, de Virginia, y Juan Fitch, de

(1) *Dictionnaire de Physique*, art. Chaloupe à vapeur.

Filadelfia. En Italia propuso D. - S. Serratti el emplear el vapor como fuerza motriz á bordo de los barcos, y en Escocia el señor Miller, de Dalwinston, que habiendo visto despues el modelo de una máquina de vapor inventada por el señor Guillermo Symington, de Falkirk, quedó tan satisfecho de ella, que rogó al señor Symington que le arreglase una pequeña máquina de vapor para hacer andar una lancha ó barco de doble fondo en el lago de Dalwinston. Construida la máquina conforme á los deseos del señor Miller, y puesta á bordo del barco, se hizo la prueba en Dalwinston en el otoño de 1788, y salió tan á su gusto, que encargó al señor Symington que le comprase una chalupa grande en Carron, y que le pusiese una máquina de vapor con el fin de hacer un ensayo mas en grande. Concluido todo y bien dispuesto, se verificó el ensayo en el canal de Forth y Clyde durante el año de 1789, yendo á bordo los señores Miller, Stainton, Taylor, etc.; y el resultado fue de los mas satisfactorios; pero lo que no se puede explicar es, que despues de haber establecido asi á mucha costa la posibilidad de aplicar el vapor á la navegacion, no se haya vuelto á acordar el señor Miller de ella absolutamente (1).

37. La teoría de las máquinas de vapor hizo aun algunos progresos, aunque de poca importancia, á pesar de que llamaba la atencion hasta cierto grado.

Bossut describió en 1771, en la primera edicion de su *Hydrodinámica*, una máquina atmosférica, estableciendo algunas fórmulas sobre su equilibrio estático. En la edicion de 1786 investigó la proporcion del contrapeso, pero únicamente para un caso particular, y sin comprender las circunstancias actuales de las fuerzas movientes.

38. En 1789 propuso Cooke (2) una máquina rotante. Por otras máquinas de esta naturaleza obtuvieron una patente Brahmah y Dickinson (3) en 1790, y Sadler otra en 1791 (4). Tengo

(1) Lígera narracion de los hechos relativos á la navegacion por el vapor. (*Edinburgh philosophical Journal*).

(2) *Repertory of Arts*, tom. III, p. 401 (1795).

(3) Id. tom. II, p. 73.

(4) Id. tom. VII, p. 170.

por inútil el describir la construcción particular de estas máquinas, porque el principio de una máquina rotante lleva consigo, como se demostrará, una pérdida del efecto, que no pueden evitar las combinaciones mecánicas. (Véase la Sección IV).

39. La patente de Bramah y Dickinson abrazaba tres procedimientos, el mas sencillo de todos compuesto de émbolos que se mueven por canal ó corredera en una rueda excéntrica. El vapor entra en *s* (lám. II, fig. 2), y estando la abertura del condensador en *c*, la presión hace dar vueltas á la pequeña rueda é introducirse en ella los émbolos. Esta variedad de procedimientos es una muestra del talento para la ejecución de máquinas que Bramah contribuyó tan poderosamente á introducir en la Gran Bretaña, y que su discípulo, el célebre Maudslay, llevó despues á tan alto grado de perfección.

1790. *Betancourt.*

40. El caballero Betancourt, encargado por el Gobierno español de recoger modelos de máquinas hidráulicas, hizo una serie de esperiencias sobre la fuerza del vapor del agua y del espíritu de vino á diferentes temperaturas, las cuales, si bien se hicieron con mas cuidado que las que en aquella época habian llegado al conocimiento del público, no tenían aun toda la precisión necesaria para desenvolver las leyes de la fuerza del vapor. Hizo el modelo de una máquina de doble efecto con una nueva disposición de válvulas, y segun dice el señor de Prony, lo ejecutó despues de haber visto funcionar el exterior solamente de una máquina de esta naturaleza (1).

1790. *M. R. de Prony.*

41. El señor de Prony es autor de una de las obras francesas que tratan con mas extensión de las máquinas de vapor. Este asunto forma una parte de su *Arquitectura hidráulica*, que empieza en el tomo primero, y llena casi todo el segundo.

(1) *Architect. hydraul.* tom. I, p. 574.

Comienza el señor de Prony esponiendo las propiedades del calórico, y las tablas de Betancourt sobre la fuerza del vapor, y con arreglo á estas últimas establece fórmulas empíricas para calcular la fuerza del vapor á diferentes temperaturas. Estas fórmulas son bastante complicadas, atendiendo á lo poco conformes que estan con la esperiencia. Pasa despues á la descripcion de las máquinas, segun se construian entonces, y de sus diversas partes, y pone varias láminas grabadas en escala de punto mayor. Cuando llega al paralelogramo, examina con el mayor cuidado la naturaleza de la curva descrita por la estremidad del vástago del émbolo, y demuestra, por medio de unas tablas, lo que se aparta de esta curva en una estension dada con respecto á una línea recta. Despues propone un método propio para determinar el diámetro del cilindro. Lo que dice sobre este método viene á ser, con corta diferencia, como si invitase á los artistas á adivinar un enigma, y á rectificar lo que hubiesen adivinado por medio de fórmulas complicadas. La parte relativa á las máquinas de vapor concluye con un cálculo del efecto que produce una cantidad dada de combustible, en el cual se introduce, á la verdad bien poco á propósito, la duracion de la combustion.

El resto del volumen está dedicado á una investigacion analítica de fórmulas empíricas, para determinar las fuerzas expansivas de los fluidos elásticos y de los vapores, á diferentes temperaturas; pero este trabajo es ya enteramente inútil, puesto que investigaciones mas recientes han demostrado la inexactitud de las esperiencias.

Es muy de notar que el señor de Prony no conociese las ventajas del vapor obrando por expansion, siendo asi que en la época en que salió á luz su segundo tomo, habia ya 15 años que este descubrimiento era objeto de largas contestaciones en Inglaterra. Por lo demas se puede decir, que sus trabajos son la prueba mas evidente de que el talento matemático solo no basta para los progresos de la ciencia mecánica; y si esto no fuese asi, los principios de las máquinas de vapor no hubieran tenido necesidad de nuevas investigaciones despues de las que hizo este sabio.

1795. *Juan Banks.*

42. El señor Banks en una obra sobre los molinos, publicada en 1795, trató del *maximum* de efecto útil en las máquinas atmosféricas. Considera el espacio ó la longitud del curso, como la cantidad dada, en lo cual difieren sus investigaciones de las de Blake y de Emerson. Sin embargo, asimilando la presión atmosférica á la acción de un cuerpo grave, no llegó á dar una solución exacta.

Uno de sus problemas comprende el peso de las partes móviles de la máquina, y añade con ejemplos algunas fórmulas prácticas para el equilibrio estático de las máquinas de elevar el agua.

En 1803 dió el señor Banks algunas reglas para la fuerza de las balanzas, ya sean de madera, ya de metal, añadiendo la descripción de un manómetro para determinar el estado de la rarefacción en los cilindros, así como en los condensadores de las máquinas de vapor, y cuyo principio es el mismo que en el barómetro ordinario, difiriendo solo del manómetro usado, en que aquel tiene una cubeta para el mercurio en lugar de un sifon. Sus reglas para la fuerza de las balanzas consisten en hallar la razón entre la presión y el peso de ruptura, y en establecer este peso de manera que sea seis, ocho ó diez veces mayor que la presión habitual (1).

1797. *El doctor Edmundo Cartwright, que nació en 1742, y murió en 1823.*

43. La combinación sencilla y elegante de Cartwright es la que por muchos motivos debe llamar ahora nuestra atención. Este doctor ensayó la condensación del vapor por medio de la aplicación exterior del frío al condensador, que consistía en dos cilindros metálicos colocados uno dentro de otro: el agua fría entraba en el cilindro interior, y rodeaba el otro cilindro. Por este

(1) *Puissance des Machines*, p. 103.

medio una capa muy ténue de vapor estaba espuesta á una grande estension de superficie refrigerante; y colocando la válvula de manera que dejase pasar el vapor á través del émbolo, se establecia una comunicacion continua entre el condensador y el cilindro: asi se verificaba siempre la condensacion, ya subiese el émbolo, ya bajase.

Uno de los principales objetos de esta disposicion era conseguir la ventaja que resultaba de poder reemplazar el agua en su totalidad ó en parte por el espíritu de vino, cuyo vapor hubiera hecho andar la máquina. En efecto, como el fluido que sirve para ponerla en movimiento está destinado á circular en ella sin mezcla alguna, y con muy poca pérdida, se esperaba que una vez proporcionado el empleo del espíritu de vino, seria muy pequeño ó casi ninguno el gasto que ocasionase. La fuerza obtenida por el espíritu de vino, como se suponía entonces, no debia exigir mas que la mitad del combustible que era necesario para obtener la misma fuerza por el agua (véase la Seccion IV). Cartwright propuso en algunos casos la aplicacion de esta máquina á un alambique, para obtener un efecto dinámico por la destilacion del espíritu de vino, de modo que se economizase la totalidad del combustible (1). En cuanto al modo de mantener la máquina en estado de funcionar, y obtener ademas el espíritu de vino puro, es de lo que no parece que ni él, ni sus amigos se hayan ocupado.

A fin de disminuir el rozamiento del émbolo, que cuando está guarnecido de nuevo, segun el método ordinario, ocasiona una gran resistencia á la máquina, hizo Cartwright el suyo de metal solo, y le dió elasticidad por medio de resortes. Esperaba obtener ademas por este medio una economía de tiempo y de gasto en la guarnicion del émbolo, y que este se ajustaria al cilindro con mas exactitud, si aun era posible, á medida que funcionase mas largo tiempo (véase la Seccion VII). Deseaba Cartwright vivamente simplificar todas las otras partes de su máquina, no poniéndole mas que dos válvulas, y haciéndolas obrar tan espontáneamente como fuese posible. La máquina de Cart-

(1) *Philosophical Magazine*, tom. I. p. 3.

wright está representada en la lámina II, figura 3: es de simple efecto. A es el cilindro, B el émbolo, I el tubo que conduce el vapor á C, en donde está el condensador, compuesto de un cilindro doble; el vapor pasa por entre el cilindro interior y el exterior para ir á la bomba D, de donde el fluido condensado es impelido á la caldera, atravesando un recipiente ó caja de aire P, cuya válvula está representada por *e*.

Como el tubo que se comunica con la bomba, y da al fluido condensado paso á la caldera, atraviesa el recipiente ó caja de aire, la cantidad de aire ó de vapor elástico que puede hallarse mezclada con el fluido, se eleva en el recipiente hasta que la bola que cierra la válvula *e* cae y le abre paso para marcharse.

F es la válvula de vapor; *a* la válvula del émbolo; HH dos cigüeñas, sobre cuyo eje se engranan dos ruedas una en otra para dar una direccion rectilínea al vástago del émbolo; M es el reservatorio que contiene el agua de condensacion.

Cartwright guarneció sus émbolos metálicos de anillos de metal tambien, como se ve por el corte del émbolo; se adherian por medio de resortes contra la superficie del cilindro de tal forma, que el émbolo podia ajustarse á las desigualdades de las paredes. El vástago del émbolo está dispuesto de modo que no permite que salga el vapor: Cartwright se servia á este efecto de una caja metálica, construida del modo que se ve en N; V es el volante destinado á regularizar el movimiento de la máquina.

El émbolo metálico es la única parte de la máquina, cuyo principio fundamental sea realmente nuevo, y su invencion se debe á Cartwright sin disputa; mas aun cuando no podamos decir que ninguna otra parte sea nueva, sino en cuanto á la disposicion, no podemos menos de admirar el aire de sencillez y originalidad que distingue su proyecto, aun sabiendo que ni la teórica ni la práctica nos permiten ensayar los procedimientos que propuso.

Cartwright comprendió en su patente una máquina de movimiento de rotacion, sencilla en la apariencia, pero que ofrece en el hecho una multitud de dificultades en cuanto á la construccion, ademas de que resulta de ella la pérdida de efecto

que necesariamente debe producir la acción del vapor sobre un émbolo rotante (1).

1797. *Juan Curr.*

44. Juan Curr publicó en Sheffield (2) una obra que contenía las proporciones de las diversas partes de las máquinas atmosféricas, según fueron ejecutadas en 1797, con algunas ligeras instrucciones técnicas para construirlas, y varias láminas que representaban en escala grande estas partes. Fuera de esto dicha obra no contiene descripción general de la máquina, y el autor no apoya en razón alguna las proporciones que estableció, sino cuando hablando de la presión del émbolo dice, que en el caso que esta presión llegase á 0,5 ó 0,6 kilogramas por centímetro cuadrado, la máquina producía menos efecto, y que este se disminuía igualmente cuando esta presión se reducía á 0,4 kilogramas; y recomienda que no se cargue la máquina con un peso mayor que 0,45 kilogramas. La máquina tenía un cilindro de 1,55^m, y daba por minuto doce pulsaciones ó golpes de 2,60^m de longitud. El consumo de combustible era de 500 kilogramas de carbon de piedra menudo por hora; la máquina era de la fuerza de cincuenta y cuatro caballos con corta diferencia; y siendo la proporción del carbon de piedra ordinario al menudo próximamente, como 3 á 4, el consumo era de 375 kilogramas de carbon por hora. Según esta proporción, elevando un kilograma de carbon menudo 29,160 kilogramas de agua á 1 metro de altura, 1 kilograma de carbon ordinario elevaría á la misma altura 38,880 kilogramas.

45. En 1797 describió Guillermo Nicholson en su *Diario Filosófico*, una máquina construida por Kier en 1793, bajo el sistema de Savery. Esta máquina, como que tenía el recipiente del vapor colocado un poco mas abajo de la altura á que debía elevarse el agua, obraba enteramente por condensación. Estaba dispuesta de manera que permitía la introducción de una capa muy tenue de aire entre el vapor y el agua, y su construcción

(1) Véase el art. 316 y la nota.

(2) *The coal viewer and Engine Builder's practical companion.*

era sencilla y juiciosa en extremo. La caldera tenia 2,^m 1/4 de longitud, 1,^m 5 de profundidad, y otro tanto de latitud, y consumia 230 kilogramas de buen carbon en 12 horas, cuando estaba en buen estado, y cuando no, un sexto más. En estas circunstancias daba esta máquina 10 pulsaciones por minuto, y elevaba en el mismo tiempo 2 metros cúbicos de agua á 6 metros.

Con arreglo á la misma proporcion consumia la máquina en su mas perfecto estado 39 $\frac{1}{2}$ kilogramas de carbon en 2 horas, ó 120 minutos, y elevaba 12 metros cúbicos de agua á 1 metro de altura por minuto, ó $12 \times 120 = 1440$ metros cúbicos por 39 $\frac{1}{2}$ kilogramas de carbon, que multiplicados por 1000, peso de un metro cúbico de agua, y divididos por 39 $\frac{1}{2}$, dan 36000 kilogramas por el peso que un kilograma de carbon elevaba á 1 metro; lo cual viene á ser, con corta diferencia, la mitad del efecto que produce una máquina de émbolo y condensador de Watt, y menos que el de la máquina atmosférica ordinaria, segun se emplea en las minas de carbon.

Juan Nancarrow hizo tambien una tentativa para perfeccionar la máquina de Savery, haciendo la condensacion en un vaso separado; pero la naturaleza de la máquina no permite que se la pueda aplicar de modo que produzca grande efecto.

1799. *Mateo Murray, que falleció en 1826.*

46. Mucho se debe á Murray, socio de la compañía de Fenton, Murray y Wood, de Leeds, por lo que respecta á la construccion y perfeccion de algunas partes de las máquinas de vapor. Estos adelantamientos fueron objeto de algunas patentes; y aunque muchos de ellos parece que habian sido puestos en práctica con anterioridad por Boulton y Watt, no llegaron á generalizarse hasta la época en que Murray obtuvo privilegios por ellos.

En su patente de 1799 propuso Murray, para economizar el combustible, colocar un pequeño cilindro con un émbolo en la parte superior de la caldera. Este émbolo tenia una barra dentada, por medio de la cual la fuerza del vapor en la caldera abria ó cerraba el *regulador del fuego*, es decir, una válvula fija

sobre un eje en la chimenea, lo cual aumentaba ó disminuía el tiro del fogon, de modo que mantenía el vapor á un grado uniforme de fuerza elástica. Pensó ademas Murray que seria ventajoso colocar el cilindro horizontalmente en lugar de darle la posicion vertical, y llevaba la mira de reducir asi el volumen de la máquina, disminuyendo las dimensiones ordinarias: adoptó tambien un nuevo método para convertir el movimiento alternativo del vástago del émbolo en un movimiento de rotacion de igual fuerza, haciendo uso de la propiedad de la épicycloide interior, y manifestó el modo de establecer las ruedas para producir el movimiento ya vertical, ya horizontal.

47. La patente de Murray, fecha en 1801, comprendia seis objetos diferentes: 1.º un método de construccion de bombas de aire: 2.º un procedimiento para guarnecer las cajas de estopa, que consistia en que sus partes movibles se ponian en contacto inmediato, lo cual impedia que el vástago del émbolo recibiese una presion oblicua, cuando su estremidad no se hallaba exactamente en el centro del émbolo: 3.º y 4.º unos procedimientos relativos á la construccion y al movimiento de las válvulas: 5.º un medio para unir el vástago del émbolo al paralelogramo; y 6.º en fin, un modo de construir los fogones, segun el cual se habia de consumir el humo, en cuyo procedimiento le precedieron otros (1).

48. Otra patente obtuvo Murray en 1802 por una máquina portatil; pero como comprendia algunos de los medios, por los cuales habian tenido patentes antes Boulton y Watt, fue anulada al año siguiente, á instancia de estos últimos.

1799. *Guillermo Murdoch.*

49. El Sr. Murdoch, uno de los sócios de Boulton, Watt y compañía, obtuvo en 1799 una patente por nuevos métodos de construccion, que consisten en un medio para barrenar los cilindros y las bombas metálicas de una manera mas igual, con el auxilio de un husillo ó rosca sin fin, movida por una rueda dentada. Comprendia tambien esta patente un modo de simplificar

(1) *Repertory of Arts*, tom. XI, p. 311, série antigua.

la construccion del cilindro de vapor, y de su capa ó cubierta, en las máquinas hechas bajo el plan de Watt, haciendo fundir la cubierta de una sola pieza, y uniéndola despues por la parte superior é inferior al cilindro. Propuso tambien fundir el cilindro y su capa ó cubierta de una sola pieza de grande espesor, taladrándolos despues de manera, que quedase un intersticio anular entre ambos cilindros, dejándolos unidos por una de sus estremidades, y cerrando la otra por medio de un anillo metálico. Otra mejora, comprendida en la patente, tenia por objeto simplificar la construccion de las válvulas de vapor ó reguladores en las máquinas de doble efecto, uniendo las válvulas de arriba y las de abajo de modo que funcionasen con un solo vástago. Como el tubo que las une está hueco, sirve de tubo de salida en la estremidad superior del cilindro, y se economizan asi dos válvulas: en fin, el señor Murdoch añade el proyecto de una máquina rotante, que consiste en dos ruedas dentadas que dan vueltas en un vaso bien cerrado, y que él suponía que debia tener una fuerza considerable. Los medios propuestos por el señor Murdoch para mover las válvulas, aumentaron en gran manera la sencillez y elegancia de la máquina de doble efecto, y debemos á su talento y á sus cuidados muchas de las mejoras de las máquinas de vapor. El éxito que tuvieron estas en el pais de Cornouailles, fue en gran parte el resultado de su genio activo é íntegro, y de los recursos que desplegó para vencer las dificultades que presentaba el desagüe de las minas.

1801. *El doctor Juan Robison, nacido en 1739, muerto en 1805.*

50. El doctor Robison, que tanto ha contribuido á los progresos de la mecánica aplicada á las artes, combinando la teoría y la práctica con mas juicio que todos los autores que le habian precedido, y haciendo las descripciones en un estilo mas al alcance del público; el doctor Robison, vuelvo á decir, parece que prestó una atencion particular á los principios y á la construccion de las máquinas de vapor. Poseia para esto grandes conocimientos analíticos, y en razon de las relaciones que

tenia con Watt, debió haber adquirido datos prácticos con tanta mas facilidad, cuanto que Watt era un amigo franco y liberal de su ciencia. Por esta razon podemos prometernos grandes ventajas al consultar el volumen que contienen los artículos del doctor Robison sobre las máquinas de vapor.

El primer artículo es una descripción un poco difusa de las propiedades físicas del vapor; se halla en él una especificación completa de los fenómenos de la ebulición, del efecto que produce la presión cambiando la temperatura necesaria á esta ebulición, y en fin, de los principios conocidos del calor latente. Comprende además una serie de esperiencias sobre la fuerza elástica del vapor de agua y de espíritu de vino (véase el art. 95 y el 104); y la única observación que nos parece puede hacerse sobre ellas es, que no han sido hechas con bastante cuidado para sentar la exactitud de algunas de sus miras en la materia. Además, la regla para la fuerza elástica del vapor, deducida de estas esperiencias, y que supone de una exactitud suficiente para la práctica, está muy distante de serlo, y no ha dejado de contribuir á la mala dirección que tomaron algunos mecánicos que se aventuraron á la empresa de perfeccionar las máquinas de vapor. Mas por último el artículo del doctor Robison sobre el vapor, es el mejor de cuantos yo conozco.

Lo siguiente de su escrito comprende la historia de las máquinas de Sabery, Newcomen, Watt, etc.; con algunas descripciones detalladas, y discusiones teóricas entabladas por el mismo Robison. En la parte histórica, la memoria de Papin no está tratada con todos los miramientos que hubieran sido de desear. Podría tal vez atribuirse esta falta de imparcialidad á un poco de prevención á favor de Watt, su amigo y compatriota. Bajo otros aspectos Robison no incurrió en este defecto. Aunque sus descripciones carecen de método, son completas y precisas, y nunca se podrá apreciar bastantemente la utilidad de las noticias y conocimientos que ha dado á los competidores de Boulton y Watt, así como de los materiales que ha proporcionado á los escritores de segundo orden. En la teoría reprodujo, con algunas adiciones, los ensayos de Bossut concernientes á la mayor velocidad que se había de dar á las máquinas atmosféricas.

cas, así como al método empleado por Watt para calcular la presión sobre el émbolo de la máquina de expansión; pero ninguna de sus investigaciones ha sido dirigida de manera que pueda ser de utilidad alguna á los mecánicos.

La reputación del doctor Robison ha realzado en gran parte el mérito de sus artículos sobre las máquinas de vapor, y así produjeron un efecto extraordinario; y si no se encuentra nada de nuevo en sus trabajos, no deja de ser muy ventajoso el que unos conocimientos, que hasta entonces estaban esparcidos y sueltos, se hayan reunido con tanta destreza, y tratado con tanta claridad y tan buen gusto.

51. Los señores Roberton de Glasgow imaginaron en 1800, una modificación sobre el procedimiento empleado por Watt para la construcción del fogón de la caldera: modificación que hace más fácil y cómoda la práctica, pero que no altera en nada el principio (Véase la Sección III). Ensayaron además el modo de aprovechar el vapor que se escapa por la guarnición del émbolo, empleándole en aumentar el efecto útil de las máquinas; pero la complicación y el gasto del aparato necesario para obtener un aumento de fuerza tan poco sensible, hacen poco menos que nulo este procedimiento, así como otros muchos que se concibieron en aquella época.

1801. *José Bramah, que nació en 1749, y falleció en 1814.*

52. Hemos hablado ya en el artículo 39 de la máquina rotante inventada por los señores Bramah y Dickinson. Bramah obtuvo en 1801 una patente por un nuevo modo de aplicar una llave de cuatro aberturas á las máquinas de vapor, y por otras variaciones en su construcción.

Su llave de cuatro aberturas da vueltas continuamente en la misma dirección, y produce sin embargo el mismo efecto que si tuviese un movimiento alternativo; pero el movimiento continuo hace el desgaste más igual y el mecanismo más duradero.

Arregló también los movimientos de manera que se abrían instantáneamente, y en el momento en que convenia, las co-

municaciones de la caldera con el cilindro y el condensador, y dispuso las aberturas de modo que el cono de la llave era comprimido igualmente en su asiento por la fuerza del vapor.

La prosperidad de las minas y manufacturas de la Gran Bretaña se resintió cruelmente del pernicioso efecto de los privilegios exclusivos que se habian concedido á Boulton y Watt, sin aquellas restricciones que deben proteger los derechos del público, cuando se trata de la prolongacion de un monopolio. Bramah disputó fuertemente á estos mecánicos, en un folleto publicado en 1797, sus pretensiones á estos privilegios, y espuso con gran calor las imperfecciones de su patente. En efecto, la feliz ocurrencia de hacer la condensacion en un vaso separado, que en la máquina de simple efecto de Watt es la sola parte esencial de que haya resultado un ahorro de combustible mayor que el que habia conseguido Smeaton; esta idea se le hubiera ocurrido bien pronto á cualquiera otro, y las minas se hubieran podido explotar á menos costo mucho tiempo antes que espirase el privilegio. Los progresos de la prosperidad pública jamas deberian sacrificarse á un interés particular, y por consiguiente no se deberia conceder nunca la prolongacion de un privilegio, á menos que no se dejase al arbitrio de cada uno explotar el invento, pagando al inventor un derecho conveniente y determinado.

53. El señor Tomás Fenwick publicó en 1801 una série de tablas para las proporciones de los cilindros de las máquinas atmosféricas propias para producir un efecto dado. Como estaba encargado de la direccion de las minas de carbon de piedra de Newcastle, se halló en estado de conocer por esperiencia lo que mejor convenia en la práctica.

Concluyó de algunas esperiencias, que todo el rozamiento de la máquina atmosférica es de cerca de $0,^k 3$, por centímetro cuadrado de la area del émbolo, y atendidos los malos efectos que resultan frecuentemente de dar á las máquinas demasiado poca fuerza escedente á su carga ordinaria, estableció sus cálculos sobre $0,^k 4$, y la fuerza efectiva en la mitad de la presion por centímetro cuadrado del émbolo.

En una edicion posterior de sus obras pone tablas para una

máquina atmosférica perfeccionada, con un condensador separado, en la cual la proporción del efecto es como 17 : 10, en una misma dimensión de cilindro. No hace mención del consumo de combustible, por cuanto este punto no es de grande importancia en las minas de carbon; porque una máquina, cuyo primer establecimiento es poco costoso, y cuya acción es simple y eficaz, tiene para un explotador mucho mas valor que una pieza de mecánica mas hermosa.

1801. *Juan Dalton.*

54. En esta época el conocimiento de la naturaleza y propiedades del vapor, empezó á ser un objeto de importancia para la química, la meteorología, y otros ramos de la filosofía natural. En consecuencia de esto, una clase de escritores enteramente diferente se dedicó á investigaciones, que tan pocos progresos habian hecho en manos de simples mecánicos. El primer químico que se distinguió por una indagación completa sobre la teoría del vapor, fue el señor Juan Dalton. Hizo con el mayor esmero una serie de esperiencias sobre la fuerza expansiva del vapor, á diversas temperaturas debajo de 100°; y tambien otras para determinar varios fenómenos relativos á la expansión de los gases, asi como á la mezcla del aire y el vapor, y á la naturaleza de la evaporación y de la combustión. Aunque sus ensayos para reducir algunos de estos fenómenos á leyes generales no tuvieron buen resultado, sin embargo dió un impulso suficiente á las investigaciones sobre esta materia, para hacer de ella el objeto de un estudio general entre los químicos. La importancia de los trabajos de Dalton, y aun su enlace con la teoría de las máquinas de vapor, no pareció en un principio que habia llamado mucho la atención. La idea de que Watt habia hecho todo cuanto se podia hacer con respecto á la fuerza del vapor, habia detenido las investigaciones de los sábios, y habia sido causa de que las fábricas y los capitalistas dispuestos á promover las mejoras, se dejasen guiar por proyectistas vanos é ignorantes, ó arruinar por bribones atrevidos.

1802. *Guillermo Symington.*

55. En 1801 trató el señor Symington de aplicar el vapor como motor de los barcos, alentado por Tomas lord Dundas, de Kerse, que deseaba que se hiciese uso de ellos en lugar de caballos para remolcar las embarcaciones en el canal de Forth y de Clide. Por consiguiente se emprendieron en el año de 1801 una série de esperiencias en grande, que costaron cerca de 300.000 reales, y se concluyeron en 1802. El barco de remolque de Symington tenia un cilindro de vapor de 0^m 55 de diámetro, y 1^m 20 de curso del émbolo. Se ve en las salas del Instituto Real de Londres un modelo completo de este barco, armado de piones para romper el hielo. Aunque se reconoció que este barco era muy á propósito para el uso á que estaba destinado, no resultó, en cuanto á la práctica, ninguna aplicacion directa de la fuerza del vapor á la navegacion.

1802. *Trevithick y Vivian.*

56. La idea de las máquinas de alta presion se habia ocurrido ya á Leupold (art. 12) y á Watt (art. 26); pero ninguno de ellos la habia realizado en la práctica; y este modo tan sencillo de aplicar el vapor, no fue puesto en uso hasta que en 1802 lo verificaron los señores Trevithick y Vivian (1). Su objeto parece haber sido el de hacer una máquina portatil de simple efecto, para los casos en que el agua era escasa, y en que importaba menos utilizar en su totalidad el efecto del combustible, que mover una carga considerable.

Sus máquinas de alta presion estaban principalmente destinadas á hacer andar los carruages por los caminos de hierro; y cuando se empleaban en esto, la caldera era de bronce y de figura cilíndrica. Estas máquinas estaban montadas sobre un carro de cuatro ruedas, y el cilindro colocado verticalmente en la caldera cerca de uno de sus extremos. El vástago del émbolo

(1) *Repertory of Arts*, vol. IV, p. 241, nueva série.

hacía mover una traviesa entre dos guías, y por medio de una palanca movable que bajaba de cada estremidad de la traviesa hasta dos cigüeñas, se comunicaba el movimiento á las ruedas del carruage: en este caso no se necesita volante, porque se su-
ple por el movimiento adquirido del carruage.

El primer ensayo de esta fuerza motriz para los carruages se verificó en un camino de hierro en Merthir Tidvil en 1805. Entonces no se dió importancia á esta aplicacion; pero en el dia es con algunas ligeras modificaciones de un uso muy estenso en los caminos de hierro.

Hácia el mismo tiempo se vieron aparecer varios proyectos de innovaciones insignificantes en la construccion de las máquinas, y de métodos diferentes de la aplicacion del combustible; pero ninguno es ni tan nuevo, ni tan importante que merezca particular atencion.

La naturaleza y aplicacion del calor habian sido tan bien determinadas por Rumford, y muchas de sus mas ocultas propiedades desenvueltas por Leslie con tanta destreza, que parecia poco verosimil que se pudiese llevar á mayor grado de perfeccion el método que estaba entonces en práctica. Las calderas cilindricas ó de tubos concebidas por Blakey, y ensayadas un momento por Rumford, fueron propuestas de nuevo por Woolf; pero se advierte que este, en la práctica, volvió á métodos casi semejantes á los que últimamente habia adoptado Rumford, en lugar de seguir los que él mismo habia concebido. La máquina de vapor habia obtenido tambien, en apariencia, una forma mas sencilla y eficaz, escepto á los ojos de las personas que contaban con hacer uso de su accion directa de rotacion; pero no sucedió asi, porque por efecto de una variacion muy sencilla en la combinacion anterior, debió experimentar una mejora esencial.

1804. *Arturo Woolf.*

57. Habiendo entrado el público entonces en posesion del método de condensacion inventado por Watt, y espirado el término de la patente de Hornblower, adoptó Woolf el procedimiento del último, á escepcion de que empleó el vapor de alta

presion en el cilindro pequeño, y el aparato de coudensacion de Watt; pero una variacion en el modo de hacer obrar la fuerza del vapor, hubiera sido un motivo de poca importancia para fundar en él la peticion de una patente, y por esta razon se introduce Woolf en su especificacion, reclamando la primacia del descubrimiento de una nueva ley de la expansibilidad del vapor. Establece con mucha seguridad esta ley, como resultado de sus propios ensayos; pero seguramente se habia hecho ilusion á sí mismo. Su supuesta ley consiste en que el vapor de la fuerza de un cierto número de libras por pulgada cuadrada sobre la presion de la atmósfera, puede dilatarse, adquiriendo un volumen otras tantas veces mayor, y conservar aun una fuerza igual á la presion de la atmósfera, sin cambiar la temperatura. De este modo suponía que el vapor producido bajo una presion de 40 libras por pulgada cuadrada, podría tomar una expansion igual á cuarenta veces su volumen, conservando una fuerza elástica igual á la de la atmósfera; pero es una ley bien conocida de la expansion de los fluidos, que siendo la temperatura la misma, el volumen está en razon inversa de la presion. Asi, suponiendo la presion de la atmósfera de 14 libras, tenemos $14:14+40::1:4$ con corta diferencia. Esta es la razon porque el vapor producido por 54 libras por pulgada cuadrada, ó por 40 libras sobre la presion de la atmósfera, no tendria mas que una expansion de cuatro veces su volumen en lugar de 40 (véase el art. 120).

Por mas que las aserciones de Woolf sean tan directamente opuestas á las leyes de la constitucion de los fluidos elásticos, se han reproducido como verdades fundadas sobre esperiencias incontestables, en obras que tienen grandes derechos á nuestra consideracion. Esta circunstancia deberia ser una leccion para los autores, á menos que no se limitasen á reimprimir anuncios.

El empleo del vapor á alta presion para obrar con expansion por medio de un cilindro doble, da el mas alto grado de fuerza, del modo mas uniforme, y con la mayor seguridad. Por consiguiente, ya sea para las máquinas de las fábricas, ó ya para las de las minas, este método parece el mas económico para producir efectos mecánicos. No debo hacer mas objecion contra las máquinas de alta presion, que la del riesgo que ofrecen; pero

los lectores no tendrán acaso el mismo temor. Las otras patentes de Woolf son sobre proyectos de poca ó ninguna importancia.

58. Seria injusto pasar en silencio los esfuerzos que hizo hácia aquella época Oliverio Evans, para introducir el uso de las máquinas de alta presión. Su proyecto relativo á este punto no tuvo al principio muchos partidarios, ni él mismo dejó tampoco de tener rivales. Su máquina difiere poco de la de Trevithick y Vivian, en cuanto á la construcción; pero segun una obra que publicó bajo el título de *Abortion of the steam engineer's Guide*, parece que se proponia emplear la fuerza expansiva del vapor. Esta obra es muy curiosa: en ella se encuentra aquella mezcla rara de miras absurdas, y de una idea confusa de la verdad, que caracteriza la generalidad de los proyectistas entusiastas; mas no tiene ningun valor sino para aquellos que habiendo adquirido algunos conocimientos, ó teniendo alguna experiencia, estan en estado de discernir lo bueno de lo malo. Entre los proyectos de Evans se encuentra el de una máquina de vapor volcánica, asi como la idea de emplear la fuerza del calor del sol, por medio de un vidrio ardiendo, para mover una máquina.

59. Nuestros hermanos de América tienen, no obstante, mas derechos que nuestros vecinos del continente á reclamar la parte que les corresponde en las mejoras hechas en las máquinas de vapor, con respecto á la construcción y aplicación que se ha hecho de ellas; y nosotros tenemos mas motivos para gloriarnos de las pretensiones de los americanos, que no para abrigar un sentimiento de otra naturaleza. El ingenio y la industria de la Inglaterra no se han amortiguado transplantándose á otro clima. Es verdad, añadirémos, que muchos de los proyectos formados hasta el dia en los Estados-Unidos se distinguen mas bien por su extravagancia que no por la novedad, pues muy rara vez estan fundados sobre miras prudentes y científicas; pero es un mal que ha de remediar el tiempo, y se puede creer que tendrán en el nuevo mundo el mismo rango que la Gran Bretaña ocupa con tanto honor, de muchos siglos á esta parte, en el antiguo hemisferio.

El principal objeto de sus mecánicos ha sido el de aplicar el

vapor á la navegacion; y si se considera de cuánta importancia es para la América el poder navegar en sus inmensos rios, no se estrañará que haya sido en aquel continente en donde la potencia del vapor se haya aplicado por la primera vez con buen éxito, á fuerza de ensayos y de perseverancia, como motor á bordo de los barcos. Este objeto se llenó por la actividad y celo de Fulton, que sin embargo parece que es deudor de una gran parte de sus conocimientos sobre este punto, á lo que se habia practicado en Escocia. El primer barco de vapor americano, que produjo un efecto completo, se botó al agua en Nueva Yorck el 3 de octubre de 1807; su máquina habia sido hecha en 1804 por Boulton y Watt (1). Poco tiempo despues estuvo sirviendo este barco entre Nueva Yorck y Albany, distancia de 160 millas ó 26 miriametros.

60. La primera aplicacion de la navegacion por el vapor, que se hizo con buen resultado en la Gran Bretaña, se debe al señor Enrique Bell. En 1811 construyó un barco de vapor segun sus propios planes, al cual dió 12^m de quilla y 3^m 2 de manga: instaló en él una máquina con álabes, y le llamó *el cometa*, porque empezó y acabó su construccion en el año en que apareció un gran cometa.

Despues de esta época los progresos de la navegacion por el vapor fueron sumamente rápidos, y contribuyeron en gran manera á la estension del comercio de la Gran Bretaña.

61. Una multitud casi innumerable de proyectos de mejoras sobre las máquinas de vapor se ofrecieron á los ojos del público de diez años á esta parte; pero á escepcion de un corto número de ellos relativos á la construccion, y que aun son de poca importancia, no hay ninguno que merezca la atencion del lector, ni con respecto á mejorar la máquina, ni en cuanto al modo de producir el vapor para aumentar el efecto útil del combustible.

62. Watt publicó algunas esperiencias importantes sobre la fuerza elástica, el volumen y calor latente del vapor, hechas en 1803 por el señor Juan Southern; las del doctor Ure, y del se-

(1) Quinta relacion sobre los barcos de vapor de Holyhead en Dublin, *Carta de Watt*, p. 210.

ñor P. Tailor sobre la fuerza elástica del vapor, han adelantado las investigaciones teóricas considerablemente. Las mejoras en la fabricacion de las máquinas de vapor han sido tambien de mucha importancia; pero no tenemos ningun motivo para contar con un grande aumento esencial en su fuerza, pues parece que ha llegado ya al mas alto grado á que puede llegar: de otra suerte se podria esperar, por la misma razon, aumentar la fuerza del hombre y la del caballo. Pero se pueden discurrir nuevos modos de emplear esta fuerza, y de aplicarla con utilidad á nuevos usos, al paso que el conocimiento de sus principios teóricos se vaya haciendo mas general y mas perfecto.

Tambien se podrá hallar que en ciertos casos el vapor de algunas sustancias, diferentes del agua, se pueda emplear con ventaja: sin embargo esta esperanza no es muy fundada, y cuando trate de las propiedades del vapor (artículo 115), demostraré las razones que me asisten en apoyo de esta opinion. Probablemente se descubrirá algun otro origen de fuerza, que distraerá la atencion de los proyectistas, y la única que hay en la naturaleza, que parece no haber sido empleada por el hombre, es acaso la del fluido eléctrico. En cuanto al grado de utilidad que puede prestar este fluido, es un objeto curioso de investigaciones, asi como el peligro que tiene, y que está en proporcion de su fuerza y de la ignorancia que tenemos acerca de su naturaleza.

Lo que puede dar alguna idea de los rápidos progresos de la aplicacion de la fuerza del vapor, es la primera máquina de este género establecida en Manchester: no data mas que del año 1789. Antes de esta época las fábricas estaban dispersas en los distritos mas lejanos, porque su motor principal consistia en despeñaderos ó cascadas de agua, siendo la fuerza de los animales la única de que ademas se pudiese hacer uso, y eso á costa de gastos exorbitantes. Las máquinas de Watt hicieron la mas completa revolucion en esta parte; las fábricas se transportaron de los lugares mas desiertos é inaccesibles al centro de las villas y ciudades, y reunieron bajo un mismo techo los diversos ramos de fabricacion hasta el punto, que en el dia la materia bruta se convierte, sin salir de un establecimiento y con una rapidez espantosa, en una tela perfectamente acabada.

La primera máquina de vapor empleada en el distrito de Glasgow para hilar el algodón, se estableció en la filatura de Scott y compañía, cerca de Springfield, en enero de 1792, ó siete años despues que Boulton y Watt colocaron su primera máquina de la misma clase, y destinada al mismo uso, en los talleres de los Señores Robinson, en Papplewich en Nottinghamshire.

El número de máquinas de vapor que existian en Glasgow y sus inmediaciones en 1825, segun las noticias recogidas por el señor Cleland, era el siguiente:

	Número de máquinas.	Fuerza de caballos.
En las fábricas.....	176	2970
minas de carbon.....	58	1411
canteras.....	7	39
barcos de vapor.....	68	1926
herrerías de Clyde.....	1	60
Totales.....	<u>310</u>	<u>6406</u>

La fuerza media de las máquinas es de 20 caballos y $\frac{2}{3}$.

63. Las máquinas de vapor empleadas en las filaturas de algodón de la Gran Bretaña é Irlanda, durante el año 1817, igualaban á una fuerza de mas de 20.000 caballos; y es tal la ventaja que resulta de la aplicacion de estas máquinas, que una sola persona puede en un tiempo dado hilar mas algodón, que el que hubieran podido hilar 200 personas hace cerca de 60 años.

En las herrerías, y en las fábricas de paños y telas, no han sido menos importantes y ventajosos los resultados del uso de las máquinas de vapor.

La fuerza reunida de las máquinas de vapor empleadas en la Gran Bretaña, está calculada por el Baron Dupin, como equivalente á la de 320.000 caballos en accion continua. Esta inmensa fuerza contribuye, pues, poderosamente á la prosperidad del comercio inglés, ademas de que aumenta hasta el mas alto punto la comodidad y los goces de la vida.

El uso del vapor, sin embargo, no ha tenido en Inglaterra, en ningun caso, un acrecentamiento tan admirable como en su

aplicacion á la navegacion. Un solo barco de vapor navegaba en el Clyde en 1811; 51 en 1825; y desde el primer ensayo hecho con buen resultado en 1811, hasta 1822, el número de barcos de este género en toda la Gran Bretaña ascendió á cerca de 140, que tenian una fuerza igual á la de 4.700 caballos y 16.000 toneladas de porte.

64. Al terminar este bosquejo histórico será importante notar, que en el todo se dirige á probar que la máquina de vapor en el mayor estado de perfeccion á que ha llegado hasta el dia, es enteramente de origen inglés. Esta observacion no solo se estiende al descubrimiento de los principios físicos, sino tambien al de las combinaciones mecánicas. Ningun principio nuevo, ninguna nueva combinacion de principios se ha ido á tomar hasta ahora del extranjero, antes bien las máquinas de vapor mas perfectas, empleadas en otros paises, han sido sin disputa copiadas de las fabricadas en Inglaterra, y la mayor parte hechas por artistas ingleses.

SECCION SEGUNDA.

De la naturaleza y propiedades del vapor, su fuerza elástica y expansiva, y su potencia dinámica.

65. Los cuerpos naturales existen en tres estados diferentes, que son el estado sólido, el líquido, y el gaseoso. Muchos de ellos pueden cambiar de estado, como el agua, que siendo naturalmente líquida, se puede presentar en el estado sólido, como el hielo, y en el gaseoso, como el vapor. Estos cambios se verifican bajo ciertos grados determinados de calor y de presión. Pero hay algunos cuerpos gaseosos, que no se pueden reducir al estado líquido por ninguno de los medios conocidos hasta el presente, aunque se puede asegurar que todos los gases podrían sufrir esta alteración, si se pudiese producir un grado suficiente de condensación y de frío.

66. Se llaman *gases permanentes* los que no se pueden liquidar por los cambios de temperatura ó de presión que podemos producir. Los que se pueden convertir en líquidos por nuestros medios ordinarios de enfriamiento y de compresión, se llaman *vapores*.

67. El calor está repartido por todos los cuerpos de la naturaleza, ya sean sólidos, ya líquidos ó gaseosos, y tiene constantemente tal tendencia al equilibrio, que si por cualquiera medio se acumula en ciertos cuerpos particulares, se desprende bien pronto una gran porción de él para repartirse entre los cuerpos que le rodean, hasta tanto que el todo llegue á tener una temperatura común á todos ellos. Del mismo modo, cuando ciertos cuerpos han sido privados de una parte de su calor, los otros cuerpos que los rodean les ceden otra parte del suyo para restablecer el equilibrio.

68. Cuando hay un cierto equilibrio de calor, es decir, cuando todos los cuerpos de un sistema están en la misma temperatura, si se altera este equilibrio por medio de la introducción de

una nueva cantidad de calórico, se observa que los diferentes cuerpos se la reparten en porciones desiguales al establecer el nuevo equilibrio. La cantidad particular de calórico que cada cuerpo absorbe en las mismas circunstancias, se llama *calor específico* de este cuerpo. En la comparacion de los calores específicos de los diferentes cuerpos, se toma ordinariamente por unidad la del agua á 15.º

69. Esta propiedad de los cuerpos de absorber cantidades desiguales de calor para elevar su temperatura á un mismo número de grados, se llama algunas veces *capacidad para el calor*; pero esta espresion no deberia emplearse mas que para designar la cantidad total de calor contenida en cada cuerpo, y en este sentido haré uso de ella. De la absorcion desigual de calor, que se verifica en los diferentes cuerpos para producir un cambio igual de temperatura, resulta que todos los cuerpos no se dilatan ni se contraen igualmente en este cambio.

70. El hecho incontestable de que las diversas sustancias tienen diferentes capacidades para el calor, presenta otra consecuencia necesaria, que aunque no pueda ocultarse, rara vez se ha hecho aplicacion de ella, y es que en todos los cambios químicos las capacidades de los cuerpos para el calor se alteran, y por consiguiente el equilibrio del calórico padece tambien alteracion, porque la capacidad de un compuesto difiere de la de sus elementos.

71. Por el simple aumento del calor pueden algunos cuerpos sólidos pasar al estado de líquidos, y algunos líquidos al de gaseosos. Por la inversa, por una disminucion conveniente del calor pueden los gases convertirse en líquidos, y éstos en sólidos; pero este cambio de estado va acompañado de otro cierto cambio de capacidad para el calor. La capacidad del vapor es mayor que la del agua, porque la evaporacion exige una cantidad adicional de calórico, para poner las moléculas de un líquido á la distancia mútua que constituye el estado gaseoso. Esta nueva cantidad de calor no produce efecto alguno en el termómetro. Así cuando una masa dada de agua calentada á 100º del termómetro centigrado, se convierte en vapor á la misma temperatura, el calor necesario para producir este cambio hubiera podi-

do elevar desde 10° hasta 100° la temperatura de una masa de agua mayor cerca de seis veces.

72. El calor así absorbido durante la formación del vapor, se llama *calor latente*. Esta expresión tiende á dar una noción falsa del estado del calor en los cuerpos, porque el calor no es latente; no hay en él más que una simple diferencia de cantidad, y no de cualidad: sería pues de desear que se emplease un término mejor apropiado á la naturaleza del fenómeno (1).

73. El calórico latente absorbido, ó desprendido durante el cambio de estado de un cuerpo, se mide como el calor específico, es decir, tomando por unidad la cantidad de calor que eleva á un grado un kilograma de agua tomada á la temperatura ordinaria (ó de 15°).

El ilustre doctor Black fue el primero que descubrió (en 1762) que el cambio de estado de los cuerpos exige una cierta absorción, ó un cierto desprendimiento de calor, variable según la naturaleza diferente de los cuerpos, y también según la especie de cambio. Este descubrimiento es de grande importancia para la Física general, y sus más bellas aplicaciones se refieren á la teoría de las máquinas de vapor.

74. El calor latente relativo á la evaporación de cada líquido no es muy fácil de determinar; pero después del descubrimiento de Black, se han hecho experiencias sobre esta materia por muchos físicos, distinguidos por su habilidad en investigaciones tan delicadas. El método adoptado por Black es sencillo y de fácil aplicación, pero poco exacto. Cuando se pone sobre el fuego un vaso con agua, esta se calienta gradualmente hasta que su temperatura se eleva á 100° ; pero en llegando á este punto cesa de crecer. El agua se convierte en vapor, y no elevando el calor la temperatura, como lo haría si el vaso estuviese cerrado, debemos concluir, que el calor que se hubiera comunicado al líquido en un vaso cerrado, se combina con el vapor en el vaso abierto, sin elevar su temperatura sobre la del agua hirviendo. Para graduar la cantidad de calor que está combinada con el vapor,

(1) Me parece que se podría llamar *calor de evaporación*. (El traductor francés).

ponia el doctor Black agua en un vaso de estaño sobre una plancha de hierro candente. La temperatura del agua era primero de 10° ; á los cuatro minutos empezó á hervir, y á los veinte la evaporacion era completa. Durante los cuatro primeros minutos, el líquido habia elevado su temperatura en 90° en todo, ó $22\frac{1}{2}^{\circ}$ por minuto. Si suponemos igual absorcion de calor por minuto durante toda la ebulicion, el calor que habria recibido el líquido para convertirse en vapor, sería de $22\frac{1}{2}^{\circ} \times 20 = 450^{\circ}$. El termómetro no marca estos 450° , porque la temperatura del vapor es solamente de 100° ; esto es lo que Black llama *calor latente* (1).

Pero el resultado es evidentemente inexacto, porque el vapor se forma mientras que el agua se calienta hasta el punto de la ebulicion, que el vaso pierde una parte del calor por sus paredes en porciones desiguales, y que el efecto del fuego es tambien desigual, siendo menor á medida que el agua se calienta.

75. El calor necesario para formar el vapor se puede determinar con mas exactitud, condensando el vapor por el contacto de un líquido frio. El calor comunicado al líquido por un peso dado de vapor, indica la cantidad adicional del calor contenido en el vapor. Watt hizo muchas esperiencias de este género en 1781, y las que le inspiraban mas confianza daban 530° por el calor constituyente del vapor del agua (2).

El conde de Rumford, el señor Southern y el doctor Ure han hecho otras esperiencias bajo este mismo plan (3).

(1) Doct. Thomson's *System of Chemistry*, vol. I, p. 101.

(2) Watt's *Notes*, on Robison's *Mech. phil.* vol. II, p. 7.

(3) Este procedimiento ha conducido algunas veces á resultados erróneos por un defecto de atencion relativamente al cálculo. Medida la cantidad de calor por el calor específico del agua, sea P el peso de agua empleado para condensar el vapor, y t su temperatura despues de la condensacion, siendo t' la cantidad en que se ha elevado su temperatura. Sea tambien p el peso del vapor, y c su calor específico cuando está condensado; sea últimamente x la cantidad total del calor que se requiere para la formacion de este vapor.

Entonces la cantidad de calor comunicada al agua por el vapor, será proporcional á su peso, multiplicado por su aumento de temperatura, ó á Pt' .

El vapor condensado adquiere despues de la operacion la temperatura t ; y

El agua se puede calentar en la marmita de Papin hasta 200°, y aun mas, sin hervir, porque la compresion impide la formacion ó desprendimiento de los vapores. Si cuando la temperatura es de 205°, se quita súbitamente la tapadera, una parte del agua se marcha en estado de vapor; pero la mayor conserva el estado líquido, y su temperatura se baja inmediatamente á 100°. Asi 105° de calor desaparecieron repentinamente, y deben haber sido arrebatados por el vapor. Ahora, como cerca de un quinto del agua se ha evaporado, el vapor formado debe contener no solamente los 105° que le son peculiares, sino tambien los 105° perdidos por cada uno de los otros cuatro quintos: contiene pues cerca de 105° × 5, ó 525° de calor.

76. Los resultados de las esperiencias del doctor Black no difieren mucho de los que obtuvo Schmidt, porque este halla que la cantidad de calor necesaria para la formacion del vapor, es 5,33 veces la que elevaria un peso de agua igual desde la temperatura del hielo derritiéndose hasta la del agua hirviendo, estando el barómetro á 76 centímetros (1). Este es el modo mas conveniente para espresar esta cantidad, porque hay razon

como su cantidad de calor era px antes de la condensacion, debe ser despues de ella cpt ; asi se tendrá

$$Pt' = px - cpt, \text{ ó } x = \frac{Pt'}{p} + ct$$

por la cantidad de calor que forma el peso de vapor p .

Si T es la temperatura del vapor antes de su condensacion, y c' su calor especifico, entonces se tendrá

$$\frac{Pt'}{p} + ct - c'T$$

por el calor que exige la transformacion en vapor. Esta cantidad parece, segun las esperiencias, que es constante con corta diferencia en un mismo líquido.

Como se suponen generalmente iguales los calores especificos de pesos iguales de un líquido y de su vapor, la fórmula es mas sencillamente

$$\frac{Pt'}{p} + c(t - T).$$

Por el agua se tiene $c = 1$. Asi en este caso el calor latente es

$$\frac{Pt'}{p} + t - T.$$

(1) Nicholson's *Philosophical Journal*, vol. V, p. 208, série octava.

para creer que el calor específico del agua varía con la temperatura. Pero para reducir esta espresion á la medida ordinaria en grados, basta multiplicar por el número de grados comprendidos entre el hielo derritiéndose y el agua hirviendo, ó 100° . Asi se tiene

$$5,33 \times 100 = 533^{\circ}.$$

77. Los señores Southern y W. Creighton hicieron en 1803 con el mayor cuidado algunas esperiencias por medio de la condensacion del vapor producido á diversos grados de temperatura y de presion. Suponiendo el volumen de agua de un centímetro cúbico, la tabla siguiente indica la presion, la temperatura, el calor empleado en la formacion del vapor, y el volumen de vapor producido.

PRESION en centímetros de mercurio.	TEMPERATURA del termómetro centigrado.	CALOR necesario para formar el vapor.	RAZON entre el volu- men del vapor y el del agua á 15° .	ESTE VOLUMEN calculado segun la primera esperiencia.
100	109°	625	1208	1208
200	132	673	588	635
300	146	680	404	427

Si de la cantidad total del calor se deduce la diferencia de temperatura, se halla 625° , 646° , 643° ; de donde parece que el calor necesario para formar el vapor, es con corta diferencia constante cuando la temperatura es la misma, cualquiera que sea la densidad.

De todas maneras el modo mas conveniente de espresar la cantidad de calor, es el que adoptó el señor Southern. Consiste en valuar la cantidad constante de calor que es preciso añadir á la temperatura actual del vapor, para componer la cantidad total de calor necesaria para su formacion. Esta cantidad es aqui $625^{\circ} - 109^{\circ} = 516^{\circ}$, $573^{\circ} - 132^{\circ} = 541^{\circ}$, $680^{\circ} - 146^{\circ} = 534^{\circ}$, cuyo término medio es 530 .

En otra série de esperiencias hechas bajo las mismas presiones y á las mismas temperaturas, las cantidades de calor

;

añadidas á las temperaturas fueron 523° 523° y 528° (1), cuyo término medio es 525° , y el de las dos series de esperiencias 528 . En esta última serie se tomó en consideracion el calor comunicado al vaso, lo que no se habia hecho en la serie anterior.

Estas esperiencias son preciosas, pues prueban que la cantidad de calor adicional para formar el vapor es constante, si no exactamente, á lo menos con corta diferencia (2).

78. Ellas hacen ver tambien que el volumen del vapor está *en razon inversa de la presion*, cuando la temperatura no cam-

(1) Robison's *Mech. phil.* vol. II, p. 160 y 166.

(2) La diferencia tan notable que se advierte en estas esperiencias desde 516 hasta 541° , no permite confiar mucho en su exactitud, y tanto mas cuanto que no concuerdan con los resultados mas precisos que obtuvo el señor *Clement* en otras esperiencias. Asi que no bastan para establecer la consecuencia que saca el señor *Tredgold*, de que *el calor de evaporacion* de un mismo fluido es constante para todas las temperaturas. Al contrario, las esperiencias del señor *Clement* tienden á establecer que este calor disminuye en razon inversa de la temperatura de ebulicion, de manera que puede disminuir hasta ser nula.

Segun este quimico, el calor de evaporacion del agua (tomada á 100°), es de 550° , que unidos al calor sensible, dan por el calor total del vapor 650° , estando á 0° del termómetro el punto de donde se parte. Asi la ley general hallada por el señor *Clement* es, que *este calor total* (y no el de evaporacion) *permanece constante en todos los casos*; ó, en otros términos, *que un peso dado de vapor contiene la misma cantidad de calor á cualquiera temperatura, y bajo cualquiera presion que se haya formado*. Con arreglo á este dato, se puede formar la tabla siguiente, que manifiesta la disminucion sucesiva del calor de evaporacion.

TEMPERATURA de la evaporacion.	CALOR constituyente total del vapor.	CALOR de evaporacion.
0°	650°	650°
100	650	550
200	650	450
400	650	250
600	650	50
650	650	0

La ley adoptada por el señor *Tredgold*, por el contrario, supone que los números de la tercera columna son constantes é iguales á cerca de 528° .

bia; porque $200 : 100 :: 1203 : 604$, que añadidos á la expansion darian cerca de 635; y $300 : 100 :: 1208 : 402$, que añadiendo la expansion darian cerca de 635; y $300 : 100 :: 1208 : 402$, que añadiendo la expansion dan 427. Asi la densidad está en razon directa de la presion, siendo las esperiencias tan precisas, como se puede esperar de investigaciones tan delicadas.

79. El conde de Rumford obtuvo un resultado mas alto, y su conocida habilidad en esta materia debe inspirar mucha confianza en sus esperimentos. Calculaba el calor por la temperatura comunicada á un vaso de cobre lleno de agua, que llamaba *calorimetro*, y en el cual un serpentín delgado, de cobre tambien, contenia el vapor destinado á la condensacion, evitando por este medio la mezcla de los fluidos, y la pérdida dimanada del desprendimiento del vapor. El agua contenida en el calorimetro estaba á una temperatura mas baja que la del aposento 2 ó 3°; y cuando el termómetro del calorimetro marcaba un aumento de temperatura de 5 á 6°, se daba fin á la esperiencia.

El agua producida por la condensacion del vapor en el serpentín, se pesaba con mucho cuidado, y de la cantidad de ella, bien asi como del calor comunicado al calorimetro, se deducia el calor desarrollado por la condensacion del vapor.

Como una pequeña parte del calor comunicado al calorimetro procedia del enfriamiento del agua condensada en el serpentín, despues de la liquefaccion del vapor, era preciso tener presente esta circunstancia. A este efecto se suponía que el agua en el momento de la condensacion estaba á la temperatura de 100°, que es la del agua hirviendo, y se determinaba por el cálculo la parte del calor comunicado al calorimetro que debia provenir del agua hirviendo.

El conde de Rumford, al hacer este cálculo advierte, que no hacia cuenta con la diferencia de capacidad del agua para el calor que depende de su temperatura, lo cual no se conoce aún sino imperfectamente; y por otra parte la correccion que resultaria de aqui no podria ser sino de muy poca consideracion.

He aqui los detalles y los resultados de dos esperimentos hechos en 21 de enero de 1812. La duracion de cada uno de ellos fue de 10 á 11 minutos. Se habia hecho hervir el agua durante

algun tiempo para espeler el aire que contenia, antes que el vapor se introdujese en el serpentín del calorímetro (1).

Temperatura del aposento.	ESTADO DEL CALORIMETRO, cuyo calor específico era equivalente al de 2780 gramas de agua.			Cantidad de vapor condensado.	Calor necesario para la transformación del agua en vapor.
	Temperatura al principio.	Temperatura al fin.	Elevación de temperatura.		
16° centig.	13°2	20°	6°8	29 gram.	572°
16,8	14,2	20	5,8	24,40	580
				Término medio 576	

Aplicando al resultado de la segunda experiencia nuestra fórmula de la nota (art. 75), tendremos

$$\frac{2780 \times 5,8}{24,40} + 20 = 680;$$

de donde deduciendo 100°, en la suposición de que el calor específico del vapor es igual al del agua, tenemos 580° por la cantidad constante de calor necesario para la formación del vapor de agua.

So. El conde de Rumford ha hecho también experiencias sobre la cantidad de calor desenvuelto por la condensación del vapor del espíritu de vino. Los resultados son menos regulares que los de las experiencias hechas con el agua, como se debía esperar; pero reina en ellos sin embargo bastante uniformidad para dar con alguna certeza la cantidad de calor.

El vapor que se desprende del espíritu de vino en ebulición varía un poco con la intensidad del fuego empleado; y por esta razón el Conde notaba la duración de cada experiencia, á fin de poder juzgar, por la comparación de la cantidad de vapor condensado con el tiempo empleado en su formación, cuál era la intensidad del calor que hacia hervir el líquido. En la tabla si-

(1) *Philosophical Magazine*, vol. XLIII, p. 65.

guiente se hallarán los detalles y resultados de cinco esperiencias hechas el mismo dia (21 de enero de 1812) con el espíritu de vino á diversos grados de pureza. El calor específico del calorimetro y del agua que contenia, era siempre igual al de 2780 gramas de agua.

Peso específico del espíritu de vino empleado.	Duracion del experimento.	Temperatura del aposento.	ESTADO DEL CALORIMETRO.		Aumento.	Cantidad de vapor de espíritu de vino condensado.	Calor necesario para la evaporacion.
			Temperatura al principio.	Temperatura al fin.			
0,81765	4½ minut.	16° centig.	13°3	19°1	5°8	57 gram.	266°7
0,84714	8	15,6	13	18,6	5,6	49	277,8
0,85342	7	16	12,4	20,5	7,9	74	277,5
0,85342	5	16	13,5	19	5,7	62	264,9
0,85342	6½	17,7	14	22	8	71	277,6
Término medio						272,9	

Determinando por el cálculo la cantidad de agua que se puede calentar á un grado por el calor desarrollado en la condensacion del vapor, el conde de Rumford consideró la diferencia de capacidad para el calor que existe entre el agua y el espíritu de vino (1).

El resultado de su cálculo es con corta diferencia el mismo que da la fórmula (art. 75, nota), suponiendo que el calor específico del espíritu de vino gaseoso y líquido sea uno mismo é igual á 0,58. Partiendo de la segunda experiencia tendremos

$$\frac{2780 \times 5,6}{49} + 0,58 \times 18,6 = 328;$$

de donde deduciendo $80 \times 0,58$ por el calor debido á la temperatura del vapor, tenemos 282 próximamente por el calor empleado en la transformacion del líquido en vapor. Rumford saca 277,°8.

Este mismo físico se aseguró tambien de que el calor desarrollado por la condensacion del vapor del éter sulfúrico es cerca

(1) *Philosophical Magazine*, vol. XLIII, p. 67.

de la mitad del que produce el espíritu de vino, ó la cuarta parte del que da el vapor del agua.

81. El doctor Ure hizo en 1817 algunas experiencias sobre diferentes cuerpos, con respecto al calor absorvido durante la formacion de los vapores (1). Su modo de proceder era sencillo en extremo. El aparato consiste en una retorta de vidrio muy pequeña, y de cuello corto, que se introduce en un recipiente esférico de vidrio muy delgado, y de cerca de 8 centímetros de diámetro. Este recipiente está fijo de firme en un reservatorio de vidrio, que contiene 210 gramas de agua á una temperatura conocida; 13 gramas del líquido, cuyo vapor se queria estudiar, se introducian en la retorta, y se destilaban rápidamente en el recipiente por el calor de una lámpara de Argand. La temperatura del aire era de 7° centigrados, la del agua en el reservatorio de 5 á 6°, y el aumento de temperatura causado por la condensacion del vapor no escedia nunca al del aire mas que en 2°. Como la comunicacion del calor entre los cuerpos, cuya temperatura difiere poco, es muy lenta, el aire no podia ejercer ninguna influencia sensible sobre el agua del reservatorio durante la experiencia, que se concluia siempre en cinco ó seis minutos. Se metia continuamente en el agua un termómetro muy delicado, y con el auxilio de un lente se leian en él hasta las mas pequeñas fracciones de un grado.

La destilacion se efectuaba con mucha rapidéz, y el doctor Ure asegura que halló mucha conformidad repitiendo muchas veces la misma experiencia. La tabla siguiente da el resultado medio; la última columna se calculó por la fórmula del artículo 75.

(1) *Transactions philosophiques* para 1818.

Líquidos.	Peso específico.	TEMPERATURA del agua en el reservatorio.			Punto de ebulicion.	Calor para la transformacion en vapor.
		al principio.	al fin.	aumento.		
Agua.....	1,000	5°8 centig.	9°4	5°6	100°	521°4
Espiritu de vino....	0,825	5,5	6,61	1,11	80	256
Eter sulfúrico.....	0,7	5,5	6,6	1,1	44,4	168
Aceite de terebentina.	0,888	5,5	6,4	0,9	158	81
Petróleo.....	0,75	5,8	6,6	0,8	152	85,5
Acido nítrico.....	1,494	5,5	7,5	2	74	287,2
Amoniaco.....	0,978	5,5	8,6	3,1	60	466,6
Vinagre.....	1,007	5,8	9,2	3,4		485,3

El doctor Ure no ha dado la cantidad de agua, cuyo calor específico equivale al calor absorbido por los vasos; pero no nos separaremos mucho de la verdad suponiéndola de cerca de 110 gramas. Asi tenemos

$$2100 + 110 = 2210 \text{ gramas}$$

por el agua equivalente al calor específico del refrigerante, y por la fórmula citada se tiene para el agua,

$$\frac{2210 \times 3,6}{13} + 9,4 - 100 = 521,^{\circ}4,$$

y para el espíritu de vino,

$$\frac{2210 + 1,11}{13} + 0,65 (80 - 6^{\circ},61) = 336.$$

Haciendo el mismo cálculo para los otros líquidos, se hallarán los números estampados en la última columna, tomando los calores específicos en las tablas usuales. Por una equivocacion de cálculo, los números dados por el doctor Ure en las *Transactions philosophiques* estan errados.

82. Se debe hacer por último una correccion por la cantidad de vapor que queda en la retorta, y por la pérdida de calor que se verifica en la operacion. Por una correccion reciente relativa á la pérdida de calor, el doctor Ure valua en 555° el calor absorbido durante la transformacion del agua en vapor; y considerando las esperiencias del conde de Rumford en esta parte, como las mas esmeradas, creo que este número es con corta diferencia exacto. Si suponemos la pérdida que proviene

de estas dos causas equivalente al calor específico de 130 gramas de agua de mas, tendríamos

$$\frac{2340 \times 3,6}{12} + 9,4 - 100 = 557,4;$$

y corrigiendo los otros números del mismo modo, formaremos la tabla siguiente (1).

CALOR NECESARIO para la formación del vapor.	A PESO igual.	A VOLUMEN igual.
Agua.....	557,4	557,4
Espiritu de vino.....	253	208,3
Eter sulfúrico.....	178	126,1
Aceite de terebentina.....	89,4	79,4
Petróleo.....	81,6	69
Acido nítrico.....	306,6	461
Amoniaco.....	497,2	486
Vinagre.....	516,6	520

Habiendo espuesto los resultados mas ciertos conocidos hasta el dia sobre el calor que se requiere para la produccion de los vapores, nuestro inmediato objeto debe ser el darles una forma mas directamente útil para el fin de esta obra; porque la cantidad de calor no puede ser de ninguna utilidad, si no se conoce tambien el volumen ocupado por este vapor, asi como la fuerza elástica.

De la fuerza elástica del vapor.

83. Para obtener la ley que determina la fuerza del vapor á una temperatura dada, ó la temperatura correspondiente á una fuerza dada, debemos proceder empíricamente con arreglo á los resultados de las mejores esperiencias. Este método no es el que mas satisface, pero es el único que podemos emplear cuando las causas reales de la variacion nos son desconocidas; sin embargo, algunos raiocinios preliminares nos pueden facilitar el descubrimiento de la ley.

En primer lugar es probable que el esponente de la potencia

(1) *Dictionnaire de Chimie* du docteur Ure, art. *Calorique*.

de la temperatura, que representa la fuerza elástica en la naturaleza, debe ser un número simple. Así el esponente 5,13, empleado por el señor Southern (1), no es probablemente el de la verdadera ley; el esponente 6 del señor Creighton (2), ó el del doctor Young (3), que es 7, son el uno, ó el otro, mas verosímiles. La verdadera función puede ser muy compuesta, pero esto no es probable; y en la ignorancia en que estamos de su naturaleza, si podemos representar los resultados por un solo esponente, con una exactitud suficiente para los usos prácticos, debemos preferir la fórmula mas sencilla, sobre todo cuando es tan verosímil como otra fórmula mas complicada. En toda tentativa para encontrar el esponente por el método ordinario de las diferencias, influirían demasiado los errores de la experiencia.

84. En segundo lugar parece probable que hay un grado de frío, en el cual no puede existir el vapor (4); y esto debe verificarse cuando está condensado por el frío hasta el punto en que la atracción de las moléculas escede á la fuerza repulsiva del calórico interpuesto entre ellas; la transformación de un fluido elástico en sólido puede efectuarse entonces, sin pasar por el estado intermedio de líquido. Esta circunstancia física nos permite fijar otro elemento del cálculo, porque debe haber una temperatura en que la fuerza es nula.

85. En tercer lugar, debemos considerar ahora la mayor fuerza posible del vapor, porque estamos seguros de que nuestra fórmula sería errónea si escediese este límite. Supongamos una cantidad de agua dada, un centímetro cúbico por ejemplo, dentro de un vaso cerrado, llenándole exactamente, y que en este estado se esponga á una temperatura elevada; entonces el volumen dilatado es á la cantidad en que ha crecido por la dilatación, sin cambiar de estado, como el módulo de la elasticidad del agua

(1) Robison's *Mechanical philosophy*, vol. II, p. 172.

(2) *Philosophical Magazine*, vol. LIII, p. 266.

(3) *Natural philosophy*, vol. II, p. 400.

(4) Una memoria interesante sobre este asunto, publicada por Mr. Faraday, hace igualmente probable que el límite es diferente para diferentes vapores. Mi fórmula me ha conducido á la misma conclusión; así tiene otra propiedad que confirma la experiencia. (Véase *Philosophical Magazine*, vol. LXVIII, p. 344).

á esta temperatura es á la fuerza del vapor de la misma densidad que el agua. Si nuestra regla diese para el vapor mayor fuerza que la determinada por esta proporcion, á la misma temperatura y densidad, sería errónea. Con estas limitaciones tenemos muchos medios de asegurarnos contra el error, y debemos pasar ahora á la esposicion del método.

86. Sea f la fuerza elástica del vapor en centímetros de mercurio, y t la temperatura correspondiente: sea tambien a la temperatura, para la cual la fuerza elástica es 0. Considerémos á f como la abcisa, y $t + a$ como la ordenada de una curva, cuya ecuacion sea

$$\Lambda^n f = (t + a)^n;$$

tendremos por el coeficiente constante

$$\Lambda^n = \frac{(t + a)^n}{f}.$$

Que la abcisa se haga f' , y la ordenada $t' + a$, entonces

$$\frac{(t + a)^n}{f} = \frac{(t' + a)^n}{f'};$$

de donde tomando los logaritmos sacaremos por el valor de n ,

$$n = \frac{\log f' - \log f}{\log (t' + a) - \log (t + a)}.$$

Ahora, si estos puntos estan inmediatos á una de las estremidades de la série de las esperiencias, y si se consideran del mismo modo otros dos puntos inmediatos á la otra estremidad, se tendrá tambien

$$n = \frac{\log f''' - \log f''}{\log (t''' + a) - \log (t'' + a)};$$

y por consiguiente igualando los dos valores de n ,

$$\frac{\log f''' - \log f''}{\log f' - \log f} = \frac{\log (t''' + a) - \log (t'' + a)}{\log (t' + a) - \log (t + a)}.$$

De cuatro resultados de esperiencias del señor Southern sobre el vapor del agua se deduce que $a = 73$ satisface á las condiciones; y si este valor de a se introduce en la fórmula, da

$$n = 6, \text{ y } \Lambda = 84,$$

cuyo logaritmo es 1,92428. Así para el agua se tiene

$$f = \frac{(t+73)^6}{84^6}, \text{ ó } t = 84 \times f^{\frac{1}{6}} - 73 \text{ (1),}$$

y en logaritmos

$$\log f = 6 [\log (t+73)] - 1,92428.$$

87. Si la dilatacion del agua encerrada, cuando su temperatura se eleva á 620°, es 0,9672 de su volumen, la fuerza necesaria para volverla á traer á su volumen á 15°, cuando está espuesta á la temperatura 620° (siendo el módulo del agua 22,100 atmósferas á 15°), sería de cerca de 6936 atmósferas (2).

Nuestra fórmula da por la fuerza del vapor á esta tempera-

(1) Esta fórmula, en medidas inglesas, es

$$f = \left(\frac{t+100}{177} \right)^6, \text{ ó } t = 177 f^{\frac{1}{6}} - 100.$$

Aunque la fórmula del texto se haya deducido por una transformacion inmediata, encuentro que concuerda menos con las esperiencias que la siguiente, cuyas constantes se han sacado directamente de las observaciones espresadas en medidas métricas, y que, en esta parte, parece que se debe preferir.

$$f = \left(\frac{t+75}{85} \right)^6, \text{ ó } t = 85 f^{\frac{1}{6}} - 75,$$

y en logaritmos,

$$\log f = 6 [\log (t+75) - \log 85],$$

$$\log (t+75) = \frac{1}{6} \log f + 1,92942.$$

El traductor Francés.

(2) La fuerza expansiva del calor, y la disminucion del módulo de la elasticidad, deben estar en la misma proporcion; es muy probable que varien entrambas como el cuadrado de la distancia de las moléculas, y por consiguiente como la potencia $\frac{2}{3}$ del volumen. Así, sea e la expansion y m el módulo, tomando por unidad el volumen primitivo, se debe tener

$$\frac{m}{(1+e)^{\frac{2}{3}}}$$

por el módulo á la expansion e : por consiguiente, segun el artículo 85, se tendrá la proporcion

$$1+e : e :: \frac{m}{(1+e)^{\frac{2}{3}}} : \frac{me}{(1+e)^{\frac{2}{3}}},$$

cuyo cuarto término espresa la fuerza de compresion capaz de retener el fluido en su densidad inicial.

tura, y á esta densidad 4148 atmósferas, y en la incertidumbre en que estamos sobre la dilatacion del agua á una temperatura tan elevada, asi como sobre la disminucion de su módulo, es mas prudente quedarse atrás del límite que no pasarle; pero á la temperatura de 620°, ó cerca de ellos, la regla no podria tener uso alguno, porque entonces solo da simplemente la potencia expansiva del agua comprimida, y esta potencia varía como la cantidad en que se dilata el agua por un cambio dado de temperatura.

Habiendo explicado asi los métodos por que se han obtenido

La expansion varía como la fuerza expansiva del calor y como la temperatura, por consiguiente como la potencia $\frac{2}{3}$ de la temperatura; debe ser pues o, á 4°,5 (ó á 40° del termómetro de Fahrenheit), que es la temperatura del *maximum* de densidad del agua: luego

$$e = A (t - 4,5)^{\frac{2}{3}};$$

y como de 4°,5 á 100° debe ser, segun la esperiencia, de 0,04333, tenemos

$$\log e = \frac{2}{3} \log (t - 4,5) - 4,66322,$$

y en grados de Fahrenheit,

$$\log e = \frac{2}{3} \log (t - 40) - 5,08909.$$

La tabla siguiente hace ver que la fórmula concuerda con la esperiencia.

TEMPERATURA.		Expansion por la fórmula.	Expansion por la esperiencia
Centesimal.	Fahrenheit.		
4,5	40°	0,00	0,00
18	64,4	0,00166	0,00145
40	104	0,00833	0,00825
100	212	0,04333	0,04333
200	392	0,1463	
400	752	0,4627	
600	1148	0,9672	
632,5	1170,5	1,0000	

De la expansion de la fuerza que resultó anteriormente quitamos para la temperatura 620° (1148 Fahrenheit),

$$\frac{me}{(1+e)^{\frac{2}{3}}} = \frac{22100 \times 0,9672}{(1,9672)^{\frac{2}{3}}} = 6936 \text{ atmósferas.}$$

las reglas, no nos resta mas que darles la forma mas sencilla para el uso con algunos ejemplos.

88. REGLA I. Hallar la fuerza del vapor de agua en centímetros de mercurio, dada la temperatura en grados del termómetro centigrado.

Añádanse 73 á la temperatura, y divídase la suma por 84; la sesta potencia del cociente será la fuerza que se pide en centímetros.

Ejemplo. Hallar la fuerza del vapor á la temperatura de 155°.

$$\frac{155 + 73}{84} = 2,7142,$$

que elevado á la sexta potencia, da 400 centímetros por la fuerza del vapor en centímetros de mercurio.

Por logaritmos. Añádanse 73 á la temperatura, y del logaritmo de esta suma quítense 1,92428; el sestuplo de la diferencia será el logaritmo de la fuerza que se busca en centímetros de mercurio.

Ejemplo. Hallar la fuerza del vapor á la temperatura de 121°.

Log (121 + 73 = 194) =	2,28780
Quitando el logaritmo constante.....	1,92428
	0,36352
	6
	2,18112,

que es el logaritmo de 152.

89. REGLA II. Dada la fuerza del vapor, hallar su temperatura. Multiplíquese la raiz sesta de la fuerza en centímetros de mercurio por 84, y quítense del producto 73; el residuo será la temperatura que se busca en grados centigrados.

Ejemplo. Sea la fuerza del vapor 8 atmósferas, equivalentes á 608 centímetros de mercurio, hallar su temperatura.

La raiz sesta de 608 se puede calcular facilmente por una tabla de los cuadrados y de los cubos, tomando primero la raiz cuadrada, y despues la raiz cúbica de esta raiz cuadrada. De este modo se encuentra 2,911; de donde $2,911 \times 84 - 73 = 171^{\circ},5$.

El señor Southern obtuvo por la esperiencia 173°, 1.

Por logaritmos. Añádanse á la sexta parte del logaritmo de

la fuerza 1,92428; la suma es el logaritmo de la temperatura aumentada en 73.

Ejemplo. Sea la fuerza del vapor igual á 152 centímetros de mercurio, que es cerca de un kilograma por centímetro cuadrado sobre la presión de la atmósfera, hallar la temperatura.

Log 152 = 2,18184

Cuyo sexto es..... 0,36364

Añadiendo el logaritmo constante..... 1,92428

Se tiene..... 2,28792 ,

que es el logaritmo de 194; de donde quitando 73, se tienen 121° por la temperatura. El señor Southern encontró por la experiencia 121°,3.

90. Cuando se emplea agua de la mar, como hierve á una temperatura distinta, la fuerza del vapor no es la misma. La corrección que resulta de aquí en las reglas se hace fácilmente, hallando el número constante que corresponde á una fuerza de 76 centímetros de mercurio, al punto de ebulición á diferentes grados de saturación del agua por las sales. Algunos de los mecánicos que tratan de máquinas para barcos, no creen aún que hay diferencia entre la temperatura del vapor del agua común y la del agua de la mar, cuando la fuerza es la misma. Yo haré ver en otra parte (Sección IV) el efecto de esta circunstancia sobre la fuerza de las máquinas de vapor; pero nuestro objeto presente es el de determinar la presión del vapor. Jaime Watt es el único que ha hecho algunas experiencias sobre el vapor del agua salada, las cuales datan del año 1774 (1). No las da por muy exactas, pero bastan para establecer el hecho de que hay una diferencia, y el señor Faraday ha tenido últimamente ocasión de asegurarse por sí mismo por varias experiencias (2).

91. La tabla siguiente da el punto de ebulición del agua teniendo en disolución diferentes sales.

(1) Robison's *Mechanical philosophy*, vol. II, p. 34.

(2) Véase el *Quarterly Journal of Science*, vol. XIV, p. 440.

NOMBRES de las sales.	PESO de la sal seca contenida en 100 partes de la disolucion.	PUNTO de ebulicion.	AUTORES del experimento.
Acetate de sosa.....	60	124° 4 centig.	Griffiths (1).
Nitrate de sosa.....	60	119,0	<i>Idem.</i>
Sal comun.....	37	107,7	Tredgold.
Muriate de sosa.....	30	106,6	Griffiths.
<i>El mismo</i>		105,7	Achard (2).
Sulfate de magnesia..	57,5	105,5	Griffiths.
Sulfate de cal.....	45	104,4	<i>Idem.</i>
Alumina.....	52	104,4	<i>Idem.</i>
Sulfate de hierro....	64	102,2	<i>Idem.</i>
Sulfate de sosa.....	31,5	100,5	<i>Idem.</i>
<i>El mismo</i>		103	Achard.

92. Segun el analisis del doctor Juan Murray, 10000 partes de agua de mar del peso específico de 1,029 (3), contienen

Muriate de sosa.....	120,01 = $\frac{1}{8}$
Sulfate de sosa.....	33,16 = $\frac{1}{3}$
Muriate de magnesia.....	42,08 = $\frac{1}{23}$
Muriate de cal.....	7,84 = $\frac{1}{127}$
	<hr/>
	303,09 = $\frac{1}{33}$

Así una parte de agua de mar contiene 0,030309 de diferentes sales, ó cerca de $\frac{1}{33}$ de su peso.

93. Como las sales no se desprenden con el vapor de agua, en una caldera llena de agua de mar se satura gradualmente, cada vez mas, y despues de cierto tiempo empieza á depositar sal, si no se han empleado los medios inventados para prevenir este efecto (véase la Seccion III); pero aun cuando se hayan empleado, se debe contar con un cierto grado de saturacion. La tabla siguiente, con los números constantes para diferentes grados de saturacion, aclarará esta materia. Parece que el punto de ebulicion del agua se aumenta un grado por cada adiccion de 4,5 partes á la proporcion de la sal comun contenida en 100

(1) *Quarterly Journal of Science*, vol. XVIII, p. 90.

(2) *Thomson's Chemistry*, vol. II, p. 14.

(3) *Philosophical Magazine*.

partes de agua: por lo menos esta ley regular no difiere sensiblemente de los resultados medios de mis esperiencias, que se hicieron con mucho cuidado; pero es difícil contar con el grado de saturación, porque varía continuamente durante la esperiencia.

PESO de la sal contenida en 100 partes de agua.	TEMPERATURA de ebulicion.	NUMERO CONSTANTE.	LOGARITMO CONSTANTE.
Solucion saturada. 36,37 = $\frac{12}{33}$	108°0	88	1,94448
33,34 = $\frac{11}{33}$	107,2	87,6	1,94250
30,3 = $\frac{10}{33}$	106,5	87,2	1,94052
27,28 = $\frac{9}{33}$	105,8	86,9	1,93902
24,25 = $\frac{8}{33}$	105,2	86,6	1,93752
21,22 = $\frac{7}{33}$	104,6	86,3	1,93601
18,18 = $\frac{6}{33}$	104,0	86,	1,93450
15,15 = $\frac{5}{33}$	103,3	85,6	1,93247
12,12 = $\frac{4}{33}$	102,6	85,3	1,93095
9,09 = $\frac{3}{33}$	102,0	85,0	1,92942
6,06 = $\frac{2}{33}$	101,3	84,6	1,92737
Agua de mar. 3,03 = $\frac{1}{33}$	100,6	84,3	1,92583
Agua pura. 0	100	84	1,92428

94. Comparemos ahora la fórmula con la esperiencia, y empecemos por los esperimentos de Watt sobre el agua salada. El agua estaba casi saturada de sal, y mas privada de aire que el agua comun, pero se le quitaba con dificultad el que aun le quedaba. La tabla siguiente manifiesta los resultados comparados con lo que dá la fórmula para el agua salada.

Esperiencias (1) de Watt sobre el vapor del agua salada.

TEMPERATURA.	FUERZA	
	EN CENTIMETROS DE MERCURIO.	
	Por las observaciones de Watt.	Por la fórmula para la solucion saturada.
7°7 centig.	0,025	0,06
29,4	1,47	2,5
45	4,3	5,9
60	9,0	11,8
73,3	15,9	19,6
76	20,5	24,0
82,2	27,5	30,5
86,1	32,0	33,0
90,8	39,0	42,5
94,1	43,5	47,5
97,2	49	53,0
98,1	55,5	56,0
100	58	58,3
102	62,5	63
103,3	65	66
104,4	67,2	68

En estas esperiencias, como en todas las que se hicieron al principio sobre la fuerza del vapor, la fuerza en las temperaturas bajas es menor de lo que debe ser.

Las esperiencias de Watt sobre el agua pura, ofrecen la misma discordancia, como se puede ver en la tabla siguiente, formada de los resultados tomados indistintamente en sus series de esperiencias.

(1) *Physique mécanique* de Robison, vol. II, p. 32 y 34.

TEMPERATURA.		FUERZA DEL VAPOR.			
		SEGUN LA ESPERIENCIA.		SEGUN LA FORMULA.	
Fahrenheit.	Centesimal.	En pulgadas.	En centimet.	En pulgadas.	En centimet.
55°	12,8	0,15	0,38	0,45	1,24
118	47,8	2,68	6,8	3,59	9,1
180	82,2	14,73	37,5	15,67	39,8
225	107,2	37	94,0	38,32	97,3
240	115,5	49	124	50,24	127,6
261	127,2	68	172	72,00	182,0
272,5	133,6	82	208	86,89	220,7

La esplicacion propuesta por el mismo Watt no basta para dar razon de esta diferencia, como no sea en las temperaturas bajas.

Supone que la escala del barómetro estacionario se debe haber puesto 0,5 milímetros mas baja, de donde resultaria la necesidad de una adicion igual á las fuerzas espresadas en la tabla anterior para el agua salada; de todos modos estas tablas de experiencias no se han escogido porque tuviesen bastante exactitud, sino para poner en evidencia el hecho importante de que la fuerza del vapor del agua depende de la temperatura del líquido que la produce, ó con el cual está en contacto. Para esto son bastante exactas, y es una circunstancia que influye en la fuerza elástica, asi en la caldera, como en el condensador, lo cual interesa particularmente á los que se ocupan de las máquinas para barcos de vapor. No siendo las temperaturas las mismas, la comparacion no es tan fácil; pero á 82°2 (180° Fahr.), la fuerza del vapor del agua salada es 27,5 centímetros (10,85 pulgadas), y 37,5 centímetros (14,730 pulgadas) para el agua pura: á 100° (212 Fahr.) es de 57,8 centímetros (22,74 pulgadas) para el agua de mar, y 75 centímetros (29,56 pulgadas) para el agua pura.

95. Las experiencias hechas por el profesor Robison se han conducido de la misma manera. Como Betancourt se valió del mismo método, y los resultados concuerdan enteramente con los de Robison, puede ser útil describirle.

Aparato del profesor Robison para determinar la fuerza del vapor. Este aparato en los primeros esperimentos consistia en

una pequeña marmita de cobre ABCD (fig. 4. lám. II), que tenia en la parte superior un termómetro introducido hasta el centro, y una válvula cargada en V, con un tercer orificio para la insercion de un tubo del barómetro SGF, destinado á medir la fuerza del vapor á las temperaturas inferiores á la del agua hirviendo. En las temperaturas mas altas la fuerza se medía en la válvula por medio de una romana, reemplazando el tubo SGF por un tapon; pero de este modo los resultados eran irregulares y poco satisfactorios. Para remediar este inconveniente se adaptaba á la marmita el tubo de vidrio MNK, que se ensanchaba en L para recibir el mercurio; y la fuerza, en lugar de medirse por la válvula, se medía por el ascenso del mercurio en el tubo MN. La marmita se calentaba con una lamparilla.

Para determinar la presion en las temperaturas mas bajas que el punto de ebulicion del agua, el tubo SGF se colocaba como en la figura, y en F estaba dispuesta una cubeta de mercurio. Luego que la lamparilla empezaba á obrar, el agua de la marmita producía vapor hasta que este se salía por la válvula y por el tubo F, de modo que arrojaba el aire. Sacando entonces la lamparilla, y cerrando la válvula y el tubo (este por la inmersion en el mercurio en F), subía el mercurio en el tubo GF á medida que el aparato se enfriaba, y se señalaban las alturas correspondientes á las diferentes temperaturas. Cuando se volvía á calentar el aparato, se hacian observaciones semejantes á estas.

Para estimar la fuerza elástica á temperaturas mas elevadas, se insertaba en E la estremidad K del tubo MNK, y á medida que la temperatura crecía, la presion del vapor en la parte ensanchada L determinaba la subida del mercurio, y suministraba así el medio de apreciar la elasticidad del vapor.

La objecion que se puede hacer contra este método de experiencia es, que la temperatura del mercurio debe variar continuamente durante la observacion, y por consiguiente causar en la superficie tan pronto una condensacion, como una produccion de vapor. La temperatura deberia ser en cada observacion una misma en toda la estension del aparato, y por consiguiente la columna que señalaba las presiones se debe reducir á la temperatura media. La única observacion en que se han tenido en con-

sideracion estas circunstancias, parece que es en la que el termómetro señalaba $5^{\circ},56$; entonces la columna en el sifon estaba á $75,45$ centímetros, y el barómetro marcaba $75,8$. La diferencia es la fuerza del vapor á $5^{\circ},56$, es decir, á $0^{\circ},35$. Bajando la temperatura á 0° , la fuerza no se diferenciaba sensiblemente, y sabemos por las últimas esperiencias que este resultado es con corta diferencia exacto. De todos modos el profesor Robison parece que creyó que la fuerza del vapor debe ser o á la temperatura del hielo derritiéndose (1).

Esperiencias de Robison sobre la fuerza del vapor.

TEMPERATURA DEL VAPOR.	FUERZA DEL VAPOR EN CENTIMETROS DE MERCURIO.	
	Por las observaciones de Robison.	Por la fórmula.
0° centig.	0,00	0,43
4,4	0,25	0,62
10	0,51	0,94
15,5	0,89	1,40
21	1,40	1,98
26,7	2,08	2,83
32,2	3,0	3,92
37,8	4,0	5,2
43,3	5,7	7,1
48,9	7,6	9,4
54,4	10,0	12,2
60,0	13,0	15,8
65,5	17,1	20,0
71,1	22,0	25,5
76,7	28,0	32,0
82,2	35,6	40,0
87,8	48,8	49,2
93,3	57,5	60,2
98,9	73,0	73,3
103,4	91,0	88,7
110,0	111,0	106,0
115,5	139,0	128,0
121,1	170,0	151,0
126,7	204,0	180,0
132,2	239,0	212,0
137,8	269,0	248,0

(1) *Mechanical philosophy*, vol. II, p. 36.

Si la fuerza elástica 0,35, que es el punto de donde parte Robison, se hubiese añadido á todos los resultados de las esperiencias debajo de la temperatura de 100°, como hubiera debido hacerse, discreparian muy poco de los que se obtuvieron en los últimos esperimentos hechos sobre la materia. Los del señor Achard rara vez discrepan mas de medio grado, ó uno, de los números estampados en la tabla que precede.

96. Las investigaciones del señor Dalton se hicieron bajo otro plan diferente. Tomó un tubo de barómetro perfectamente seco, y le llenó de mercurio hirviendo, señalando el punto en que se quedaba estacionario; entonces dividió el tubo en pulgadas y décimos de pulgada con una lima. Echó en él una pequeña cantidad de agua (ó del líquido con que queria hacer la esperiencia), de modo que solamente humedeciese las paredes; despues de esto, volviendo el tubo boca abajo, le metió en el mercurio dándole vueltas con mucho cuidado á fin de espeler todo el aire. Fijo ya el barómetro, una porcion del líquido, cerca de un octavo ó un décimo de pulgada, subia al extremo de la columna de mercurio por los lados del tubo. Tomó entonces otro tubo cilíndrico de vidrio, abierto por los dos extremos, de 2 pulgadas de diámetro y 14 de largo: en cada una de las aberturas de dichos extremos habia un tapon horadado en el medio, por donde entraba bastante premioso el tubo barométrico. El tapon superior estaba fijo á dos ó tres pulgadas mas abajo del extremo del tubo, y cortado por el medio para dejar pasar el líquido, pues su objeto era simplemente el de sujetar el tubo. Dispuestas asi las cosas, el agua, á una cierta temperatura, se podia echar en el tubo grande, de modo que rodease la parte superior del vacío del barómetro. El efecto de la temperatura sobre la produccion del vapor interior se podia apreciar por la depression de la columna de mercurio. De esta manera echó el señor Dalton agua caliente hasta 70° (158° Fahr.); pero como una temperatura mayor podia romper un aparato de vidrio, empleó el siguiente para las temperaturas mas elevadas.

Habiendo tomado un tubo de estaño de 4 pulgadas de diámetro y 2 pies de largo, á una de cuyas estremidades estaba soldada una placa circular del mismo metal, que tenia en el cen-

tro un tubo redondo semejante al de un telescopio de reflexion, soldó en el eje de este tubo otro tubo mas pequeño de la misma longitud, y abierto por los dos extremos. Con esta construccion se podia echar el agua en el tubo grande de modo que le llenase, mientras que el tubo interior estaba espuesto á su temperatura. En este tubo central metia despues el señor Dalton la mitad superior de un barometro de sifon, que fijaba con un tapon, teniendo tapado igualmente el extremo superior del tubo pequeño. Asi se podia graduar el efecto de una temperatura superior á 100°, pues la depresion de la coluna de mercurio se conocia por el ascenso en la parte exterior del sifon. Nota ademas el señor Dalton que la fuerza del vapor del agua entre 25 y 100°, puede tambien determinarse por medio de una máquina pneumática; y los resultados de este nuevo género de esperimentos convienen con los del procedimiento que acabamos de describir. Que se tome un frasco medio lleno de agua caliente, en el cual esté metida la bola de un termómetro; cúbrase todo con un recipiente sobre uno de los platillos de la máquina, y colóquese en el otro platillo un manometro; estrayendo el aire lentamente, y observando el estado del manometro y del termómetro en el momento en que empieza la ebulicion, la altura del primero indicará la fuerza del vapor del agua á la temperatura observada. El mismo método se puede emplear para otros líquidos. Conviene observar que los diferentes termómetros empleados en estos esperimentos se arreglaban exactamente á un mismo modelo.

Despues de haber repetido el señor Dalton sus esperimentos por estos diversos métodos, y de haber hecho una comparacion escrupulosa de los resultados obtenidos, pudo construir una tabla de la fuerza del vapor del agua en todas las temperaturas, desde el hielo derretido hasta el agua hirviendo (1). No citaremos mas que los resultados siguientes, comparándolos con los de nuestra fórmula.

(1) *Journal philosophique* de Nicolson, vol. VI, p. 263.

TEMPERATURA DEL VAPOR.	FUERZA EN CENTIMETROS DE MERCURIO.	
	Por las observaciones de Dalton.	Por la fórmula.
	0,° centig.	0,51	0,46
6,25	0,75	0,71
12,45	1,10	1,12
18,75	1,6	1,71
25	2,3	2,54
31,25	3,25	3,68
37,5	4,6	5,2
43,75	6,4	7,2
50	8,85	9,9
56,25	12,1	13,3
62,5	16,4	17,6
68,75	21,6	23,1
75	28,6	29,7
81,25	37,0	38,2
87,5	47,7	48,6
93,75	61,0	61,2
100	76,2	76,2

De estos resultados dedujo el señor Dalton la razón correspondiente á cada intervalo, y calculó los grados intermedios por interpolacion, considerando la fuerza como ascendente en progresion geométrica. En aquella época no hizo Dalton experiencias de 100° arriba, aunque estendió su tabla á 165°; despues se encontró que era defectuosa para las temperaturas que pasaban de 100.°

97. Mas adelante examinó el señor Dalton de nuevo este asunto, y de varios ensayos que hizo concluyó, que la fuerza del vapor á 0° no puede bajar de 0,5 centímetros, y que probablemente es de 0,63, pero despues de haber visto los resultados obtenidos por el doctor Ure, y por el señor Southern, y haber hecho él mismo nuevas experiencias para las temperaturas entre 100 y 150°, dió la tabla siguiente, construida segun las experiencias que él mira como las mas exactas de cuantas se han emprendido sobre la materia (1).

(1) *Annals of Philosophy*, vol. XV, p. 130, año 1820.

TEMPERATURA DEL VAPOR.	FUERZA EN CENTIMETROS DE MERCURIO.	
	Números de Dalton.	Por la fórmula.
2°2 centig.	0,73	0,51
17,7	1,90	1,60
35,5	4,95	4,67
55,5	12,88	12,88
70,3	33,5	34,2
104,4	81,0	88,4
133,3	226	219
171,1	587	660

Parece, según esta tabla, que hay mayor diferencia entre los resultados de diversas esperiencias, que entre estos resultados y los que da nuestra fórmula, lo cual induce á presumir que tiene una exactitud mas aproximada.

98. Espondrémos, para entera satisfaccion del lector, los principales resultados de las esperiencias del doctor Ure, y describirémos su sencillo y elegante aparato, que puede adoptarse para cualquiera otra especie de fluido (1).

La figura 5, lámina II, representa el aparato empleado para las temperaturas inferiores ó poco superiores al punto de ebullicion. En las figuras 6 y 7 se ven los que se emplean en las temperaturas mas altas; el último es el mejor.

El aparato estaba suspendido en la parte superior del hueco de una ventana alta, y colocado con el tubo LD en una posicion exactamente vertical por medio de una plomada. Todas las esperiencias se fundan en este principio, de que el aumento progresivo de fuerza elástica, determinado por el calor en el vapor del líquido colocado sobre el mercurio en *l*, se mide por la longitud de la coluna que se debe añadir sobre L para restablecer el nivel primitivo del mercurio en *l*. Estos dos puntos, de donde se parte, estan claramente señalados por un anillo de hilo de platina muy fino, atado fuertemente al rededor del tubo.

(1) *Transact. philosoph.* para 1818.

Al principio de la experiencia, y despues de introducido el líquido bien privado de aire, se hace que el mercurio coincida con el borde del anillo *l*, echándolo con cuidado, en un hilo muy sutil, en el brazo abierto del sifon D; se ajusta bien entonces el anillo que debe señalar el nivel en L.

Por el modo de conducir la experiencia, queda siempre una cierta cantidad de líquido en contacto con el vapor, y esta circunstancia es esencial para la exactitud de los resultados. Supongamos que la temperatura del agua ó del aceite en A (figura 5), señalada por un termómetro muy delicado, sea la del hielo derretido; y sea LD la coluna que hace equilibrio con la presión atmosférica. Caliéntese el cilindro A por medio de dos lámparas de Argand, cuya llama obre lentamente por debajo. Cuando el termómetro indique 6°, disminúyase la llama, de modo que mantenga una temperatura constante durante algunos minutos.

Entonces se medirá exactamente la elasticidad por la coluna de mercurio, que será preciso añadir sobre D, para traer el mercurio á su nivel inicial en *l*.

En E está fija una pieza de corcho entre los dos brazos paralelos del sifon, para sostenerle, y servir de punto de suspension al todo del aparato.

Para las temperaturas mas altas que el punto de ebulicion, la parte del sifon que está debajo de E, es evidentemente superflua, puesto que contiene en sus dos brazos un peso inutil de mercurio en equilibrio; entonces se adopta el aparato representado por las figuras 6 y 7, procediendo en lo demas del mismo modo. La abertura O (figura 7) sirve para dar entrada á la bola de un termómetro que queda fijo contra el tubo. Despues de haber llenado de mercurio la parte curva del tubo, se hace pasar al través de él una corta cantidad del líquido hasta la estremidad que está cerrada. El recipiente C lleno de aceyte, ó de agua, se calienta con una lámpara de Argand, y se mantiene la temperatura por algunos minutos en el grado de ebulicion; entonces es preciso añadir en D algunas gotas de mercurio, hasta que L y *l* esten en el mismo plano horizontal. El resto de la experiencia se ejecuta del modo que acabamos de describir. El líquido en C se calienta progresivamente, y por esta razon es

preciso añadir gradualmente nuevas cantidades de mercurio sobre L, para restablecer el nivel primitivo, y contrapesar la elasticidad que se va aumentando. La columna sobre L espresa al aumento de fuerza elástica. Cuando esta ha de subir mucho, se debe sostener el tubo vertical en una ranura hecha en un prisma de madera bastante largo.

Esperiencias del doctor Ure sobre la fuerza del vapor.

TEMPERATURA DEL VAPOR.		FUERZA EN CENTIMETROS DE MERCURIO.	
Termómetro de Fahrenheit.	Termómetro centigrado.	Observaciones del doctor Ure.	Por la fórmula.
24°	-4° 4	0,43	0,30
32	0	0,51	0,44
40	4,4	0,63	0,63
50	10	0,91	0,94
55	12,7	10,6	1,14
60	15,5	1,31	1,40
70	21	1,84	1,98
80	26,7	2,56	2,81
90	32,2	3,45	3,88
100	37,8	4,72	5,28
110	43,3	6,24	7,08
120	48,9	8,31	9,35
130	54,4	11,04	12,22
140	60,0	14,65	15,77
150	65,5	19,06	10,17
160	71,1	24,38	25,42
170	76,7	30,60	32,00
180	82,2	38,50	39,80
190	87,8	48,3	49,1
200	93,3	59,9	60,2
210	98,9	73,3	73,3
212	100	76,2	76,2
220	104,4	90,2	88,7
225	107,2	99,4	91,3
230	110	109,4	106,7
240	115,5	131,2	127,6
250	121,1	157,2	151,8
260	126,7	183,6	179,8
270	132,2	219,2	119,0
280	127,8	258,7	248,7
290	143,3	305,2	290,5
295	146,1	327,6	313,6
300	148,9	361,4	343,6
310	154,4	416,2	398,6
312	155,5	430,8	410,2
312	155,5	427,0	

Si se hubiera tratado de establecer una concordancia precisa con una série particular de observaciones, se hubiera podido modificar la fórmula, para que fuese un traslado fiel; pero ejecutando este cálculo, se encuentra que la fuerza elástica se aumentaría en mayor proporción de la que estamos autorizados á creer por otras esperiencias; y en las últimas investigaciones del señor Dalton se sienta, que los números hácia los 65° son mas altos que los resultados del doctor Ure.

99. Las esperiencias del señor Southern sobre el vapor de altas presiones se hicieron con una marmita. Un termómetro estaba adaptado á un tubo metálico, de modo que pudiese introducirse hasta el punto á que subia el mercurio. En lugar de medir la fuerza del vapor por una válvula cargada, se empleaba un cilindro barrenado con mucho cuidado, y un émbolo que se adaptaba á él con rozamiento suave, y en cuyo vástago habia una palanca. Para que esta construcción no diese lugar á algun error, se substituía una columna de mercurio, y se percibia la correspondencia con la diferencia de $\frac{1}{4}$ de milímetro.

Las observaciones á cada grado de temperatura y de presión se continuaban durante algunos minutos, aumentándose la temperatura alternativamente, de modo que la presión fuese unas veces superior y otras inferior, y despues se reducía el resultado á una temperatura media. Por este método, que me pareció merecer gran confianza, he obtenido los resultados necesarios para calcular los datos principales de mi fórmula. (Véase el artículo 86).

Las esperiencias debajo de 100° se hicieron casi como las del doctor Robison, y las debajo de 16° se ejecutaron por el señor Creighton. Estas esperiencias sobre el vapor á presiones bajas no parecen tan importantes como las cuatro esperiencias para la alta presión.

Esperiencias del señor Southern sobre la fuerza del vapor.

TEMPERATURA DEL VAPOR.	FUERZA EN CENTIMETROS DE MERCURIO.	
	Por la observacion.	Por la fórmula.
0° centig.	0,41	0,44
5,5	0,57	0,68
11,1	0,83	1,02
16,7	1,32	1,49
22,2	1,85	2,14
27,8	2,59	3,00
33,3	3,50	4,14
38,9	4,98	5,61
44,4	6,76	7,49
50,0	9,09	9,88
55,5	12,0	12,8
61,1	12,5	16,6
66,7	20,0	21,2
72,2	25,5	26,7
77,8	32,8	33,4
83,3	40,7	41,5
100,0	76,2	76,2
121,3	152,3	152,3
145,2	304,6	306,0
173,1	609,2	629,4

100. El señor Philip Taylor publicó en 1822 una tabla de la fuerza elástica del vapor á altas temperaturas (*Philosophical Magazine*, vol. IX, p. 452). El aparato que se empleó no se describe; pero los resultados parece que concuerdan con las mejores experiencias, y sobre todo pueden representar el efecto en la práctica, en la cual se debe siempre esperar que ha de haber alguna pérdida de fuerza.

Escala de la fuerza del vapor, segun el señor Taylor.

TEMPERATURA DEL VAPOR.	FUERZA EN CENTIMETROS DE MERCURIO.	
	Observaciones de Taylor.	Por la fórmula.
	100° centig.	76,2	76,2
104,4	88,8	88,7
110	105,4	105,7
115,5	127,0	127,6
121,1	150,2	151,8
126,7	178,1	179,8
132,2	209,5	212,0
137,3	247,3	248,7
143,3	290,8	289,8
148,9	339,7	338,3
160	455,7	453,4

101. Las esperiencias de Schmidt concuerdan de una manera admirable con nuestra fórmula en las temperaturas entre 150 y 110°; pasando de estos límites, se van apartando progresivamente, de modo que á 150° la fórmula da 28 centímetros de menos, y á 6°, 4 milímetros de mas (1).

102. No tenemos aun bastantes investigaciones experimentales sobre la fuerza del vapor á temperaturas elevadas. El profesor Arsberger, de Viena, ha hecho algunas que parece merecen cierta confianza (2).

Esperimentos de Arsberger, sobre el vapor de alta presion.

TEMPERATURA DEL VAPOR.	FUERZA EN CENTIMETROS DE MERCURIO.	
	Por la observacion.	Por la fórmula.
	111° centig.	113,78	110,64
120,5	150,11	149,19
134,4	225,55	226,06
161,1	447,04	466,34
188,9	825,5	919,5
222,2	1174,8	1872,0

(1) *Philosophie naturelle* du docteur Young, vol. II.

(2) *Bulletin des Sciences technologiques*, vol. I, p. 294.

Aquí la fórmula tiene de exceso mas de un sexto en 222°; pero en una experiencia comunicada por el señor Clement al señor Poison (1), la fuerza del vapor á 215° centigrados, se computa en 35 atmósferas, ó 2650 centímetros de mercurio, mientras que nuestra fórmula dá solamente 1625 centímetros. Yo dudo de la exactitud de esta experiencia.

103. El señor Cagniard de la Tour (2) hizo algunos ensayos para valuar el espacio y la temperatura necesarios para la evaporacion total de una cantidad de agua dada; pero la rotura frecuente de los tubos de vidrio y la pérdida de su transparencia, hicieron difícil la observacion de los resultados.

El autor sienta, sin embargo, que á una temperatura poco distante del punto de fusion del zinc, podria el agua convertirse en vapor en un espacio equivalente á cerca de cuatro veces su volumen. Si este resultado se hubiera obtenido realmente con exactitud, suministraria un dato importante; pero no se puede tener confianza en una aproximacion tan grosera.

En un artículo sobre la fuerza del vapor, inserto últimamente por el señor Yvory en el *Almacén Filosófico*, se halla un método enteramente diferente del mio: sin embargo no dá resultados mas concordantes con las experiencias de que se ha deducido la fórmula, al paso que ofrece mas dificultades en la aplicacion, y es defectuoso para las temperaturas altas.

Llamando t la temperatura contada desde 212° (Fahr.), y f la fuerza elástica en pulgadas, la fórmula del señor Yvory es

$$\log \frac{f}{30} = 0,0087466t - 0,000015178t^2 + 0,000000024825t^3$$

Los coeficientes se han calculado por las experiencias del doctor Ure. En la tabla siguiente se hallará la comparacion de los resultados obtenidos por la experiencia, por la fórmula del señor Yvory, por otros varios experimentos, y por mi fórmula.

Experiencia	Fórmula de Yvory	Fórmula de Ure
212°	30	30
222°	35	35
232°	40	40
242°	45	45
252°	50	50
262°	55	55
272°	60	60
282°	65	65
292°	70	70
302°	75	75
312°	80	80
322°	85	85
332°	90	90
342°	95	95
352°	100	100

(1) *Philosophical Magazine*, vol. LXI, p. 60.

(2) *Idem*..... *Idem*.... p. 58.

TEMPERATURA del vapor.	FUERZA ELASTICA DEL VAPOR EN PULGADAS DE MERCURIO.			
	Por las espe- riencias del doctor Ure.	Por la fórmula del señor Yvory.	Por varias esperiencias.	Por la fórmula del Sr. Tredgold.
320 (F.)	0,2	0,185	0,16 Creighton.	0,172
50	0,36	0,36		0,37
70	0,726	0,721		0,78
90	1,360	1,378		1,53
110	2,456	2,634		2,79
130	4,336	4,408		4,81
150	7,530	7,424		7,94
170	12,05	12,05		12,60
190	19,00	18,93		19,35
210	28,88	28,81		28,86
230	43,10	42,63	41,51 Taylor.	42,00
250	61,9	61,5	60 Southern.	59,79
270	86,3	86,7	82,5 Taylor.	83,45
290	120,15	119,9	114,5 Taylor.	114,4
310	161,3	162,8		154,5
337		240	234 Christian.	226,5
343,6		264	240 Southern.	247,8
419		714	1050 Clement.	635
432		1852	620 Arsberger.	737

A la temperatura de cerca de 770° (410° centes.), la fórmula del señor Yvory dá un resultado igual al módulo de la elasticidad del agua; de donde se seguiria que el vapor seria mas denso que el agua, mientras que el señor Cagniard de la Tour halla que á una temperatura igual con corta diferencia, el agua exige para convertirse en vapor un espacio de cuatro veces su volumen. El señor Yvory sin duda no conocia las esperiencias de Arsberger, ó bien habrá tenido algun motivo para dudar de la exactitud de la observacion del señor Clement; pero como esta observacion no está apoyada ni en la descripcion del procedimiento, ni en observaciones análogas para otras temperaturas, y por otra parte discrepa por esceso, sea de las fórmulas fundadas sobre una numerosa série de esperiencias, ó bien de otros muchos resultados; es un motivo suficiente para dudar de ella, mas bien que para variar mi fórmula. Por lo demas, el señor Yvory nota muy juiciosamente, que esta investigacion ofrece un nuevo ejemplo de la gran dificultad que se experi-

menta, para descubrir las leyes generales por la comparacion de los resultados particulares. Esta consideracion debe empeñar á los geómetras tan profundos, como lo es ciertamente el señor Yvory, á remontar á los primeros principios del fenómeno, antes que á procurar deducir analogías solo de las esperiencias.

No habiéndolas directas sobre la fuerza del vapor en las temperaturas elevadas, es difícil establecer una regla, y así debemos hacer ahora algunos ensayos para descubrir si la fuerza de los otros vapores nos dará alguna nueva luz sobre esta materia.

De la fuerza elástica del vapor del espíritu de vino.

104. Varios físicos hicieron investigaciones sobre la fuerza elástica del vapor del espíritu de vino. La mayor parte de las esperiencias recayeron sobre las temperaturas bajas, y se han conducido del mismo modo que las relativas al vapor del agua; pero al describirlas será ventajoso empezar por las del señor Cagniard de la Tour, sobre el espacio que ocupa el espíritu de vino cuando se convierte enteramente en vapor. Para hacer esta valuacion, introducía espíritu de vino á 0,837 de peso específico en pequeños tubos de vidrio, cerrándolos despues herméticamente. Uno de estos, lleno así de espíritu de vino hasta los $\frac{2}{3}$, se calentaba lentamente. Cuando el volumen llegaba á ser casi doble, el líquido desaparecía completamente, y se cambiaba en un vapor tan transparente, que el tubo parecia que estaba vacío del todo. Dejándole enfriar por un instante, se formaba en el interior una nube espesa, y el fluido volvía á su primer estado. Otro tubo lleno hasta la mitad del mismo líquido, dió un resultado semejante; pero otro tercero, que contenía mayor porcion del líquido, reventó luego que se calentó.

He aquí el procedimiento empleado para calcular la presión. Se encorbaba un tubo en forma de sifon; uno de los brazos contenía el líquido, y el otro encerraba aire, mantenido á la temperatura fija de 22° centígrados por un aparato refrigerante, y separado del líquido por medio de mercurio. Despues de haber cerrado los dos brazos, se calentaba el que contenía el líquido, y cuando este se evaporaba, se notaba la disminucion que había en el volumen del aire.

El espíritu de vino, á la temperatura específica de 0,837, se reducía á vapor á la temperatura de 258° centígrados, en un espacio un poco menor que tres veces su volumen primitivo, y 476 partes de aire se reducían á 4; lo cual, según el señor Cagniard de la Tour, indica una presión de 119 atmósferas, ó 9044 centímetros de mercurio.

105. Las experiencias sobre el vapor del espíritu de vino, á temperaturas bajas, están reunidas en la tabla siguiente.

La fórmula que ha servido para calcular la última columna, suponiendo el espíritu de vino de tal grado de pureza, que entre en ebulición á 173° de Fahrenheit, es

$$f = \left(\frac{t+100}{154,8} \right)^6,$$

calculadas las constantes del mismo modo que las relativas al vapor de agua (art. 86). Tomando los logaritmos se tiene

$$\log f = 6 [\log (t+100) - 2,189976],$$

fórmula, en la cual t designa la temperatura del vapor en grados de Fahrenheit, y f la fuerza elástica en pulgadas de mercurio. Por esta fórmula la fuerza á 497° es de 3280 pulgadas: la experiencia del señor Cagniard de la Tour da 3570 pulgadas (1).

(1) Si se expresa t en grados centesimales, y f en centímetros, la fórmula es

$$f = \left(\frac{t+73}{73,46} \right)^6,$$

ó

$$\log f = 6 [\log (t+73) - 1,865605]$$

El Traductor francés.

:

Esperiencias sobre la fuerza del vapor de espíritu de vino (1).

Temperatura del vapor	FUERZA EN PULGADAS DE MERCURIO.					
	Por las esperiencias del doctor Ure.	Por las esperiencias de Watt.	Por las esperiencias de Robison.	Por las esperiencias de Dalton.	Por las esperiencias de Betancourt.	Por la fórmula.
32° (F.)	0,40		0,0		0,0	0,383
40	0,56	0,929	0,1			0,546
50	0,86					0,826
54,5					0,48	0,986
60	1,23		0,8	1,4		1,215
64				1,51		1,41
70	1,76					1,75
77					1,62	2,228
80	2,45		1,8			2,465
90	3,40					3,41
96				4,07		4,11
99,5					3,63	4,57
100	4,50		3,9			4,64
110	6,0	5,63				6,22
120	8,10	7,12	6,9			8,22
122					7,36	8,67
130	10,60					10,73
132		10,34		11,0		11,3
140	13,90		12,2			13,85
144,5					13,7	15,48
150	18,0					17,7
160	22,60	20,71	21,3			22,4
167		24,47			25,4	26,25
170	28,30					28,1
173	30,0			29,70		30,00
180	34,73		34,0			34,92
189,5					42,0	42,66
190	43,20					43,11
200	53,0		52,4			52,83
210	65,0					64,3
212					68,0	66,84
220	78,5		78,5	80,20		77,81
230	94,10					93,6
234,5					105	101,5
240	111,24		115			112,0
250	132,3					133,2
260	155,20					157,7
264	166,10					168,6

(1) Me ha parecido inútil reducir á medidas métricas las tablas relativas al vapor del espíritu de vino, y á los otros vapores que no tienen uso alguno en la práctica; pero se ha hecho la transformacion numérica en cada caso.

El peso específico del espíritu de vino empleado por el doctor Ure era 0,813, y su punto de ebulición 173° Fahr. (78°,2) (1). Los caracteres del espíritu de vino de que se sirvió Watt no se espesaron (2): sus esperiencias son muy irregulares. El espíritu de vino que empleó el doctor Robison hervía á 173° Fahr. (3). Las esperiencias desde 100° Fahr. arriba concuerdan bien con las observaciones posteriores. El espíritu de vino del señor Dalton parece que tuvo su punto de ebulición á 175° (4), y el del señor Betancourt á 173° (5), aunque no lo dice espresamente. Sus resultados, así como los de Robison, son muy diminutos en las temperaturas bajas.

Las esperiencias del doctor Ure están confirmadas por las del señor Dalton, y se pueden mirar como muy aproximadas á la verdad. Adviértase que la fórmula las representa con mucha exactitud.

De la fuerza elástica del vapor de éter sulfúrico.

106. El señor Cagniard de la Tour hizo algunas esperiencias sobre el éter, del mismo modo que sobre el espíritu de vino. El éter se convertía en vapor en un espacio menor que dos veces su volumen primitivo, á una temperatura de 200°. Esta esperiencia repetida tres veces, dió siempre el mismo resultado, y 528 partes de aire se reducían á 14, lo cual da 37,5 atmósferas por la fuerza elástica (6).

(1) *Philosophical Transactions*, 1818.

(2) *Robison's Mechanical philosophy*, vol. II, p. 33.

(3) *Idem*..... *Idem*... p. 35.

(4) *Annals of philosophy*, 1820, vol. XV, p. 130.

(5) Prony, *Architecture hydraulique*, vol. II, p. 180.

(6) Las esperiencias sobre el vapor del éter sulfúrico se pueden representar con bastante exactitud por la fórmula siguiente,

$$f = \left(\frac{t+210}{178,7}\right)^6, \text{ ó } \log f = 6 [\log (t+210) - 2,252124],$$

suponiendo que el punto de ebulición del éter sea á 104 ó 105° (Fahr.). Si este punto fuese á 98° (Fahr.), el logaritmo constante sería 2,239524. La temperatura está espresada según el termómetro de Fahrenheit, y la fuerza valuada en pulgadas de mercurio. Si t se hubiese referido al termómetro centigrado, y f se hubiese calculado en centímetros, la fórmula sería

$$f = \left(\frac{t+154,4}{85}\right)^6, \text{ ó } \log f = 6 [\log (t+134,4) - 1,92948].$$

:

107. Se han hecho otras experiencias, cuyos resultados estan consignados en la tabla siguiente.

Experiencias del señor Cagniard de la Tour sobre el éter.

TEMPERATURA del termómetro.		VOLUMEN en el estado líquido, 7 partes.		FUERZA calculada en atmósferas por la fórmula para los gases dilatados (art. 119).	VOLUMEN en el estado líquido, $\frac{5}{2}$ partes.		FUERZA del vapor en atmósferas por la fórmula, (art. 106, nota).
Centigr.	de Fahr.	VOLUMEN en el estado de vapor, 20 partes.			VOLUMEN en el estado de vapor, 20 partes.		
		Fuerza del vapor en atmósferas.	Diferencias.		Fuerza del vapor en atmósferas.	Diferencias.	
100°	212	5,6					5,78
111	234,5	7,9	2,3				7,9
125	257	10,6	2,7		14		10,63
131,5	279,5	12,9	2,3		17,5	3,5	14,1
150	302	18,0	5,1		22,5	5,0	18,4
162	324,5	22,2	4,2		28,5	6,0	23,8
175	347	28,3	6,1		35,0	6,5	30,6
185,5	369,5	37,5	9,2		42	7,0	38,7
200	392	48,5	11,0		50,5	7,5	48
212,5	414,5	59,7	11,2		58,0	5,5	60,7
230,5	447	68,8	9,1	68,8	63,5	2,5	82,3
243	469,5	78,0	9,2	70,5	66,0	4,5	100,7
255	492	86,3	8,3	72,2	70,5	3,5	
270	514,5	92,3	6,0	73,9	74,0	4,0	
280	537	104,1	11,8	75,6	78,0	3,0	
290	559,5	112,7	8,6	77,4	81,0	4,0	
300	572	119,4	6,7	78,3	85,0	4,0	
315	594,5	123,7	4,3	80,0	89,0	5,0	
325	617	130,9	7,2	81,8	94,0		

Comparando las dos series se observará, que la presión correspondiente al punto en que el líquido está enteramente convertido en vapor, es mayor en el tubo que contiene la cantidad menor del líquido; pero esto me parece que consiste en que el

Para la experiencia que precede, la fórmula da 48 atmósferas para la fuerza elástica del éter á la temperatura de 200° (392° Fahr.); pero la concordancia de la fórmula con las experiencias de la tabla es mas satisfactoria. *El Trad. francés.*

procedimiento no admite mucha exactitud. Debajo de este mismo término, la fórmula deducida de las esperiencias del doctor Ure representa los resultados con una precision admirable; pero, mas arriba de este punto, se necesitaria de otra fórmula. La formacion del vapor de mercurio en el aparato, es muy probable que altere los resultados en las temperaturas elevadas.

108. *Esperiencias del señor Ure y el señor Dalton sobre el éter.*

TEMPERATURA del vapor.	FUERZA EN PULGADAS DE MERCURIO.		
	Por las esperiencias del doctor Ure.	Por las esperiencias del señor Dalton.	Por la fórmula.
34° (Fahr.)	6,20		6,48
36		7,5	6,8
44	8,10		8,25
54	10,30		10,4
64	13,00	15,0	13,0
74	16,10		16,1
84	20,00		19,83
94	24,70		24,2
96		30,00	25,2
104	30,00		30,00
140	56,90		56,4
150	67,60		66,9
160	80,30		78,8
170	92,80		92,5
173		120,0	96,9
<i>Segunda especie de éter.</i>			
105	30,00		30,0
110	32,54		33,0
115	35,90		36,2
120	39,47		39,7
125	43,24		43,4
130	47,14		47,4
132		60,0	49,1
135	51,90		51,8
180	108,30		108,1
190	124,80		125,8
200	142,80		146
210	166,00		168,5
220		240	194

El éter empleado por el señor Dalton hervía en un tubo (1) á 96° (Fahr.), y su fuerza elástica se puede representar con bastante exactitud, aumentando en un quinto la cantidad dada por la fórmula. Así á 132° tenemos

$$49,1 + \frac{49,1}{5} = 58,92$$

en lugar de 60, y para 220°,

$$194 + \frac{194}{5} = 232,8,$$

en lugar de 240.

El éter de que se valió el doctor Ure hervía a 104° ó 105, y sus esperiencias son muy arregladas (2).

De la fuerza elástica del vapor del sulfúro de carbono.

109. El compuesto notable de azufre y de carbon, que se designa ordinariamente por el nombre de *sulfúro de carbono*, y algunas veces por el de *carbúro de azufre*, es un líquido transparente é incoloro como el agua.

Su vapor es acre y picante, y un poco aromático; tiene un olor nauseabundo y característico. Su peso específico es 1,272; hierve prontamente, y se evapora entre los 44 y 47° centígrados, segun su grado de pureza. Cuando se calienta hasta los 360 ó 370°, se inflama con el contacto del aire, y arde con una llama azul. Es casi insoluble en el agua: parece que se compone, en peso, de

Azufre.....	84,21
Carbono.....	15,79
	100,00

Se le puede preparar mezclando diez partes de carbon de leña en polvo bien calcinado, con cincuenta partes de sulfúro de hierro nativo pulverizado, y destilando la mezcla en una retorta, que se comuniqué con un recipiente tubular rodeado de

(1) Thomson's *Annals of Philosophy*, vol. XV, p. 130.

(2) Doct. Ure, *Dictionary of Chemistry*.

hielo. Estas cantidades dan un poco mas de una parte de sulfuro de carbono.

110. Me parece que este líquido se podría emplear en una máquina de vapor con alguna ventaja, siempre que no obrase con demasiada fuerza sobre las partes metálicas del aparato, y que no sufriese alteracion en las continuas transiciones del calor al frio, porque tiene una gran fuerza elástica en las temperaturas bajas. En la del agua hirviendo, su fuerza es ya igual á cerca de cuatro atmósferas, y tendria por consiguiente la ventaja de dar una máquina de alta presion sin el inconveniente de una temperatura elevada.

Esperiencias sobre la fuerza elástica del vapor de sulfuro de carbono.

TEMPERATURA.	FUERZA EN PULGADAS DE MERCURIO.	
	Por la esperiencia.	Por la fórmula.
53°5 (Fahr.)	7,4	11,73
72,5	12,55	16,35
110,0	30	30

La fórmula para el sulfuro de carbono es en logaritmos,
 $\log f = 6 [\log (t + 280) - 2,344878]$,
 en el punto en que el líquido empieza á convertirse en vapor.

111. He aqui la tabla que resulta de las esperiencias hechas por el señor Cagniard de la Tour sobre la fuerza elástica del vapor de este líquido.

TEMPERATURA.		VOLUMEN en el estado líquido 8 partes: en el de vapor 20.		FUERZA en atmósferas por la fórmula.
Centigrado.	Fahrenheit.	Fuerza en atmósferas.	Diferencias.	
100°	212°	4,2		4,03
111	234,5	5,5	1,3	5,3
125	257	7,9	2,4	6,8
137,5	279,5	10,0	2,1	8,7
150	302	13,0	3,0	11,0
162	324,5	16,5	3,5	13,8
175	347	20,2	3,7	17,3
185	369,5	24,2	4,0	21,3
200	392	28,8	4,6	26,2
212,5	414,5	33,6	4,8	31,9
230	447	40,2	6,6	42,0
243	469,5	47,5	7,3	50,3
255	492	57,2	9,7	60,2
270	514,5	66,5	9,3	71,4
280	537	77,8	11,3	84,5
290	559,5	89,2	11,4	99,5
300	572	98,9	9,7	
315	594,5	114,3	15,4	
325	617	129,6	15,3	
330	628,5	133,5	3,9	

Las irregularidades que hay en todas las experiencias del señor Cagniard de la Tour, deben dimanar de la dilatación de los tubos bajo la influencia de unas temperaturas tan elevadas, y de unas presiones tan considerables; así, el que se ensayase en hacer convenir exactamente estos resultados con el cálculo, mostraria, en este solo hecho, que desconocia la influencia de los efectos físicos, como por otra parte sucede muy frecuentemente en semejantes investigaciones. El uso ordinario de suplir la falta de observaciones directas por cálculos minuciosos, es uno de los grandes defectos de nuestro modo actual de aplicar las investigaciones científicas á la perfección de la práctica de las artes.

112. Se han hecho experiencias sobre las fuerzas de los vapores de otros diferentes líquidos, pero sin poner una atención especial en las que convendría adoptar para las máquinas; es

decir, en aquellas que dan una fuerza considerable en las temperaturas bajas, y que por consiguiente no exigen que el fuego obre sobre superficies tan estensas como cuando se emplea el vapor del agua. Por otra parte, un fluido que tiene una fuerza elástica poco considerable á una temperatura elevada, puede ser empleado algunas veces de una manera conveniente, como vehículo para transmitir al vapor motor un calor uniforme; de manera que es difícil decir á qué sustancias no es oportuno estender nuestras investigaciones.

El señor Dalton hizo algunas esperiencias sobre el vapor de amoniaco; el que empleaba entraba en ebulcion á 140° Fahr., y su peso específico era 0,9474. El vapor tenia una fuerza de 4 pulg. 3 á los 60°; pero subiendo mas la temperatura, la parte gaseosa se separaba luego, y dejaba el resto combinado con una porcion mayor de agua, y exigiendo por consiguiente una temperatura aun mas alta para convertirse en vapor: por esta razon este fluido es inaplicable.

113. La fuerza elástica de los vapores de petróleo y aceite de terebentina ha sido determinada por el doctor Ure: sus resultados se contienen en las tablas siguientes.

Las fórmulas son, para el vapor de petróleo, cuyo punto de ebulcion es á 316° Fahr.,

$$\log f = 6 [\log (t + 100) - 2,372906];$$

y para el vapor de aceite de terebentina, que hierve en un tubo á 304°,

$$\log f = 6 [\log (t + 100) - 2,360194] (1).$$

(1) En medidas métricas estas fórmulas son

$$\log f = 6 [\log (t + 73,3) - 2,05017],$$

$$\log f = 6 [\log (t + 73,3) - 2,03745].$$

:

Esperiencias sobre la fuerza del vapor de petróleo ó naphita.

TEMPERATURA DEL VAPOR.	FUERZA EN PULGADAS DE MERCURIO.	
	Por las esperiencias del doctor Ure.	Por la fórmula.
	316° Fahr.	30	30
320	31,7	31,8
325	34	34,1
330	36,4	36,6
335	38,9	
340	41,6	42
345	44,1	
350	46,86	48,1
355	50,2	
360	53,3	54,8
365	56,9	
370	60,7	62,4
372	61,9	
375	64	66,5

Esperiencias sobre la fuerza del vapor de aceite de terebentina.

TEMPERATURA DEL VAPOR.	FUERZA EN PULGADAS DE MERCURIO.	
	Por las esperiencias del doctor Ure.	Por la fórmula.
	304° Fahr.	30
307,6	32,6	31,6
310	33,5	32,7
315	35,2	35,3
320	37,06	38
322	37,8	39
326	40,2	41,1
330	42,1	43,6
336	45	
340	47,3	50,1
343	49,4	52,5
347	51,7	
350	53,8	57,3
354	56,6	
357	58,7	
360	60,8	65,4
362	62,4	

114. Hay aun una substancia, que parece que tiene las propiedades que se desean en el vapor como motor de máquinas; se llama *vapor del gas del aceite*, y se separa de este gas por la compresion, por cuyo medio se hace portatil el gas del aceite. El señor Faraday estudió esta substancia (*Transactions philosophiques* de 1826), y halló que no es soluble en el agua, sino en muy corta cantidad. La disolucion hierve cerca de los 170° del termómetro de Fahrenheit; pero conserva el estado líquido en las temperaturas ordinarias. Esta materia consiste en la combinacion de muchos fluidos de diferentes grados de volatilidad, que se pueden separar por medio de destilaciones repetidas á diversas temperaturas: el mas abundante se separa entre 170 y 200° .

En las temperaturas comunes, el fluido que se separa entre 170 y 200° (Fahr.), se presenta como un líquido transparente é incoloro, del peso específico de $0,85$ á 60° , y tiene el olor ordinario del gas del aceite. Debajo de los 42° es sólido, y se contrae mucho durante su congelacion: á cero parece una substancia blanca y transparente, pulverulenta, y de una dureza semejante á la del azucar de pilon. Al aire se evapora enteramente; y cuando su temperatura se eleva á 186° , entra en ebulicion, y produce un vapor, cuyo peso específico es $2,7$ veces el del aire atmosférico. Parece que á una temperatura mas alta el vapor se descompone, y deja depositar el carbono.

Este fluido se compone de seis volúmenes de carbono y tres de hidrógeno, condensados en un solo volumen.

115. En una memoria inserta en las *Transactions philosophiques* de 1823, y con referencia á la aplicacion de los líquidos formados por la condensacion de los gases como agentes mecánicos, Sir Humphry Davy examina la probabilidad de emplear la fuerza elástica de los gases comprimidos en el movimiento de las máquinas. Funda esta probabilidad en la inmensa diferencia que existe entre los aumentos de fuerza elástica en los gases en altas y bajas temperaturas, aunque por aumentos de iguales números de grados. La fuerza del ácido carbónico se encontró igual á la del aire comprimido á $\frac{1}{3}$, á 12° Fahrenheit, y á la del aire comprimido á $\frac{1}{3}$ á 32° ; lo cual da un aumento de presion equivalente al peso de 13 atmósferas.

116. Se hallará sin embargo, según yo creo, que en la valoración de las propiedades de los gases comprimidos como agentes mecánicos, se deben tener en consideración otras dos circunstancias. La primera es la distancia á que obrará esta fuerza; porque si esta distancia de su acción disminuye en la misma razón en que la fuerza se aumenta por la compresión, nada se ganará, puesto que la potencia de un agente mecánico se debe estimar por el producto de la fuerza y de la distancia á que se extiende su esfera de actividad. En segundo lugar es preciso considerar también la cantidad de calor que se requiere para producir el cambio de temperatura; porque si la misma potencia mecánica exige tan alto grado de calor como el que se obtiene por el vapor ordinario, no ofrecería el cambio ninguna ventaja de importancia, porque no tendría más utilidad que la de disminuir la extensión de las superficies que se habían de calentar.

La idea de emplear presiones muy altas obrando en un espacio estrecho, parece más feliz al primer aspecto, que no después de un profundo examen. Sin duda entonces una máquina de una fuerza considerable ocupará menos espacio, y no pesará tanto; pero los inconvenientes reales son la grande masa de combustible que se necesita para alimentar la máquina en un tiempo dado, y la inmensa superficie que se debe esponer á un fuego ardiente para obtener una cantidad dada de calor en un tiempo dado. Además, cuando se emplean constantemente altas presiones, es preciso poner mucha exactitud en la ejecución de las máquinas, y atender á la elasticidad de los materiales, y esto las hace muy caras y de poca duración.

De todos modos el éxito que tuvo el señor Faraday en la liquefacción de diferentes gases, no deja de ser de grande importancia. Su procedimiento consiste en producir los gases en un tubo de vidrio herméticamente cerrado por sus dos extremos; entonces, si se enfria uno de ellos, y se calienta el otro cuando el calor es necesario, el gas se condensa en el estado líquido en el extremo frio.

117. El ácido carbónico exige las mayores precauciones para poder efectuar su liquefacción con seguridad. El líquido obtenido es claro, incoloro, sumamente fluido, sobrenada en las ma-

terias contenidas en el tubo, sin mezclarse con ellas, y se evapora rápidamente á la diferencia de temperatura entre 0° y 18° . Su potencia refringente es menor que la del agua, y su vapor ejerce una presion de treinta y seis atmósferas á la temperatura del hielo derritiéndose. Tratando el señor Faraday de abrir por una de las estremidades los tubos que contenian este líquido, se halló que reventaban siempre con muy fuerte esplosion (1).

La tabla siguiente indica los gases que se han reducido á líquidos por el señor Faraday, sus densidades, y la razon de sus potencias dinámicas con la del vapor del agua (2).

SUSTANCIAS.	Densidad del gas, siendo 1 la del aire.	Densidad del líquido, siendo 1 la del agua.	Temperatura.	Fuerza en atmósferas.	Potencias dinámicas de iguales pesos de gas.
Gas ácido carbónico.....	1,527		0° cent	56	
Sulfúrico.....	2,777	1,42	7,2	2	426
Hidro-sulfúrico.....	1,192	0,9	10	17	630
Euclorina.....	2,565				
Dentoxido de Azoe.....	1,527		7,2	50	
Cyanógeno.....	1,818	0,9	7,2	3,6	395
Amoniaco.....	0,5962	0,76	10	6,5	1057
Gas ácido hidro-clórico..	1,285		10	40	
Cloro.....	2,496	1,53	10	4	440
Vapor de agua.....	0,48	1,00	100	1	1710

(1) El ingenioso señor Brunel se ocupa en la construccion de una máquina, cuyo vapor motor sea el del ácido carbónico líquido. Se debe sentir que su raro talento para las combinaciones mecánicas se emplee en investigaciones que ofrecen tan poca probabilidad de buen éxito.

(2) La potencia dinámica es proporcional al producto de la fuerza elástica del gas por el espacio que el gas abandona cuando pasa al estado líquido. Se mide este espacio, comparando la densidad del cuerpo que se ha liquidado con la que tenia en el estado gaseoso bajo la misma presion; y siendo el peso del aire al del agua como $1:828^*$, para hallar la potencia dinámica de un mismo volumen del líquido, debemos multiplicar simplemente 828 por el peso específico del mismo cuerpo en el estado de gas. La fuerza elástica ó la presion no entra en este cálculo, puesto que la densidad del gas se aumenta evidentemente en la misma razon. La cantidad de calor está muy probablemente en razon de la potencia; y si es asi, todos los cuerpos darian iguales cantidades de fuerza por cantidades iguales de calor.

* El autor no dice sobre qué esperiencias se funda para admitir esta razon, así creo que debo recordar aquí que la razon recibida en Francia generalmente es la de 1 á 770, que ha sido determinada por los señores Biot y Arago.

Tales son las principales investigaciones que se han hecho sobre la fuerza elástica de los vapores á diferentes temperaturas, cuando estan siempre en contacto con los líquidos de que proceden; mas para tratar el asunto mas completamente, nos resta considerar la fuerza de los vapores, asi como su densidad, cuando, una vez producidos, cesan de estar en contacto con los líquidos de que provienen, y que por consiguiente obran como gases permanentes.

De la fuerza elástica de los vapores, separados de los líquidos que los produjeron.

118. Hemos notado (art. 87), que la ley, segun la cual la fuerza elástica de un vapor depende de la temperatura, no es la misma cuando el vapor cesa de estar en contacto con el líquido que le produjo: la densidad del vapor no continúa aumentándose por la acumulacion del calor; la fuerza elástica es solamente la que depende de la expansibilidad, y se debe graduar por la cantidad en que se dilataria el vapor si estuviese libre. Se sabe que la dilatacion se ha encontrado ser la misma en un mismo aumento de temperatura, en todos los gases y todos los vapores, y tambien, que la densidad es proporcional á la presion, á lo menos hasta 60 atmósferas. Por consiguiente es facil calcular esta especie de fuerza.

Tambien será util, mas adelante, calcular el volumen que ocupa un vapor de una densidad dada, bajo una presion dada tambien, á lo menos hasta 60 atmósferas. Las necesidades de la práctica no exigen que se vaya mas lejos.

119. La dilatacion de un gas ó de un vapor se determina con facilidad por la regla siguiente.

Añádanse 273 á la temperatura anterior y posterior á la dilatacion, espresadas en grados del termómetro centigrado; divídase despues la mayor de estas dos sumas por la menor, y el cociente multiplicado por el volumen en la temperatura mas baja, dará el volumen en la temperatura mas alta.

Sea pues t la temperatura para el volumen V , y t' otra temperatura para el volumen V' , se tendrá

$$V' = V \left(\frac{273+t'}{273+t} \right) \quad (1).$$

Para hallar la fuerza elástica á la temperatura t' , es preciso observar que esta fuerza debe ser á la fuerza del vapor en la temperatura t , como el volumen que ocuparía el vapor en la temperatura t' , si tuviese libertad para dilatarse, es al volumen que ocupa efectivamente á la temperatura t , ó

$$\frac{f'}{f} = \frac{V'}{V};$$

lo cual da

$$f' = \frac{V'}{V} f,$$

y por consiguiente,

$$f' = f \left(\frac{273+t'}{273+t} \right).$$

Tomando por ejemplo las esperiencias del señor Cagniard de la Tour sobre el eter, hallamos que el fluido se habia evaporado completamente á una temperatura que no pasaba de 240° ; pero las diferencias no indican que esto se haya verificado en una temperatura mas baja. La fuerza del vapor á dicha temperatura era de 68,8 atmósferas. Se pregunta cuál es su fuerza á 325° : en este caso tenemos

$$\frac{273+325}{273+230} \times 68,8 = 81,6 \text{ atmósferas.}$$

Segun la esperiencia del señor Cagniard de la Tour, serian

(1) El autor ha adoptado esta fórmula en lugar de la mas usada

$$V' = V \frac{267+t'}{267+t},$$

á fin de ajustar mejor los resultados de la esperiencia con los del cálculo; pero como las temperaturas medias, es decir, las de 50 á 150° , son las que se encuentran frecuentemente en la práctica, la fórmula siguiente se aplicará mejor en estos casos,

$$V' = V \left(\frac{270+t'}{270+t} \right).$$

Se ha deducido de las otras dos, tomando el término medio entre las dos constantes 267 y 273, y tiene la ventaja de ser mas facil para el cálculo que no estas. *El traductor francés.*

9/4 atmósferas, y la diferencia proviene, sin duda, del vapor de mercurio que se forma en el aparato (art. 107), y la misma reflexión se aplica á las otras esperiencias de dicho físico, porque nuestra fórmula de la dilatacion es mas bien escesiva que defectuosa, respecto de la verdad.

120. Invirtiendo la regla precedente, podemos hallar el volumen que debe ocupar el vapor bajo una presión que no exceda de 60 atmósferas, conociendo su volumen bajo una presión dada y á una temperatura también dada. Por ejemplo, á 15° centígrados, y bajo la presión atmosférica, el volumen del vapor de agua es 1325 veces el del agua (1). Si el agua se hubiese elevado

(1) Se halla fácilmente el volumen de un vapor ó de un gas á esta temperatura y á esta presión, por las tablas que dan los pesos específicos de los fluidos elásticos, comparados con los del aire en las mismas circunstancias; porque siendo el volumen del aire 828* el de un peso igual de agua, multiplicando el número 828 por el peso específico del líquido comparado con el del agua, y dividiendo el producto por el peso específico del vapor comparado con el del aire, dará la razón del volumen del vapor al de un peso igual del líquido. Así para el agua, siendo la densidad de su vapor 0,625, esta razón será

$$\frac{828}{0,625}, \text{ es decir } 1325.$$

Líquidos.	Densidad del líquido, siendo 1 la del agua.	Densidad del vapor, siendo 1 la del aire.	Razon del volumen del vapor al del líquido.	Número constante por la fórmula.	Razon del volumen del vapor al del líquido á la temperatura de la ebulicion.	Temperatura de la ebulicion.
Agua.....	1	0,625	1325	349	1713	100°
Espiritu de vino.....	0,825	1,6155	425	112	520	80
Eter sulfúrico.....	0,632	2,586	205	55,5	218	40
Carburo de azufre....	1,272	2,6447	593	105	441	46,5
Naphta.....	0,758	2,853	224	58,5	276	85
Aceite de terebentina.	0,792	5,013	150	54,5	195	156,5
Gas del aceite liquid.	0,85	2,7	260	70	300	85,5

Parece por esta tabla, que un volumen de agua produce mas vapor que un volumen igual de los líquidos que se mencionan en ella.

* No siendo el volumen del aire á 0° mas que 770, sería á 15°, según la fórmula misma del autor, $\frac{770(273+15)}{273} = 812$; lo cual es algo menos que el número 828, que ha adoptado. Lo mismo sucede con la densidad del vapor que la ha tomado á 0,625, en lugar de 0,623. Por lo demás, el exceso de estas dos valuaciones se halla en parte compensado en el resultado del cálculo. *El traductor francés.*

á la temperatura t' , su volumen sería

$$1325 \left(\frac{273+t'}{273+15} \right) = 4,6 (273+t');$$

se tendría, de mas,

$$\frac{f}{76} = 4,6 \frac{(273+t')}{V},$$

de donde
$$V = \frac{76 \times 4,6}{f} (273+t') = 349 \frac{(273+t')}{f},$$

por el volumen correspondiente á la temperatura t' y á la fuerza f .

121. De aqui se deduce esta regla simple para hallar el volumen del vapor, tomando por unidad la del agua, cuando se da su temperatura y su fuerza elástica. Añádanse 273 á la temperatura espresada en grados del termómetro centigrado, y multiplíquese la suma por 349; el producto dividido por la fuerza elástica, espresada en centímetros de mercurio, dará el volumen que se busca.

Si, por ejemplo, la fuerza es de 4 atmósferas, ó 304 centímetros de mercurio, la temperatura correspondiente á esta fuerza será, por las esperiencias del señor Southern, 146° centígrados (art. 77).

De aqui

$$273 + 146 = 419,$$

$$\frac{419 \times 349}{304} = 482;$$

es decir, que el volumen ocupado por el vapor será 482 veces el del líquido. El volumen hallado por la esperiencia es 404; y cuando se consideran las dificultades que hay para determinar el volumen, á causa de las pérdidas que ocasiona la evasion del vapor en estas temperaturas elevadas, se debe mirar este resultado como suficientemente acorde con el cálculo. Segun las esperiencias del doctor Ure, la fuerza del vapor á 148° es de 327 centímetros, lo cual da 448 por el volumen que ocupa el vapor bajo esta presion y esta temperatura (1).

(1) Se llegaria á resultados mas aproximados á la esperiencia por la fórmula

De la mezcla de aire y de vapor.

122. Es un hecho bien conocido que el agua comun encierra siempre una gran cantidad de aire, que cuando el agua se convierte en vapor, se mezcla con ella, y se separa conservando el estado gaseoso, cuando el agua se condensa. Si no se toma ningun medio para espeler del condensador de una máquina de vapor esta materia gaseosa, se acumulará allí, y concluirá por detener el movimiento del émbolo. Mas aun cuando se empleen los medios convenientes para arrojar el aire, queda siempre una cierta cantidad en el condensador, y por consiguiente debemos estudiar los efectos de esta mezcla de aire y de vapor á diferentes temperaturas, y bajo diversas presiones.

Supongamos que se tiene aire y vapor á la misma temperatura t , y de la misma fuerza elástica f , y que sus volúmenes sean V y V' . Si los pusiésemos uno sobre otro en un vaso cerrado, del volumen $V+V'$, se estableceria el equilibrio á causa de la igualdad de presion y temperatura; pero este equilibrio no seria estable.

La esperiencia prueba que los dos gases se mezclarian entre sí hasta que la mezcla fuese uniforme; muestra tambien ademas la esperiencia, que en esta operacion no se aumentaría ni disminuiría la temperatura; de suerte que, cuando despues de un cierto tiempo, la mezcla llega á ser perfectamente homogénea, la temperatura y la presion son en todas partes t y p . De estos hechos, sentados por la observacion, podemos deducir otro que la esperiencia confirma igualmente.

123. Supongamos dos gases, ó un gas y un vapor, que mezclados juntos ocupen un volumen V á la temperatura t . Si p y

$V = \frac{349}{f}(270+t)$, ó aun por la fórmula $V = \frac{4,6}{f'}(270+t)$, en la cual f' espresa atmósferas.

Así, cuando $t=100$ y $f'=1$, se tiene

$$V = 4,6 \times (270+100) = 1702, \text{ ó } V = \frac{349}{76}(270+100) = 1699,$$

lo cual no difiere sensiblemente de la valuacion ordinaria que pone el volumen del vapor á 1700 veces el del agua. *El traductor francés.*

f designan las presiones que ejercerian, ocupando cada uno separadamente el mismo volumen V á la misma temperatura t , la presion de la mezcla será $p + f$.

En efecto, supongamos que los dos gases esten primero separados, y sea f mayor que p ; dilatando entonces el gas bajo la presion f , hasta que f sea p , su volumen será $\frac{Vf}{p}$, puesto que la temperatura no ha cambiado. Colocando ahora los dos gases uno sobre otro, su volumen total será

$$v + \frac{vf}{p} \text{ ó } \frac{v}{p}(p + f);$$

es decir, el que conviene á la presion $p + f$.

124. Estos dos gases se mezclarán uniformemente como hemos dicho antes, sin cambiar su temperatura ni su presion comun. Ahora, siguiendo la ley del volumen en razon inversa de la presion, la cual es cierta asi para los gases mezclados como para los simples, si comprimimos la mezcla sin cambiar la temperatura, hasta que su volumen

$$\frac{v}{p}(p + f)$$

llegue á ser v , la presion p se hará $p + f$, que es lo que se queria demostrar. La demostracion sería la misma para tres ó mayor número de gases, ó para las mezclas de gases y de vapores. En todos casos la presion total será igual á la suma de las presiones que cada gas ó cada vapor ejerceria separadamente, cuando ocupase solo el mismo volumen v á la misma temperatura t .

Cuando sobreviene algun cambio de temperatura antes ó despues de la mezcla, suponiendo que la temperatura t llegue á ser t' , se tiene entonces

$$\left(\frac{273 + t'}{273 + t}\right) \times \frac{v(p + f)}{p}$$

por el volumen á la nueva temperatura.

125. Esta fórmula está comparada en la tabla siguiente con las esperiencias del general Roy (1), de las cuales he tomado los resultados medios. Empezando á $-17^{\circ},7$, y bajo la presion de 80,45 centímetros de mercurio, las columnas primera y segunda

(1) *Philosophical Transactions*, vol. LXVII, p. 653.

manifiestan como 1000 partes de aire en contacto con el agua crecen en volumen por la formación del vapor, según los aumentos de temperatura; y la tercera da la fuerza del vapor á estas diversas temperaturas, calculada por nuestra fórmula; la cuarta indica el volumen de la mezcla determinado por la fórmula del artículo que precede (1). Se notará que el cálculo y la experiencia concuerdan perfectamente; lo cual es una nueva é indirecta confirmación de nuestra fórmula para la fuerza del vapor en los grados inferiores al punto de ebulición.

TEMPERATURA.	VOLUMEN de aire y de vapor por la esperiencia.	FUERZA del vapor.	VOLUMEN de aire y de vapor por el cálculo.
- 17° 7 centig.	1000,00	0,08 centig.	1000
0	1071,29	0,43	1076
+ 11	1123,05	1,02	1132
22	1182,50	2,15	1190
33	1255,14	4,20	1260
44	1353,75	7,5	1360
55	1491,06	12,9	1500
66	1688,96	21,1	1680
77	1929,78	33,9	1930
88	2287,44	51,2	2300
100	2671,94	76	2850

126. En el condensador de una máquina, el vapor tiene una fuerza elástica correspondiente á su temperatura; y esta está determinada por las temperaturas de los fluidos que sirven para la condensación.

Después de un cierto tiempo de la acción de la máquina, el

(1) Se ha reproducido en muchas obras una fórmula errónea del volumen, que sería

$$\frac{vp}{p-f}$$

y que no concuerda con la experiencia.

En mi obra sobre el modo de calentar las calderas y sobre la ventilación, he dado una demostración de la regla exacta. Este asunto ha sido tratado también por el señor Poisson, de quien he tomado la marcha espuesta en el texto.

vapor estará saturado de aire á la temperatura y bajo la presión dadas. Parece por las investigaciones precedentes, que esta saturación se verificará cuando el condensador contenga iguales volúmenes de aire y de vapor; por consiguiente solamente la mitad del fluido trasegado por una pulsación de la bomba será aire, el resto será vapor no condensado. La cantidad de aire trasegada á cada pulsación, debe ser á lo menos igual á todo el que llega por la caldera, por el agua de inyección, y por las juntas de la máquina en el intervalo de una pulsación á otra. Sin embargo, una ligera variación en uno ú otro sentido, apenas tendrá efecto alguno en cuanto á retardar el movimiento de la máquina, como es fácil de convencerse.

Como el volumen ocupado por el aire y el vapor obliga á aumentar en proporción la magnitud de la bomba, y por consiguiente los gastos de construcción, para disminuirlos, se podría adaptar á la bomba un segundo cañon de inyección; pero todo lo mas que se podría ganar con esto, no excedería sino en muy corta cantidad la diferencia del volumen debida á la temperatura, y no ascendería tal vez en ningun caso al décimo del volumen de la bomba.

Conviene tener presente, cuando se emplee agua salada, que la misma cantidad de aire ocupará mas espacio, porque la fuerza elástica del vapor será menor á la misma temperatura; pero puede ser que sea mayor la compensación, á causa de la menor cantidad de aire que contiene el agua salada.

Del movimiento de los fluidos elásticos.

127. El conocimiento de los principios y circunstancias que conciernen al movimiento de los fluidos elásticos, es de grande importancia para determinar las proporciones de las partes de una máquina de vapor. Este es un asunto que ha sido muy poco estudiado cuando se discutió la teoría de esta preciosa máquina, y por esta razón le trataremos en esta obra detenidamente. El vapor está en movimiento durante su acción; debe circular al través de los conductos para producir su efecto, y despues debe ser espelido por otros conductos; y sería difícil

determinar, por solo la práctica, los efectos de la desproporcion de estos tránsitos; el resultado depende de un gran número de circunstancias accidentales.

El mejor método para esto debe ser el de separar los efectos, y examinar cada uno de ellos aisladamente, sin perjuicio de reunirlos despues para formar un solo todo.

128. El estado de los fluidos elásticos libres, se determina por la presion y la temperatura de la atmósfera, como lo hemos visto; y cuando un fluido elástico está encerrado en un vaso tapado, su estado, á una temperatura y bajo una presion dadas, debe ser igual al que tendria en una atmósfera del mismo fluido, capaz de ejercer sobre él la misma presion.

129. El modo mas conveniente de estudiar el movimiento de un fluido elástico, es hallar la altura de una coluna homogénea del mismo fluido, capaz de ejercer una presion igual á la que soporta, porque entonces el fluido se moveria en un vacío perfecto, con una velocidad igual á la que adquiriria un cuerpo grave cayendo de lo alto de esta coluna, puesto que se hubiese hecho una reduccion conveniente por la contraccion del orificio.

130. Si dos vasos, que contienen fluidos elásticos de iguales fuerzas, se comunican por medio de un cañon, la velocidad de la corriente en el cañon sería, en el primer instante, igual á la que adquiriria un grave cayendo de una altura igual á la diferencia de las dos columnas homogéneas, que representan las presiones de los dos fluidos. Despues de cierto tiempo, las fuerzas elásticas se harian iguales, y la velocidad de la corriente seria nula.

131. La consideracion de las chimeneas presenta otro caso de movimiento de los fluidos elásticos, en el cual, por el acrecentamiento de la temperatura, una parte de una coluna atmosférica ha cambiado de densidad. Algunos errores se han cometido tratando de este caso; pero debemos, sobre todo, atenernos á los movimientos que hay en las máquinas. Ocupémonos primero del modo de hacernos cargo de las contracciones de los orificios.

132. En el movimiento de los fluidos elásticos parece, segun las esperiencias, que la accion oblicua produce casi el mismo efecto que en el movimiento del agua, al pasar por las aber-

turas, y que hay remolinos en las mismas circunstancias, y tienden considerablemente á retardar los movimientos.

133. Tomando por unidad la velocidad del movimiento que resulta de la accion directa y continua de la coluna de fluido que le produce (1)..... 1 ó 8 ó 4,4

la velocidad por una abertura practica-
da en una pared delgada, y bajo la mis-
ma presion, es..... 0,625 ó 5 ó 2,75

por un cañon cilíndrico de la longitud
del duplo ó triplo de su diámetro..... 0,82 ó 6,5 ó 3,6

por un tubo de la misma longitud colo-
cado dentro de él..... 0,68 ó 5,45 ó 3,0

por un tubo cónico de la misma forma
que el caño que estrecha..... 0,98 ó 7,9 ó 4,3

134. Todo ensanche de un conducto, que es seguido de una contraccion, reduce la velocidad proporcionalmente á la naturaleza de la contraccion, y todo ángulo ó curvatura ocasiona disminucion en la velocidad. Se deben pues evitar, en cuanto las circunstancias lo permitan, estas causas de pérdida, y cuando existen, adoptar tales formas, que se disminuya el efecto en cuanto sea posible.

Del movimiento del vapor en una máquina.

135. Hemos sentado (art. 129) que el modo mas conveniente de determinar el movimiento del vapor, es hallar la altura de una coluna del mismo fluido que produciria la misma presion sobre una base de igual estension. El modo de determinar esta coluna, es pues el primer punto que se debe tratar. La fuerza del vapor se espresa algunas veces por el peso equivalente á la presion sobre una superficie dada; otras por la altura de una coluna de mercurio, y frecuentemente por el número de atmósferas equivalente. Será útil calcular la altura de la coluna de agua equivalente á cada una de estas espresiones, y multipli-

(1) Cuando $h = 1^p$, ó 1^m , se tiene $v = \sqrt{2gh} = 8^p$ ó $4^m,4$.

cándola por el volumen relativo y por la presión del vapor, se tendrá la altura de la columna de vapor.

La altura de una columna de agua (á 5° *maximum* de densidad, ó aun á 15°), equivalente á la presión de un kilograma por centímetro cuadrado, es..... 10^m

Si equivale á la presión de un kilograma por centímetro circular, la altura es..... $12^m,7$

Si equivale á la presión de un centímetro de mercurio, dicha altura es..... $0^m,136$

En fin, si equivale á la presión de la atmósfera, es $10^m,33$.

El agua se supone á la temperatura ordinaria, y la presión atmosférica de $0^m,76$ de mercurio. El volumen de vapor dependerá de la presión y de la temperatura, y se hallará en una tabla que daremos á este efecto para la práctica al fin de la obra, y que por otra parte se podrá calcular por la regla espuesta en el artículo 121. Así, siendo, por ejemplo, el volumen del vapor á 100° centígrados, 1710 veces el del agua á 15° , y la presión 76 centímetros de mercurio, tenemos

$$1710 \times 10^m = 17100 \text{ metros}$$

por la altura de la columna de vapor á 100° , cuya presión equivale á la de una atmósfera.

136. Si se hiciese una abertura de tal manera, que al pasar por ella no hubiese acción oblicua, un gas ó un vapor saldrían por dicha abertura como en un vacío perfecto, con una velocidad igual á la de un cuerpo grave que cayese de la altura de una columna del mismo fluido capaz de ejercer una presión igual.

Esta velocidad, en metros por segundo, es igual á $4,4$ veces la raíz cuadrada de la altura de la columna (1); pero en los con-

(1) Para determinarla por el análisis, sea f la fuerza del vapor ó la presión sobre el fluido, espresada en centímetros de mercurio; b el volumen del fluido referido al agua tomada por unidad; y h la altura de una atmósfera de fluido de densidad uniforme: así se tendrá

$$0,136fb = h, \text{ y } v = 4,4 \sqrt{h} = 4,4 \sqrt{0,136fb},$$

$$\text{ó } v = 1,6 \sqrt{fb},$$

cuando el fluido se precipita en el vacío, sin que haya contracción en la abertura.

En los conductos mejor dispuestos, la velocidad es

ductos ú otras aberturas, la velocidad será solamente 2,75, ó 3,6, ó algun otro número de veces la raiz cuadrada de la altura de la coluna, como se ve en el artículo 133, segun cada especie de abertura (1).

137. Si la altura de la coluna de vapor equivalente á la presión del vapor en una caldera, está determinada, asi como la de la coluna de vapor equivalente á la presión que experimenta el émbolo del cilindro de vapor; entonces la velocidad será igual á 3,6 veces la raiz cuadrada de la diferencia entre las dos alturas. Este resultado da la velocidad en un tubo rectilíneo.

138. La cantidad de vapor producido puede ser considerada como igual á la cantidad consumida en el mismo tiempo, si la caldera es de una capacidad conveniente. Como esta condicion es esencial en una buena máquina, la damos por supuesta (véase la Seccion III, artículo 10, por lo que respecta á las proporciones de la capacidad de las calderas).

139. El volumen de vapor necesario en un segundo, es igual á la area del émbolo multiplicada por su velocidad por segundo. Su densidad y su fuerza elástica deben ser menores que las del vapor en la caldera, á fin de permitir que el mismo peso de vapor pase en un segundo por los conductos; porque si pasase con una velocidad que no escediese la del émbolo, estos conductos deberian ser de la misma area que el cilindro; pero como son de una area menor, el exceso de velocidad ha

$$v = 4,3 \sqrt{h},$$

y en los conductos ordinarios

$$v = 3,6 \sqrt{h}.$$

Pero, segun el artículo 121, se tiene

$$b = \frac{349(273+t)}{f},$$

de donde se saca, cuando la temperatura del vapor se espresa por t' ,

$$v = 3,6 \sqrt{47,5(273+t')},$$

ó

$$v = 25 \sqrt{273+t'}.$$

(1) Esta velocidad en pies ingleses por segundo, es igual á 8 veces la raiz cuadrada de la altura de la coluna, y se reduce, segun la contraccion de las aberturas, á 5, ó 6,5 veces esta raiz cuadrada.

de ser producido por un exceso correspondiente de fuerza en la caldera.

140. El vapor, hasta que no haya atravesado la parte mas estrecha de los conductos, tendrá la misma densidad que en la caldera; pero debe dilatarse en el cilindro hasta que su densidad se disminuya de modo, que produzca la diferencia de presión que determina la velocidad en los conductos estrechos. Como la densidad está en razón de la fuerza elástica, la fuerza del vapor en la caldera multiplicada por su velocidad y por la area del conducto, debe ser igual á la fuerza elástica sobre el émbolo, multiplicada por su area y por su velocidad.

Sea f la fuerza del vapor en la caldera expresada por la altura de la coluna de mercurio correspondiente; a la area de los conductos del vapor; v la velocidad; p la presión sobre el émbolo, A su area y V su velocidad. Se tendrá pues la ecuación

$$fav = pAV,$$

de donde

$$v = \frac{pAV}{fa}.$$

Pero, por la regla del artículo 137, tenemos

$$v = 3,6 \sqrt{0,136b(f-p)};$$

luego

$$\frac{pAV}{fa} = 3,6 \sqrt{0,136b(f-p)},$$

siendo b la razón del volumen del vapor al del mismo peso de agua. Si se pide el area del paso ó abertura, se deduce de la ecuación precedente

$$a = \frac{pAV}{3,6f\sqrt{0,136b(f-p)}},$$

ó bien

$$a = \frac{pAV}{3,6f\sqrt{47,5n(273+t')}},$$

ó

$$a = \frac{pAV}{25f\sqrt{(273+t')n}},$$

cuando $nf=f-p$ á la pérdida de fuerza; de lo cual no se debe pasar.

141. Con respecto á las máquinas de baja presión, en la práctica se acostumbra hacer el diámetro del conducto ó abertura igual á cerca del quinto del diámetro de los cilindros, y entonces su area es $\frac{1}{5}$ de la del cilindro. Como esta proporción está fundada sobre la experiencia de las dificultades tocadas, haciendo los conductos mas anchos, no se debe alterar sin una ventaja bien evidente.

142. Esta fórmula se aplica solamente á los conductos que no tienen recodos ó estrechuras. No tenemos experiencias que nos permitan valuar con exactitud el efecto de las circunstancias de este género, y nos debemos esforzar para suplirlas por medio de la consideración de los principios que obran en semejante caso. Consideremos al efecto la parte del conducto en que empieza á cambiar de figura, como un vaso que tiene una abertura de la clase mas semejante á la figura del conducto, y la pérdida de fuerza como igual á la que produciría esta abertura.

Cuando el ángulo del recodo es recto, la pérdida de velocidad se puede considerar como la mitad de la que se verifica cuando un tubo está inserto en la pared ó costado de un vaso, y por consiguiente será

$$\frac{1,00-0,82}{2}=0,09,$$

es decir, cerca de un décimo de la velocidad por cada curvatura en ángulo recto.

La misma reducción se debe hacer cuando un tubo se une con otro en ángulo recto.

143. En un conducto, cuya forma es una curva regular, ó que solamente está cortado en ángulo obtuso, la reducción no excederá á la que se verifica en un tubo cónico, y que es cerca de $\frac{1}{5}$ de la velocidad. Si el conducto va á dar á una caja de válvula, se hará la reducción de $\frac{1}{5}$ por la pérdida de velocidad en este paso.

144. Pocas máquinas presentan menos de tres curvaturas, que equivalen al paso por muchas aberturas diferentes: se puede creer que la velocidad se disminuye de manera, que el coeficien-

te 3,6 se reduce a 2,5. La fórmula entonces es

$$a = \frac{pAV}{2,5f\sqrt{47,5n(273+t')}},$$

ó

$$a = \frac{AV}{17(n+1)\sqrt{n(273+t')}}.$$

Esta es la fórmula que emplearemos para la comparación con la práctica, después de haber considerado las otras causas de pérdida de fuerza.

Pérdida de fuerza por el enfriamiento.

145. Una parte de la fuerza del vapor se pierde á su paso por los conductos, en virtud del enfriamiento.

La cantidad de vapor que pasa en un segundo es como el área y la velocidad del vapor, ó igual á $\frac{av}{10000}$, valuando a en centímetros cuadrados, y el resto en metros. La superficie es como la longitud y el diámetro, ó igual á $\frac{4l\sqrt{a}}{100}$. La pérdida del calor está en razón directa de la superficie, y en razón inversa de la velocidad. Tenemos, pues, cuando se trata de conductos ó tubos metálicos (1),

$$0,65 \frac{(T-t'') \times 4l\sqrt{a} \times 10000}{60av + 100} = t'''$$

para la pérdida de calor que se experimenta por la cantidad de vapor que pasa en un segundo. Reduciendo esta fórmula, es

$$t''' = \frac{4,3l(T-t'')}{dv},$$

siendo T la temperatura de la superficie del conducto, que será cerca de una vigésima parte menos que la del vapor, t'' la temperatura del aire, l la longitud del conducto en metros, d su diámetro en centímetros, y v la velocidad en metros por segundo.

146. Estas diversas circunstancias son las únicas que es necesario considerar, cuando se aplica esta fórmula para hallar la pér-

(1) Véase el *Tratado del método de calentar*, por Tredgold, art. 44.

dida de calor; pero cuando se quiere valuar la pérdida de fuerza elástica, hay otro punto importante sobre el cual deseo dirigir particularmente la atención de los constructores de máquinas, y es la baja de temperatura del vapor al pasar por el conducto. Se dice que la temperatura se baja frecuentemente á mas que el término de la ebulicion del agua. Cuando sucede esto, sabemos que una parte del vapor vuelve á tomar el estado líquido, y que el resto adquiere la fuerza elástica correspondiente á la temperatura de la ebulicion; asi todo el exceso de fuerza producido por la caldera, se destruye por el enfriamiento en dicho paso del conducto.

147. Es de tanta mayor importancia conocer y valuar esta causa de la reduccion de la fuerza del vapor á la presión atmosférica, cuanto que los constructores mas apreciables de máquinas de vapor, sin exceptuar á Boulton y Watt, obligan al vapor á pasar por entre el cilindro y su capa ó camisa, y como si tuviesen la intencion espresa de esponerle, en cuanto fuese posible, á la potencia refrigerante de la atmósfera, á fin de reducir la fuerza elástica, antes que entre en el cilindro á ejercer su potencia.

148. La baja de la temperatura del vapor disminuye su fuerza elástica, y al mismo tiempo una porcion del vapor retrocede á su estado líquido. Si f designa la fuerza del vapor en la caldera, y f' esta fuerza despues de la pérdida de calor, $\frac{f-f'}{f}$ será

la cantidad reducida á agua; y esta cantidad multiplicada por el calor necesario para la transformacion del agua en vapor, deberá igualar la pérdida total de calor que se verifica con el enfriamiento. Asi,

$$t''' = 540 \frac{(f-f')}{f}; \text{ de donde } f' = f \left(1 - \frac{t'''}{540} \right),$$

suponiendo 540 grados por la cantidad de calor necesaria para la formacion del vapor (véase el artículo 82), aunque yo tengo el número 555 por mas exacto.

Aqui se debe notar, que cuando t''' es igual al calor de transformacion en vapor, f' se reduce á cero, y por consiguiente todo el vapor vuelve á tomar el estado líquido, como se verifica en un aparato para calentar los edificios. Ahora estamos en estado de

responder á la cuestion de ¿cuál es la pérdida de fuerza en cada caso particular? Supongamos que la temperatura del vapor sea de 105° , y su fuerza elástica 90 centímetros de mercurio, la longitud del conducto $3^m, 6$, su diámetro 15 centímetros, la velocidad del vapor en el conducto 24 metros por segundo, y en fin la temperatura del aire 15° . Por la fórmula del artículo 145 tendremos

$$t''' = 3,6 \text{ y } f\left(1 - \frac{t'''}{540}\right) = 90 \left(1 - \frac{3,6}{540}\right) = 89,4.$$

Hay pues, en este caso, una pérdida de fuerza equivalente á 0,6 centímetros de mercurio, ó á $\frac{1}{15}$ de la fuerza. Pero se puede decir que este caso es uno de los mas favorables que se presentan ordinariamente en la práctica. En las máquinas de los barcos en que el vapor debe pasar al rededor del cilindro, se dice con arreglo á la observacion, que la fuerza en el cilindro no escede de 70 centímetros, cuando la fuerza en la caldera es de cerca de 90 centímetros.

149. Quanto mas considerables sean la fuerza y la temperatura, tanto mayor será la reduccion evidentemente. Por esta razon en las máquinas construidas bajo el sistema de Woolf, en que el vapor debe circular al rededor de los cilindros, la pérdida debe de ser mayor, y arrebatarse una parte del aumento de efecto debido al empleo de las presiones altas.

Del area de los conductos por donde pasa el vapor.

150. La fórmula para calcular el movimiento del vapor en una máquina, no tiene *maximum* que pueda determinarnos á elegir una proporcion para aplicarla á la práctica; pero nos manifiesta que quanto mayor se hace la abertura, mas se disminuye la pérdida de fuerza elástica que experimenta el vapor. Por otra parte, nos hace ver que la pérdida de fuerza, por el enfriamiento, es tanto mayor quanto menor es la velocidad, y sus variaciones crecen en la misma proporcion que el diámetro del conducto. Como quiera que sea, la práctica ha probado que las proporciones que merecen la preferencia, son las que hacen iguales las pérdidas que provienen de estos dos casos. Para esto hay dos reglas

que no convienen exactamente, ni la una ni la otra, con lo que indica la teoría.

151. La una es hacer el diámetro del conducto del vapor igual al quinto del del cilindro. Tal parece ser la proporción adoptada por Boulton y Watt.

152. La otra es dar á la area del tránsito ó paso 6 centímetros cuadrados de superficie, por cada uno de los caballos, á cuya fuerza equivale el efecto dinámico de la máquina.

153. El objeto evidente de estas reglas es, que el vapor se mueva con la misma velocidad, ó produzca la misma fuerza de impulso en cada máquina. La una ó la otra dá casi este resultado, pero ninguna de ellas exactamente; porque la fuerza de un caballo en una máquina pequeña, exige mas vapor que en una grande; por esta razón la proporción señalada para la area de las aberturas es demasiado escasa en las máquinas pequeñas, ó muy escesa en las grandes.

Ademas, las máquinas cuyo cilindro es corto se mueven con mas lentitud que las que le tienen largo, y por consiguiente deberian tener sus aberturas para el vapor en una proporción diferente con su diámetro, segun la velocidad.

154. Para hacer la velocidad con muy corta diferencia una misma en todos los casos, tenemos esta regla (1).

(1) La ecuación (art. 144), cuando $n = 0,007$, es decir, cuando se supone que se pierde al producir la velocidad $\frac{1}{11}$ de la fuerza nos da

$$a = \frac{AV}{1,45 \sqrt{267+t}}$$

Designando por l la longitud del curso, y por m el número de golpes por minuto, tenemos $2lm = 60V$, y por consiguiente

$$a = \frac{Alm}{45 \sqrt{267+t}}$$

Cuando $t = 105^\circ$, esta ecuación es

$$a = \frac{Alm}{340}$$

fórmula equivalente á la regla enunciada en el texto, á escepción del valor del coeficiente.

Si $t = 160^\circ$, entonces

$$a = \frac{Alm}{390};$$

lo cual manifiesta que se necesitará una abertura más pequeña para el vapor

Multiplíquese la longitud del curso por el número de golpes por minuto, y divídase el producto por 732; la raíz cuadrada del cociente multiplicada por el diámetro del cilindro dará el diámetro del conducto.

Ejemplo. Hallar el diámetro del conducto de una máquina, cuyo cilindro tiene el diámetro de 0^m,6, la longitud del curso es 0^m,8, y el número de golpes por minuto 36; tendremos

$$\frac{36 \times 0,8}{732} = \frac{28,8}{732} = \frac{1}{25} \text{ próximamente.}$$

Siendo $\frac{1}{5}$ la raíz cuadrada de $\frac{1}{25}$, el diámetro del conducto debe ser en este caso el quinto del diámetro del cilindro.

La misma regla se aplica á todas las máquinas de alta y baja presión, y también á los conductos de entrada y salida del vapor.

El exceso de fuerza necesaria para producir la velocidad es con corta diferencia $\frac{1}{44}$ de la fuerza del vapor (véase la nota anterior).

De la pérdida de fuerza por el enfriamiento del cilindro.

155. El vapor después de entrar en el cilindro experimenta una pérdida de fuerza por el enfriamiento. En las máquinas grandes el cilindro está encerrado ordinariamente en una capa ó cubierta llamada *camisa*, y el vapor se introduce entre ésta y el cilindro para mantener este último en un grado de calor uniforme; pero la pérdida de combustible es la misma por esta disposición que cuando el cilindro está desnudo, y no hay ninguna ventaja evidente en conservar la fuerza del vapor añadiendo dicha cami-

de alta presión: A , y a son las áreas del cilindro y del conducto en centímetros circulares.

El señor de Tredgold, por un error de multiplicación, llega á resultados un poco distintos: sus dos últimas fórmulas, en medidas inglesas, son

$$a = \frac{A/m}{2400} \text{ y } a = \frac{A/m}{2520},$$

que equivalen, en medidas métricas, á

$$a = \frac{A/m}{732} \text{ y } a = \frac{A/m}{770}.$$

(La primera da la regla del testo.)

Corresponden á una pérdida de fuerza de $\frac{1}{44}$, en lugar de $\frac{1}{4}$. *El traductor francés.*

sa, á menos que á esta se le suministre el vapor por un conducto separado (véase el artículo 147).

156. La investigacion hecha anteriormente para la pérdida de fuerza en el conducto de vapor, se aplica con muy poca alteracion al caso del cilindro desnudo. El vapor en este caso se presenta progresivamente en las paredes del cilindro; por consiguiente la pérdida será un poco menor, mas no de un modo sensible, que la que habria si el vapor estuviese constantemente en contacto con toda la estension de las paredes.

Pero á la superficie curva del cilindro es preciso añadirle sus dos fondos. Con esta adición la cantidad del enfriamiento en grados por segundo es (artículo 145)

$$t''' = \frac{0,021(2.l+d).(T-t'')}{dv},$$

en donde l es la longitud del cilindro, d su diámetro en metros, v la velocidad del émbolo en metros por segundo, T la temperatura del vapor disminuida en un veinteavo, y t'' la temperatura del aire. La fuerza sobre el émbolo se reduce á

$$f' = f \left(1 - \frac{t'''}{540} \right).$$

157. Cuando se emplea el vapor á una presión baja, entonces $T = 100^\circ$; y suponiendo que la temperatura del aire t'' sea de 15° , que $l = 2d$, y $v = 1^m$, se tiene

$$t''' = \frac{0,021(4d+d).(T-t'')}{dv} = 9^\circ,$$

y la pérdida de fuerza es $\frac{9}{540} = \frac{1}{60}$ (1). Así, en todas las máquinas de baja presión hay una pérdida constante de $\frac{1}{60}$ de la fuerza. Cuando se emplea la camisa y se mantiene siempre llena de vapor, la pérdida de calor, y por consiguiente de fuerza, en igual-

(1) El número dado por el señor Tredgold seria

$$\frac{5,1}{540} = \frac{1}{106}.$$

No vemos porque hace así, $t''' = 5^\circ,1$, cuando la fórmula que precede da $t''' = 9^\circ$. Concluye de aquí que la pérdida de fuerza no es mas que de $\frac{1}{106}$ en lugar de $\frac{1}{60}$.

La misma reflexión se puede hacer con respecto al artículo 158, que da $\frac{1}{12}$, en lugar de $\frac{1}{60}$, que da la fórmula. *El traductor francés.*

dad de combustible, es mayor por la necesidad de mantener continuamente la superficie á la temperatura del vapor. Esto espero que bastará para demostrar que esta pieza es un aumento inútil en el gasto de una máquina.

158. En una máquina de alta presión, trabajando á 150°, la pérdida por un cilindro desnudo es solamente de $\frac{1}{4}$ de la fuerza.

159. El mejor modo de prevenir la pérdida de fuerza, es colocar el cilindro en una camisa cerrada al aire, sin llenarla de vapor, lo cual tiene, además de la ventaja de ahorrar el combustible, la de no calentar tanto la pieza donde está la máquina.

160. La máquina de simple efecto perderá más calor que la de doble efecto, pero no el duplo. Graduaremos pues la pérdida en el cilindro en cerca de $\frac{1}{3}$ de la fuerza. Habrá igualmente una pérdida doble por el paso del vapor de la caldera al cilindro.

161. En las máquinas atmosféricas, la pérdida de fuerza por el enfriamiento del cilindro, cuando se emplea por condensador un vaso separado, es un objeto que merece investigarse. Suponiendo que el émbolo se mantenga en reposo sin valerse del agua, la pérdida será mayor que en las máquinas de vapor simples, en la cantidad perdida durante la mitad del tiempo, por el enfriamiento de las paredes del cilindro. Por consiguiente el valor de la longitud del cilindro l se debe aumentar en la mitad, además de que es preciso doblar la área expuesta en un tiempo dado. La ecuación (art. 156) para la disminución de temperatura será pues

$$t'' = \frac{0,042(3l+d)(T-t')}{dv}$$

Suponiendo las proporciones y temperaturas del ejemplo puesto en el artículo 157, se halla que la pérdida por el enfriamiento es cerca de $\frac{1}{3}$ de la fuerza; por esta razón no será este género de pérdida el que impida emplear en las minas una máquina tan sencilla.

Si se emplea agua sobre el émbolo para cerrar las juntas, la pérdida adicional que procede de la transformación de esta agua en vapor será considerable. Si la temperatura de esta agua es de 82°, se deberá deducir el efecto de cada metro cuadrado de área, que absorberá ó destruirá 0,3 metros cúbicos de vapor

por minuto, lo cual corresponde á la cantidad de evaporacion de un metro cuadrado de superficie de agua mantenida á esta temperatura. Asi, en una máquina que trabaja á razon de 54 metros por minuto, es decir, que gasta 27 metros cúbicos de vapor á la densidad atmosférica en un minuto, la pérdida por cada metro cuadrado del area del cilindro será $\frac{2}{3} \times 0,3$ ó $\frac{1}{5}$ de la fuerza, á lo cual añadiendo el efecto del enfriamiento, tendremos

$$\frac{1}{45} + \frac{1}{22} = \frac{1}{15} \text{ próximamente.}$$

162. En cuanto á las máquinas atmosféricas ordinarias en que se hace la inyeccion en el cilindro, Smeaton es el único que ha tratado de calcular la pérdida de fuerza. El señor Farey dió en la Enciclopedia de Rees una noticia sucinta de estas investigaciones.

El método del cálculo no está espuesto con mucha claridad, y se estableció en una época en que las propiedades del calor eran poco conocidas.

163. Los cilindros se hacen ordinariamente del mismo espesor de metal, ó á lo menos la diferencia no merece tomarse en consideracion; se enfrian por la inyeccion que les hace bajar de 100° á 65. Muy rara vez es mas baja esta temperatura, y en las buenas máquinas no descende mas abajo de 75 ú 88°. Se puede adoptar para el cálculo el término medio 70°. El calor específico del hierro es cerca de 200 veces el del vapor, y calculando la masa del hierro, cuya temperatura se debe elevar de 70° á otro punto entre 70 y 100 en cada cilindro lleno de vapor, hallaremos la cantidad en que se debe bajar la temperatura del vapor.

La superficie del cilindro es igual á su longitud aumentada en la mitad de su diámetro, y multiplicada por su circunferencia, es decir $(l + \frac{1}{2}d) \pi d$; y el espesor, contando la pérdida de calor por la superficie exterior, es de $\frac{1}{4}$ centímetros = $\frac{1}{3}$ de metro. La masa de metal equivalente á la absorcion de calor es pues

$$\frac{(l + \frac{1}{2}d) \pi d}{25};$$

y si se cuenta la disminucion que resulta de no estar el vapor en contacto con las paredes del cilindro sino gradualmente, y

se valúa esta disminucion en la mitad, entonces el calor específico es igual al de

$$\frac{200 + (ld) \pi d}{50}$$

metros cúbicos de vapor calentados en un grado. Pero la temperatura se elevará al término medio entre el punto de condensacion y el de la ebulicion, es decir á $\frac{100^{\circ} + 70^{\circ}}{2} = 85^{\circ}$; el au-

mento será pues de 15° . Asi la cantidad total de calor consumido será

$$\frac{200 \times 15 \times (l+d) \pi d}{50}$$

Esta cantidad dividida por el volumen del cilindro $\frac{l \pi d^2}{4}$ da por la baja de temperatura

$$t''' = \frac{16 \times 15 \times (l+d)}{ld} = \frac{240(l+d)}{ld}$$

Cuando la longitud del cilindro es dupla de su diámetro, ó $2d = l$, la pérdida es

$$t''' = \frac{360}{d}$$

Ahora, la condensacion imperfecta que se verifica en estas máquinas mas que en las que tienen un condensador separado, hace perder un quinto mas de la fuerza, lo cual equivale á

$$\frac{625}{5} = 125^{\circ} \text{ de calor.}$$

La condensacion y el enfriamiento del cilindro hacen perder $\frac{360}{d}$. Asi el calor total necesario sobre el que exigen las otras máquinas equivale á la transformacion en vapor de

$$\frac{125 + \frac{360}{d}}{833}$$

veces la cantidad de agua necesaria para una máquina que tiene un condensador separado, y obra por la presion directa del vapor.

Las máquinas atmosféricas de este género exigen doble com-

bustible que las máquinas del sistema de Watt de simple efecto, cuando su cilindro es de un semimetro de ancho. Cuando el cilindro de estas tiene dos metros, solo exigen el tercio.

164. Esto nos permite aclarar un hecho observado por Watt, cuando estaba reparando un modelo que funcionaba de una máquina de vapor para la universidad de Glasgow. El cilindro del modelo tenia 15 centímetros de curso de émbolo, y tres de diámetro. «Me quedé sorprendido, dice Watt, de ver que su caldera no le podia alimentar de vapor, aunque en la apariencia era grande.» Soplando el fuego llegó Watt á hacerle dar algunos golpes, pero era necesaria una cantidad enorme de agua de inyeccion, aunque el émbolo experimentaba poca resistencia por la pequeña columna de agua contenida en el cuerpo de la bomba. Percibió bien pronto que esto provenia de la pequeñez del cilindro, que presentaba para condensar el vapor una superficie mayor, en proporcion de la capacidad, que la de los cilindros de las máquinas grandes.

Sin duda fue esta dificultad la que hizo á Watt dirigir sus miras á perfeccionar la máquina de vapor. Si aplicamos nuestra regla á este caso, tenemos

$$l=0^m, 15, d=0^m, 05,$$

y por consiguiente

$$\frac{240(l+d)}{ld} = \frac{240(0,15+0,05)}{0,15 \times 0,05} = 6400^{\circ}, \text{ y } \frac{6400+540}{540} = 12,85;$$

es decir, que 12,85 veces el volumen de vapor que llenaria el cilindro (1) seria consumido por la condensacion á 70°. Dismi-

(1) Este resultado es evidentemente exagerado, y esto proviene de la falsa aplicacion que hace el señor Tredgold de su fórmula, la cual se ha establecido para un cilindro de 4 centímetros de espesor, al paso que el cilindro del modelo no tenia probablemente medio centimetro. Por lo demas, he aqui su cálculo en medidas inglesas, en el cual llega (por un error de operacion á la verdad) á un resultado menor:

$$\frac{1300(l+d)}{ld} = \frac{1300(0,5+\frac{1}{4})}{0,5 \times \frac{1}{4}} = 2600, \text{ y } \frac{2600+967}{967} = 3,8;$$

mientras que efectuando las operaciones, se halla

$$\frac{1300(0,5+\frac{1}{4})}{0,5 \times \frac{1}{4}} = \frac{1300 \times 4}{0,5} = 10400,$$

en lugar de 2600°, que da la primera operacion. *El traductor francés.*

nuyendo la carga levantada, y por consiguiente no condensando el vapor á una temperatura tan baja, llegó Watt á hacer funcionar la máquina.

165. Debemos observar ahora en nuestra fórmula, que 15° es la mitad de la baja de temperatura que el vapor ha experimentado por la condensacion; y si disminuimos esta cantidad, el calor perdido se disminuirá en la misma proporcion, pero la pérdida por el vapor no condensado será mas grande. El efecto de la máquina será el mayor posible cuando la suma de estas dos pérdidas sea un *minimum*, y por consiguiente con arreglo á esta condicion se ha de graduar su carga.

La pérdida por el enfriamiento del cilindro es

$$\frac{8(100-t)(l+d)}{ld},$$

siendo t la temperatura de la condensacion.

La pérdida por la condensacion imperfecta es

$$\frac{f \times 625}{76};$$

pero por nuestra fórmula (art. 86, nota),

$$f = \frac{(t+75)^6}{85^6};$$

luego la pérdida total es

$$\frac{625(t+75)^6}{76 \times 85^6} + \frac{8(100-t)(l+d)}{ld}.$$

Esta funcion de t es la que debe ser un *minimum*, y por consiguiente su funcion derivada debe ser igual á cero; lo cual da la ecuacion

$$\frac{625 \times 6(t+75)^5}{76 \times 85^6} - \frac{8(l+d)}{ld} = 0;$$

de donde se deduce

$$t = \left[\frac{76 \times 85^6 \times 8(l+d)}{625 \times 6ld} \right]^{\frac{1}{5}} - 75,$$

ó reduciendo, $t = 7,2 \left(\frac{l+d}{ld} \right)^{\frac{1}{5}} - 75.$

166. Cuando $l=2d$, esta fórmula es

$$t = \frac{150}{d^{\frac{1}{5}}} - 75,$$

ó, en logaritmos,

$$\log (t + 75) = 2,17609 - \frac{1}{5} \log d.$$

167. Parece, según esto, que cuando la longitud del cilindro es doble de su diámetro, la temperatura de condensación que da el *maximum* de efecto varía en razón inversa de la raíz quinta del diámetro. Cuando el diámetro $d=2$ metros, la temperatura de condensación $t=55^\circ$; cuando el diámetro es de 1 metro, se halla $t=75^\circ$. Esta regla, con el auxilio de una tabla de logaritmos, da un medio fácil de calcular la temperatura de condensación más conveniente para cualquier otro caso.

De la subida del humo á las chimeneas.

168. Si un tubo recurvo de diámetro uniforme ACB (fig. 8, lám. II) se prolongase hasta el límite de la atmósfera, colocando el punto más bajo C en el centro de la abertura de una chimenea de la misma dimensión que el tubo, entonces, mientras que las temperaturas fuesen las mismas á la misma altura en los dos brazos, el sistema estaría en equilibrio. Pero supongamos que una parte CD esté á una temperatura más alta que la parte correspondiente del otro brazo, siendo el aire que contiene de menor densidad que el aire frío, se alterará el equilibrio, y se verificará el movimiento con una fuerza igual á la diferencia entre el peso de las dos columnas de aire. Ahora se puede considerar una chimenea como una parte de este tubo recurvo; porque, aunque en una chimenea la columna de aire se termina con el cañon, las presiones que encuentra después en la atmósfera equivalen á las que experimentaría en el tubo recurvo, y se pueden graduar de la misma manera.

169. Supongamos que CA sea la altura de una atmósfera homogénea, y CD la de la chimenea, designando DE la cantidad en que se dilata el aire por el calor que experimenta al atravesar el fogon. La altura ED, ó su igual FG, representa la altura de la columna de aire que produce el movimiento, y la velocidad será la de un cuerpo pesado que cayese de la altura FG. Si toda la altura CA estuviese vacía, la velocidad sería la que adquiriese un cuerpo pesado cayendo de BH, altura de la atmós-

fera, siempre que el aire no experimentase contracción á la entrada; pero se sabe bien que esta contracción se verifica con el aire como con el agua.

170. Aplicando esta teoría á una chimenea, es preciso observar, que siendo algunas veces la densidad del humo diferente de la del aire comun á la misma temperatura y bajo la misma presión, el mismo aumento de temperatura producirá mayor ó menor efecto, segun que la densidad del humo sea inferior ó superior á la del aire comun. Este efecto se hallará quitando de la dilatacion el peso específico del humo, referido al del aire, ó bien reteniendo una porcion de la temperatura por la diferencia de densidad. Uno y otro método dan el mismo resultado, cuando se calcula del modo que conviene. Yo prefiero en este caso adoptar el primer método. El segundo es el que sigo en mi *Tra-tado del modo de calentar* (1).

171. Sea h la altura de la chimenea en metros, contada desde el lugar en donde entra la corriente del aire hasta la cima; ϵ , el volumen que adquiere un metro de aire por el cambio de temperatura; v , la velocidad; p , el peso específico del humo, siendo 1 el del aire; y a , el area de la chimenea en centímetros cuadrados.

Cuando $CD=h$, siendo la expansion como la altura, tendremos DE ó $FG=h(\epsilon-1)$. Pero la velocidad es la que adquiriria un cuerpo grave cayendo de la altura FG ; luego

$$V=4,4\sqrt{FG}=4,4\sqrt{h(\epsilon-p)}.$$

(1) Los principios de cálculo adoptados, tanto en el tratado presente como en el que se cita arriba, son idénticos á los que emplea el señor Gilbert en un artículo interesante que publicó sobre esta materia en el tomo décimotercio del *Quarterly Journal of Science*, p. 113; solamente la notacion y el modo de calcular son los que varían. El procedimiento del señor Gilbert para calcular la expansion no da resultados enteramente satisfactorios, ademas de que no cuenta ni con las contracciones, ni con la pérdida de fuerza que ocasiona el movimiento curvilíneo. Indico estas circunstancias, porque algunas personas miran como distintas, cosas que son realmente idénticas, así como se puede ver adoptando la misma notacion y reduciendo por las reglas del álgebra. El grande objeto de un analista práctico es el de hacer la ecuacion final de una aplicacion tan fácil como sea posible.

Cuando $FG = BH$, representando la línea AB el nivel superior de una atmósfera homogénea, la velocidad es

$$V = 4,4 \sqrt{BH}.$$

En cualquiera otro caso dicha velocidad depende de la diferencia $DC - CE = ED$, cuando EC se reduce á la misma densidad que BH .

Sea B el volumen del aire antes de calentarse, despues de calentado es B_ϵ ; así

$$\frac{Va}{100^2} = \frac{4,4a}{100^2} \sqrt{h(\epsilon - p)} = B_\epsilon; \text{ de donde } B = \frac{4,4a}{100^2 \epsilon} \sqrt{h(\epsilon - p)},$$

$$y \quad \frac{a}{100^2} = 4,4 \sqrt{\frac{B_\epsilon}{h(\epsilon - p)}}.$$

La expansion ϵ se puede hallar por medio de la tabla dada en mi *Tratado del modo de calentar* (art. 230).

Por la ley de la dilatacion de los gases, el volumen á la temperatura t' , debe ser, tomando por unidad el volumen á la temperatura t ,

$$\epsilon = \frac{273+t'}{273+t}; \text{ de donde } \epsilon - p = \frac{273+t'}{273+t} - p.$$

Sustituyendo esta espresion en la ecuacion, tenemos

$$\frac{a}{100^2} = \frac{B_\epsilon}{4,4 \sqrt{h(\epsilon - p)}} = \frac{B(273+t')}{4,4(273+t)} \sqrt{\frac{273+t}{h[t' - tp - 273(p-1)]}}.$$

172. El divisor $4,4$ se debe variar segun las especies de aberturas (véase el art. 133); pero el que generalmente conviene es $2,75$, y t será por un término medio de 12° ; en este caso, siendo B el volumen de aire consumido por hora,

$$a = \frac{B(273+t') \times 10000}{2,75 \times 60 \times 60} \times \frac{1}{\sqrt{h[t' - 12p - 273(p-1)]}}$$

$$= \frac{B(273+t')}{16,8 \sqrt{h[t' - 12p - 273(p-1)]}}.$$

Para el humo del carbon de piedra se tiene $p = 1,05$, y la fórmula es

$$a = \frac{B(273+t')}{16,8 \sqrt{h(t-26)}}.$$

:

Cuando se emplea el vapor á baja presión, se tiene

$$a = \frac{2,4B}{\sqrt{h}},$$

que espresa el area en centímetros cuadrados.

Mas adelante esplicarémos el modo de aplicar la fórmula, con algunas reglas simples que se derivan de ella para las máquinas de diferentes fuerzas, asi como las proporciones del fogon, no habiendo espuesto aqui esta investigacion sino para separar los cálculos teóricos de los detalles prácticos.

De la salida del vapor por las válvulas de seguridad.

173. Este asunto ha sido poco estudiado. Si suponemos el vapor de la misma densidad que el aire atmosférico, y su fuerza elástica doble, se lanzaria á la atmósfera con la misma velocidad que el aire atmosférico se lanza al vacío. Cuando la fuerza elástica del vapor es mayor ó menor, si n designa el número de veces que su peso específico escede al del vapor atmosférico, tomando por unidad el peso específico del aire, tendremos

$$v = 4,4\sqrt{(n-1)h},$$

siendo h la altura de una atmósfera de aire homogéneo. Esta altura equivalente á 76 centímetros de mercurio es 8,500 metros; asi

$$v = 405\sqrt{n-1}.$$

174. En ciertos casos puede ser aumentada esta velocidad por la ligereza relativa del vapor que se escapa, y disminuida por un vapor muy denso por la causa contraria; pero estos efectos no son de tanta consideracion que haya necesidad de introducirlos en el cálculo. De todos modos se pueden hacer sensibles, volviendo la abertura sucesivamente de arriba abajo; el fluido muy raro se escapa con la mayor velocidad en el primer caso, y el denso en el segundo.

175. Sea a el area de la abertura en centímetros cuadrados; reduciendo la velocidad, á causa de la contraccion que

esperimenta el vapor al pasar por la abertura, tendremos

$$79 a \sqrt{n-1}$$

por el número de metros cúbicos de vapor que salen en una hora. Designando por q el número de litros de agua evaporados en una hora, tendremos

$$a = \frac{q}{44n\sqrt{n-1}}$$

por el area de la abertura (1).

(1) He aqui desenvuelto este cálculo, que parece demasiado abreviado para que sea claro.

Siendo la velocidad del vapor

$$v = 405 \sqrt{n-1},$$

se reducirá, á causa de la contraccion en la abertura, á cerca de

$$v = 220 \sqrt{n-1}.$$

El volumen en metros cúbicos que pasará por una abertura, cuya area a se espresaria en centímetros cuadrados será por segundo

$$\frac{a}{100} \times v = \frac{220}{100} a \sqrt{n-1},$$

y por hora,

$$\frac{220 \times 3600}{100} a \sqrt{n-1} = 79 a \sqrt{n-1}.$$

El volumen de agua equivalente seria cerca de $\frac{1}{1800}$ del volumen del vapor, si este estaba á la presion de la atmósfera; pero como este vapor es n veces mas denso, el volumen de agua será $\frac{n}{1800}$ del del vapor; de manera que se tendrá por este volumen espresado en metros cúbicos,

$$q = \frac{1800}{n} \times 79 a \sqrt{n-1} = \frac{an\sqrt{n-1}}{22,8},$$

ó en litros,

$$q = 1000 \times \frac{an\sqrt{n-1}}{22,8} = 44an\sqrt{n-1};$$

de donde se saca

$$a = \frac{q}{44n\sqrt{n-1}},$$

como en el testo.

Esta cantidad debe ser evidentemente la mayor que podría producir el fuego en todas las circunstancias posibles.

Cuando n es menor que 1, ó cuando la densidad es menor que la del vapor atmosférico, es decir, del vapor á la temperatura de 100°, y bajo la presión de la atmósfera, la cantidad que está bajo el radical se hace negativa, y entonces el vapor se eleva solamente por la diferencia entre esta cantidad negativa y la fuerza ascensional debida á su ligereza; lo cual conduce á la bella teoría de la evaporación.

Una regla equivalente se espone en mi *Tratado del modo de calentar*; pero aunque se deriva de los mismos principios, no se deduce de ella de un modo tan directo ni tan general (1).

La fórmula correspondiente en medidas inglesas, es

$$a = \frac{q}{10n\sqrt{n-1}}$$

Sean, por ejemplo, $q = 28$ litros, lo cual corresponde al consumo para la fuerza de un caballo, y $n = 1\frac{1}{4}$ atmósferas para la caldera de baja presión, se tendrá

$$a = \frac{28}{44 \times \frac{5}{4} \sqrt{\frac{1}{4}}} = 1 \text{ centímetro cuadrado.}$$

Así la abertura deberá ser tantas veces 1 centímetro cuadrado como fuerzas de caballos hay.

Por lo demás, este método de cálculo parece defectuoso, por cuanto n toma al fin un valor diferente de su valor primitivo, y que además no se cuenta en él con la influencia que tiene la densidad del vapor en la velocidad. He aquí el modo como parece que se debía rectificar:

designando n la densidad del vapor, con referencia á la del vapor de una atmósfera tomada por unidad, se tendrá, contando con la contracción,

$$V = 2,75 \sqrt{\frac{n-1}{n}h} = 2,75 \sqrt{\frac{n-1}{n} \times 1710 \times 10} = 365,5 \sqrt{\frac{n-1}{n}}$$

$$\text{y } q = \frac{aV \times 3600}{100^{\circ}} \times \frac{n}{1710} = \frac{aV \sqrt{n(n-1)}}{13} \text{ en metros cúbicos,}$$

$$\text{ó } q = 77a \sqrt{n(n-1)} \text{ en litros.}$$

Para el ejemplo de arriba se tendrá $a = 0,65$, en lugar de $a = 1$. *El traductor francés.*

(1) *Traité du Chauffage*, trad. p. 216 (art. 127). *El traductor francés.*

SECCION TERCERA.

De la produccion y condensacion del vapor, y de los aparatos propios al efecto.

176. El vapor se produce por la accion del calor (art. 171). Ahora tenemos que considerar las mejores fuentes de calor para producir el vapor con economía, y los medios de aplicarle del modo mas eficaz. Nuestra seccion se divide naturalmente en los títulos siguientes:

Investigaciones sobre la combustion y los combustibles.

Efecto y empleo del combustible.

Construccion de las calderas y de los fogones.

Principios de la condensacion.

Aparatos dependientes de las calderas.

De la combustion y los combustibles.

177. Hay varias sustancias que calentadas á un grado de temperatura relativa á su naturaleza particular, empiezan á desprender de sí calor, y continúan haciéndolo hasta que toda su masa se transforma completamente en nuevos productos, la mayor parte de ellos en estado de gas, los cuales comunmente se disipan en la atmósfera. Toda sustancia que padece esta transformacion se llama cuerpo combustible ó en ignicion; y si se la emplea habitualmente para producir el calor, esta materia se llama entonces un combustible.

178. La cantidad de calor desprendida, durante la combustion, es igual á la diferencia entre la que el cuerpo combustible contenia antes de la combustion, y la que conserva despues de ella. Esta cantidad es invariable cuando se opera sobre la misma cantidad de materia, y es simplemente proporcional á la cantidad de combustible empleada, á menos que la operacion se haya dirigido mal, ó que hubiésemos podido hacer los productos de

tal naturaleza, que contengan menos calor que los que se obtienen comunmente. Este último caso sería tal vez el objeto de investigaciones infructuosas, aunque la Química hace todos los dias rápidos progresos en los medios de determinar plenamente esta cuestion. Sin embargo, despues de la aplicacion del vapor á la navegacion, es de la mayor importancia determinar el efecto de la mezcla de los cuerpos combustibles, con el doble desig- nio de determinar cuales son los que contienen mas calor en una cantidad de materia dada, y de hacer los productos de menor capacidad para el calor, de manera que se obtenga el mayor efecto posible: la palabra capacidad significa aqui el calor total que contienen estos productos, como se ha definido (art. 69).

179. No hay duda que un cuerpo sólido contiene menos calor que la misma sustancia en el estado líquido, y que en este contiene menos que en el estado gaseoso, con tal que el cuerpo permanezca siempre el mismo compuesto químico; pero si un sólido formado de la mezcla de diferentes sustancias simples se espone á un cierto grado de calor, los elementos ejercerán unos sobre otros una cierta reaccion, y se podrán obtener productos gaseosos que contengan menos calor que la mezcla; en este caso se halla la pólvora, formada de carbon, salitre y azufre, y esta especie de combustion parece que exige que uno de los elementos del compuesto sea muy fusible. Es un error pensar que la presencia de una sustancia particular cualquiera es esencial á la combustion, porque esta debe desenvolverse en toda mezcla de cuerpos que ejerzan una reaccion química los unos sobre los otros á cierta temperatura, de modo que formen nuevos productos que contengan menos calor que los cuerpos mezclados.

180. Lo que se pasa en una mezcla de cuerpos, se verificará igualmente cuando un cuerpo simple ó un compuesto químico se esponga á la accion de otro cuerpo, con el cual forme nuevas combinaciones químicas por la mediacion de una temperatura elevada; asi es que el carbon de leña calentado á cerca de 370° arde con el contacto del oxígeno.

La nueva combinacion que de aqui resulta es gas ácido carbónico, es decir carbono unido al oxígeno. A la temperatura de cerca de 425° , este carbon arrebatara libremente el oxígeno al aire

atmosférico, y da así lugar á la combustion. Luego como el gas oxígeno no cambia, ni de volumen, ni de fuerza elástica, se puede concluir que todo el calor contenido en el carbon se ha desprendido, además de algunas porciones del que contenia antes el oxígeno.

181. En esta investigacion es importante conocer, en qué estado coexisten los elementos de los cuerpos, porque esta circunstancia debe influir en la cantidad de calor considerablemente. Si en los compuestos sólidos estuviese el hidrógeno en el estado sólido, debería desprenderse entonces de él menos calor que si estuviese en estado de gas; pero yo creo que el hidrógeno, el carbon, y los otros gases permanentes estan combinados en el estado de gas fuertemente comprimido, y no en el estado sólido. Esta opinion se verá confirmada por las esperiencias comparativas que presentaré sobre la combustion, y que acreditan bastante que en la escala de las temperaturas que podemos formar, estos cuerpos elementales no se encuentran aun jamás en el estado líquido en sus combinaciones. Así estamos ya libres de lo que yo habia mirado como la mayor dificultad para hacer la teoría de la combustion aplicable á las operaciones de la práctica (1). Cuando se considera la importancia siempre en aumento, de esta teoría, nos admiramos de que, despues de las investigaciones de Rumford se haya descuidado tanto. Se admite generalmente que la navegacion por el vapor reclama imperiosamente nuevas investigaciones. La inmensa provision de combustible ordinario que necesitan los barcos de vapor, hace casi impracticables las navegaciones largas; así mientras haya probabilidad de hacer el combustible mas eficaz, ó de hallar otro que produzca mas efecto, será este un asunto digno de todas nuestras investigaciones.

(1) Se ha supuesto por el corto número de personas que han examinado esta materia, que la combinacion del oxígeno y del hidrógeno desarrollaba la misma cantidad de calor, aunque el hidrógeno se hallase en un compuesto gaseoso, líquido ó sólido; pero esto no podria verificarse si en este último compuesto estuviese el hidrógeno unido molécula á molécula: de donde concluyo que no existe en los cuerpos sólidos sino en el estado de gas fuertemente comprimido, puesto que parece que desenvuelve la misma cantidad de calor en todos casos.

182. El primer punto, y el mas difícil, consiste en determinar el calor que se desprende cuando dos cuerpos simples ó elementales se combinan y forman un cuerpo compuesto: determinado el calor correspondiente á cada una de estas combinaciones binarias, será fácil calcular el que desenvuelve cualquiera otra combinacion.

183. La medida del efecto de un combustible se espresa por el número de grados en que el calor desenvuelto por la combustion elevaría la temperatura de un peso igual de agua; ó bien por el peso de agua que se calentaría en un grado, tomando por unidad el peso del combustible.

184. El calor desprendido por el carbono, por efecto de su combinacion con el oxígeno, se designa de otra manera, y los resultados dependen en algun modo de los procedimientos empleados para medir el calor, mientras que en otros casos la diferencia proviene de la calidad del carbon (1).

El carbono se combina con los dos tercios de su peso de oxígeno.

Un kilograma de carbono puede elevar, segun el doctor

Crawford.....	5760 kilog. de agua en 1°.
Lavoisier.....	7428
Rumford.	5400
Clement y Desormes.....	7390
Hassenfratz.....	7155
Dalton.....	<u>3111</u>
Total.....	<u>36244</u>
Término medio.....	6040

La mayor diferencia es la que se advierte en las esperiencias de Dalton, lo cual parece que dimana de los procedimientos de que se valió este sabio. Tomando 6000 kilogramas de agua elevada en un grado por medida del efecto de un kilograma de carbono, nos acercaremos bastante á la verdad (2).

(1) *Philosophical Magazine*, vol. XLI, p. 295.—Thomson's *System of Chemistry*, vol. I, p. 149.

(2) Este resultado es escaso; hubiera sido preciso desechar la esperiencia de Dalton, que es evidentemente defectuosa, y el término medio hubiera ascendido á 6626. El Sr. Clement halló en sus esperiencias el n.º 7050. *El Trad. francés.*

185 El calor desprendido por el hidrógeno que se combina con el oxígeno, se designa también de diferente manera. Este gas se combina con 8 veces su peso de oxígeno, y desenvolvería las cantidades siguientes de calor, según las esperiencias

De Crawford..... 37333 kilog. de agua elevada en 1°.

Lavoisier..... 23000

Dalton..... 24900

Total..... 85233

Término medio..... 28411

El número 27800 representa el efecto medio del hidrógeno de un modo bastante aproximado, y comparándolo á los resultados de otras esperiencias, le hemos hallado casi acorde con los efectos reales.

186. El fósforo por su combinación con el oxígeno da las cantidades de calor siguientes:

Esperiencias de Lavoisier. 8556 kilog. de agua elevada en 1°.

Dalton.. 4744

Total..... 13300

Término medio.. 6650

El azufre combinándose con el oxígeno produce, según Dalton, una cantidad de calor equivalente á 1555 veces su peso de agua elevada en 1°.

187. Por medio de estos datos podemos comparar los diversos cuerpos compuestos que se han sometido á la esperiencia, y determinar también las proporciones del oxígeno que se absorbe.

La primera columna de la tabla siguiente contiene el nombre de la sustancia y el autor del análisis; la segunda da la composición en partes decimales del peso; la tercera indica la cantidad de oxígeno que exige cada uno de los elementos, así como la totalidad que absorbe el combustible; la cuarta columna da el calor desprendido de cada uno de estos elementos, y su suma expresa la totalidad del que puede dar el combustible; la quinta y última columna contiene las cantidades totales de calor desenvuelto por cada sustancia, según la esperiencia.

NOMBRES.	COMPOSICION de la parte combustible.	PESO del oxígeno ne- cesario para la combustion, to- mando por uni- dad el peso del combustible.	NUMERO DE KILOGRAMAS DE AGUA elevados en 1° por kilograma de combustible.	
			Por el cálculo.	Por la esperiencia.
GASES.				
Hidrógeno carbo- nado.	Hidrógeno, 0,25 Carbono, 0,75	2 2 4	6950 4500 11450	6622 Dalton.
Gas oleífero.	Hidrógeno, $\frac{1}{7}$ Carbono, $\frac{4}{7}$	1,14 2,3 3,44	3971 5143 9114	6833 Dalton.
Oxido de carbono.	Carbono, 0,43	0,57	2580	1944 Dalton.
LIQUIDOS.				
Espíritu de vino. Peso espec. 0,812. Análisis del Sr. Ure.	Hidrógeno, 0,1224 Carbono, 0,4785	0,98 1,27 2,25	3400 2851 6251	4511 Dalton. 6194 Rumford.
Eter sulfúrico. Peso espec. 0,7 Análisis del Sr. Ure.	Hidrógeno, 0,133 Carbono, 0,596	1,06 1,59 2,65	3700 3576 7276	4882 Dalton. 8030 Rumford.
Aceite de terebent. Análisis del Sr. Ure.	Hidrógeno, 0,0962 Carbono, 0,825	0,77 2,2 2,97	2700 4950 7650	4667 Dalton.
Naphta. Análisis del Sr. Ure.	Hidrógeno, 0,123 Carbono 0,83	0,98 2,22 3,20	3430 4980 8610	7333 Rumford.
Aceite de olivas. . .	Hidrógeno, 0,1336 Carbono, 0,772	1,07 2,06 3,13	3720 4632 8352	11000 Laplace. 7000 Crawford. 9000 Rumford. 8000 Dalton.
Aceite de navina ó de colsá. . . . .	.....	.....	.....	9300 Rumford.
SÓLIDOS.				
Cera amarilla. . . .	Hidrógeno, 0,1137 Carbono, 0,8069	0,91 2,15 3,06	3150 4841 7991	10344 Laplace. 7489 Crawford. 9820 Rumford. 8100 Dalton.
Cera blanca. . . . .	.....	.....	.....	.....

CONTINUACION DE LA TABLA.

NOMBRES.	COMPOSICION de la parte combustible.	PESO del oxígeno ne- cesario para la combustion, to- mando por uni- dad el peso del combustible.	NUMERO DE KILOGRAMAS DE AGUA elevados en 1° por kilograma de combustible.	
			Por el cálculo.	Por la esperiencia.
Sebo.....	.....	.....	.....	8370 Rumford. 8100 Dalton.
Leña de encina. Fibra leñosa seca. Esperiencias de Gay-Lussac y de Thenard.	Hidrógeno, 0,0569 Carbono, 0,5253	0,455 1,4 <u>1,855</u>	1580 3152 <u>5732</u>	
Leña de encina. . .	Deduciendo 20 p. $\frac{2}{100}$ por el agua del mucilago, etc.	1,484	3828	3200 Rumford.
Turba de Newcastle. Anal. de Thompson.	Hidrógeno, 0,0416 Carbono, 0,7516	0,334 2,000 <u>2,334</u>	1155 4500 <u>5655</u>	6155 Blach. 5123 Watt.
Turba llamada <i>cher- ry</i> , de Glasgow. Anal. de Thompson.	Hidrógeno, 0,100 Carbono, 0,666	0,8 1,78 <u>2,58</u>	2780 3096 <u>6776</u>	
Turba en hojas de Glasgow. Anal. de Thompson.	Hidrógeno, 0,044 Carbono, 0,568	0,35 1,52 <u>1,87</u>	1222 3408 <u>4630</u>	
Turba en hojas, sin determinarse la materia térrea. Análisis del Sr. Ure.	Hidrógeno, 0,043 Carbono, 0,709	0,345 1,89 <u>2,235</u>	1194 4254 <u>5048</u>	
	Deduciendo 10 p. $\frac{10}{100}$ por las cenizas.	.....	4893	
Turba llamada <i>cannel coal</i> de las cer- canías de Coventry. Anal. de Thompson.	Hidrógeno, 0,2 Carbono, 0,626	1,6 1,67 <u>3,27</u>	5555 3956 <u>9501</u>	
<i>Cannel coal</i> de Woodhall, cerca de Glasgow. Análisis del Sr. Ure.	Hidrógeno, 0,0393 Carbono, 0,722	0,315 1,93 <u>2,245</u>	1092 4332 <u>5424</u>	
	Deduciendo 10 p. $\frac{10}{100}$ por las cenizas.	.....	4882	

CONTINUACION DE LA TABLA.				
NOMBRES.	COMPOSICION de la parte combustible.	PESO del oxígeno ne- cesario para la combustion, to- mando por uni- dad el peso del combustible.	NUMERO DE KILOGRAMAS DE AGUA, elevados en 1° por kilograma de combustible.	
			Por el cálculo.	Por la esperiencia.
Turba carbonizada. Anal. de Klaproth.	Carbono, 0,525	1,4	3150	
Coak preparado en vaso cerrado... Término medio de las esperiencias de Thompson (1).	Carbono, 0,84	2,27	5040	5071 (2)

188. Tales son los resultados que las investigaciones mas recientes de la química nos permiten comparar: bastan para manifestar que el cálculo y la esperiencia concuerdan con bastante exactitud, y que los números que hemos escogido para los compuestos binarios, se acercan mucho á la verdad.

Se notará particularmente que la teoría y la esperiencia concuerdan de un modo satisfactorio con respecto á la cera, el aceite y las otras sustancias que por su naturaleza dan los resultados mas exactos.

Existe no obstante otro modo de continuar nuestras investigaciones, tal vez no menos capaz de dar resultados tan satisfactorios.

189. En las fábricas del alumbrado por el gas que produce una cantidad determinada de gas y de coak por un peso dado de turba ú otra sustancia, hallarémos un medio aproximado de graduar el efecto de esta sustancia como combustible; pero á falta de nociones precisas sobre la densidad del gas en cada ca-

(1) Los analisis de Thompson se publicaron en los *Annales de Philosophie*, y los del doctor Ure se hallan en su *Dictionnaire de Chimie*.

(2) Este resultado se ha sacado de una comparacion de esperiencias de Lavoisier, *Traité du Chauffage des édifices*, art. 31.

so, nos veremos obligados á mirarla como igual á la del hidrógeno carbonado.

ESPECIES de combustibles.	COMPOSICION.	OXIGENO.	CALOR.
Turba llamada <i>cannel coal</i> de Wigam (1).	Gas, 0,134	0,54	1528
	Coak, 0,635	1,45	2200
		1,99	3728
Turba inferior de Staf- fordshire (2).	Gas, 0,123	0,49	1367
	Coak, 0,61	1,39	3174
		1,88	4541
Turba. Anal. de Klaporth (3).	Gas, 0,100	0,4	1144
	Carbono, 0,200	0,535	1200
		0,935	2344

190. Cuando se emplea uno de estos combustibles para producir el vapor, debe haber una pérdida de efecto equivalente á la cantidad de vapor formada por el hidrógeno y el agua que se hallan en la sustancia: un kilograma de hidrógeno formará 2 kilogramas de vapor, y en la práctica la pérdida de efecto será de un quinto del efecto del hidrógeno. Deduciendo esta parte proporcional del efecto total, así como 650° por cada kilograma de agua contenida en el combustible, encontramos los resultados siguientes por la potencia calorífica de las especies de combustibles mas importantes (4).

(1) Murdoch, *Philosophical Transactions*, 1808.

(2) *Encyclopædia britannica*, supplement, art. *Gaz light*.

(3) *Philosophical Magazine*, vol. XVII, p. 312.

(4) El calor latente del vapor es de 555° (art. 82). La temperatura del vapor á baja presión es 105°; y siendo la temperatura media del aire de cerca de 10°, tenemos

$$555 + 105 - 10 = 650;$$

de donde, dividiendo por 650 el efecto calorífico en kilogramas de agua elevada en un grado, deducimos el número de kilogramas de agua que se convertirían en vapor, y por consiguiente la cantidad de combustible necesaria para evaporar un hectolitro de agua.

ESPECIES de combustibles.	EFEECTO en kilogra- mas de agua calentada en 1° por kilo- grama de combustible.	EFEECTO en kilogra- mas de agua convertida en vapor á 105°.	Cantidad de combustible para conver- tir 1 hectol. de agua en vapor á baja presion.	Idem, añadiendo 10 por 100 por las pérdidas.
Aceite de oliva.....	7610 kil.	11,7	8,5 kil.	9,4
Turba grasienta.....	5400	8,4	11,9	13,1
Coak preparado en vaso cerrado.....	5000	7,7	13,0	14,3
Turba en hojas.....	4400	6,75	14,8	16,3
Turba de Staffordshire	4160	6,4	15,6	17,2
Leña de encina seca...	3330	5,13	18,4	20,2
Turba carbonizada en vaso cerrado.....	3150	4,85	20,6	22,7
Turba compacta y seca	2160	3,35	30	33
Leña de encina comun.	2000	3,07	32,5	35,8
Turba compacta en su estado de sequedad ordinaria.....	1800	2,8	35,7	39,3

Estas cantidades deducidas únicamente de consideraciones teóricas, se aproximan de tal manera á los efectos que actualmente produce la práctica (1), que dejan poco que esperar de nuevos adelantamientos; y si se añade un décimo por las diversas causas que tienden á disminuir el efecto, se podrán adoptar como la medida de este efecto en los cálculos que tendremos que hacer. La tabla da además un medio facil de comparar el gasto de las diversas especies de combustibles.

191. Las esperiencias para determinar la cantidad de vapor que puede producir un peso dado de combustible, estan muy distantes de ser tan numerosas como podrian esperarlo los que

(1) Estas cantidades teóricas son demasiado pequeñas, si se ha de juzgar por las esperiencias hechas en Francia. Así el señor Clement halla que 1 kilograma de hornaguera ó de coak de buena calidad puede evaporar hasta 10^k,8 de agua tomada á 0°; y el señor Després ha experimentado que un carbon muy puro (hecho de la calcinacion del azucar) era capaz de evaporar 12^k,56 de agua tomada tambien á 0°. Resulta de aqui que se estaria muy distante de haber llegado, en la práctica, al grado de perfeccion que dan margen á esperar efectos teóricos tan altos. *El traductor francés.*

Operacion de la combustion.

192. Los cuerpos elementales exigen diferentes grados de calor para formar nuevas combinaciones. El señor Davy ha hecho probable que el carbon de leña y el oxígeno se combinan á cerca de 370° fuera de la presencia del aire ordinario, y que el hydrogeno y el oxígeno se combinan á cerca de 425° ; pero cuando el aire libre suministra el oxígeno, la temperatura de 420° para el carbon, y la de 510 para el hydrogeno (1), parece que son en las que estos cuerpos se inflaman rápidamente. Cuando el combustible desprende gases inflamables, la intensidad de la temperatura necesita aun ser mas elevada; tampoco debe sorprendernos que en los procedimientos ordinarios de la aplicacion del calor, haya poca ó ninguna ventaja en que el combustible contenga una gran porcion de hydrogeno, á escepcion sin embargo del aumento de tiro que de esto resulta en el horno. Por otra parte, si la intensidad del calor es muy grande, las materias térreas del combustible se combinan con algunas porciones del carbono, y entran en fusion formando las escorias vítreas, llamadas *mocos de herrero*, lo cual hace perder una parte de la materia combustible. Hay razon para creer que este efecto se verifica en un grado considerable, cuando el calor se acerca á los 800° ; de donde podemos concluir que la mejor temperatura para el efecto útil debe ser una temperatura media que no pase de 650° .

Ahora tenemos que considerar las circunstancias y precauciones necesarias para que el combustible y sus productos se mantengan á esta temperatura hasta que se consuman.

193. 1.^o Es preciso procurar que el volumen de aire que debe suministrar el oxígeno necesario para la combustion, llegue con toda la libertad posible á todas las partes de la masa que se quema, y es preciso tambien evitar que la superficie del combustible se esponga al contacto refrigerante de cualquiera

(1) El doctor Thomson adopta 555° , segun sus propias experiencias. *System of Chemistry*, vol. I, p. 224.

otra porcion de aire supérfluo, en cuanto lo permita el tiro de la chimenea.

194. 2.º La cantidad ó masa de materia en combustion, debe ser de tal manera proporcionada á la estension y temperatura de la superficie que debe calentar, que no pueda perder mas que una cantidad de calor igual á la que desenvuelve desde el momento en que llega á la mejor temperatura para la combustion, contando siempre con el enfriamiento que experimenta la superficie por la accion del aire necesario á la operacion.

195. 3.º La llama y el humo se deben tener en contacto con el vaso que han de calentar, tan largo tiempo como pueda el último recibir un aumento de calor.

196. 4.º El líquido que se trata de evaporar se debe introducir de manera que reciba el primer grado de calor en el punto en que el humo obra en último lugar sobre el vaso, á fin de que haya la mayor diferencia posible entre la temperatura del humo y la del fluido: por este medio el líquido despoja al humo de su calor, á medida que se calienta gradualmente hasta la temperatura del vapor, que concluye por adquirir llegando encima del fogon.

Volumen de aire necesario para la combustion y superficie de las parrillas.

197. El método mas eficaz que se ha conocido hasta ahora para alimentar regularmente los hogares con el aire necesario para la combustion, consiste en quemar el combustible sobre unas parrillas colocadas en la parte superior de una hornilla que recibe las cenizas, y da paso al mismo tiempo al aire atmosférico.

Al examinar este asunto, la primera investigacion que se presenta es la de la cantidad de aire que debe pasar al hogar para la combustion de cada especie de combustible. Hemos visto que cada variedad exigia diferentes cantidades de oxigeno. Para las diversas especies de turba esta cantidad varía de 1,87 á 3 kilogramas, por cada kilograma de carbon. Un kilograma de oxigeno ocupa un volumen de $\frac{3}{4}$ de metro cúbico, y exige

cinco veces su peso de aire atmosférico para que una cantidad equivalente pase al hogar; luego se necesitarán $3\frac{2}{3}$ metros cúbicos de aire para dar un kilograma de oxígeno. Pero no es posible hacer efectiva la totalidad del aire, pues una parte se escapará sin experimentar cambio alguno por la combustión: la proporción que yo he adoptado es la de mirar solo como eficaces los $\frac{2}{3}$ de la cantidad empleada. Por consecuencia, se necesitarán 5,6 metros cúbicos de aire por kilograma de oxígeno; el producto será gas ácido carbónico, cuando se consuma solo el carbono, y el peso específico del aire que haya servido así á la combustión será 1,05. Pero ciertos combustibles contienen hidrógeno, y en este caso formando el oxígeno é hidrógeno un vapor que ocupa un volumen doble del oxígeno, el volumen total ó la mezcla de aire y de vapor será 6,4 metros cúbicos por cada kilograma de oxígeno combinado con el hidrógeno: el peso específico de esta mezcla se reducirá á 0,9. La última columna de la tabla siguiente se ha calculado tomando por base los números de la última columna de la tabla que precede (art. 190).

ESPECIES DE COMBUSTIBLES.	AIRE Y HUMO por kilograma.	PESO ESPECIFICO del humo.	AIRE Y HUMO por metro cúbico de agua convertida en vapor á baja presión.
	metros cúbicos.		metros cúbicos.
Turba grasienta.	13,4	1,03	1780
— cereza.	15,2	1,00	
— en hojas.	10,7	1,02	1780
— llamada <i>cannel coal</i> .	11,7	1,01	
Coak.	13,5	1,05	1950
Leña ordinaria.	10,8	0,90	3900

Parece por consiguiente que podemos asignar por las cantidades de aire y de humo en números redondos los valores siguientes:

Para la turba. 180 á 200 metros cúbicos.

Para el coak. 200 *id.* *id.*

Para la leña. 400 *id.* *id.*

á razon de cada hectolitro de agua convertida en vapor (1).

198. Las parrillas deben tener una estension suficiente para dejar paso al aire necesario para la combustion en el estado de dilatacion en que le pone la temperatura del combustible ardiendo: el efecto reunido del tiro de la chimenea y de la hornilla arrastran el volumen de aire á través del hogar. Asi se deberá procurar que el cenicero tenga toda la profundidad posible, y disponerle de modo que se vaya estrechando de abajo arriba hasta que no tenga mas anchura que las parrillas, pues el fin que se debe proponer es el de aumentar la actividad del fuego, sin dar no obstante demasiada velocidad al humo por lo largo de los conductos (2). Por medio de la fórmula (art. 172), nos es facil calcular el area de los espacios vacíos de las parrillas en iguales circunstancias.

En cuanto á la turba, la cantidad de aire necesaria para la produccion de un hectolitro de agua convertida en vapor es de 200 metros cúbicos; no siendo la temperatura menor que 425° , y espresando la altura generatriz del movimiento por h , tendremos por el area del vacío de las parrillas espresada en decímetros cuadrados

$$a = \frac{9}{\sqrt{h}}.$$

Como las barras de las parrillas tienen ordinariamente el mismo espesor que los espacios que se dejan entre ellas, tendremos por el area total

$$A = \frac{18}{\sqrt{h}},$$

(1) Tomando por término de comparacion 30 litros de agua evaporados por hora, que representan el consumo correspondiente á la fuerza de un caballo próximamente, estos valores serán

Para la turba.....	54 á 60	metros cúbicos.
Para el coak.....	60	<i>id.</i> <i>id.</i>
Para la leña.....	120	<i>id.</i> <i>id.</i>

(2) El encargo de hacer el cenicero muy profundo parece que está poco fundado en la práctica, atendiendo á que no habiéndose calentado el aire antes de llegar á las parrillas mas que por los rayos del fuego, no adquiere sino un

:

ó bien en metros cuadrados,

$$A = \frac{0,18}{\sqrt{h}}.$$

Pero para producir efectivamente esta cantidad de vapor, será preciso emplear el duplo de esta area, lo cual viene á ser

$$A' = \frac{0,36}{\sqrt{h}};$$

y si se trata de evaporar 28 á 30 litros por hora, ó la cantidad consumida por fuerza de caballo, nuestra espresion será

$$A'' = \frac{0,1}{\sqrt{h}}.$$

Cuando la altura desde la hornilla hasta el punto en que el humo entra en la chimenea es de 1^m,25, entonces el area es 0^m,09, la cual es en efecto la estension adoptada por los mecánicos por cada fuerza de caballo.

La proporcion entre las partes llenas y vacías de las parrillas no es siempre la misma; pero no deberia diferir mucho de la que hemos mencionado antes, atendiendo á que el aire se dilata por el contacto del fuego en cerca de 2 $\frac{1}{2}$ veces su volumen.

199. Para la combustion de la leña y de la turba, el area de las parrillas será

$$\frac{0,72}{\sqrt{h}},$$

á razon de cada hectolitro de agua convertida en vapor, lo cual viene á ser

$$\frac{0,2}{\sqrt{h}},$$

á razon de cada fuerza de caballo, espresando siempre h la altura de la hornilla en metros, debiéndose obtener el aumento del area de las parrillas en este caso por el ensanche de las barras (1).

débil grado de calor, y no puede por consiguiente aumentar el tiro de un modo sensible; valdria mas dar á la chimenea este exceso de altura recomendado para el cenicero. *El traductor francés.*

(1) Parece que el señor Tredgold toma en este cálculo la altura de la hornilla ó cenicero como altura de la coluna generatriz de la velocidad, lo cual es evidentemente erróneo, puesto que el tiro se produce principalmente por la chimenea y por la coluna de aire quemado que contiene, y que se halla allí á

De la superficie de las calderas espuesta al fuego.

200. La superficie de una caldera para producir un efecto dado, debe ser la suficiente para recibir el calor capaz de evaporar la cantidad de agua que se exige. Siendo, pues, la superficie del fondo, ó la que está espuesta á la llama, la mas eficaz, debe ser esta parte de una estension suficiente para recibir toda la accion de la llama, mientras que las superficies de los conductos ó las laterales podrán no recibir mas que la accion del humo. Esta distincion nos suministra un medio facil de determinar las proporciones.

Llamemos T la temperatura media de un fogon cerrado;

t , la temperatura del vapor;

s , la superficie del fondo de la caldera.

Siendo el calor de transformacion del agua en vapor 556° , añadidos á su temperatura menos 12° , tendremos, segun una esperiencia del profesor Leslie (1),

$$\frac{s}{4}(T-t) = 544 + t,$$

cuando la cantidad de agua evaporada por hora es de 1 metro cúbico; dedúcese de aqui para la superficie,

$$s = 4 \frac{544 + t}{T - t}.$$

201. Cuando una masa de combustible se ha de quemar en un fogon cerrado, hemos visto que no convenia que su tempe-

una temperatura mucho mas alta que la del cenicero. Llega sin embargo á un resultado bastante conforme con la práctica; pero es haciendo, en las operaciones del cálculo, hipótesis no menos defectuosas, que forman una compensacion en sentido contrario.

Por lo demas las fórmulas correspondientes en medidas inglesas son, para la hornaguera,

$$a'' = \frac{2}{\sqrt{h}},$$

y para la leña y la turba,

$$a'' = \frac{4}{\sqrt{h}}.$$

El traductor francés.

(1) *Recherches sur la nature de la chaleur*, esperiencias 51 á 52.

ratura pasase de 650° (art. 192). Siendo así que el fondo de la caldera debe estar á alguna distancia del combustible para dar lugar á que la llama se desenvuelva, habiendo de obrar el calor sobre una superficie mas estensa, disminuirá de intensidad; pero por un término medio, no deberá ser menor de 425° , cuando se queme hornaguera; por consiguiente podemos adoptar este número para el valor de T. Por el vapor á baja presión tenemos $t=107$; por consiguiente nuestra fórmula es

$$s = 4 \times \frac{544 + 107}{425 - 107} = 8^{\text{m}}, 20.$$

Si el vapor hubiese de ser á la temperatura de 150° , lo cual corresponde á una fuerza elástica de $2^{\text{kilog}}, 85$ por centímetro circular, tendríamos por la superficie

$$s = 4 \times \frac{544 + 150}{425 - 150} = 10^{\text{m}}.$$

Estos ejemplos bastarán para manifestar el aumento de superficie espuesta al fuego que exige el vapor á alta presión. Tratemos ahora de valuar la estension de las superficies laterales.

202. Hemos visto que la hornaguera para producir el efecto de arriba, es decir, para evaporar un metro cúbico ó 10 hectolitros de agua, necesita el desarrollo de 2000 metros cúbicos de aire inflamado, ú otros productos gaseosos elevados á la temperatura de 425° ; siendo el calor específico del aire 0,00032, su efecto será el mismo que para elevar un metro cúbico de agua á la temperatura espresada por

$$0,00032 \times 2000 \times (425 - t) = 0,64(425 - t).$$

Mas siendo suficientemente exacto para nuestro objeto el considerar el exceso efectivo de temperatura como un poco menor que la temperatura media entre 425 y t , tendremos

$$\frac{\frac{s'}{4}(425 - t)}{2,5} = 0,64(425 - t);$$

de donde se saca $s' = 6^{\text{m}}, 4$.

203. Comparando $0,64(425 - t)$ con $544 + t$, hallamos que la potencia calorífica de las superficies laterales no es mas que cerca de la cuarta parte del efecto de las superficies del fondo; podemos, pues, reducir la superficie espuesta al fuego calculada

por nuestra regla á tres cuartos de su valor, á razon de cada metro cúbico de agua evaporada por hora. Modificada asi la fórmula, será

$$s = 3 \frac{544+t}{425-t}$$

204. Pero en las calderas de las máquinas de vapor no alcanzaria esta cantidad, sino á lo muy preciso, para el consumo corriente, al paso que es necesario que la caldera tenga una fuerza de evaporacion tal, que pueda dar en caso de necesidad el doble de la cantidad que se requiere en la actualidad; de otro modo la presion sobre el émbolo se disminuira, y se debilitaria el efecto en la misma proporcion (véase art. 331 á 339); por consiguiente la superficie del fondo será, segun esta condicion,

$$s = \frac{6,6(544+t)}{425-t} \quad (1).$$

La superficie lateral será constantemente $2 \times 6,4 = 12^m,8$; de manera que se pueden adoptar 13 metros en números cerrados.

(1) El valor de esta superficie, correspondiente á la fuerza de un caballo, será

$$s = \frac{0,2(544+t)}{425-t};$$

lo cual viene á ser con corta diferencia, en medidas inglesas,

$$s = \frac{2(948+t)}{800-t}.$$

El traductor francés.

Tabla de las superficies del fondo y costados de las calderas de vapor.

PRESION en atmósferas.	TEMPERATURA.	SUPERFICIE ESPUESTA AL FUEGO.		
		Naturaleza de las superficies.	Para evaporar un metro cúbico de agua por hora.	Por fuerza de caballo.
1 $\frac{1}{4}$	107	Fondo de la caldera.	13 ^m ,5	0,40
		Costados.	13	0,39
2	122	Fondo.	14,5	0,43
		Costados.	13	0,39
3	135	Fondo.	15,5	0,47
		Costados.	13	0,39
4	145	Fondo.	16,3	0,49
		Costados.	13	0,39
5	153	Fondo.	17	0,51
		Costados.	13	0,39
8	172	Fondo.	18,7	0,56
		Costados.	13	0,39
<i>Para el agua de la mar, y el vapor á baja presión.</i>				
1 $\frac{1}{4}$	110	Fondo de la caldera.	13,7	0,41
		Costados.	13	0,39

205. Si se quieren comparar estos números con los que dan las reglas que están en práctica, es preciso tomar la suma de las superficies del fondo y de los costados. Se puede notar que la evaporación de $\frac{1}{3}$ de metro cúbico, ó cerca de 30 litros, representa, de un modo bastante aproximado, el consumo de vapor correspondiente á la fuerza de un caballo para las máquinas de grandes dimensiones; y en efecto, lo hemos considerado como equivalente en el cálculo de la tabla anterior. Se puede admitir que un hectolitro de buen carbon de piedra, como el de Newcastle, puede evaporar cerca de 6 hectolitros de agua.

Smeaton ha formado, con su acostumbrada exactitud, una tabla que contiene la superficie de las calderas que se debia esponer al fuego y al humo para las máquinas atmosféricas, asi como la cantidad de hornaguera que deben consumir por hora.

La cantidad de superficie que da como correspondiente al consumo de un hectolitro de hornaguera es de $17^m,9$, y para 66 hectolitros da un poco menos de 16 metros por hectolitro (1). Esto equivale á $26^m,7$ (2) de superficie para evaporar un metro cúbico de agua por hora. Nuestro cálculo da un número poco diferente, es decir $26^m,5$ por el vapor á baja presión.

Watt dice que ha encontrado que en los hornos mejor contruidos se necesitan 25 metros de superficie de caldera espuesta al fuego, para evaporar un metro cúbico de agua por hora (3), lo cual no es mas que la regla de Smeaton en términos generales.

206. La proporción de la superficie del fondo, ó la que recibe inmediatamente la acción del fuego y de la llama, parece que no se ha sometido á ninguna regla fija; las proporciones adoptadas en la práctica varían de 10 á 16 metros cuadrados por cada metro cúbico de agua evaporada por hora. El señor Millington parece que fué el primero que propuso medir la potencia evaporante de una caldera por la superficie del fondo, y pone por ejemplo que una caldera para una máquina de 20 caballos tiene ordinariamente $4^m,6$ de longitud, y $1^m,8$ de latitud que representan $8^m,4$ cuadrados de superficie, ó $0^m,42$ por cada fuerza de caballo (4), y que una caldera para una máquina de 14 caballos presenta $5^m,7$ de superficie, lo que viene á ser $0^m,41$ por fuerza de caballo. He observado que las calderas no estaban en estado de dar la cantidad propuesta de calor cuando tenían menos de $0^m,40$ de superficie, y que al contrario el efecto era muy satisfactorio cuando tenían las proporciones señaladas en las reglas precedentes, con tal que tuviesen tambien una estension conveniente de superficie en los conductos.

207. Por lo que toca al vapor de alta presión, se han hecho algunas esperiencias interesantes por el señor Wood (5) sobre

(1) *Rees's Cyclopædia*, art. *Steam engine*.

(2) Este resultado corresponde á $0^m,8$ por 30 litros de agua evaporada, ó con corta diferencia por la fuerza de un caballo.

(3) *Robison's Mechan. philosophy*, vol. II, p. 147.

(4) *Epitome of Natural philosophy*, p. 266.

(5) *Treatise on Rail roads*, p. 249.

las máquinas de carros de vapor; ellas muestran cuán desventajoso es el empleo del calor, cuando se intenta producir el vapor elevando la temperatura mas bien que aumentando las superficies.

La primera experiencia se hizo en una caldera cilíndrica de 2^m,4 de longitud, 1^m,25 de diámetro, y que contenia un tubo interior de 0^m,5 de diámetro, el cual ocupaba toda la longitud, contenia el cenicero, las parrillas y el fogon en su parte anterior, y despues de haber dado paso al humo, iba á parar hácia la estremidad de la caldera á un tubo vertical que servia de chimenea. La presion del vapor en la caldera estaba limitada á 3 kilog., 5 por centímetro cuadrado sobre la atmósfera.

La superficie total del tubo que forma el fogon y conduce el humo, no era mas que de 3^m,7, y era la misma en todas las experiencias; pero en el hecho solo los dos tercios, es decir, 2^m,4 eran los que producian efecto como superficie calentada.

208.

Resultado de las experiencias.

Duracion de la experiencia.	Hornaguera consumida por hora.	Agua evaporada por hora.	Combustible para evaporar un hectolitro de agua.	Superficie calentada por cada hectolitro de agua.
horas. minnt.	kilogramas.	hectolitros.	kilogramas.	met. cúb.
9 35	120	4,4	27	0,55
9 27	122	4,25	28	0,57
4 48	146	4,5	32,5	0,54

La intensidad media del fuego para producir este efecto, debe haber sido de 650°; el combustible consumido es un poco mas del duplo del que se necesita ordinariamente para producir la misma cantidad de vapor.

209. En otra experiencia la longitud de la caldera era 2^m,8, su diámetro de 1^m,2, y el del tubo de 0^m,56; la fuerza del vapor estaba ademas limitada á un escedente de 3^{kilog.},5 por centímetro cuadrado. En este caso la superficie total del tubo en contacto con el agua de la caldera no pasaba de 4^m,8, lo cual

da 3^m,2 solamente de superficie útil, no considerando como eficaces mas que los dos tercios de la superficie total.

Duracion de la experiencia.	Hornaguera consumida por hora.	Agua evaporada por hora.	Combustible para evaporar un hectolitro de agua por hora.	Superficie calentada por cada hectolitro de agua.
horas. minut.	kilogramas.	hectolitros.	kilogramas.	met. cub.
6 32	104	3,45	30	0,93
1 26 $\frac{1}{4}$	186	6,5	28,5	0,49

La diferencia que hay entre los resultados de estas experiencias, proviene principalmente de la diferencia de densidad del vapor en la caldera, cuyo estado no se ha determinado; y aunque hubiera podido determinarse de un modo indirecto por el número de golpes por minuto y por la resistencia, no seria este un medio bastante exacto para que se pudiesen sacar de él conclusiones útiles.

Del espacio ocupado por el vapor y el agua en las calderas.

210. Es evidentemente necesario que una caldera contenga bastante vapor para alimentar la máquina durante cada golpe del émbolo, sin dar lugar á una disminucion sensible en la fuerza elástica; así el espacio reservado para el vapor dependerá del modo con que se suministre al cilindro este fluido. Si el vapor no se introduce sino durante una parte del tiempo del descenso del émbolo, debe haber tanto mas vapor relativamente al volumen que se emplea, cuanto mayor sea la duracion de la interrupcion. Suponiendo que el vapor se produzca de un modo uniforme, que no ocupe mas que un espacio igual al volumen que se consume en cada viage, y que se necesite toda esta cantidad durante el descenso del émbolo, la fuerza elástica en la caldera variará en la mitad, y la pérdida de efecto será considerable.

Este asunto merece pues investigaciones ulteriores, á fin de que podamos ver hasta qué punto confirman los principios las máximas de la práctica. Se asegura, sin especificar el género

de las máquinas, que una caldera debe tener la cabida de 5 á 6 veces el volumen de vapor que exige á cada golpe (1), otros sientan que 8 veces; el doctor Young cita una observacion, con arreglo á la cual deberia ser 10 veces el volumen (2), y el señor de Prony asegura que una de las ventajas de la máquina de doble efecto, es la de no exigir mas que una caldera de menor dimension que la de las máquinas de simple efecto (3).

211. Supongamos que la accion del fuego sea la misma uniformemente, y que durante la unidad de tiempo produzca un volumen de vapor representado por 1, el cual sea suficiente para alimentar la máquina; pero supongamos tambien que se requiera la totalidad de este volumen por un tiempo mas corto t . Sea c la capacidad de la caldera relativamente al espacio ocupado por el vapor, y p la fuerza elástica en el momento en que empieza á salir el vapor. La cantidad de vapor que quede en el espacio c será al fin de la salida

$$c + t - 1;$$

y la fuerza elástica, que está en razon inversa del volumen, será al cabo de este mismo tiempo,

$$\frac{p(c + t - 1)}{c};$$

de manera que la variacion será

$$p - \frac{p(c + t - 1)}{c} = p\left(\frac{1 - t}{c}\right).$$

Pero es así que en una máquina de simple efecto el tiempo t , durante el cual obra el vapor á llena presion, es $\frac{1}{2}$; luego la pérdida de fuerza elástica será $\frac{p}{2c}$.

Mas si hacemos $c = 8$ veces la cantidad que se exige, la pérdida será solamente $\frac{1}{16}p$;

de suerte que la fuerza elástica no variará mas que en $\frac{1}{16}$, ó cerca de $\frac{1}{2}$ hectograma por centimetro circular en el vapor de baja presion.

(1) Millington's *Epitome of Natural Philosophy*, p. 251.

(2) *Natural Philosophy*, vol. II, p. 259.

(3) *Architecture hydraulique*, vol. II, p. 106.

212. Si se intercepta el vapor antes de concluir el viage, la variacion se estenderá mas evidentemente: por ejemplo, en una máquina de simple efecto, en que se intercepte el vapor á la mitad del descenso del émbolo, la variacion de la fuerza elástica en la caldera será

$$P \frac{3}{4c},$$

lo cual viene á ser cerca de $\frac{1}{4}$, cuando la capacidad de la caldera relativamente al vapor es igual á 8 veces el volumen de este fluido que se gasta á cada golpe.

213. En las máquinas de doble efecto, cuando el vapor obra á presion constante ó sin expansion, el tiempo t es casi el mismo que el designado por 1, y bastará en este caso 3 veces el volumen que se gasta en cada golpe del émbolo; pero si el vapor se intercepta en una parte cualquiera del viage, hagamos t igual á esta fraccion, y hallaremos hasta que punto se debe aumentar la capacidad para hacer poco sensible la variacion de fuerza. Asi, cuando el vapor se intercepta en medio del viage, tenemos

$$P \left(\frac{1-t}{c} \right) = \frac{P}{2c};$$

cuyo resultado es el mismo que el de las máquinas de simple efecto. No deberíamos dar á c un valor menor que 8; pero es preciso advertir, que en todos estos casos es c veces el volumen del vapor empleado tal como está en la caldera, y no c veces la capacidad del cilindro, porque no entra vapor en este último en todo el tiempo en que se efectúa la expansion.

214. Podemos establecer, sin error sensible, que cada golpe del émbolo consume un metro cúbico de vapor, á razon de cada metro cúbico de agua evaporada por hora en las calderas de baja presion; y si la variacion se limita á $\frac{1}{30}$ de la fuerza del vapor, lo cual concuerda con las otras partes de la disposicion de la máquina, tendremos

$$\frac{1+t}{c} = \frac{1}{30},$$

de donde sacamos

$$c = 30(1-t);$$

lo cual equivale á la regla siguiente: tomando por unidad de

tiempo el intervalo que se pasa entre los momentos de las aberturas sucesivas de las válvulas de distribución, quítese de la unidad la fracción que espresa el tiempo durante el cual quedan abiertas las válvulas, y 30 veces la diferencia dará el espacio que debe ocupar el vapor en metros cúbicos en una caldera de baja presión.

Por ejemplo, sea una máquina de doble efecto, en la cual se intercepte el vapor á los $\frac{2}{3}$ del viage; en este caso el viage entero corresponde al intervalo entre las aberturas sucesivas de las válvulas, y $\frac{2}{3}$ es la fracción que se ha de sustraer; se tiene pues

$$c = 30 \left(1 - \frac{2}{3} \right) = 10;$$

lo cual da 10 metros cúbicos por la parte de la capacidad de la caldera reservada para el vapor, suponiendo que el volumen de vapor que se gasta sea un metro cúbico á cada pulsacion.

215. La misma regla es aplicable á una caldera de alta presión, con la diferencia de que en lugar de deducir directamente el espacio en metros, será preciso dividir treinta veces la diferencia por la densidad del vapor, comparado al vapor atmosférico tomado por unidad.

Esto se puede hacer con una aproximacion suficiente para la práctica, dividiendo por el número de atmósferas igual á la fuerza del vapor en la caldera.

Si para una máquina de alta presión y doble efecto, en la cual no se introduce el vapor sino durante la mitad del viage, la fuerza del vapor en la caldera es de cuatro atmósferas, entonces para cada metro cúbico de agua reducida á vapor, se tendrá

$$30 \frac{(1 - \frac{1}{2})}{4} = 3 \text{ met. cúb.}, 75$$

de espacio para el vapor.

216. Aun en una máquina destinada á obrar á llena presión durante todo el viage, será preciso deducir el tiempo de abrir y cerrar las válvulas: en algunos de los métodos que se usan, un cuarto del viage á lo menos se emplea en esta maniobra. Asi en cualquier caso que sea, apenas podemos adoptar menos de ocho, dividido por el número de atmósferas que representan la fuer-

za del vapor en la caldera, para espresar en metros cúbicos el espacio ocupado por el vapor, por cada metro cúbico de agua consumido por hora.

Espacio ó volumen del agua en la caldera.

217. Es harto evidente que el agua debe cubrir las paredes de la caldera sobre todos los puntos espuestos al fuego, es decir, un poco mas arriba de los conductos del humo; pero hay otra condicion que es menos evidente, aunque de grande importancia por sus efectos, sobre todo en los barcos de vapor, en los cuales se debe tratar de reducir en cuanto sea posible el volumen y el peso de los aparatos.

La cantidad de agua que una máquina consume no se introduce con una regularidad perfecta: esta alimentacion se hace de una manera mas uniforme, cuando el agua es empujada por una bomba movida por la máquina: la porcion introducida se regulariza por un flotador (véase lám. III, fig. 2).

Debiendo no obstante suministrar, en todos los casos, la cantidad de agua necesaria para producir el vapor, supongamos que su temperatura sea de 40° , y la del agua en la caldera de 107° ; la cantidad que está en la caldera debe ser proporcionada á la que se introduce, de modo que la temperatura no baje hasta reducir la fuerza del vapor disminuyéndola en un treintavo: asi suponiendo la cantidad introducida de cada vez igual á 1, y la cantidad en la caldera igual x , se tendrá

$$\frac{(1 \times 40) + (x \times 107)}{1 + x} = 106;$$

de donde se saca $x =$ á cerca de 66: asi se necesita sesenta y seis veces tanta agua en la caldera, como la que se introduce de cada vez para su alimento (1); de otro modo la fuerza del vapor bajará mas de un treintavo.

(1) Este señalamiento parece escesivo; en efecto está fundado en la suposicion de que el agua introducida enfriará súbitamente el volumen de agua y de vapor que se halla en la caldera. Pero si el agua alimenticia se introduce hácia el fondo de esta (como es lo regular), se hallará calentada y aun elevada al grado de ebulicion, antes de llegar á la superficie, y poder enfriar el vapor por su contacto. Por lo demas, no habria inconveniente en adoptar para las

La regla se aplica igualmente al vapor de alta y baja presión porque la variación por un cambio de un grado de temperatura es casi proporcional. Cuanto más frecuentemente obren los aparatos alimenticios, tanta menos agua exigen las calderas; y se ve en esto un motivo más poderoso para servirse de agua caliente para la caldera, que no el de economizar simplemente el combustible, puesto que cuanto más fría esté el agua, más fuerza pierde el vapor. Si la caldera se alimentase á cada golpe del émbolo, debería tener cinco metros cúbicos de agua por cada metro cúbico de la que pudiese evaporar por hora, y a se emplease el vapor á alta ó baja presión.

218. Un aparato alimenticio de movimiento espontáneo tiene necesidad de ser muy exacto para que los intervalos de su movimiento se puedan reducir aun á dos veces este espacio de tiempo; por esta razón exigen estas calderas diez metros cúbicos de agua á lo menos por cada metro cúbico de agua evaporada por hora (1). Por lo demás en las láminas III y IV, se hallarán los medios de arreglar el aparato alimenticio.

219. Se ve, pues, que para limitar las calderas de baja presión de las máquinas de doble efecto, á un cambio de fuerza elástica que no exceda de *un treintavo*, es preciso dejar un espacio de diez metros cúbicos para el vapor, y otros tantos para el agua, á razón de cada metro cúbico de agua que pueda evaporar por hora la caldera, lo que viene á ser 0^m,3 ó 300 litros por fuerza de caballo. Si el vapor se intercepta antes de concluirse el viage, se debe dejar al vapor un espacio más grande.

220. Se dice comunmente que se necesitan 0^m,7 cúbicos de capacidad en la caldera por cada fuerza de caballo; algunos dicen que bastan 0^m,6, y no falta quien reduzca este número á 0^m,2, mientras que otros pretenden que no hay relación alguna entre la capacidad de la caldera y la fuerza de la máquina. Sin embargo acabamos de sentar, sirviéndonos de principios incon-

máquinas fijas, el volumen de agua señalado por el Sr. Tredgold; pero podría resultar de aquí una sobrecarga inútil en los barcos y carruages de vapor, en los cuales la ligereza de los aparatos es, como se echa de ver, de tanta importancia. *El Traductor francés.*

(1) Véase la nota anterior.

testables, las condiciones que deben determinar la menor capacidad de la caldera, y parece erróneo no contar con la superficie espuesta al fuego, ni con la capacidad de la caldera. Estos dos elementos se deberian tomar en consideracion, segun la diversidad de circunstancias

221. La potencia de las calderas para producir el vapor se altera por las pérdidas de calor que ocurren de varias maneras; este efecto es mas sensible en las calderas pequeñas que no en las grandes.

Este es uno de aquellos casos que al parecer no se pueden determinar bien sino por la esperiencia. En una caldera proporcionada al efecto que se quiere producir, la pérdida de energía parece que se verifica en el combustible, y es bastante conforme con la práctica el considerar la pérdida como proporcional á la relacion que existe entre la superficie y el volumen de la cantidad de combustible, suponiendo el todo limitado por fórmulas semejantes. Con arreglo á estos principios se ha formado la tabla siguiente:

AGUA evaporada por hora, representando la fuerza de la caldera.	SUPERFICIE CALENTADA por fuerza de caballo.		FUERZA en caballos para máquina da baja presión.	VOLUMEN de agua de la caldera por fuerza de caballo (1)
	Superficie del fondo.	Superficie lateral.		
Litros ó kilogr.	Decim. cuadrad.	Decim. cuadrad.		Lit. ó decim. cub.
60,0	83,0	80,0	1	600
48,9	66,0	64,7	2	489
44,1	59,5	57,6	3	441
41,7	55,8	53,9	4	417
39,7	53,0	51,7	5	397
38,7	52,0	50,7	6	387
37,7	49,7	49,7	7	377
36,5	49,7	48,7	8	365
35,6	48,7	47,7	9	356
35,7	46,7	46,5	10	357
34,5	46,5	45,5	12	345
33,9	45,5	44,6	14	339
33,7	44,6	43,7	16	337
33,7	44,6	43,7	18	337
33,7	44,7	42,7	20	337
33,7	42,7	41,8	25	327
31,6	42,7	41,8	30	316
30,0	41,7	40,9	40	300

(1) Suponiendo que se haga uso del aparato alimenticio ordinario.

Cuando las calderas se destinan á una fuerza de mas de treinta á cuarenta caballos, vale mas emplear dos calderas, y colocarlas una al lado de otra. Ademas de estas dos calderas debe haber una de reserva para hacer uso de ella mientras se reparan las otras. Asi para una máquina de cuarenta caballos, aconsejaría que hubiese tres calderas de la fuerza de veinte caballos cada una; para una máquina de sesenta caballos, tres calderas de la fuerza de treinta caballos cada una, y así sucesivamente: para las máquinas pequeñas se debe servir de dos calderas, cada una de ellas de la fuerza equivalente á la de la máquina.

De la forma de las calderas con respecto á sus efectos.

222. Despues de haber determinado la cantidad de superficie espuesta al fuego y al humo, así como la capacidad de la caldera, vamos á considerar la forma que mas conviene para obtener estas proporciones de una manera cómoda. Si no tuviésemos que considerar la fuerza del metal, estas calderas deberian ser casi esféricas; pero sabemos bien que la esfera es de todos los sólidos el que, en igual capacidad, presenta menos superficie.

223. Las primeras de que se hizo uso para las máquinas eran casi esféricas; el fondo se cambió bien pronto en superficie cóncava. Se hicieron verticales las paredes de los conductos laterales, y se conservó á la parte superior su forma esférica; en fin la figura de la caldera consistió esencialmente en un cilindro corto colocado sobre su base, y cuya parte superior se terminaba por un casquete hemisférico.

Calderas de Watt.

224. Adoptó Watt la forma rectangular para la parte inferior de la caldera; la parte superior formaba un semicilindro; el fondo era de figura cóncava; pero los costados eran planos. Para el vapor de baja presión se puede hacer una caldera bastante fuerte, empleando esta forma, y se puede conseguir un poco mas de superficie, sin aumentar sensiblemente el volumen. Haciendo el fondo cóncavo por la parte del fuego, resulta tambien

que los sedimentos se depositan en los ángulos, en lugar de formarse inmediatamente sobre la superficie espuesta al fuego. En las grandes calderas se dispone interiormente un conducto longitudinal, que está cubierto enteramente por el agua.

Watt observó, y con razón, que el único objeto que se había propuesto en el arreglo de sus calderas, era el de economizar cuanto fuese dable el combustible. No es la mayor ó menor profundidad de la caldera la que produce este efecto, sino su forma, que debe ser tal, que el aire que atraviesa el fuego sea despojado de casi todo su calor antes que se escape (1). El doctor Thomson asegura que Watt llenó perfectamente este objeto con la construcción que había adoptado; y es lo que efectivamente se verifica.

225. Cuando se hace uso de las calderas de plano rectangular (véase la lám. III), las razones de la longitud, latitud y profundidad, para obtener las cantidades necesarias de superficie y de capacidad, son fáciles de determinar, en el caso de no haber conductos interiores; por lo demás es dudoso que haya ventaja alguna en adoptar estos conductos. He aquí una regla aproximada en este asunto.

REGLA. Divídase el volumen de agua de la caldera por la superficie espuesta al fuego (art. 221): el cociente dará la altura del agua. Multiplíquense entre sí las superficies del fondo y de los lados espuestos al fuego y al humo (art. 221), divídase el producto por el duplo del volumen del agua, menos la superficie del fondo, y el resultado multiplicado por 0,375, ó $\frac{3}{8}$ dará una de las dimensiones del fondo.

Divídase la superficie del fondo por la dimension hallada, y se obtendrá la otra dimension.

Ejemplo. Hallar la proporcion de una caldera para una máquina de la fuerza de 12 caballos, siendo el volumen del agua 0^m,34 cúbicos por fuerza de caballo.

En este caso se tiene

$$12 \times 0^m,34 = 4,08 \text{ metros cúbicos}$$

por el volumen del agua en la caldera.

(1) Doctor Thomson's *Annals of Philosophy*, vol. VII, p. 173.

La superficie del fondo es igual á

$$12 \times 0^m,465 = 5^m,58;$$

de donde se saca

$$\frac{4,08}{5,58} = 0^m,73$$

por la altura del agua.

La superficie del fondo multiplicada por la superficie de los costados, da

$$5^m,58 \times 5^m,54 = 30^m,91,$$

que dividido por

$$2 \times 4^m,08 - 5^m,58 = 2^m,58,$$

da

$$\frac{30^m,91}{2,58} = 12^m;$$

y en fin

$$12 \times 0,375 = 4^m,5$$

por una dimension: por consiguiente la otra dimension será igual á

$$\frac{5,58}{4,5} = 1^m,24;$$

luego la caldera tendria 4^m,5 de longitud sobre 1^m,24 de profundidad.

226. Si la capacidad de la parte superior destinada al vapor es la misma que la del agua, y su figura la de un semicilindro, la altura total de la caldera se puede determinar con una exactitud suficiente para la práctica, haciéndola igual á dos veces, mas un décimo, la profundidad del agua: en este ejemplo se tendrá

$$0^m,73 \times 2^m,1 = 1^m,53.$$

Las proporciones que da la regla difieren considerablemente de las que se usan de ordinario, si no en cuanto á la capacidad, á lo menos en cuanto á la superficie espuesta al fuego, asi como al exceso de su longitud, y á la dimension de su latitud. Las calderas proporcionadas de este modo son incontestablemente mas fuertes y de mayor efecto.

Calderas cilindricas.

227. Para obtener vapor á alta presion se deberia hacer

siempre uso de calderas cilíndricas con fondos esféricos; y hasta para el vapor á baja presión parece preferible esta forma (véase la lám. IV). Diferentes planes se han propuesto para emplear combinaciones de cilindros ó de tubos; pero es muy dudoso que ninguno de estos proyectos sea superior á los cilindros simples de bases convexas empleados en suficiente número.

228. Algunas veces el fogon está colocado en el interior del cilindro formando la caldera, y en consecuencia de esta disposición es imposible aumentar la superficie espuesta al fuego, á menos de hacer la caldera de un diámetro tal, que su uso sería peligroso en extremo. La pérdida considerable de este sistema está demostrada por las esperiencias del señor Wood (art. 208). Estas calderas tienen sin embargo un diámetro de 1,2 metros, y soportan una presión de cuatro atmósferas, que tiende á separar las diversas partes de la caldera con una fuerza de mas de 140 toneles; no tienen mas que una válvula muy grosera para limitar el vapor á esta presión.

229. *REGLA para las calderas cilíndricas.* Cuando el fogon es exterior al cilindro, y este último contiene á la vez agua y vapor, es preciso añadir la suma de las capacidades ocupadas por estos dos fluidos, así como las cantidades de superficies espuestas al fuego; despues dividir el duplo de la capacidad por la cantidad de esta superficie; el cuociente dará el diámetro. En fin 1,27 veces la capacidad dividida por el cuadrado del diámetro dará la longitud.

Ejemplo 1.º Supongamos que se hayan de determinar las proporciones de una caldera de alta presión, de modo que sea capaz de evaporar 2 metros cúbicos de agua por hora bajo una presión de 4 atmósferas. Una caldera deberá contener en este caso cerca de nueve metros de agua por cada metro cúbico de agua evaporada por hora; por consiguiente su capacidad total debe ser de 18 metros cúbicos. Su superficie espuesta al fuego será (véase el art. 204) igual á

$$2 \times (16,3 + 13) = 58^m,6;$$

luego se tendria

$$\frac{2 \times 18}{58,6} = 0^m,61$$

para el diámetro; y se halla para la longitud

$$\frac{1,27 \times 18}{0,61 \times 0,61} = 6^m,2.$$

Ejemplo 2.º Supongamos que se quiera una caldera que dé 6^m,8 cúbicos de vapor por hora, á tres atmósferas; con once metros cúbicos de espacio en la caldera, á razon de cada metro cúbico reducido á vapor.

Su capacidad será entonces igual á

$$11 \times 6,8 = 74,8;$$

se tendrá por la superficie

$$6^m,8 (15,7 + 13) = 196;$$

por consiguiente el diámetro será igual á

$$\frac{2 \times 74,8}{196} = 0,76,$$

y se hallará en fin por la longitud

$$\frac{1,27 \times 74,8}{0,76} = 16,8, \text{ ó dos calderas de } 8^m,4.$$

Ejemplo 3.º Si se quisiera una caldera cilíndrica de baja presión, para una fuerza de 12 caballos, y llenando las mismas condiciones que una caldera rectangular (véase el art. 225), su capacidad (1) sería igual á

$$12 \times 2 \times 0^m,34 = 8^m,2,$$

de donde se tendría para la superficie

$$12 \times (0,46 + 0,45) = 10^m,92.$$

El diámetro sería igual á

$$\frac{2 \times 8,2}{10,92} = 1^m,5;$$

se tendría en fin por la longitud

$$\frac{1,27 \times 8,2}{1,5 \times 1,5} = \frac{10^m,4}{1,5} = 4^m,6.$$

La caldera tendría pues 4^m,6 de longitud y 1^m,5 de diámetro. Yo creo que esta forma sería mejor que la de las calderas rectangulares usadas. (Véase la lám. IV.)

(1) Se supone que la caldera en este caso contiene, por fuerza de caballo, 0,34 metros cúbicos de agua, ó 12 veces la cantidad evaporada por hora. *El traductor francés.*

230. El tubo de vapor S debe partir inmediatamente de encima del fogon; el agua se debe introducir por la estremidad opuesta en N, y á fin de que su sedimento se deposite en el parage en que el fuego tiene menos energía, estableceré una separacion O transversalmente á la caldera, y elevada hasta cerca de un decimetro sobre la superficie del agua, lo cual impedirá que el agua fria detenga la formacion del vapor, obligará al sedimento á depositarse hácia el parage en que entra el agua en la caldera, y detendrá las partes mas frias del agua hácia el lugar en que el humo no obra sino con una temperatura muy baja.

231. Se han propuesto frecuentemente para la produccion del vapor pequeños cilindros, ó mas bien calderas con tubos; de las de Blakey se ha hecho ya mencion (art. 25). El conde de Rumford habia establecido una de estas calderas en el Instituto Real en 1796, destinada á calentar las salas por el vapor; sus ideas sobre la aplicacion de este sistema á las calderas de las máquinas de vapor son dignas de atencion.

232. *Caldera del conde de Rumford.* El objeto de esta caldera era obtener mayor cantidad de superficie; este físico habia hecho un modelo de ella que presentó al Instituto de Francia en octubre de 1806. La descripcion de este modelo, en la parte en que difiere de las calderas ordinarias, bastará para indicar al lector como se puede aplicar en una grande escala.

El cuerpo de la caldera tiene la figura de un tambor. Es un cilindro vertical de cobre de 0^m,3 de diámetro y de alto, cuyos fondos estan formados de planos circulares.

En el centro del fondo superior hay un cuello cilíndrico de 15 centímetros de diámetro, y de siete y medio de alto, cerrado en la parte superior por una hoja de cobre del mismo diámetro, y de seis milímetros de espesor, fija encima con unos pernos.

El plano circular del fondo de la caldera, que tiene tres decímetros de diámetro, tiene siete agujeros, cada uno de 7^{cent.},5 de diámetro; 7 tubos cilíndricos de cobre muy delgado, del mismo diámetro y de 23 centímetros de longitud, cerrados en su estremidad inferior por discos circulares, estan fijos en estos agujeros, en los cuales estan remachados, y soldados despues al plano de la caldera.

Abriendo la comunicacion entre la caldera y el reservatorio alimenticio, el agua llena primero los siete tubos, y despues se eleva hasta el cuerpo cilíndrico de la caldera; pero no puede nunca subir mas que hasta quince centímetros, porque cuando llega á esta altura, el flotador está bastante elevado para cerrar la llave por donde entra en la caldera. Como los siete tubos que descienden del plano de la caldera al fogon estan rodeados de la llama por todas partes, el líquido que contiene la caldera se calienta y pasa á la ebulicion en poco tiempo y con un consumo de combustible muy pequeño relativamente. Cuando las paredes verticales ó cuerpo de la caldera y su parte superior están cubiertas de un modo conveniente, á fin de prevenir la pérdida del calor por estas superficies, se puede emplear este aparato con mucha ventaja en todos los casos en que se trate de producir la ebulicion del agua para obtener vapor. En el caso en que la caldera estuviese construida en escala grande, los siete tubos que descienden del fondo de la caldera al fuego, podrian ser de hierro colado, al paso que el cuerpo de la caldera seria de planchas de hierro ó de cobre.

Pero en el caso en que se hubiese de producir una gran cantidad de vapor, serian siempre preferibles muchas calderas de un tamaño mediano, colocadas unas al lado de otras, y calentadas cada una por un fuego separado, en lugar de hacer uso de una caldera grande calentada por un solo fuego; porque como el conde de Rumford lo ha demostrado por experiencia en su sexto ensayo sobre el modo de conducir el fuego y la economía del combustible, es constante que en pasando de cierto límite, no hay ventaja alguna en aumentar la capacidad de una caldera.

El aumento de superficie que se obtiene empleando los tubos es incontestable, y la construccion propuesta por Rumford se puede emplear con grande éxito, cuando se quiere tener mucha superficie en un corto espacio.

Los tubos deberian tener sin embargo la proporcion de capacidad necesaria en una caldera para máquina, y no ser demasiado pequeños, á fin de permitir dos corrientes, subiendo y bajando. (Véase el fin de la leyenda de la lám. IV.)

233. *Calderas de Woolf.* La idea de los tubos cilíndricos y

de un reservatorio para el agua y el vapor, se desenvolvió posteriormente por el señor Woolf, bajo un gran número de formas que fueron sucesivamente adoptadas y abandonadas. Su primer proyecto fué tener un cilindro horizontal para contener el agua y el vapor, con una série de tubos horizontales colocados debajo y al través, y reunidos al cilindro por cañones muy pequeños. Los tubos inferiores y la mitad del cilindro debian estar llenos de agua; la llama y el humo habian de pasar alternativamente por encima y por debajo de los tubos en una direccion sinuosa. Cuando se necesitaba vapor á alta presion, empleaba Woolf otros dos cilindros mas pequeños, uno de cada lado, colocados paralelamente al gran cilindro y sobre los tubos transversales, á los cuales estaban unidos alternativamente por cañoncitos muy cortos. El cilindro grande se comunicaba solamente con los cilindros laterales (1).

El objeto inmediato de esta disposicion es poder introducir agua fria sin interrumpir ó amortiguar la produccion del vapor, defecto que es muy comun en la primera disposicion, asi como en el sistema del conde de Rumford.

Otro método de aplicacion adoptado por el señor Woolf consiste en colocar los tubos longitudinalmente en el sentido del cilindro grande, y paralelamente los unos á los otros, pero con un poco de inclinacion; las estremidades superiores de estos tubos abren todas en el cilindro grande hácia el fondo. Los tubos tienen cerca de 0^m,25 de diámetro, y se estienden por toda la longitud del fogon colocado debajo de ellos. El fuego viene á dar directamente debajo de estos tubos, y la llama y el humo calientan la parte inferior del cilindro principal. Esta disposicion parece que es la última que imaginó Woolf. Este mecánico ha empleado, con respecto á esto, un gran fondo de ingenio para no obtener mas que débiles resultados.

234. Hay otra forma de caldera dada por Woolf, que es muy ingeniosa para que deje de hacer mencion de ella. Esta construccion consiste en dos calderas, la una superior y la otra inferior, reunidas por tubos muy cortos. Para una caldera de ba-

(1) *Magasin phitlosophique*, vol. XVII, p. 40.

ja presión proporciona esta disposición mucha superficie, pero sería mas embarazosa de ejecutar que las calderas ordinarias; por otra parte su ventaja es poco perceptible, y no pasa de la que se obtiene abriendo un conducto interior.

235. Los motivos para desechar las formas complicadas de las calderas de tubos ú ollas de Rumford y de Woolf necesitan muy poca esplanación. Estamos seguros de que si una caldera tiene la cantidad conveniente de superficie y de capacidad producirá todo el efecto necesario, y que todo lo que se puede hacer para este objeto con una caldera de tubos es obtener estas proporciones tal vez en menor espacio; pero si las obtenemos bajo una forma mas sencilla, debemos ciertamente darle nuestra preferencia: mas en cuanto á la seguridad que presentan estas calderas no puede haber diferencia, á menos que la capacidad del cilindro de la caldera no se reduzca á menor volumen del que se necesita para la provision del vapor; porque se debe tener presente, que el esfuerzo que experimenta el gran cilindro es independiente de la disposición ó del tamaño de los pequeños tubos, y que la mitad de la capacidad de este cilindro debe ser suficiente para contener la provision del vapor.

Se puede poner contra estas calderas otra objecion sacada de la necesidad de emplear el hierro colado; pero con respecto á la imperfeccion de este metal tendré cuidado de hablar mas por estenso al establecer las reglas para determinar la resistencia de las calderas.

236. Vamos á considerar ahora las calderas de fogon interior que han sido por largo tiempo el asunto favorito de los proyectistas, y particularmente despues que las máquinas de alta presión se pusieron en uso por Trevithick. Estas calderas constituyen un aparato muy reducido, que parece muy conveniente para aplicar el calor; y si pudiésemos olvidar por un instante la corriente de calor que se lleva la chimenea, podríamos pensar, como algunas personas, que estando colocado todo el fogon en la caldera, debe esta aprovecharse de todo su calor; pero semejante opinion es muy absurda.

Se añade que esta caldera es segura, porque estando dentro de ella la parte espuesta al fuego, si llega á reventar el vapor

hará la esplosion interiormente. Esto se puede admitir; mas no por eso se escusa la necesidad de tener una caldera mas grande, que naturalmente es mas peligrosa.

237. Las proporciones de estas calderas dependen de las consideraciones siguientes. Es preciso que la parte del conducto debajo de las parrillas que forma el cenicero, sea de una dimension suficiente para suministrar el aire necesario, lo cual determina el diámetro de este conducto. Es preciso tener en consideracion el area de las parrillas (véase el art. 198), y entonces la longitud del tubo debe ser bastante grande para dar toda la cantidad de superficie calentada que fuese indispensable (véase el art. 204). Es preciso, en fin, que la capacidad de la caldera sea con corta diferencia tal, que deducido el espacio ocupado por el conducto interior que contiene el fuego, la parte que queda contenga la provision necesaria de agua y de vapor (véase el art. 215).

238. Si la naturaleza del objeto á que se destina permite emplear una caldera suplementaria para recibir y calentar el agua fria necesaria para el reemplazo del agua evaporada, entonces el conducto interior no debe tener mas que la cantidad de superficie necesaria para recibir el contacto de la llama; el humo se conduciria por debajo de la caldera suplementaria, como Olivier Evans lo proponia. Cuando no se puede emplear una caldera suplementaria, se pierde mas de una cuarta parte del efecto del combustible, por consecuencia de la alta temperatura que conserva el humo á su salida.

239. La construccion de las calderas para los barcos de vapor, debe ser tal que no puedan correr ningun riesgo de incendio, y debe presentar el menor volumen y tener el menor peso posible. Cuando estas calderas son de baja presion, y recomiendo eficazmente que no se empleen otras en la mar, la fuerza moderada del vapor no impide que se empleen superficies planas para formar las paredes de los conductos y del fogon; el objeto subsiguiente será disponer los fogones y los conductos en el interior de la caldera, de modo que se obtenga la cantidad conveniente de superficies espuestas al fuego y al humo, unida á una capacidad suficiente y medio facil de limpiar el aparato.

He observado que la tendencia ordinaria, fruto de algunos años de práctica, es simplificar á un tiempo la construccion y los procedimientos para realizar los efectos á que se pone la mira.

240. La caldera se coloca algunas veces de modo que deja un espacio de cerca de cinco decímetros entre ella y los costados del barco; pero esta práctica excelente no está tan generalizada como deberia, pues no solo disminuye mucho el riesgo del incendio, sino que hace aun mas fáciles y satisfactorios los reconocimientos y reparaciones de la caldera.

241. El suelo de las parrillas no debe ser menor de 6 decímetros, y la suma de las areas de los cañones ó conductos del fogon, debe ser un poco mayor que la area de la chimenea; ó bien cuando no hay mas que un fogon y un conducto, este último debe ser un poco mas grande que la chimenea. Será útil y ventajoso tener tantos fogones separados, como se puedan tener cómodamente por muchas razones: 1.º porque es mas facil alimentar el fuego, y resulta menos interrupcion en la formacion del vapor: 2.º porque las superficies espuestas á la llama y al humo se reunen en menor espacio, en razon de que dos conductos de igual hueco presentan mas superficie que uno solo. Sin embargo es bastante dificil establecer los límites que deberian determinar la eleccion en los diferentes casos, y muchas veces se evita un primer gasto al tiempo de hacer el establecimiento, en la creencia de que es mas que equivalente á la pérdida desconocida del efecto, y sin embargo esta es tan regular como cierta.

242. Es buena proporcion para un conducto la de tres decímetros de latitud, y cinco á seis de altura, haciendo uno de sus extremos fácilmente accesible. El aumento de altura produce mas efecto que el de latitud, porque las capas mas calientes del humo se elevan siempre contra la parte superior del conducto, mientras que el fondo se cubre prontamente de una capa de hollin; y como esta materia es mal conductor del calor, se sigue que la superficie del fondo no tiene sino muy poco efecto calorífico. Asi valuando la cantidad de superficie, no se debe contar con el fondo.

243. El fogon está necesariamente rodeado de agua; pero no resulta ninguna ventaja, porque el agua es un conductor tan rápido del calor, que se lo roba con mucha prontitud al combustible, y lo enfria; de manera que nada hace la combustion mas imperfecta que la absorcion rápida del calor. Las paredes del fogon deberian estar revestidas de ladrillos refractarios en toda la longitud en contacto con el carbon. La economía que se obtendria por una combustion mas perfecta, y por la mayor duracion de la caldera, compensaria mas que suficientemente los inconvenientes de esta disposicion.

En la lámina XXI, fig. 1, 2 y 3, se ven los diseños de una caldera para barco de vapor construida bajo este principio: difiere en ciertos puntos de las formas que se usan, pero solamente en algunos detalles. El principal objeto es obtener una cantidad suficiente de superficie calentada, y no es menos importante facilitar la limpieza de los conductos.

244. *Calderas portátiles y de alta presion.* Las calderas para los carruages de vapor, y para los otros casos en que no se pueden sentar los cimientos de fábrica, se deben disponer del mismo modo que las de los barcos de vapor, con esta diferencia, que su forma debe ser de tal naturaleza que resista una fuerte presion.

La caldera y los conductos interiores deben ser cilíndricos. La dificultad en este caso consiste en obtener la cantidad conveniente de superficie calentada, sin dar á la caldera demasiada latitud; asi todo lo que se puede hacer para mejorar la construccion actual, es alargar las calderas disminuyendo su diámetro, tener la caldera llena de agua, y el conducto interior mas ancho; en fin, proporcionar la provision del vapor en reservatorios ó cilindros verticales, dispuestos al rededor de los cilindros de vapor.

De los fogones.

245. Se han ensayado diferentes métodos para mejorar la construccion de los fogones de las calderas de vapor, y el modo de alimentarlos. Smeaton los perfeccionó hasta tal punto, que despues no se ha obtenido sino muy poco efecto útil sobre el

que producian algunas de sus calderas. Las últimas investigaciones sobre la combustion condujeron á Watt á añadir algunas nuevas mejoras: pero la esperiencia le enseñó á no contar en la práctica con los resultados que se podrian obtener del esmero y cuidado, y de principios muy rigurosos.

246. *Fogon de Watt.* En la perfeccion de los hornos procedió Watt, con corta diferencia, con arreglo á los principios de la lámpara de Argand. Las parrillas y la plancha que está delante de ellas, se colocaron en una direccion inclinada desde la puerta, bajo un ángulo de cerca de 25° . El fuego se encendia como de costumbre, y se introducía una pequeña cantidad de aire por una ó dos aberturas hechas en la puerta, de modo que se soplaba directamente en el punto inflamado del fogon. El fuego se detenía primero cerca de la plancha, y el nuevo carbon con que se alimentaba estaba colocado sobre esta plancha en contacto con el combustible inflamado, pero no sobre él: cuando era preciso volver á proveer el fogon, se empujaba hácia delante el carbon inflamado y el que estaba sobre la plancha, sin mezclarlos, y se ponía carbon de nuevo sobre la plancha pero sin echarlo nunca sobre los carbones encendidos, porque no dejaria de desprenderse instantáneamente un gran volumen de humo. Con esta disposicion el nuevo carbon se iba secando gradualmente, el humo que salía de él se consumía por la corriente del aire de la puerta á su paso sobre la llama del fogon. La abertura ó aberturas por donde entraba el aire, se manejaban por un registro, de modo que no entraba mas que la cantidad precisa y necesaria para consumir el humo: mayor cantidad sería perjudicial.

Watt construyó al principio sus hornillos de un modo algo diverso; pero despues halló mas conveniente el procedimiento que acabamos de esponer, y *cuando se hace bien el servicio*, este procedimiento llena perfectamente su objeto, siempre que se emplee el carbon encendido sin amontonarse; pero es difícil manejarlo bien con la hornaguera crasa ó grasienta.

247. *Hornillos de Roberton.* Se han inventado diferentes sistemas de construccion para llegar al mismo fin que Watt se habia propuesto; pero considerándolo bien, el del señor Rober-

ton es acaso el mejor. La abertura por que se introduce el combustible en el hornillo, es casi de la forma de una tolva, y es de hierro fundido; está colocada sobre la fábrica, inclinándose desde la boca hasta hácia el parage en que el carbon cae sobre las parrillas; el carbon hace en esta tolva el oficio de una puerta, y la porcion inferior se pone por este medio candente antes de llegar al hornillo. Debajo del fondo de la tolva el fogon está guarnecido de una parrilla vertical, que sirve para introducir el aire para la combustion, y que permite ademas que pasen las barras con que se remueven los carbones de tiempo en tiempo, y para hacer lugar á las nuevas porciones de combustible que caen de la tolva. Por medio de esta disposicion la hornaguera se pone en ignicion antes de llegar á la parte mas avanzada de las parrillas, en donde se detiene por el arranque de la fábrica: de este modo el humo desprendido del nuevo carbon apenas inflamado, se ve obligado á pasar por sobre los carbones encendidos antes de entrar en los conductos.

Debajo de la cara superior de la tolva, y á la distancia de cerca de dos centímetros, se introduce un platillo de hierro colado; este platillo está encima del combustible, y el intervalo que le separa de la parte de arriba de la tolva, está destinado á la introduccion de una capa muy sutil de aire, que precipitándose por la abertura viene á ponerse en contacto con aquella parte del fuego que desprende la mayor cantidad de humo: el aire se mezcla con este antes de llegar sobre los carbones encendidos del interior, se inflama atravesando el fuego, y los productos se escapan por último casi enteramente descompuestos. La introduccion del aire frio es el vicio mayor de este aparato, á causa del enfriamiento que hace experimentar en el fondo de la caldera.

La cantidad de aire que se deje pasar por encima, se arregla por medio de un *obturador* ó tapador de hierro en forma de cuña. Las barras ó parrillas anteriores están cerradas por puertas que impiden que el calor se pierda y vaya á incomodar á los obreros.

248. El señor Woolf añadió una mejora importante para poner á los obreros en estado de desembarazar las parrillas de

las escorias: su método es sencillo en extremo. La combustion del carbon empieza y continúa principalmente en la parte del fondo de las parrillas inmediata á la tolva, y el combustible se remueve de tiempo en tiempo á lo largo de las parrillas, y en llegando hácia la estremidad, los residuos vitrificados caen en una cavidad, cuyo fondo está provisto de unas correderas, las cuales tiradas por medio de un gancho dejan caer las escorias en el cenicero. (Véase la lám. IV.)

249. El defecto del procedimiento de Roberton, asi como del de Watt, consiste en admitir una corriente regular de aire frio, que no es constantemente indispensable, lo cual produce el mal efecto de enfriar el humo en el momento en que viene á dar al fondo de la caldera. Este inconveniente se puede remediar en gran parte introduciendo el aire por pequeños conductos laterales ó posteriores, de modo que viniendo el aire del cenicero, y atravesando asi la fábrica ya caliente, adquiere él mismo una temperatura elevada antes de entrar en el fogon. Pero construyendo las parrillas de un modo conveniente, se podra obtener el paso de una cantidad suficiente de aire. En la lámina IV se hallará la modificacion del procedimiento que recomiendo á este efecto.

Estos conductos de aire tendrian válvulas ó registros para abrirlos ó cerrarlos en los casos necesarios; pero resultan pocas ventajas, á menos que no se ponga mas cuidado del que se acostumbra en el servicio del fogon de las máquinas.

250. *Hornillo de Brunton.* Consiguiente á la dificultad de alimentar el fuego á pala, de un modo bastante metódico para abastecer el consumo uniforme del vapor producido por la máquina, se ha tratado de emplear medios mecánicos para llenar este objeto. Son varios los que se han probado; pero el único que ha surtido efecto en la práctica es el del señor Wiliam Brunton.

Consiste este procedimiento en un aparato que arroja el carbon sobre las parrillas en pequeñas cantidades, á cortos intervalos (que no pasan de tres á cuatro segundos), y de modo que el humo desprendido del nuevo carbon pasa por sobre el carbon ya encendido, y se consume en él por consiguiente: á este efecto se introduce en el fogon una corriente de aire uniforme.

El mecanismo está dispuesto de modo que la cantidad de carbon introducida es proporcionada al efecto que se trata de producir, y la introduccion del aire está arreglada de un modo análogo.

Las ventajas de este procedimiento son evidentes, y el esceso de gasto para la ejecucion no es tan considerable como se podría pensar.

El carbon se echa sobre una parrilla circular horizontal de 1^m,5 de diámetro, que da vueltas sobre un eje vertical, á razon de una vuelta por minuto. Durante esta revolucion, el carbon cae de una tolva colocada sobre la caldera, por una abertura oblonga que atraviesa esta, y que es de la misma longitud, y está en la misma direccion que uno de los ródios de la parrilla.

La cantidad que cae á la vez de la tolva, está arreglada por la presion del vapor en la caldera, y la operacion se verifica por intervalos de cuatro ó cinco segundos. Por este medio se obtiene una regularidad de combustion determinada por el efecto mismo que debe producir, y con una marcha tan cierta y absoluta como lo permite la naturaleza de las cosas. A fin de impedir que el aire llegue por otra parte mas que por las aberturas dispuestas al efecto, del modo que conviene, la parte inferior de la circunferencia de la parrilla tiene una lengüeta delgada, destinada á dar vuelta en una artesa ó canal circular llena de arena.

Pero será mas facil comprender estas disposiciones por la descripcion de la lámina V, que representa la aplicacion de este sistema á dos calderas, construidas anteriormente por Boulton y Watt.

Se asegura que la economia de combustible que se consigue por medio de este aparato es de cerca de un veinte y cinco por ciento. Una parrilla de 1^m,5 de diámetro quema por hora 120 kilogramas (hectolitro y medio) de carbon de Newcastle, ó 150 kilogramas del de Staffordshire, es decir 73 kilogramas por metro cuadrado de parrillas en el primer caso, 78 en el segundo. Supongo que se necesitan estas mismas proporciones para producir efectos iguales: la magnitud de las parrillas no es mas que cerca de los dos tercios de la que se necesita por los métodos ordinarios.

Aparatos dependientes de las calderas.

251. *Aparato alimenticio.* El oficio de los aparatos alimenticios es suministrar á las calderas el agua que ha de reemplazar la que se convierte en vapor. El conducto alimenticio que pasa al través de la parte superior de la caldera, es un tubo vertical, cuya parte inferior se encorva por el extremo, á fin de impedir que el vapor suba por el tubo; y en el punto en que este se ajusta en la parte superior de la caldera en una posicion exactamente vertical, se forma la union por juntas perfectamente ajustadas. La parte superior del tubo se termina por una cubeta, que se alimenta de agua por una pequeña bomba que la toma de la cubeta del agua caliente: en el fondo de la cubeta alimenticia hay una válvula cónica, que abre de abajo arriba, atada con una cadena al extremo de una palanca que da vueltas sobre un eje, y que tiene un alambre de hierro atado al otro extremo. Este alambre penetra hasta la caldera al través de una caja con estopas, y sostiene allí una piedra lisa, ó una pieza metálica, que se equilibra por un contrapeso atado á la estremidad opuesta de la palanca, de modo que flota sobre la superficie del agua. La piedra debe tener bastante estension á proporcion de la superficie del líquido, para ceder con facilidad á la mas ligera variacion del nivel. Este aparato obra del modo siguiente: cuando una parte del agua se ha evaporado en la caldera, el flotador baja con la superficie del agua, y por consiguiente hace levantarse á la válvula cónica; estando la cubeta alimenticia entonces llena constantemente del agua que viene de la bomba de agua caliente, luego que se levanta la válvula, entra el agua en la caldera, y cuando sube al nivel conveniente, levanta el flotador y cierra la válvula, hasta que sea necesario renovar esta operacion. El escedente del agua que eleva la bomba, sale de la cubeta alimenticia por un tubo que conserva el nivel constante.

252. El objeto mas esencial en la construccion de este aparato es, hacer de modo que la altura del agua en la cubeta alimenticia sea suficiente para contrapesar la presion del vapor; porque si esta altura fuese muy pequeña, el vapor comprimiría

el agua, que subiría por el tubo alimenticio, y sería espelida al través de la válvula. Para agua á 10° , $1^{\text{m}},25$ de altura equivalen á un hectograma por centímetro circular; pero el agua en el conducto alimenticio estará próxima generalmente á la temperatura de 100° ; entonces serán necesarios $1,3$ metros de altura para contrapesar la presión. Por consiguiente cada hectograma de presión por centímetro circular exigirá tantas veces la misma altura.

El flotador se debe colocar evidentemente en la parte de la caldera en que está menos espuesto á ser removido por los hervores ó borbotones del vapor, y el conducto alimenticio debe también ir á desaguar lo mas lejos que sea posible del parage en que se forma el vapor en mayor abundancia.

253. Atendida la gran fuerza del vapor en las máquinas de alta presión, no se podría aplicar á la caldera un tubo alimenticio bajo este mismo principio, á menos que se hiciese de una altura muy incómoda; por esta razón se inyecta el agua en la caldera por medio de una pequeña bomba de compresión, movida por una palanca unida á uno de los mecanismos alternativos de la máquina; y el líquido, en vez de entrar inmediatamente en la caldera, debe pasar por un tubo ó serpentín que circula en el espacio en que el vapor se escapa de la máquina. De esta manera el agua está ya muy caliente antes de entrar en la caldera, y entonces no puede perjudicar á la formación del vapor.

Sin embargo, sería preferible el procedimiento de calentar una pequeña caldera alimenticia, haciendo circular el humo al rededor, y proporcionando una comunicacion entre la pequeña caldera y la grande: la bomba, en este caso, serviría para alimentar la caldera pequeña.

Alimentando la caldera con una bomba movida por la máquina, se introduce de cada vez la misma cantidad de agua, cualquiera que sea la cantidad que se reduce á vapor y la que se gasta. Pero el consumo del vapor es variable, y la cantidad de agua inyectada por la bomba debe ser continuamente muy grande. Se puede remediar este inconveniente valiéndose de un flotador para las máquinas que se emplean en tierra. Sean A, B (Lám. III, fig. 2) dos válvulas unidas por una barra, y colocadas en la caja

que recibe el agua de la bomba, abriendo la primera hácia la caldera, y la segunda hácia el tubo de descarga. Si la barra que une estas dos válvulas está enlazada á la palanca de un flotador, como lo indica la figura, la elevacion del agua en la caldera sobre el nivel conveniente hará bajar la válvula, y cerrará la comunicacion con la caldera, mientras que la válvula de descarga se abrirá para dejar salir el agua supérflua. Por este medio la caldera se alimentaria por la bomba de un modo continuado y regular, á escepcion de cuando hubiese un escedente de agua; porque el flotador F se elevaría, y cerraría el paso del líquido hácia la caldera, mientras que abriría el tubo de descarga hasta que la cantidad introducida dejase de esceder al consumo. Esta disposicion simple hace la alimentacion regular, y llena asi un objeto importante.

254. La misma construccion, aplicada al tubo alimenticio de una máquina de baja presion, sería mucho mas preferible que el flotador de piedra de que se hace uso ordinariamente, y yo creo que se podria aplicar hasta á los barcos de vapor, como se ve en la lám. IV, fig. 2; porque los balances del barco no impedirian al flotador de subir ó bajar, cuando hubiese un exceso de alimentacion, ó de otra manera. Por otra parte, haciendo uso de la elevacion del agua, en lugar de su descenso, para manejar la válvula, se haria el aparato mas seguro, al mismo tiempo que se impediría que las introducciones irregulares del agua detuviesen la formacion del vapor (véase el art. 217).

255. En un aparato inventado por el señor Franklin para alimentar las calderas de alta presion, el agua superabundante debe elevar una válvula cargada para poderse salir, y la introduccion del agua en la caldera se regula por un flotador de contrapeso, colocado en la caldera: este medio es ingenioso, pero no tiene la ventaja de hacer la alimentacion continúa: el movimiento se interrumpe, como en el tubo de alimentacion ordinario, hasta que el nivel del agua baje bastante para levantar la válvula.

De los reguladores del fuego para las calderas de vapor.

256. Se puede emplear la fuerza del vapor como un medio

para arreglar el fuego, ya sea disminuyendo la afluencia del aire, ya estrechando la chimenea con una plancha llamada registro ó válvula. Bajo el aspecto de la regularidad debe ser preferido el primer medio; en efecto, es evidente que la disminucion directa de la cantidad de oxígeno introducida en el fogon debe ser de un efecto mucho mas inmediato y ventajoso, que el estrechar la chimenea, porque el efecto de este último medio es acrecentar la temperatura y la fuerza del humo en proporcion de lo que se estrecha la abertura, y por consiguiente el humo se escapa á una temperatura mas alta llevándose una gran cantidad de calor. Sin embargo, el regulador de válvula es el que se usa mas generalmente. El otro medio es el mismo en principio, y solo difiere en que se aplica en el cenicero en vez de estar en la chimenea.

257. *Reguladores mecánicos.* Los reguladores suelen estar bajo la direccion de los *atizadores*; pero en el regulador mecánico, el fuego mismo viene á ser un medio de direccion, de suerte que arda con mayor ó menor rapidez, segun la necesidad, lo cual se hace del modo siguiente. Una plancha de hierro, ó registro bastante grande, para poder cerrar enteramente la chimenea ó el conducto del cenicero, se puede mover verticalmente en correderas de hierro (véase la lám. V) con el menor rozamiento posible. A su parte superior está unida una cadena que pasa por dos poleas n y n , y despues atraviesa el fondo de la cubeta y del conducto alimenticio, y en fin, se prolonga segun el eje del conducto O, hasta una pieza de cobre hueca por dentro. Se da al conducto mayor diámetro en esta parte, cuando se trata de un regulador mecánico, á fin de que pueda contener el peso, sin que este último cierre el tubo, é impida el descenso del agua alimenticia. El flotador se equilibra, llenándolo en parte con plomo, de modo que sobrepuje justamente el peso y rozamiento del registro, de las cadenas y las poleas. Cuando aun no hay fuego debajo de la caldera, se tirará del registro, y se abrirá enteramente la chimenea: al mismo tiempo vendrá el peso á apoyarse sobre el dorso del fondo del conducto alimenticio, á cuyo efecto se determina como conviene la longitud de la cadena. Pero luego que se aplica la lumbre, y produce vapor en la caldera, este fluido oprime la superficie del agua, y la hace su-

bir por el conducto alimenticio hasta cierta altura. Sumergiéndose entonces el flotador en el agua, se encuentra que tiene una parte de su peso equilibrada, y por consiguiente no está en estado de mantener el registro en su primera altura. Desciende este, pues, hasta que se restablezca el equilibrio; y cierra en parte la chimenea, lo cual atenua el tiro del fuego. Si se moviese hasta el punto de debilitar demasiado el tiro, se formaría menos vapor, el agua se mantendría á menor altura en el conducto alimenticio, y el peso recobraría entonces una parte de su fuerza para volver á levantar el registro. Si el fuego fuese alguna vez bastante fuerte para empujar el agua hasta la cubeta superior, se levantaría el peso de tal suerte que casi taparía la chimenea. Si el registro se llega á cerrar completamente, es de temer que el aire inflamable se reuna y haga esplosion en los conductos del humo. Un regulador de mano, no obstante, es un aparato de que debería estar siempre provista una caldera, porque cuando una máquina no funciona, es útil cerrar en parte la chimenea; no se podría considerar como perfecta una caldera que no tuviese ni regulador de fuego, ni medio para cerrar exactamente la abertura por donde entra el aire para alimentar la combustion.

258. *Reguladores mecánicos de aire.* El medio mas directo para arreglar la accion del fuego es disponer los conductos de modo que se puedan abrir y cerrar cuando se quiera, y este efecto es aun mas ventajoso cuando se obtiene por la fuerza del vapor, de manera que cuando este fluido adquiere una presión muy elevada, cierra él mismo el paso al aire que debe alimentar el fuego. La construccion de un regulador mecánico de este género está representada en la lám. V. En su aplicacion es esencial hacer de modo que todas las aberturas que caen sobre el combustible inflamado se cierren con toda la exactitud posible.

De las válvulas de seguridad.

259. Los aparatos de seguridad son muy importantes; no se deberían construir nunca las calderas de las máquinas de vapor

sin ellos, y se deberian ejecutar con el mayor cuidado posible para prevenir cualquier accidente.

Estas válvulas se llaman *exteriores* ó *interiores*, segun la naturaleza de los accidentes que tienen por objeto evitar. Una válvula interior ó *entrante* se destina á impedir que la presion de la atmósfera destruya las paredes de la caldera ó los conductos á que está aplicada. Regularmente es una válvula cónica inversa, sostenida en su asiento por una varilla, y atada á una palanca que tiene en la estremidad opuesta un peso tal, que la fuerza de la presion atmosférica pueda levantarlo, cuando su accion es de dos á tres hectogramas mas fuerte por centímetro circular, que la fuerza elástica del vapor en la caldera.

En la lám. III, fig. 1.^a se ve esta válvula tal como está colocada en la plancha del agujero por donde entra el hombre, siendo *a* la válvula mantenida en su asiento por el peso que descansa sobre la palanca en *b*.

260. *La válvula de seguridad exterior* sirve para prevenir el riesgo de la esplosion en los casos en que el vapor pase del grado de fuerza que la debe soportar; por esta razon es de la mayor importancia que esté construida del modo mas conveniente, y que no esté espuesta á descomponerse. La aplicacion de una válvula de peso para limitar la fuerza del vapor, se hizo primero por Papin á sus ollas ó marmitas, y á sus máquinas. Despues se aplicó á las calderas de las máquinas de Savery. Consiste en una válvula cónica, mantenida en su asiento por un peso de palanca, cuya semejanza con una romana hizo que se le diese el nombre de válvula de romana. Aun está en uso; pero tiene un defecto evidente, y es que el peso se puede aumentar, ya sea al arbitrio del obrero, ó ya por la imprudencia de un extraño: por esta razon las válvulas de esta forma no se deberian emplear, á menos que la palanca y la válvula no estuviesen encerradas en una caja, de que tuviese la llave el dueño. Esta caja habia de tener un tubo que fuese á dar á la chimenea, para arrojar por ella el vapor, y estar provista de un alambre delgado, ó de una cadena que no sirviese mas que para suspender la válvula de tiempo en tiempo, á fin de que no se adhiriese ó pegase por efecto de la oxidacion del metal.

261. Para el vapor de baja presión se puede hacer esta válvula de una forma más cómoda: sostiene entonces directamente su peso; basta que sea del diámetro suficiente; el área de su pequeña base no debe ser menor de lo que resulta de la regla que vamos á dar. Determinada la fuerza del vapor, se atará al vástago encima de la válvula un peso fijo é invariable proporcionado á esta fuerza, encerrándolo todo en una caja de metal que deje un paso más grande que el área de la válvula, á fin de que salga el vapor que se va á perder á la chimenea ó á otra parte. La mayor fuerza del vapor debe ser un poco más de la que se necesita para mover la máquina. Supongamos que sea de 0,5 kilogramas por centímetro circular, y que el diámetro de la pequeña base de la válvula sea de 6 centímetros; entonces

$$6 \times 6 = 36$$

representa en centímetros circulares el área de la válvula, y

$$36 \times 0,5 = 18 \text{ kilogramas}$$

representa el peso ó carga que se ha de poner sobre la válvula. Esta se abriría cuando el vapor la oprimiese con una fuerza más grande que 0,5^{kilog.} sobre cada centímetro circular. Teniendo la caja de metal que encierra la válvula su cerradura, nadie más que el que tenga la llave podrá hacer variar el peso; pero sería indispensable adaptar á la tapadera una asa ó agarradero para mover la válvula, é impedir que tome adherencia por efecto del orin.

Se ha propuesto para mayor seguridad adaptar á la misma caldera una segunda válvula, pero un poco menos cargada que la primera, á fin de que abriéndose primero, advierta así al atizador que el vapor está en el punto de adquirir mucha fortaleza. Debe tener una asa más fuerte para levantarle, ya sea para que el vapor salga cuando se necesite, ó ya para otros fines. El agarradero de la válvula cerrada con llave debe estar enlazado á su vástago con una cadena ó alambre delgado, de modo que no pueda sujetarle para aumentar la carga de la válvula. De otro modo valdría más fiarse de una válvula ordinaria, que no de otra cerrada con llave, la cual está sujeta á tomar adherencia con el orin.

262. Una válvula de asiento cónico no me parece la mejor;

para la válvula cerrada con llave preferiria un asiento plano, y quisiera que las superficies metálicas en contacto fuesen estrechas y formadas de un metal poco espuesto al orin, como que la válvula no se detuviese por efecto de las dilataciones desiguales en las piezas metálicas.

263. Para prevenir el riesgo de la adherencia de las válvulas en las calderas de los barcos de vapor, propuso el señor Nimmo hacerlas semiesféricas, volviendo hácia abajo su convexidad, y haciéndolas reposar sobre un asiento, cuya concavidad tuviese la misma curvatura, á fin de que se ajustasen exactamente. En cuanto al peso, propuso suspenderlo debajo de la válvula. (véase en U, fig. 1.^a lám. XXI). Por este medio el movimiento del barco podria cambiar constantemente la posicion de la válvula, sin que dejase de cerrar toda salida al vapor en todas sus posiciones, y sin que estuviese espuesta á adherirse á su asiento. Se puede atar tambien una cadena encima de la válvula, á fin de levantarla sin abrir la caja en que se encierra. Este medio es digno de atencion; pero el defecto de esta válvula será probablemente el de no tener estabilidad en su asiento.

264. El procedimiento mas cierto y seguro para las calderas de baja presion es el contrapesar la presion del vapor con una coluna de agua de un diámetro suficiente para dejar salir el vapor, en caso necesario, con tanta rapidéz como pueda ser desarrollado por el fuego. Un tubo alimenticio constituye hasta cierto punto un tubo de seguridad de este género, pero no tiene ni el tamaño, ni la disposicion que exigiria la seguridad que es de desear. El tubo ó conducto TW debe ser curvo en el extremo inferior en T (lám. IV, fig. 2), sin desembocar mas bajo que el nivel de la cara superior de los conductos. Por el otro extremo debe ir á dar á un tubo U, destinado á conducir abajo el agua caliente, cuya caida directa podria ocasionar de otro modo alguna quemadura; y se prolongará en este mismo parage en un tubo ascendente V, destinado á enviar lejos el vapor. El efecto de este tubo de seguridad consiste primero en bajar el nivel del agua en la caldera para poner en accion el tubo alimenticio, si no lo estaba antes, y despues en dejar salir el vapor.

He hecho construir bajo este principio dos calderas, en las

cuales era absolutamente imposible toda tentativa para elevar la presión del vapor mas arriba del punto conveniente, y la caldera volvía á tomar su presión regular pocos minutos despues que el tubo se habia descargado de su volumen de agua. La salida de una porcion del agua caliente por el tubo, y la introduccion de una cierta cantidad de agua fria por el tubo alimenticio, tienden á bajar la temperatura del vapor; pero esto no puede suceder por solo el tubo alimenticio, porque el agua hirviendo sube entonces por él, y no deja entrar al agua fria. Otra ventaja de esta construccion es, que si el nivel del agua llegase á descender mas abajo de la boca del tubo, el vapor se marcharia, y si el ruido que hace al salir no bastase para advertir al atizador el estado de la caldera, la falta de vapor le obligaria bien pronto á examinarlo mas de cerca.

La altura del tubo para las diferentes presiones es facil de calcular; porque la altura de una columna de agua equivalente á un hectograma por centímetro circular es para una temperatura ordinaria de $1^m,30$; asi para una presión de $3^{hect},5$ por centímetro circular se tiene

$$3,5 \times 1,30 = 4^m,55$$

por la altura del tubo; lo que equivale á cerca de $4^{hect},5$ por centímetro cuadrado. Es claro que esta altura no conviene sino para el vapor de baja presión.

265. Otros medios se han propuesto para la construccion de las válvulas; algunos de ellos son defectuosos en cuanto al principio fundamental, y los otros complicados en su ejecucion y modo de obrar. La válvula del émbolo lleno, propuesta por el caballero Edelcrantz, tendria el inconveniente de tomar bien pronto adherencia por efecto del vapor á alta presión, ó de dar lugar á continuas huidas; á esta dificultad se agregaria ademas la de ajustar un émbolo lleno con bastante precisión para que pudiese retener el vapor y conservar esta propiedad por largo tiempo. En fin, si se quisiese hacer uso de un émbolo metálico de resorte, el gasto de construccion es considerable. En este caso no se debe fiar de un émbolo con la guarnicion ordinaria, á causa de la irregularidad de su rozamiento.

266. Los aparatos de seguridad de las calderas de alta pre-

sion exigen mayor atencion y cuidado que en las de baja presion, porque en aquellas el riesgo es mucho mayor, como se puede ver fácilmente. En efecto, algunos accidentes terribles han hecho que se proceda con mas prudencia y precaucion en esta parte. Trevithick, que fue el primero que puso en uso las máquinas de alta presion, empleó tambien diversos medios para prevenir estos accidentes. Propuso encerrar la válvula en una caja de hierro con llave, á fin de que nadie pudiese llegar á ella y aumentar el peso mas de lo que conviniese.

Hizo ademas abrir un agujero en la caldera, el cual tapó con plomo, y estaba encima del fondo á tal altura, que la caldera no podia jamás quedarse en seco por la evaporacion, sin que el plomo se fundiese, y abriese por consiguiente una salida al vapor. Esperaba Trevithick que en el caso en que se hubiese dejado de intento secar la caldera y adquirir la temperatura roja, este medio impediria la esplosion que hubiera sido la consecuencia de la introduccion súbita del agua alimenticia.

267. Un procedimiento análogo consiste en tapar un agujero hecho en el fondo de la caldera, con una rodaja de metal fusible que tenga la propiedad de fundirse y abrir hácia el fogon una salida al agua y al vapor, siempre que la temperatura de la caldera se eleve hasta el punto de determinar una presion peligrosa.

268. Para indicar el estado del vapor en las calderas, se usa generalmente del manometro de mercurio: es un tubo curvo, ó sifon inverso, en el cual se eleva el mercurio por la fuerza del vapor, é indica la presion (véase la Seccion 8.^a). Cuando se aplica el manometro á una caldera de alta presion, exige un tubo de una altura considerable. Es un medio de seguridad adicional contra la esplosion de la caldera, porque si el vapor llegase á ser muy fuerte, el mercurio saldria fuera del tubo, y se iria á un recipiente dispuesto al efecto, y el vapor se marcharia por el tubo vacío, en el momento en que la presion escediese á la que podia soportar la caldera. El manometro es uno de los aparatos que seria mas de desear que se emplease en las calderas de alta presion, porque en él se ve al primer golpe de ojo el estado del vapor; pero con respecto á la seguridad, debemos investigar hasta qué punto llega la eficacia de este aparato, ó

la de las rodajas ó redondeles metálicos, por temor de que una confianza aventurada en su bondad no nos deje aun espuestos á los accidentes mas terribles.

269. En primer lugar es claro que la abertura ó aberturas por donde se haya de marchar el vapor, deben ser bastante grandes para que este fluido encuentre una salida proporcionada al mayor volumen que pueda producir el fuego, porque si no el vapor se acumularia, y podria dar lugar á alguna explosion. Un metro cuadrado de superficie espuesta al fuego puede convertir, en ciertos casos, 0,2 metros cúbicos de agua en vapor (véase el art. 200); y con respecto á la seguridad, es un aumento bien ligero el admitir que cada metro de superficie pueda evaporar 0,3 metros cúbicos de agua.

REGLA. De este dato deducimos la regla siguiente: supongamos que se haya determinado primero la densidad del vapor correspondiente á la presion: multiplíquese esta densidad por la raiz cuadrada de la cantidad en que la densidad es mayor que uno, y divídase 9,2 veces la superficie espuesta al fuego por el producto; el cociente será (en centímetros) el cuadrado del diámetro de la base pequeña de la válvula; ó bien multiplíquese la superficie por el número correspondiente á la presion ó á la temperatura en la coluna de los multiplicadores de la tabla siguiente; el producto será tambien el cuadrado del diámetro menor de la válvula.

PRESION en centímetros de mercurio.	TEMPERATURA.	DENSIDAD del vapor.	Multiplicadores.
76	100	1	Infinito.
96	107	1,28	13,5
152	121	2,00	4,6
228	135	2,85	2,4
304	145	3,70	1,5
380	154	4,70	1

Conviene advertir que esta regla da el minimum de la abertura que se debe emplear; pero por muchas razones debemos, ó añadir una segunda válvula, ó bien doblar el area dada por la regla.

Primer ejemplo. Supongamos que se tenga que determinar el area de una válvula de seguridad para una caldera de baja presión de 5 metros de longitud sobre 1^m,20 de ancho, considerando la superficie calentada como igual á la superficie del fondo de la caldera; en este caso se tiene

$$5 \times 1,20 = 6 \text{ metros cuadrados;}$$

y siendo el multiplicador para el vapor de baja presión 13,5, se concluye de aqui

$$6 \times 13,5 = 81 \text{ centímetros,}$$

que es el cuadrado del diámetro de la abertura; la raíz cuadrada de este número dá 9 por el diámetro; así en este caso se debe hacer uso de dos válvulas que tengan este diámetro, ó de una sola de 12,7 de diámetro.

Segundo ejemplo. Supongamos que se quiera establecer una caldera destinada á producir vapor á 4 atmósferas, y que tenga 6 metros de superficie calentada; determinemos cuál sería el diámetro mas pequeño de la abertura para la válvula de seguridad. El multiplicador en este caso es 1,5, y tiene por el cuadrado del diámetro

$$6 \times 1,5 = 9,$$

cuya raíz cuadrada es 3 centímetros.

270. De aqui se sigue que el diámetro de un manometro de mercurio, capaz de dar salida al vapor, no sería tan grande que su uso fuese incómodo en la práctica, ni dejaria de ser un medio muy eficaz para hacer las calderas mas seguras. Mas no por eso se escusaria una válvula de seguridad, atendiendo á que los recodos del tubo retardarian hasta cierto punto la salida del vapor.

271. Yo no creo que el uso de las rodajas metálicas fusibles ofrezca el mismo grado de seguridad, porque si se hiciesen fusibles á la presión conveniente, se ablandarian por la temperatura continúa del aparato en actividad, hasta el punto de que serian incapaces de retener el vapor, sobre todo si tenian toda la magnitud suficiente para su objeto.

El plomo no sería á propósito para este uso, puesto que su punto de fusión está á los 320°, á cuya temperatura tendria el vapor una fuerza de cerca de 150 atmósferas.

El estaño se funde á los 228°, y á esta temperatura la fuerza del vapor pasa de 25 atmósferas. Se podrian formar aleaciones que fuesen fusibles desde 100° hasta 320; pero nada prueba que el punto de fusion permanezca invariable en las aleaciones, que regularmente estan espuestas á una temperatura tan próxima de aquella en que se funden cuando se las acaba de componer.

Tabla de los grados de fusion de las aleaciones y de los metales.

	PLOMO.	ESTAÑO.	BISMUTO.	GRADOS de fusion.
ALEACIONES.	1 parte.	3 partes.	5 partes.	Se funde á 100°
	1	4	5	120
		1	1	152
		2	1	170
	2	3		168
		8	1	200
	El estaño solo se funde á.....			228
	El bismuto á.....			245
	El plomo á.....			320
	El zinc á.....			333

Pero si se necesita un escedente de cerca de dos atmósferas sobre la presion habitual para fundir la rodaja, es poco probable que con un escedente menor pueda resistir el servicio corriente. No se debe contar en la práctica con este medio de seguridad; se pueden adoptar las rodajas metálicas como un aumento de precaucion, pero no como un medio principal, ni aun como un medio, en el cual se pueda fiar mucho.

272. Se ha propuesto tambien añadir un tubo en algun parage de la caldera, el cual habia de ser de un metal bastante delgado para que pudiese reventar antes que la caldera; pero este medio, bien asi como el de las rodajas fusibles, no puede ser útil sino en el caso en que no obrasen las válvulas ordinarias de seguridad, porque si dicho tubo está hecho de modo que reviente al mas ligero aumento que tenga la presion habitual, no resistirá esta largo tiempo, porque es bien conocido que un

metal que se somete á un esfuerzo próximo á su maximum de resistencia, se rompe gradualmente. Por otra parte es muy difícil determinar el esfuerzo que semejante tubo podria soportar sin romperse, y aun hacerlo con una aproximacion suficiente para que no peligrase la vida de los hombres.

273. El riesgo en las calderas de alta presion, aun en su estado ordinario de trabajo, es tanto mayor cuanto la presion es mas elevada; por esta razon nunca se podrán tomar demasiadas precauciones en el empleo de estas calderas. A lo menos se debe proveer cada una de ellas de una buena válvula de seguridad, y de un manometro de mercurio, cuyo diámetro sea suficiente para permitir, en caso de necesidad, la salida del vapor; pero es una buena práctica de los mecánicos prudentes la de emplear dos válvulas de seguridad.

La válvula ordinaria de seguridad puede recibir una mejora útil, que consiste en disponerla de modo que se desprenda de una parte de su carga, á medida que el vapor la levante.

De la area de las chimeneas para las calderas de las máquinas de vapor.

274. Antes de dar ninguna regla particular para la area de las chimeneas, no será inútil notar que dándoles mayores dimensiones que las que necesitan para el servicio actual de la máquina, puede suceder muy bien que esta disposicion sea mas conveniente para lo sucesivo, mientras que por otra parte el exceso del gasto no está en proporcion con el aumento del tamaño; por esto recomendaria que se hiciesen de dobles dimensiones de las que dá la regla, porque esta no se aplica sino á las chimeneas propias para el servicio actual de la máquina.

La altura no deberia bajar de 15 metros, y deberia ser mayor si se quisiese evitar la incomodidad del humo en la vecindad, porque aunque el aumento de la elevacion de la chimenea no produzca disminucion de humo, ayuda sin embargo á esparcirlo por una estension mayor (1).

(1) Hay un hecho muy curioso en esta materia, y es que cuando el vapor

275. REGLA. La area de una chimenea para una máquina de vapor de baja presion, cuando la fuerza es mayor que de diez caballos, debe ser igual á cuatro veces la fuerza en caballos dividida por la raiz cuadrada de la altura de la chimenea.

Para una fuerza menor que de diez caballos, será preciso sustituir al factor 4 la fraccion $\frac{1}{2}$ multiplicada por el número que se halla enfrente del que indica la fuerza de caballos en la primera columna de la tabla (art. 221).

Ejemplo. Háyase de determinar la area de una chimenea para una máquina de la fuerza de 40 caballos, siendo la altura de 20 metros; se tiene en este caso

$$\frac{40 \times 4}{\sqrt{20}} = \frac{160}{4,47} = 36 \text{ decímetros cuadrados;}$$

cuya raiz cuadrada es 6 decímetros, lo cual dá el lado de una chimenea de corte cuadrado; ó bien multiplicando 36 por 1,27, y estrayendo la raiz cuadrada, se tendria el diámetro de una chimenea circular, es decir:

$$\sqrt{36 \times 1,27} = 6,75.$$

Pero en cualquiera de los dos casos aconsejaria que se hiciese el area de la chimenea doble, ó de 72 decímetros de superficie, lo cual equivale á hacer el lado igual á 8,5, ó el diámetro á 9,6.

Hemos supuesto en esta regla que la máquina estaba construida del modo mas conveniente, y que el carbon que se habia de alta presion y el humo se elevan juntos en la misma chimenea, el humo se hace casi invisible. Este hecho parece que se observó la primera vez en la aplicacion de la máquina de Trevithick á un carruage de vapor en 1805. La observacion se insertó en el *Journal de Nicholson*, tom. XII, pag. 1. por M. Gilbert, que no hizo ningun comentario sobre este hecho, y se limitó á decir que la introduccion del vapor en la chimenea aumentaba el tiro. Nicholson hizo una experiencia que esplica que el vapor se hace invisible por cuanto el calor del humo impide que adquiriera aquel grado de condensacion, sin el cual el vapor no puede ser visible (*Journal de Nicholson*, tom. XII, p. 47); pero no se dá razon de la desaparicion del humo; yo creo que este se debe depositar por consecuencia de la disminucion de densidad que resulta de su mezcla con el vapor, y que no permite á este tener en suspension las particulas de hollin que contenia el humo.

de emplear sería de la mejor calidad; es decir, que no se consumirían mas que 4 á 5 kilogramas por hora y por caballo en la fuerza de diez caballos arriba.

Pero cuando el consumo asciende á 6 ó 7 kilogramas de carbon por hora, entonces es preciso agrandar el conducto de la chimenea en razon directa de la cantidad consumida (véase el modo de determinarla segun la regla, art. 168).

276. Cuando se hace uso de leña en lugar de hornaguera, se produce una cantidad de humo mucho mas grande; pero como es mucho mas ligero, no se hará la chimenea sino vez y media tan grande como la que se necesita para el carbon de piedra.

277. Las mismas reglas se pueden aplicar á las máquinas de alta presion, tomando $\frac{1}{3}$ del número de decímetros cúbicos de agua evaporada por hora, ó $\frac{1}{3}$ del número de kilogramas de carbon consumidos por hora, en lugar del número que espresa la fuerza en caballos.

278. Las chimeneas de las máquinas para barcos y carruages de vapor son circulares, y no deben ser mayores de lo que es absolutamente necesario para que el combustible produzca su efecto útil. Esta dimension se obtendria aproximativamente haciendo el cuadrado del diámetro igual á 3,2 multiplicado por la fuerza de caballos, y dividido por la raiz cuadrada de la altura espresada en metros.

Pero es preciso advertir que cuando una chimenea tiene menos de 12 á 15 metros de altura, es preciso dejar al humo elevarse á una temperatura mucho mas alta; no se la debe pues enfriar mucho pretendiendo aplicar todo su calor á la caldera, porque entonces la chimenea no tendria tiro. Asi en las chimeneas bajas el combustible no puede producir todo su efecto. En la lámina III se indican varios modos de coronar las chimeneas. El menos dispendioso, y que al mismo tiempo está menos espuesto al viento, tiene la forma de un obelisco egipcio.

De la condensacion del vapor.

279. Cuando una sustancia ó cuerpo cualquiera mas frio que el vapor, se pone en contacto con él, se condensa este hasta que

la temperatura del cuerpo frio llegue á ser la misma que la del vapor, ó bien hasta que todo el volumen del vapor se condense en la mayor parte, y que el resto no conserve mas que un débil grado de elasticidad correspondiente á la temperatura á que se ha elevado el cuerpo frio por el calor del vapor. Cuanto mayor sea la mole del cuerpo frio, menos se elevará su temperatura; y cuanto mayor sea su grado de frio, mas se aminorará la fuerza elástica del vapor; de donde se sigue que para bajar lo mas que sea posible esta tension del vapor, es preciso aumentar cuanto se pueda el grado de frio y el volumen del cuerpo refrigerante.

280. Todo cuerpo frio puede condensar el vapor al cabo del tiempo suficiente; pero para que esto se efectúe de un modo eficaz, debe presentar el cuerpo superficies estensas, y ser ademas buen conductor del calor; porque cuando se trata de realizar la potencia mecánica por medio de la condensacion, el efecto que se obtiene es tanto mayor cuanto la condensacion es mas rápida. Es facil probar que si el vapor se condensase de modo que no perdiese mas que grados iguales de fuerza elástica en periodos iguales del tiempo que dura su accion, se perderia asi la mitad de su potencia (véase el art. 294). Esta es la causa del poco efecto de los procedimientos lentos de condensacion: esta operacion no podria nunca ser demasiado pronta, á menos que para obtener esta rapidez, no sea preciso hacer de un modo ó de otro una pérdida de fuerza que compense con ventaja lo que se ganaria por la condensacion.

281. Se ha visto que el agua era la mejor de todas las sustancias para la condensacion del vapor: este líquido está dotado de un gran calor específico, y bajo este aspecto aventaja á todos los demas cuerpos: es un conductor rápido del calor, y cuando cae desparramada presenta al vapor una porcion inmensa de superficie refrigerante. Como muchas veces es dificil procurarse agua á una temperatura baja, y en algunas ocasiones hasta el obtenerla en cantidad suficiente, es muy importante investigar cuáles son los efectos que ocurren cuando se emplea en diversas proporciones y temperaturas.

282. El peso del agua P necesario para la condensacion,

multiplicado por la cantidad $x-t$, en que se aumenta la temperatura, da el calor que el líquido absorbe. En las máquinas de vapor, en que se repite la operación en el mismo vaso y á la misma temperatura $T-x$ sobre la del agua de condensación, añadiendo á 555° , y multiplicando la suma por el peso p del vapor, se tiene un producto igual al calor absorbido por el agua de condensación, es decir, que se tiene

$$P(x-t) = p(555 + T - x) \quad (1),$$

ó bien

$$P = \frac{p(555 + T - x)}{x - t}, \text{ y } x = \frac{p(555 + T) + Pt}{P + p}.$$

283. Cuando la temperatura del agua condensada es igual á la del vapor, la cantidad de agua sería igual á la que reduce simplemente el vapor á agua, es decir, á

$$P = \frac{555p}{T - t}.$$

Peró en este caso no se obtendría ningun efecto útil. Toda cantidad mas grande de agua fria reducirá la fuerza elástica; pero esta reduccion se debe llevar hasta el punto de hacer la ventaja de fuerza debida á la condensación mayor que la necesaria para mover la bomba de aire, y para cubrir el esceso de gasto en el agua y en la construcción.

284. En las máquinas de baja presión, $T = 105^{\circ}$, y t , se deben tomar á la temperatura media de 12° , de manera que si la del condensador es de 38° , se tendrá

$$P = \frac{p(555 + 105 - 38)}{38 - 12} = \frac{622p}{26} = 24p.$$

Así 24 veces la cantidad de agua necesaria para el vapor, representará la cantidad que conviene para la condensación. Puesto

(1) Para hacer esta equacion general, sea c el calor específico del cuerpo empleado en la condensación, C el calor de la evaporación, y c' el calor específico del cuerpo en vapor; se tendrá entonces

$$Pc(x-t) = pc'(C + T - x).$$

:

que $\frac{1}{1600}$ de metro cúbico de agua produce un metro de vapor á la densidad á que está en el cilindro de una máquina, funcionando á esta temperatura, el consumo por metro cúbico del cilindro será

$$24 \times \frac{1}{1600} \text{ metros cúbicos} = 15 \text{ litros,}$$

lo que equivale, por un consumo de 28 litros, ó por fuerza de caballo, á 0 lit., 42 (1).

Si $x=55^{\circ}$, no se necesitará para la condensacion mas agua fria que 14 veces el peso del vapor; y para 50° será necesario 16 veces este peso (2).

La fuerza del vapor á 38° es de 5,5 centímetros de mercurio; su fuerza á 55° es de 12,75 centímetros; por consiguiente lo que se gana en fuerza es 7,25 centímetros, ó cerca de $\frac{1}{7}$, cuando se condensa á la mas baja de estas dos temperaturas.

Si el agua fria está á 22° , y el condensador á 55, hallamos entonces que la cantidad de agua de condensacion debe ser igual á 18 veces el peso del vapor, y á 37 veces este peso, cuando el agua está á 22° , y se hace la condensacion á 38.

285. Por medio de las ecuaciones anteriores se pueden calcular los efectos comparativos de las diferentes temperaturas, y se podrá conocer hasta qué punto hay economía en emplear ó ahorrar el agua de condensacion, mientras que por la marcha actual se hacen esfuerzos frecuentemente para obtener la mayor fuerza de vapor, sin contar los gastos de las localidades en que es muy costoso recoger el agua.

Cuando el vapor es de una densidad considerable, no se condensa tan fácilmente: la razon es facil de comprender, puesto que la misma superficie de agua de inyeccion obrando sobre un vapor mas denso, y que contiene mas calor en proporcion, debe por precision robar este calor mas lentamente. Este incon-

(1) Watt establece que una pinta, ó 0 lit., 47 es mas que suficiente. (Robinson's *Mechanical philosophy*, tom. II, p. 147).

(2) La temperatura ordinaria es de cerca de 50° , ó con corta diferencia la que puede soportar la mano.

veniente se evitará, si se hace el condensador bastante grande para que el vapor pueda dilatarse en el, y adquirir un volumen correspondiente á la presión de cerca de $1\frac{1}{2}$ atmosferas. Pero se obtendría este mismo efecto mas ventajosamente, haciendo dilatar el vapor en el cilindro, segun el método de Watt (art. 27), ó bien en un segundo cilindro por el procedimiento de Hornblower (art. 32).

Cuando no se puede obtener por la condensacion una temperatura menor que 82° , la operacion no paga el gasto; y á 82° la cantidad de agua necesaria para el vapor de baja presión será

$$P = \frac{555 + 105 - 82}{82 - 12} = \frac{578p}{70} = 8\frac{1}{4}p.$$

Asi la condensacion exigirá aun $8\frac{1}{4}$ veces la cantidad de agua necesaria para el vapor.

286. Estos cálculos se aplican al caso en que la condensacion se hace en un vaso separado, de cuya primera idea somos deudores á Watt. Cuando la condensacion se verifica en el cilindro, es preciso bajar á la temperatura de condensacion, no solo el vapor, sino hasta el metal del cilindro, y se pierde una gran cantidad de vapor calentándole de nuevo á cada pulsacion. En el artículo 165 se espuso el medio de obtener el maximum de efecto útil en este sistema de condensacion.

287. Para determinar la cantidad de agua de inyeccion que conviene á una máquina que condensa en el cilindro, la fórmula es la misma que para la condensacion en un vaso separado; no hay mas diferencia que en la cantidad de vapor que se exige. El escedente de agua de condensacion en este sistema, con respecto al de Watt, es de

$$\frac{0,14m(T-x)}{x-t}$$

por cada golpe de émbolo; en esta fórmula m designa el peso del metal del cilindro. (Véase art. 156 y 161).

288. La siguiente tabla synóptica presentará los diferentes métodos de condensacion de un modo mas claro, que no podria hacerlo seguramente ninguna otra especie de resumen.

El vapor se puede condensar,	1.º En el vaso en que se aplica la fuerza.	Savery, en 1698. Newcomen, en 1705.
	2.º En un vaso separado.....	Watt, en 1769.
El vapor se puede condensar,	1.º Haciendo caer un líquido frío sobre la parte exterior del vaso.	Savery.
	2.º Inyectándolo en el interior.	Newcomen.
	3.º Esponiendo el vapor á grandes superficies de líquidos, ó de sólidos fríos.	Watt. Cartwright.
	4.º Por la presión de líquidos fríos sobre los vasos que contienen el vapor.	Perkins.
	5.º Por la reunión de dos ó mayor número de estos procedimientos.	

SECCION CUARTA.

De la potencia mecánica del vapor, y de la naturaleza, proporciones y clasificacion de las máquinas de vapor.

289. **D**espues de haber considerado la fuerza del vapor cuando está encerrado, segun su densidad y temperatura, asi como las circunstancias relativas á su movimiento, nuestro objeto debe ser ahora el de estudiar la potencia del vapor para producir un efecto útil. Me esforzaré á proceder en la materia con la sencillez y estension que reclama un asunto tan importante.

De la potencia del vapor y medios de obtenerle.

290. La produccion del vapor se efectua, como hemos visto, por la aplicacion del calor. Concibamos un vaso cilindrico A B (lám. XVIII, fig. 1^a), colocado en una posicion vertical, y que contenga agua hasta una altura dada; colóquese sobre esta agua un émbolo contrapesado por un peso equivalente al que él tiene y al rozamiento reunidos. En este estado caliéntese el vaso A C: convirtiéndose el agua en vapor de una elasticidad un poco mayor que la presion atmosférica, se levantará el émbolo hasta que se evapore toda el agua. Es de advertir que este vapor, de una fuerza elástica casi igual á la presion atmosférica, no engendra ninguna potencia dinámica, produciéndose el movimiento simplemente; no ha hecho mas que contrapesar la columna de aire atmosférico, y arrojarle del cilindro hasta cierta altura dada.

291. Pero si en este estado de cosas se condensa el vapor súbitamente, es claro que el émbolo será impelido por una fuerza igual á la presion de la atmósfera, y correrá una altura igual á aquella á que se habia elevado durante la formacion del vapor.

292. De aqui resulta que la potencia del vapor de una elasticidad igual á la presion atmosférica, cuando dicho vapor se

condensa repentinamente, está en razon directa del espacio que ocupa. Asi, multiplicando el area de la base del cilindro en centímetros cuadrados por la presion de la atmósfera espresada en kilogramas por centímetro cuadrado, y por la altura en metros, el producto, deducido el rozamiento, dará la cantidad que el vapor elevaría á un metro de altura en el mismo tiempo, es decir, su *efecto dinámico*.

293. El espacio ocupado por el vapor de una fuerza elástica igual á la presion de la atmósfera, se puede aumentar elevando su temperatura sobre la del agua hirviendo; pero una cantidad de calor casi equivalente á la que necesita el acrecentamiento de volumen será absorvida, y por consiguiente no se aumentará asi el efecto de una cantidad dada de combustible.

294. Si el vapor se condensase lentamente como sucederia, por ejemplo, aplicando un refrigerante exterior, se reduciría mucho el efecto, puesto que la fuerza motriz no seria en cada instante igual mas que á la diferencia entre la fuerza elástica del vapor y la presion atmosférica. Es verdad que la condensacion mas rápida deja un vapor de cierta elasticidad; pero como este obra en el mismo espacio que la fuerza del vapor, no causa alteracion sensible en la ley de proporcion de la fuerza motriz al espacio ocupado por el vapor.

295. Concibamos ahora el mismo aparato calentado por su base, con la sola diferencia que el émbolo esté cargado de un peso dado. El vapor que se forme levantará el émbolo cargado de este modo, pero á menor altura que en el primer caso. El vapor, estando en oposicion con la presion atmosférica y con la carga del émbolo, ocupará un espacio en razon inversa de las presiones contrarias en los dos casos, suponiendo que la temperatura sea la misma. Asi si la carga del émbolo equivale al duplo de la presion de la atmósfera, se elevará solamente al tercio de la altura á que llegaria en el primer caso; pero por la condensacion rápida bajará con una fuerza triple. Por consiguiente sea que el vapor engendrado tenga una elasticidad igual ó superior á la presion atmosférica, la potencia producida por su formacion y su condensacion será la misma á la misma temperatura, y estará en razon directa de la fuerza elástica del va-

por, multiplicada por el espacio que ocupa cuando el movimiento del émbolo es rectilíneo (ó curvilíneo. *El traductor francés*).

296. Pero si el vapor eleva un émbolo cargado como en el último caso, y entonces una válvula abierta permite que el vapor se salga, el efecto dinámico que se obtiene será solamente igual al peso elevado descendiendo de la altura á que habia llegado. La potencia que resulte de la condensacion será perdida, y esta pérdida será igual á la presión de la atmósfera multiplicada por la altura á que el vapor habia elevado el émbolo. Esto es lo que sucede en la mayor parte de las máquinas de vapor llamadas de *alta presión*. Es evidente que cuanto mas considerable es la fuerza elástica del vapor, mas corta es la pérdida que proviene de la falta de condensacion. Pero se debe notar que á menos que la abertura de la válvula no sea igual al diámetro del cilindro, el vapor no puede escaparse con la velocidad necesaria sin que una parte de la carga del émbolo sirva para rechazarle, lo cual aumentaria aún la pérdida. La potencia efectiva está en razon directa del espacio ocupado por el vapor, multiplicado por el exceso de su fuerza elástica sobre la presión atmosférica.

297. Supongamos que el mismo émbolo cargado se eleve, por la conversion en vapor de una cantidad de agua dada, á la altura que corresponde á la carga y á la temperatura; si se quitase entonces la carga del émbolo enteramente, subiria por la dilatacion del vapor hasta que este fuese de una fuerza elástica casi igual á la presión atmosférica, y la condensacion produciria el mismo efecto que si el vapor se hubiese formado desde luego con aquella elasticidad. Asi el efecto de la carga del émbolo es enteramente adicional, y el resultado combinado de una alta presión con la condensacion, es producido por el mismo vapor. La potencia efectiva del vapor empleado de esta manera, es igual al espacio que ocupa multiplicado por el exceso de su fuerza elástica sobre la presión atmosférica, añadido al producto del espacio que ocupa cuando su elasticidad es igual á la presión de la atmósfera por esta misma presión. Asi con esta combinacion de efecto la potencia dinámica del vapor de alta presión casi se duplicará.

298. Sin embargo este método de aplicacion del vapor no es el mas ventajoso; porque en lugar de quitar enteramente la carga del émbolo cuando ha llegado á la altura á que lo ha elevado la produccion del vapor de alta presion, se puede quitar solamente una parte, y entouces el vapor se dilatará hasta una altura que dependerá de la porcion quitada. Llegado el émbolo á esta altura se quitará una segunda parte de su carga, y asi sucesivamente hasta que la fuerza elástica del vapor sea igual á la presion atmosférica. En este caso el efecto será mayor que en la combinacion precedente: daremos luego los medios de calcularlo.

299. El método precedente no es el único para sacar partido de la dilatacion del vapor; es solamente un descubrimiento reciente, que es muy probable que pertenezca á Woolf, en cuanto podia comprenderle. Los métodos de Hornblower y de Watt no se aplican sino en el caso que nos queda que considerar ahora.

Supongamos que el émbolo haya subido sin carga, como en el primer caso, por la conversion de una cierta cantidad de agua en vapor de una fuerza elástica igual á la presion de la atmósfera. Cuando el émbolo haya llegado á esta altura, añádase un peso equivalente á la mitad de la presion atmosférica en la cuerda que pasa sobre la polea, fig. 1: no estando entonces contrapesada la fuerza del vapor, se levantaria el émbolo hasta que la elasticidad del vapor fuese igual á la mitad de la presion atmosférica; es decir, hasta que el émbolo hubiese subido el duplo de su altura primitiva. Concibamos ahora que el vapor esté condensado, y que en el mismo instante se quite el peso de la polea; la fuerza descendente, menos la fuerza añadida para producir el ascenso, será la mitad mayor que cuando se condensa simplemente el vapor de una elasticidad igual á la presion de la atmósfera. Esta proporcion se aumentará aún si se añade parcialmente el peso adicional, y se disminuye al mismo tiempo por grados sucesivos la fuerza elástica del vapor. Tal es el principio de expansion aplicado en las máquinas de Hornblower y de Watt.

300. Se ha dicho que era imposible emplear el vapor, á

menos que su fuerza elástica no fuese igual á la presión atmosférica; pero esta condición no es indispensable, porque sucede frecuentemente que trabajan las máquinas con un vapor de menor elasticidad. El modo mismo de explicarlo nos manifestará cómo puede ser esto. Supongamos que la mitad de la presión de la atmósfera sobre el émbolo sea contrapesada por un peso suspendido del otro lado de la polea; la acción del calor determinará la formación de un vapor, cuya fuerza elástica será igual á la mitad de la presión atmosférica, y el émbolo se elevará al duplo de la altura á que le hubiera elevado un vapor capaz de hacer equilibrio con la presión de la atmósfera; por consiguiente cuando el vapor se condense, la fuerza del descenso será igual á la mitad de la presión atmosférica multiplicada por una altura doble: así el vapor produce el mismo efecto que antes.

Ya tendremos ocasión de manifestar la importancia de este principio para regular la potencia de las máquinas atmosféricas.

301. En esta exposición de los diferentes modos de realizar la potencia del vapor, he considerado la presión de la atmósfera como una de las fuerzas activas. En la mayor parte de los casos se emplea en la práctica la presión directa del vapor; pero la diferencia que hay de servirse de uno ú otro género de presión, depende de otras circunstancias mas que de la fuerza, tales como el grado de enfriamiento y otras semejantes, y no altera las razones de los efectos del vapor obrando solamente con pequeñas variaciones de temperatura.

Cálculo de la potencia del vapor para producir un movimiento rectilíneo.

302. Si suponemos la fuerza del vapor en un cilindro igual á la presión media de la atmósfera, podemos calcular fácilmente la potencia del vapor producido por una cantidad de agua dada, cuando este efecto dinámico se obtiene por la condensación sin acción expansiva. Así el espacio ocupado por el vapor á 100° es 1710 veces el volumen del agua que le ha producido (art. 120), cuando hace equilibrio con la presión media de la

atmósfera, y esta presión es igual á $103\frac{1}{2}$ kilogramas por decímetro cuadrado. Por consiguiente el vapor producido por un decímetro cúbico de agua elevará á un metro de altura

$\frac{1710 \times 103\frac{1}{2}}{10} = 17670$ kilogramas. Multiplicando este resultado por

el área del círculo cuyo diámetro es 1, es decir, por $\frac{\pi}{4}$, tenemos

13842 kilogramas elevados á un metro por el mayor efecto de un cilindro de un decímetro de diámetro y de altura, ó de un decímetro cilíndrico de agua convertida en vapor. De esto es preciso deducir el rozamiento del émbolo y la resistencia del vapor no condensado. Sería prematuro en la actualidad apreciar el valor total de estas deducciones; pero daré al cálculo una forma analítica, á fin de apropiarlo á las máquinas de expansión y á las demás especies de máquinas.

303. Sea f la fuerza del vapor en centímetros de mercurio, y t su temperatura; el peso de un decímetro cúbico de vapor en grammas será

$$\frac{2,87f}{273+t}$$

El peso de un decímetro cúbico de agua es 1000 grammas: así el volumen del vapor, referido al del agua tomada por unidad, es

$$\frac{1000(273+t)}{2,87f} = \frac{349(273+t)}{f}$$

La fuerza del vapor sobre un decímetro cuadrado es $1,36f$: así

$$1,36f \times \frac{349(273+t)}{f} = 475(273+t)$$

expresa el número de kilogramas que elevaria á un metro de altura un decímetro cúbico ó 1 kilograma de agua convertida en vapor á la temperatura t , sin hacer cuenta con la pérdida del rozamiento, y de la salida del vapor no condensado.

Resulta de aquí, como lo habíamos ya mostrado de otra manera (art. 294), que la potencia del vapor es independiente de su fuerza elástica.

304. Si f' designa la fuerza correspondiente á la temperatu-

ra del vapor condensado ó del condensador, entonces la resistencia es igual á

$$\frac{475(273+t)f'}{f}$$

305. Representemos la pérdida de fuerza que se experimenta, por razon de las salidas ó huidas del vapor por $1-w$, y el rozamiento del émbolo por F , la fuerza del vapor dada por 1 decimetro cúbico de agua á la temperatura t será

$$475(273+t)w - \frac{475(273+t)(f'+F)w}{f}$$

$$= 475(273+t)w \left(1 - \frac{f'+F}{f}\right).$$

306. Ahora podemos apreciar el efecto de la expansion. Cuando la temperatura no experimenta alteracion sensible durante la accion, la fuerza del vapor está en razon inversa del espacio que ocupa. Asi sea b su volumen, p su fuerza, y x un incremento variable del volumen, cuya diferencial es dx , se tendrá

$$b+x : b :: p : \frac{pb}{b+x},$$

y $\frac{pb dx}{b+x}$ será la diferencial de la fuerza desenvuelta por la expansion en el espacio dx . La integral de esta expresion es $pb \times \log$ hiperb. $(b+x) + C$. Para determinar la constante, observemos que la funcion debe ser nula cuando $x=0$; asi

$$pb \times \log \text{ hiperb. } b + C = 0.$$

La fuerza dinámica del vapor tiene pues por expresion

$$pb \times \log \text{ hiperb. } \left(\frac{b+x}{b}\right).$$

Para volver á nuestra notacion primitiva hagamos

$$x = (n-1)b,$$

y
$$b = \frac{349(273+t)}{f};$$

y ademas $p = 1,36f$. La expresion de la fuerza desenvuelta por la expansion del vapor será

$$= pb \times \log \text{ hip. } \left(\frac{b+x}{b}\right) = 475(273+t) \log \text{ hip. } n.$$

307. Cuando se emplea el principio de la expansion, es de-

cir, cuando el vapor se dilata durante su accion sobre el émbolo, es necesario aumentar la longitud del cilindro. La disminucion de efecto que resulta de esta causa se ha despreciado totalmente. Si n es el volumen del vapor en su estado de dilatacion, tomando por unidad su volumen cuando la temperatura es t y la fuerza f , entonces

$$475(273+t)w \times \left[1 - \frac{n(f+F)}{f} \right] + \epsilon$$

es la potencia dinámica de un decimetro cúbico ó litro de agua, designando ϵ la potencia adicional que se gana empleando la expansion del vapor.

Sustituyendo en esta espresion el valor de ϵ hallado antes, se tiene

$$475(273+t)w \times \left[1 + \log \text{ hip. } n - \frac{n(f+F)}{f} \right].$$

Tal es la espresion de la potencia dinámica de un litro ó kilograma de agua reducida á vapor cuando se emplea la fuerza expansiva.

308. Esta funcion de n tiene un maximum. Para encontrarle igualemos á cero la diferencial relativa á n , y tendrémos

$$n = \frac{f}{f'+F}.$$

Sustituyendo este valor de n tendrémos, por la espresion de la mayor fuerza dinámica que puede dar el vapor producido por un decimetro cúbico de agua,

$$475(273+t)w \times \log \text{ hip. } \left(\frac{f}{f'+F} \right).$$

Si no se quiere emplear una tabla de logaritmos hiperbólicos, se hallará el resultado multiplicando por 2,302585 el logaritmo de $\frac{f}{f'+F}$ tomado en las tablas ordinarias, lo cual dará el logaritmo hiperbólico correspondiente.

309. En las máquinas mejor construidas la pérdida de vapor no es menos de un décimo; podemos pues suponer $w=1-0,1=0,9$. Entonces la fórmula anterior es

$$427,5(273+t) \times \log \text{ hip. } \left(\frac{f}{f'+F} \right).$$

310. Suponiendo el mismo valor por ω , tenemos, según el art. 304,

$$427,5(273+t) \times \left[1 - \left(\frac{f'+F}{f} \right) \right]$$

por el mayor efecto dinámico posible del vapor producido por un decimetro cúbico de agua, cuando no se emplea su expansión. Restando estas dos expresiones una de otra, hallamos por la fuerza adicional debida á la expansión del vapor,

$$427,5(273+t) \times \left[\log \text{hip.} \left(\frac{f}{f'+F} \right) - \left(1 - \frac{f'+F}{f} \right) \right].$$

311. Estas fórmulas nos muestran los límites de la potencia dinámica del vapor. Son las mas adecuadas para poner en evidencia las ventajas é inconvenientes de las diferentes temperaturas y fuerzas elásticas, y hacen palpable la economía que resulta de valerse de un vapor cuya fuerza elástica sea grande. Sin embargo nos resta aun aplicarlas á las diversas especies de máquinas (1); y es lo que haremos en las secciones V y VI Pero antes de terminar la esposicion de los principios generales, conviene examinar el movimiento de rotacion producido por el vapor.

Cálculo de la fuerza del vapor para producir un movimiento de rotacion.

312. En un gran número de casos en que se emplea el vapor, se destina á producir un movimiento circular continuo. Se está generalmente en la persuasion de que se ganaria mucho produciendo este movimiento por la accion directa del vapor, en lugar de obtenerlo por otros aparatos intermedios, cuyo objeto es el de convertir el movimiento rectilíneo producido por la accion del vapor en un movimiento circular; pero todos los que han intentado hasta ahora construir una máquina de rotacion inmediata, no han obtenido mas efecto que el que se ob-

(1) He publicado en mi *Tratado sobre los Caminos de hierro*, p. 237, unas tablas calculadas con arreglo á estas fórmulas.

tiene por los medios ordinarios; por esta razon el examen teórico del movimiento de rotacion, es un objeto interesante de investigacion.

313. Concibamos un émbolo DE (lámina XVIII, fig. 2), adaptado á un vaso curvo regular AB, de modo que pueda moverse al rededor de C, centro de la curvatura del vaso. Muévase ahora el émbolo por el vapor á alta presion ó de otra manera; la presion sobre cada centímetro cuadrado del area del émbolo será igual en todas sus partes, es decir, que será la misma en el punto D mas distante del centro del movimiento, que en el punto E mas próximo. Pero pues que el émbolo se ve obligado a moverse circularmente, los efectos de estas presiones iguales estarán en razon de sus distancias al centro. Asi, suponiendo la presion efectiva del vapor en D de 7 hectogramas por centímetro cuadrado, tendremos

$$DC : EC :: 7 : \frac{7 \times EC}{DC}$$

por el efecto en E. Si el centro de curvatura C estuviese mas cerca de las paredes del vaso, el efecto en E sería menor: esta es la razon porque el efecto dinámico de la presion es menor que en un vaso recto que tenga la misma base; y si las bases son iguales, el espacio en que obra la presion estará en la razon de la cantidad de vapor. Por consiguiente, siendo iguales las cantidades de vapor, la fuerza de la máquina de rotacion será menor que la de la máquina de movimiento rectilíneo (1).

314. Si un émbolo rectangular da vueltas al rededor del centro C' se perderá casi la mitad de la fuerza del vapor.

Este ligero examen basta para probar la inutilidad de las tentativas hechas para emplear el movimiento de rotacion del vapor, sin contar las varias objeciones relativas al exceso de rozamiento, y á la dificultad de hacer la máquina con el grado de exactitud que se requiere.

315. Para determinar con mas precision el efecto de las máquinas de rotacion inmediata, hagamos
DE, diámetro del émbolo..... = b,

(1) Véase la nota del artículo 316.

EC, radio del círculo interior..... = r ,
 una parte variable del diámetro del émbolo, contada
 desde E..... = x ,
 la latitud del émbolo..... = y ,
 la fuerza del vapor por centímetro cuadrado..... = f .

De este modo $CD = r + b$, y para determinar la fuerza en cada punto situado á una distancia x del punto E, tenemos la proporcion

$$r + b : r + x :: f : \frac{f(r+x)}{r+b}.$$

La diferencial de la presion en este punto, será pues

$$\frac{fy(r+x)}{r+b} dx.$$

Siendo el espacio descrito $2(r+x)$, la diferencial de la potencia dinámica será

$$\frac{2\pi fy(r+x)^2}{r+b} dx.$$

Suponiendo y constante, la integral de esta espresion es

$$\frac{2\pi fy(r+x)^3}{3(r+b)} + C.$$

Determinaremos la constante arbitraria, suponiendo la fuerza nula cuando $x = 0$, y entonces hallaremos

$$\frac{2\pi fy}{3(r+b)} \times (3r^2x + 3rx^2 + x^3).$$

Este integral se debe tomar hasta $x = b$, y por consiguiente la potencia producida por un émbolo rectangular by , será

$$\frac{2\pi f y b}{r+b} (r^2 + rb + \frac{1}{3} b^2).$$

316. Si el émbolo $D'C'$ da vueltas sobre un eje al rededor del centro C' , entonces $r = 0$, y se tiene por la espresion de la potencia dinámica

$$\frac{2\pi f y b^3}{3}.$$

Pero el espacio ocupado por el vapor es $\pi b(2r+b)y$, y su fuerza ejercida en la direccion rectilínea es $\pi f b(2r+b)y$. Asi la razon del efecto rectilíneo del vapor al efecto circular es de

$$2r + b : \frac{2(r^2 + rb + \frac{1}{3} b^2)}{r+b},$$

;

ó bien

$$2r^2 + 3rb + b^2 : 2(r^2 + rb + \frac{1}{3}b^2).$$

Cuando $r=0$, la razon es de 3 á 2. Asi en el movimiento de rotacion se pierde un tercio de la fuerza, de cualquiera manera que obre el vapor (1).

(1) Si el señor Tredgold se hubiese preguntado á sí mismo, ¿qué se hacia esta fuerza perdida? hubiera dudado probablemente de la exactitud de su conclusion. No hay efectivamente un principio mejor establecido en mecánica que el de la conservacion de las fuerzas vivas, en virtud del cual, en un sistema de cuerpos en movimiento, las cantidades de movimiento perdidas por el uno de ellos son precisamente iguales á las cantidades ganadas por los otros. Mas su conclusion es directamente contraria á este principio, y el origen del error está en que, en lugar de calcular el efecto dinámico del vapor, ha procedido como si se tratase de determinar el valor del momento de impulso; y en efecto se sabe que este momento para fuerzas iguales, obrando uniformemente sobre todos los puntos de un radio, se reduce á los dos tercios de lo que sería si la resultante se aplicase á la estremidad de este radio, proporcion conforme á la que el señor Tredgold asigna, aunque mal á propósito, á la pérdida de efecto dinámico.

Por lo demas, hé aqui como se debe rectificar este cálculo.

La diferencial de la presion en el punto x será $fydx$.

El efecto dinámico correspondiente para una revolucion del émbolo será igual á esta cantidad multiplicada por la longitud del espacio corrido, ó á

$$fydx \times 2\pi(r+x),$$

cuya integral entre los límites $x=0$ y $x=b$ da para el efecto dinámico total

$$F=2\pi fy \left(rb + \frac{b^2}{2} \right).$$

Ahora la diferencial del volumen de vapor consumido á cada revolucion, es para el punto x ,

$$dV=2\pi y(r+x)dx,$$

cuya integral, tomada entre los mismos limites que aqui arriba, dará el volumen total consumido, ó

$$V=2\pi y \left(rb + \frac{b^2}{2} \right).$$

La razon del efecto dinámico al volumen de vapor es

$$\frac{F}{V} = \frac{2\pi fy \left(rb + \frac{b^2}{2} \right)}{2\pi y \left(rb + \frac{b^2}{2} \right)} = f;$$

la cual da

$$F = fV.$$

317. Hemos supuesto las paredes del émbolo rectangulares; pero en algunas máquinas se ha proyectado hacer el émbolo circular. En este caso el valor de $\frac{1}{2}y$ es $\sqrt{bx-x^2}$. Asi la diferencial de la fuerza de rotacion es entonces

$$\frac{4\pi f(r+x)^2 \sqrt{bx-x^2}}{r+b} dx.$$

Esta espresion tiene por integral, entre los límites $x=0, x=b,$

$$2 \times 0,7854\pi f b^2 \times \left(\frac{r^2 + rb + \frac{5}{12} b^2}{r+b} \right).$$

Este resultado es un poco menor que el efecto del émbolo rectangular. Cuando el émbolo D'E' da vueltas al rededor de un eje, la fuerza rectilínea de una cantidad dada de vapor es á la fuerza en una direccion circular, como 3,2 es á 2.

En un émbolo rectangular esta razon era de 3 á 2.

Se ve pues que no es posible emplear el vapor con la misma ventaja en una máquina de rotacion, que en otra de movimiento rectilíneo. Ademas el radio del círculo descrito debe ser muy grande en comparacion del diámetro del émbolo, lo que hace la máquina de difícil ejecucion. Si se da al émbolo otra forma que no sea circular, se aumenta el rozamiento, y se espone una mayor parte de la superficie al enfriamiento producido por la accion de la atmósfera. Estas objeciones contra el uso de las máquinas de rotacion son tan fundamentales, que ningun medio artificial puede destruirlas.

318. Es bastante evidente, para que no haya necesidad de probarlo, que el impulso ó choque del vapor, en lugar de la presion, no puede ser empleado sin una gran pérdida de combustible. Sin embargo debemos hacer mencion de este medio, considerando de una manera general los diversos modos con que se puede aplicar la accion del vapor.

Asi, en las máquinas rotantes el efecto dinámico es independiente de la forma ó de las dimensiones del vaso, y es proporcional á la presion y al volumen del vapor, como en todas las otras máquinas: no puede pues haber en ellas pérdida de efecto bajo este punto de vista. *El traductor francés.*

De los modos de aplicar el vapor.

319. Los diferentes modos de aplicar el vapor se presentarán con mas claridad bajo la forma de una tabla, que no en una descripción seguida. Hemos explicado ya en los artículos 291, 295 y 297, el modo de obtener y valuar las diversas especies de fuerza dinámica por la condensación, por la producción, y por la expansión del vapor.

320. La acción del vapor como fuerza motriz resulta de

}	1. La producción del vapor. (Worcester). 2. La expansión del vapor. (Hornblower). 3. La condensación del vapor. (Savery).
---	---

Estas especies de acción se pueden emplear

{	separadamente { Producción. Condensación. ó juntas. { 1 y 2. 1 y 3. (Savery). 2 y 3. (Hornblower). 1, 2 y 3. (Woolf).
---	---

La acción puede tener lugar { por presión.
 { por impulsión.

Se puede ejercer sobre { un sólido. (Newcomen). } , y puede ser { continua.
 { un fluido. (Worcester). } { sucesiva.

El movimiento de la superficie que recibe la acción, se puede verificar en { línea recta.
 { línea curva.

321. La presión del vapor es el género de acción que se emplea en la práctica, y hemos explicado (art. 317) las razones que hay para dar la preferencia al movimiento rectilíneo. Para emplearlo del modo mas económico, se ha visto que un sólido es mas propio para recibir su acción, porque los fluidos están sujetos á descomponerse por el contacto de un vapor caliente, ó á hacer perder vapor por la condensación. Se ha adoptado la forma cilíndrica como la mas adecuada á este objeto, puesto que presenta la mayor capacidad con la menor superficie, y ocasiona una pérdida menor por el enfriamiento y rozamiento.

La accion es necesariamente sucesiva ó alternativa, á fin de hacer el movimiento rectilíneo; pero todas las especies de accion se emplean ó juntas ó separadas. Con arreglo á esto se pueden clasificar las máquinas.

322. Es preciso advertir que el vapor debe ser ó condensado, ó engendrado bajo una cierta presion, á fin de producir una fuerza por la expansion. Se pueden pues dividir las máquinas en dos clases, segun que se emplee ó no la condensacion.

Clasificacion de las máquinas de vapor.

323. I. Máquinas sin condensacion obrando por { 1. la produccion sola del vapor.
 { 2. la produccion y la expansion.

324. II. Máquinas de condensacion obrando por { 1. la condensacion del vapor.
 { 2. la condensacion y la expansion.
 { 3. la produccion y la condensacion.
 { 4. la produccion, la expansion y la condensacion.

325. Todas las máquinas de la primera clase, y el tercero y cuarto género de las de la segunda, exigen el empleo del vapor de alta presion. Las máquinas de la primera clase son notables por la sencillez de su construccion, pero no aprovechan nunca la potencia total del vapor. Las de la segunda clase exigen una cantidad grande de agua fria para la condensacion del vapor, lo cual hace que en algunos casos sea imposible emplearlas. Las que producen mayor efecto son las máquinas del segundo y cuarto género de la segunda clase, ó mas bien solamente en estos dos géneros se aprovecha toda la potencia del vapor.

326. En cada clase hay ciertas proporciones entre la longitud del curso del émbolo y el diámetro del cilindro, asi como entre la misma longitud del curso y la velocidad, las cuales dan un maximum de efecto útil por una cantidad determinada de vapor. Nos resta considerar estas proporciones, asi como las de las partes adicionales necesarias en las máquinas de condensacion.

De la proporcion entre la longitud del curso del émbolo, y el diámetro del cilindro.

327. Si todas las aberturas, así como las otras partes, están en la proporcion que conviene, y si el movimiento está regularizado de manera que se le pueda mirar como uniforme, no hay ninguna circunstancia relativa al movimiento que pueda tener influencia en las proporciones del cilindro de vapor, á escepcion de la pequeña diferencia que proviene de que el rozamiento no se aumenta exactamente en la razon del cuadrado del diámetro; y esta diferencia es tan corta en las proporciones ordinarias, que podemos despreciarla con toda seguridad.

328. La otra única circunstancia que es necesario considerar en la determinacion de las proporciones del cilindro, es la estension de la superficie á cuyo enfriamiento se espone el vapor durante su accion. Esta superficie debe ser la menor posible, porque la destruccion de fuerza que resulta de ella por la condensacion del vapor es considerable. (Véase el art. 156).

La estension total de esta superficie comprende una de las estremidades del cilindro; una de las bases del émbolo, y la superficie cóncava del cilindro; pero esta última no está puesta en contacto, sino gradualmente, con el vapor, durante el curso del émbolo, y su efecto por consiguiente no es mas que la mitad del que produciría una superficie igual, constantemente en contacto con el vapor. Es así que la potencia de una máquina es la mayor posible, cuando el efecto de una cantidad dada de vapor es también el mayor posible, luego la cuestion consiste en hallar la menor superficie que pueda estar en contacto con el vapor durante el tiempo de su accion.

329. Una cantidad dada de vapor está en contacto con la menor estension posible de superficie, cuando la longitud del curso del émbolo es el duplo del diámetro del cilindro (1).

(1) Sea x el diámetro del cilindro, l su longitud, c su volumen, y $\pi=3,1416$ la razon de la circunferencia al diámetro; se tiene

$$c = \frac{\pi l x^2}{4},$$

Tal es pues la mejor proporcion para el cilindro de una máquina de vapor, escepto cuando el espacio reservado para la máquina obliga á limitar el curso del émbolo

Esta conclusion se aplica tanto á las máquinas atmosféricas, como á las que obran por la presion inmediata del vapor (1).

330. Considerando la práctica de los constructores de las máquinas de vapor, no se halla regla fija para las proporciones del y por consiguiente

$$l = \frac{4c}{\pi x^2}.$$

La suma de las areas de las bases es $\frac{\pi x^2}{2}$, y el area de la mitad de la superficie cóncava es $\frac{\pi l x}{2} = \frac{2c}{x}$. Asi la estension total de las superficies, cuyo contacto debe enfriar el vapor durante su accion, es

$$\frac{\pi x^2}{2} + \frac{2c}{x}.$$

Para que esta superficie sea un *minimum*, es preciso igualar á cero su diferencial, lo cual da la ecuacion

$$\pi x - \frac{2c}{x^2} = 0;$$

de donde

$$x^3 = \frac{2c}{\pi}.$$

Sustituyendo por c su valor, será $2x = l$, conforme á lo que se ha enunciado en el testo.

(1) La idea de determinar la proporcion del cilindro en consideracion á la superficie de menor enfriamiento, parece poco fundada en la práctica; el mismo señor Tredgold no valúa mas que en $\frac{1}{4}$ la pérdida de efecto causada por el enfriamiento (art. 157). Asi cualquiera reduccion que se pudiese obtener en una pérdida tan corta, por cualquiera disposicion de los cilindros, seria, en todo caso, de poca importancia. Son pues otras consideraciones las que deben fijar la relacion entre la longitud y la latitud de los cilindros, y principalmente la de la velocidad que se quiere obtener y la de la facilidad de las comunicaciones del movimiento.

Por otra parte las bases del cálculo parecen inexactas, por cuanto se supone que el enfriamiento á través del émbolo es tan considerable como por los fondos, y no se cuenta con el enfriamiento de la parte de las paredes del cilindro espuestas al vacío; lo cual conduciría entonces á no dar al cilindro mas que una longitud igual á su latitud, ó la mitad de lo que prescribe la regla del texto. *El traductor francés:*

cilindro, cuando no limita nada la longitud del curso del émbolo. Las proporciones seguidas en diferentes épocas por Watt y Boulton varían desde $1\frac{3}{4}:1$, hasta $3:1$; la mas comun es la de $2,7$ á 1 ; y las variaciones no ofrecen ninguna regularidad.

En una tabla dada por Smeaton sobre las proporciones de las máquinas atmosféricas (véase la *Enciclopedia* del doctor Rees, art. *Steam Engine*), la longitud del cilindro varia, con corta diferencia, como la raiz cuadrada de su diámetro: en el punto mas bajo de la escala la tabla empieza por la proporcion de $4:1$; no se esplica por que se ha fijado la proporcion de la raiz quadrada del diámetro. Las proporciones adoptadas por Mauslay son igualmente irregulares; pero se acercan mas á la razon de $2:1$; las de Fenton, Murray y Woosd equivalen con corta diferencia á la de $2\frac{1}{2}:1$. Su objeto parece haber sido hacer la velocidad casi igual en todas las máquinas; tendrémós, pues, que examinar las circunstancias que deben determinar esta velocidad.

Del maximum de efecto útil en las máquinas de vapor.

331. Hay en las máquinas de vapor una cierta velocidad de émbolo que da un maximum de efecto útil. En una máquina ya construida, la velocidad que da el mayor efecto que puede producir la máquina está limitada por las proporciones que se han establecido entre sus partes.

Pero en una máquina que se haya de construir, todas las partes se deben disponer de manera que esten acordes con la velocidad que hace producir á una cantidad dada de vapor el maximum de efecto posible. Estos dos casos son diferentes en extremo; pero aclarando cada uno de ellos con ejemplos, tendré ocasion de manifestar, que no se puede deducir una regla general del examen de ninguna máquina en particular.

Del maximum de efecto en las máquinas regularizadas por un volante.

332. El caso mas sencillo que hay que considerar es cuando la presion del émbolo es la misma durante todo su curso. Pode-

mos suponer el peso del volante, juntamente con la masa de materia contenida en la máquina, proporcionadas de modo que hagan el movimiento con corta diferencia uniforme.

Entonces la mayor velocidad constante que la máquina puede adquirir será igual á la mitad de la que adquiriria un cuerpo grave cayendo de la altura del curso del émbolo (1); y con esta velocidad el trabajo hecho sería nulo: toda la fuerza del vapor se gastaría en mantener la máquina en movimiento con esta velocidad.

(1) Es muy difícil reconocer bajo qué fundamento asimila aqui el señor Tredgold la fuerza del vapor á la del peso en la caída de los graves, pues que la energía de estas dos fuerzas es enteramente diferente, y que la primera varia entre límites muy apartados, mientras que la segunda es casi invariable, y no imprime en el cuerpo sometido á su acción mas que una velocidad muy limitada y siempre relativa á la altura del descenso. Asi es que en las ruedas movidas por el peso del agua, la velocidad extrema no puede pasar del valor

$$V = 4.4 \sqrt{H},$$

y aun este valor es doble del que admite el señor Tredgold.

Por otra parte la velocidad que puede tomar el vapor bajo una presión dada aun segun la fórmula del art. 173, es

$$V = 405 \sqrt{n},$$

designando por n el número de atmósferas equivalente á la presión del vapor.

Tal es tambien la velocidad extrema que puede tomar un cuerpo sometido á la acción del vapor. Se ve que estas velocidades son escesivamente diferentes, y que no se puede concluir nada ni de la una ni de la otra.

Pero la velocidad del émbolo está sometida á otro límite, que depende del tiempo necesario para la salida y para la condensación del vapor. Esta condensación no se hace instantáneamente; de manera que, si el émbolo anduviese muy aprisa, el vapor aun no condensado sería un obstáculo á su marcha, y disminuiria el efecto útil (véase art. 280 y 294). Este es pues el principio que debe arreglar la velocidad de las máquinas, y la experiencia la que la debe determinar. La práctica ha hecho adoptar una velocidad de cerca de 1 metro por segundo para diversas longitudes de cilindro. Se conoce en efecto que esta velocidad debe ser constante para que la condensación pueda efectuarse uniformemente, y esto debe tener lugar en los cilindros largos como en los cortos, á escepción de los casos de pérdida de vapor ó de expansión. Para poder aumentar esta velocidad no habria otro medio mas que el de aumentar los conductos de vapor y el condensador, asi como el volumen de agua de inyección, ó bien hallar un medio de condensación mas rápido que el que está en uso.

El traductor francés.

Es evidente que una velocidad constante no puede ser mayor que la mitad de la de un cuerpo pesado caido de la longitud del curso del émbolo, porque con otra velocidad la masa movida no podria recibir ni comunicar iguales cantidades de movimiento en tiempos iguales, circunstancia esencial á la uniformidad del movimiento de una máquina movida por una fuerza constante.

333. Como con la mayor velocidad posible el efecto útil de una máquina es nulo, y como por otra parte la velocidad sería nula si la resistencia fuese igual á la presion del vapor, debe haber una velocidad intermedia que sea la mas conveniente para hacer obrar la máquina; esta velocidad es la mitad de la mayor velocidad constante (1). Ahora la velocidad que adquiriria un cuerpo grave cayendo de la altura del curso del émbolo es igual á 4,4 veces la raiz cuadrada de esta altura en metros por segundo. Asi la velocidad, que corresponde al maximum de efecto, y que debe ser el cuarto de aquella velocidad, es 1,1 veces la raiz cuadrada de la longitud del curso en metros por segundo, ó 66 veces esta raiz cuadrada en metros por minuto (2).

(1) Sea V la mayor velocidad constante, m la fuerza que la produce, w la masa de materia por cuyo medio se hace uniforme el movimiento, y v otra velocidad cualquiera. En este caso la accion efectiva es $mv - wv^2$; y puesto que $mv = Vw$, tendrémos por la parte que se debe hacer la mayor posible,

$$\frac{mVv - mv^2}{v}$$

Tomando la diferencial de esta funcion de v , é igualándola á cero, resulta

$$V = 2v.$$

(2) Se ve bien que esta conclusion debe ser tan combatida como el principio del artículo anterior que le sirve de base; ademas está apoyada en una hipótesis no menos errónea, como lo es la de que la velocidad correspondiente al *maximum* es igual á la mitad de la velocidad extrema. Si este nuevo principio fuese exacto, se seguiria de él que en los motores por presion, como las ruedas de canales, por ejemplo, la velocidad del *máximum* de efecto sería la mitad de la que produjese la altura de la caida. Mas la teoria concurre de acuerdo con la esperiencia para probar, por el contrario, que el mayor efecto se verifica cuando la velocidad de la rueda es la mas pequeña posible. En fin, este principio, aplicado rigurosamente á la accion del vapor, deberia inducirnos á

334. Asi para las máquinas regularizadas por un volante, si la presión sobre el émbolo es constante durante toda la duración del curso, la mejor velocidad del émbolo es, en metros por minuto, 66 veces la raíz cuadrada de la longitud del curso en metros.

Si el curso, pues, del émbolo es de 0,81 metros, siendo la raíz cuadrada de 0,81, 0,9 la velocidad será $0,9 \times 66 = 59^m,4$ por minuto. Pero no permitiendo la acción de las válvulas esta perfección, es decir, la introducción continua del vapor durante todo el curso, casi todas las máquinas vienen á estar en el caso siguiente.

335. Si el vapor obra por expansión, la velocidad deberá ser menor, porque la presión sobre el émbolo será variable, y el movimiento uniforme que determine el vapor será mas lento.

336. En una máquina en que el vapor obra por expansión, siendo la cantidad de vapor, que da la parte $\frac{1}{n}$ del curso del émbolo, se hallará la velocidad mas conveniente para el émbolo, multiplicando la fracción $\frac{1}{n}$ de la longitud del curso por 0,7 añadido á 2,3 veces el logaritmo de n ; entonces 66 veces la raíz cuadrada del producto será la velocidad en metros por minuto (1).

dar á los émbolos una velocidad igual á

$$\frac{1}{2}V = \frac{1}{2} \times 405 \sqrt{n},$$

lo cual es evidentemente inadmisibile.

Por el contrario, es claro que para todos los motores por presión, el *maximum* de efecto corresponde á la menor velocidad, puesto que la pérdida de efecto útil es igual á la masa del motor, multiplicada por la velocidad que conserva despues de haber obrado; pero en las máquinas de vapor esta pérdida es insensible, á causa de la pequeña masa del motor; tambien se puede, *bajo esta relacion*, aumentar sin inconveniente, y de un modo casi indefinido, la velocidad del émbolo.

Los mismos errores de raciocinio se hallan reproducidos en la demostración del artículo 342 (nota); las reglas que de allí se deducen para las máquinas de subir el agua no parecen menos hipotéticas. *El traductor francés.*

(1) Hemos visto (art. 306) que la potencia expansiva del vapor es

$$pb \times \log \text{hyp.} \left(\frac{b+r}{b} \right).$$

Ejemplo. Supongamos $n=4$, y que la longitud del curso del émbolo sea de $2^m,4$. El logaritmo de n es $0,60206$, tenemos pues

$$0,60206 \times 2,3 + 0,7 = 2,0847,$$

que multiplicado por la cuarta parte de la longitud, ó $0,6$, da $1,2508$. La raíz cuadrada de este número es $1,12$, y multiplicándola por 66 , hallamos por la velocidad 74 metros por minuto, cuando el vapor se intercepta á la cuarta parte del curso.

337. En la construccion ordinaria de las máquinas que no estan destinadas á obrar por expansion, se supone $n=\frac{1}{4}$, y entonces se halla por la velocidad 57 veces la raíz cuadrada de la longitud del curso del émbolo.

En cuanto á las máquinas que obran por expansion á la presion ordinaria de 5 á 6 hectogramas, ó cerca de ellos, por centímetro circular, sobre la válvula de seguridad, la mejor proporcion para interceptar el vapor es de cerca de la mitad del curso del émbolo, y entonces la regla nos da por la velocidad en metros por minuto, 55 veces la raíz cuadrada del curso del émbolo.

338. En las máquinas de simple efecto, regularizadas por un volante, se obtendría la misma razon entre la longitud del curso del émbolo y la velocidad; pero semejantes máquinas no pueden emplearse con ventaja para producir un movimiento continuo.

Añadiendo el efecto primitivo de la presion uniforme, y quitando la resistencia r , que proviene del rozamiento y el vapor no condensado, tendríamos por la potencia real del vapor la espresion

$$pb \left[1 + \log \text{hyp.} \left(\frac{b+x}{b} \right) - r \right].$$

Pero $b+x=l$; la longitud del curso del émbolo es $b=\frac{l}{n}$; asi la espresion es

$$\frac{pl}{n} (1 + \log \text{hyp.} n - r).$$

En las circunstancias ordinarias se supone que $r=0,3$; asi se tendrá por la velocidad en metros por minuto,

$$66 \sqrt{\frac{l}{n} (0,7 + \log \text{hyp.} n)}.$$

Del maximum de efecto útil en las máquinas para levantar el agua.

339. En las máquinas de simple efecto para elevar el agua, tenemos que considerar dos partes muy distintas en el curso del émbolo, que son: el ascenso causado por un contrapeso capaz de levantar rápidamente el émbolo, sin añadir nada materialmente á su carga en el descenso; y la bajada, que nunca podrá ser mas lenta que lo que permite el maximum de efecto útil. En los dos casos hay pérdida de una parte considerable de la potencia del vapor.

340. Es evidente que el émbolo en su ascenso no podrá adquirir mayor velocidad que aquella con que el vapor le puede seguir, ejerciendo sobre él una presión casi equivalente á la presión atmosférica. Cuando las aberturas para el vapor estan dispuestas para el descenso, el ascenso se arregla por el paso del vapor al traves de las mismas aberturas, y si es este el caso, como sucede siempre en la construcción actual de estas máquinas, nuestra investigación debe limitarse al caso del descenso.

341. Considerando solamente el efecto del vapor, el descenso del émbolo se determinaría evidentemente por la condición de obtener de una cantidad dada de vapor el mayor efecto posible. Pero depende tambien de la resistencia del agua, que crece como el cuadrado de la velocidad, y de la disminución de efecto del vapor en razón simple del aumento de la velocidad.

342. Podemos considerar ahora el movimiento como casi uniforme durante la mayor parte del curso del émbolo. Entonces, cuando el vapor obra con toda su presión en la duración total del descenso (1), la velocidad en metros per minuto es 54 veces

(1) Supongamos los brazos de la balanza de igual longitud, siendo unas mismas las aberturas para el vapor, el ascenso y descenso del émbolo se verificarán en tiempos iguales. La mayor velocidad posible V se engendrará cuando la resistencia del agua en las bombas sea igual al contrapeso; y como las fuerzas son iguales en una y otra dirección, si m es la fuerza que produce el movimiento, $\frac{1}{2}m =$ la resistencia á la velocidad V . Siendo la resistencia al movimiento en los tubos en razón del cuadrado de la velocidad, tendrá por expresión en la ve-

la raíz cuadrada de la longitud del curso del émbolo (1).

343. Cuando el vapor obra por expansion, la velocidad puede deducirse de la de una máquina de expansion regularizada por un volante (art. 336 á 338), tomando los 0,8 de esta para la máquina de subir agua.

Asi, suponiendo el curso del émbolo de 2^m,4, y la cantidad de vapor producida el cuarto del curso, hemos hallado (artículo 336) que la velocidad debia ser de 74 metros por minuto; multiplicando este número por 0,8, tendremos 59,2 por la velocidad conveniente en la máquina de subir agua.

En los racionios que preceden me he desentendido de todas aquellas particularidades minuciosas que embarazan el cálculo, sin producir ningun efecto sensible en el resultado.

De las proporciones de las bombas de aire, y de los condensadores para las máquinas de vapor.

344. El agua que se emplea para la produccion del vapor, y y para su condensacion, contiene una grande cantidad de aire,

loquidad v , $\frac{mv^2}{2V^2}$. Asi la potencia efectiva, que es preciso hacerla mayor, se expresa por

$$mv - \frac{mv^2}{V^2}.$$

El *maximum* se verificará cuando la funcion derivada de esta expresion sea nula; asi para determinarla se tendrá la ecuacion $V^2 - 3v^2 = 0$, que dá

$$v = 0,577V.$$

Para determinar V , nótese que el movimiento empieza con un exceso de potencia que se disminuye gradualmente por el acrecentamiento de la resistencia hasta que la velocidad se hace constante, que el area de las aberturas de las válvulas es solamente la mitad del area de la bomba; y que la masa de materia movida es doble del exceso de la fuerza motriz; luego $V = 4,4 \sqrt{\frac{l}{2}}$ y puesto que $v = 0,577V$, se tendrá

$$v = 0,90 \sqrt{l}$$

por la velocidad en metros por segundo. La velocidad por minuto será pues

$$60 \times 0,90 \sqrt{l} = 54 \sqrt{l}.$$

(1) Véase la nota del artículo 333.

y algunas veces ácido carbónico y otros gases. Estos se desprenden cuando el agua entra en ebulicion y se elevan con el vapor, de lo cual resulta que si no se toman algunos medios para sacar el aire cuando el vapor se condensa, el cilindro de una máquina de vapor se llena bien pronto de aire caliente, de modo que entorpece, y al cabo contrapesa la presión del vapor.

345. Para valuar las dimensiones adecuadas de una bomba de aire, es preciso pues conocer primero la cantidad de aire ó de otros gases contenida en el agua.

Se han hecho algunas esperiencias sobre esta materia por el señor Dalton (1), por el doctor Henry, y por el señor de Saussure, y por el doctor Ure. El señor de Saussure (2) sentó que la ebulicion no bastaba para purgar enteramente de aire los líquidos, pero que esto se podia conseguir por la accion combinada del calor y de la máquina pneumática. En una máquina de vapor estas dos causas obran para separar el aire del agua introducida en la máquina. Segun las esperiencias, 100 volúmenes de agua absorven cerca de 5 volúmenes de aire atmosférico. En una esperiencia hecha por el doctor Henry (3) sobre el agua de fuente, ha encontrado que se separaban por la ebulicion 4,74 por 100 de materia gaseosa, de los cuales 3,38 por 100 eran de aire atmosférico y el resto ácido carbónico. Pero como es probable que esta agua estuviese completamente saturada, resulta de las advertencias del señor de Saussure que se hubiera obtenido mayor proporcion de gas, si se hubiese añadido á la accion del calor la de la máquina pneumática, y la cantidad total de materia gaseosa contenida en el agua de fuente no parece que se puede graduar menos de 7 por 100.

Las esperiencias del doctor Ure (4) se hicieron igualmente sometiendo á la ebulicion diferentes especies de agua, y calculando los resultados con el auxilio de la cubeta pneumática. Hé aqui las proporciones de materias gaseosas que ha encontra-

(1) *Magasin philosophique*, vol. XXIV.

(2) *Annals of Philosophy*, 1815, vol. VI, p. 329.

(3) *Chimie de Thomson*, vol. III, p. 204.

(4) *Quarterly Journal of Science*, vol. XXI, p. 71.

do en 100 volúmenes de agua á la temperatura de cerca de 13° centesimales:

Agua de canal (en invierno).....	2,67
Agua de rio filtrada, suministrada á la ciudad de Glasgow por los tubos de la compañía de Cranstonhill..	2,52
Agua de rio filtrada de los conductos de la compañía de las aguas de Glasgow.....	2,50
Agua del rio de Clyde, cuando está crecido por las lluvias del invierno.....	2,80

No se puede suponer que se haya obtenido en estas experiencias la totalidad de las materias gaseosas contenidas en el agua; pero suponiendo que la ebulicion haya separado los dos tercios, la cantidad total varía de 3,75 á 4,2 por 100. Por esta razon podemos asegurar que el agua de canal ó de rio contiene 5 por 100 de aire ó de otros gases, es decir, la vigésima parte de su volumen.

La accion de subir el agua por las bombas parece, segun las investigaciones del doctor Ure, que arroja una porcion de aire del líquido.

346. El artículo que precede nos suministra datos suficientemente exactos para el objeto de nuestras investigaciones, y podemos suponer que á una presion y temperatura medias el agua de rio ó de canal contiene $\frac{1}{20}$ de su volumen de materia gaseosa, y el agua de fuente ó de pozo $\frac{1}{4}$.

347. La cantidad de agua que entra en una máquina de vapor desprenderá casi todo el aire que contiene. Asi calculando el volumen de agua empleada para producir el vapor á cada golpe de émbolo, y añadiendo el del agua empleada para la inyeccion en el mismo tiempo, se tendrá, tomando la vigésima parte, la cantidad de aire introducida á 15°. Pero en el condensador estará este aire á la temperatura de cerca de 50°, y calculando por la fórmula del artículo 119 la dilatacion que experimentará el aire por este aumento de temperatura, se halla que el volumen del aire es 5,6 por 100, ó cerca de $\frac{1}{18}$ del del agua.

348. Supongamos que el agua de inyeccion añadida á la del vapor condensado sea, á cada golpe del émbolo, $\frac{1}{20}$ del volumen del cilindro; entonces un volumen de aire igual á $\frac{1}{18}$ de $\frac{1}{20}$, ó

á $\frac{1}{3}$ del volumen del cilindro, se acumulará á cada golpe, si no se estrae al mismo tiempo por una bomba de aire. Ahora un metro cúbico de aire se mezcla con un metro cúbico de vapor, cuando los dos fluidos tienen la misma fuerza y la misma temperatura (art. 122). Asi este aire debe acumularse y llenar la mitad de la capacidad del condensador, despues de un pequeño número de golpes: la capacidad de la bomba de aire debe pues ser tal que sustraiga á cada golpe $\frac{1}{3}$ de aire y $\frac{1}{3}$ de vapor, en todo $\frac{1}{3}$, suponiendo que el aire sea de tal densidad, que su fuerza elástica sea igual á la del vapor á la temperatura del condensador.

349. Si se admite que la fuerza elástica del vapor no condensado es igual á 5 centímetros de mercurio, y la bomba de aire igual al condensador, entonces debiendo ser el volumen de aire y de vapor, segun lo que se acaba de decir, $\frac{1}{3}$ á la presion de 76 centímetros, y estando el volumen en razon inversa de la presion, tenemos $5:76::\frac{1}{3}:\frac{1}{3}$.

Asi la bomba de aire debe desembarazar la máquina de una cantidad de aire y de vapor equivalente á $\frac{1}{3}$ del volumen del cilindro, y de $\frac{1}{3}$ de su volumen de agua, lo cual hace en todo cerca de $\frac{1}{3}$ del volumen del cilindro á cada golpe de émbolo (1).

(1) Sea $\frac{a}{n}$ el volumen de aire contenido en el agua de inyeccion y en el vapor, t' la temperatura del condensador, y f' la fuerza correspondiente del vapor, siendo f la fuerza en el cilindro; entonces a es el volumen de agua para cada golpe, y el del aire es

$$\frac{fa}{f'n} \left(\frac{273+t'}{288} \right).$$

El condensador debe poder contener estas cantidades, y ademas lo que deja la bomba de aire. Concediendo una mitad por las fugas y por la imperfeccion de la accion de las válvulas, la capacidad del condensador debe ser evidentemente á lo menos igual á

$$\frac{3fa}{f'n} \left(\frac{273+t'}{288} \right) + 2a = 3a \left[\frac{f}{f'n} \left(\frac{273+t'}{288} \right) + 0,67 \right].$$

Cuando la bomba se eleva, el aire se saturará de vapor, y tomará un volumen doble; por consiguiente si la bomba y el condensador le contienen en este estado, serán de dimensiones iguales, y cada golpe de bomba estrairá la cantidad que se requiere. Suponiendo $t' = 38$, $f' = 5$ centímetros, y $f = 76$, te-

350. En una máquina de doble efecto la bomba de aire da solamente un golpe á cada vez que el cilindro se llena de vapor; pero como el condensador recibe una nueva cantidad para reemplazar el que arrebató la bomba, no hay expansion. Así $\frac{1}{15}$ de la capacidad del cilindro de una máquina de doble efecto es la proporción mas pequeña para la bomba de aire, á fin de que la máquina pueda trabajar del mismo modo que una máquina de simple efecto. Se supone en los dos casos que el condensador y la bomba de aire son de igual capacidad para hacer esta proporción aplicable, y se admite además que se emplea el agua de río.

351. Con respecto al agua de pozo, el mismo cálculo da cerca de un doceavo por la razón entre el volumen de la bomba de aire y el del cilindro. La proporción ordinaria en la práctica de Boulton y de Watt es un octavo; y como prescindo de las fugas y de la acción imperfecta de las válvulas, esta proporción parece que es casi correcta para el caso que hemos considerado (1).

352. Hay una cosa muy evidente en esta operación, y es que una bomba de aire de un volumen la mitad menor sería tan eficaz como la construcción actual, si se pudiese condensar en la bomba misma, lo que no considero difícil, como me propongo manifestar (art. 400) con respecto á una máquina simple atmosférica. La ventaja, cualquiera que sea, se percibirá mejor, si valuamos la potencia que exige el movimiento de una bomba de aire.

De la potencia necesaria para la acción de la bomba de aire de una máquina de vapor.

353. Sea v la velocidad en metros por segundo, p' la fuerza necesaria por la capacidad de la bomba de aire ó del condensador,

$$3a \left(\frac{16,4}{n} + 0,67 \right).$$

Si $n = 20$, como en el agua de río, el volumen de la bomba debe ser $4,47a$.

Si $n = 14$, como en el agua de pozo ó fuente, debe ser $5,73a$.

(1) En algunos casos las bombas de aire para las máquinas de doble efecto han tenido un diámetro de $\frac{2}{3}$ del del cilindro, y una longitud de la mitad, lo cual es indudablemente muy considerable.

del vapor en kilogramas por centímetro circular, r el rozamiento del émbolo y de su vástago, y la resistencia de las válvulas, a el diámetro de la bomba de aire en centímetros, en fin $\frac{a^2}{n}$ el area total de las válvulas. La altura capaz de producir la velocidad nv en el paso de las válvulas es (art. 136) $nv = 3,6\sqrt{h}$, y por consiguiente

$$\frac{n^2 v^2}{13} = h.$$

En una mezcla de aire y de vapor, á la fuerza media que se verifica en esta bomba, una altura de 92 mil metros es equivalente á la presión de un kilograma por centímetro circular. Asi la presión en kilogramas es

$$\frac{n^2 v^2}{13 \times 92000} = \frac{n^2 v^2}{1196000}.$$

Sea l la longitud del curso del émbolo; la resistencia á su descenso será

$$ra \cdot l + \frac{n^2 v^2 a \cdot l}{1196000} = a \cdot l \left(r + \frac{n^2 v^2}{1196000} \right).$$

La resistencia al ascenso del émbolo se hallará, considerando que la mezcla de aire y de vapor se comprime hasta que su fuerza elástica excede de tal modo la presión atmosférica, que el fluido se escapa por la válvula con la velocidad correspondiente al movimiento del émbolo. Se debe añadir el rozamiento del émbolo y el peso del agua; y la fuerza del vapor en su estado de expansión se puede considerar como igual á la suma de las fuerzas necesarias para obligarle á pasar al través de las válvulas.

Por el artículo 306 la resistencia de la mezcla de aire y de vapor es

$$pb \times \left(1 + \log \text{hip.} \frac{b+x}{b} \right).$$

Observando que $b+x=l$, tenemos

$$b = \frac{pl}{p'}$$

y por consiguiente la fuerza es

$$lp' \left(1 + \log \text{hip.} \frac{P}{P'} \right).$$

Cuando la presión de la atmósfera $p = 0,81$ kilogramas por centímetro circular, y cuando la fuerza del vapor $p' = 0^{\text{kil.}}, 054$ ó cinco centímetros de mercurio, entonces la presión de la fuerza es

$$lp' \left(1 + \log \text{hip.} \frac{P}{P'} \right) = 0,2l.$$

La cantidad de agua será la sexta parte de la capacidad, ó $0,013l \cdot a$ kilogramas elevados á un metro. Así la fuerza total necesaria para el ascenso del émbolo será

$$a'l(0,2 + 0,013l + r).$$

354. La totalidad de la potencia que exige el trabajo de la bomba es pues

$$\frac{a^2 v}{2} \left(0,2 + 0,013l + \frac{n^2 v^2}{1196000} + 2r \right)$$

kilogramas elevados á un metro por segundo.

Ejemplo. Supongamos la velocidad de $0^{\text{m}}, 54$ por segundo, el diámetro de la bomba de 60 centímetros, la longitud de su curso de $1^{\text{m}}, 2$, el rozamiento de $0^{\text{kil.}}, 15$ por centímetro circular, y la area total de las válvulas la mitad de la de la bomba. Sustituyendo estos números, tenemos

$$\frac{60 \times 60 \times 0,54}{2} \left(0,2 + 0,013 \times 1,2 + \frac{2 \times 2 \times 0,54 \times 0,54}{1196000} + 0,3 \right)$$

$$= 972(0,2 + 0,0156 + 0,00001 + 0,3);$$

lo cual, hecho todo el cálculo, da 501 kilogramas elevados á un metro por segundo. Como 75 kilogramas elevados á un metro por segundo representan la fuerza de un caballo, el resultado que precede equivale á la fuerza de $\frac{501}{75}$ ó de $6\frac{2}{3}$ caballos. La bomba corresponderia á una máquina de doble efecto de la fuerza de cerca de 134 caballos. Así en este caso la bomba exige la vigésima parte de la potencia de la máquina. Seria el décimo si la máquina fuese de simple efecto, con las mismas dimensiones, y la pérdida equivaldria á la fuerza de 13 caballos. Reducir esta pérdida á la mitad por el método propuesto en el artículo 352, es ciertamente un objeto digno de atención.

355. Es importante notar las circunstancias que contribuyen á esta pérdida de fuerza. La pérdida es proporcional á la capacidad de la bomba, y por esta razon la mas pequeña es la mejor, siempre que sea suficiente para estraer el aire. El rozamiento es cerca de tres quintos de la potencia, la resistencia actual del vapor es casi los dos quintos, y la del agua cerca de un treinta y tresavo. La resistencia es tanto mayor cuanto mas pequeños son los pasos y las válvulas; pero semejante acrecentamiento no influye en la potencia de un modo sensible. El acrecentamiento del volumen de la bomba de aire mas allá de las proporciones que he dado, no puede ser ventajoso sino en una máquina mal construida y sujeta á fugas; pero su disminucion debajo de un límite muy aproximado, reduce considerablemente la potencia de la máquina.

SECCION QUINTA.

De la construccion de las máquinas sin condensador.

356. Las máquinas sin condensacion, llamadas comunemente *máquinas de alta presion*, se mueven por el vapor engendrado bajo una presion muy considerable, y el exceso de esta presion sobre la de la atmósfera, es el que constituye su fuerza motriz. El exceso sobre la presion atmosférica empleado ordinariamente en Inglaterra, es de dos á tres kilogramas por centímetro cuadrado.

357. Las partes activas de la máquina consisten en un émbolo y un cilindro, que tienen ciertas aberturas provistas de llaves ó de válvulas para la entrada y salida del vapor, ya sea en la parte superior, ó ya en el fondo. Llenando el émbolo exactamente el interior del cilindro, se mueve de un extremo á otro por la presion del vapor; está fijo á un vástago que atravesando una caja de estopas en la parte superior del cilindro, pone en movimiento un manubrio ú otra pieza adaptada á la máquina.

358. Supongamos que el vapor en la caldera tenga una fuerza de dos kilogramas por centímetro circular, que el émbolo esté en el fondo del cilindro, que la abertura de la caldera en el fondo, y la de fuera en la parte superior esten abiertas, y el resto cerrado; el vapor ejercerá una presion de cerca de dos kilogramas sobre cada centímetro circular del area del émbolo, y determinará su ascenso. Un poco antes que llegue á la cima deben cerrarse las llaves, y en el momento en que llega á ella se deben abrir las otras dos llaves. El vapor que sale de la caldera comprimirá entonces el émbolo de arriba abajo, y el que se habia introducido ya se escapará á la atmósfera. Las aberturas deben aun estar cerradas un poco antes del fin del curso del émbolo, y asi sucesivamente pudiendo continuarse la operacion cuanto se quiera.

359. El cerrar las llaves antes del fin del curso del émbolo, precave ya los choques contra los fondos del cilindro, ya el exceso de presión contra el árbol del manubrio; y cuando la elasticidad del vapor convenientemente dirigido destruye el momento de inercia del émbolo, le empuja hácia atrás sin pérdida de fuerza.

Esto dará al lector una noción general de la acción del vapor en las máquinas sin condensación, y le preparará para entrar en los detalles particulares de su estructura. He dividido estas máquinas en dos géneros, de los cuales hay innumerables variedades, según las formas de construcción.

360. Las máquinas sin condensación obran por

1.º La fuerza primitiva del vapor.....	{	Leupold (art. 12), 1720.
		Watt (art. 26), 1769.
		Trevithick (art. 56), 1802.
		Olivier Evans (art. 58).
2.º La fuerza primitiva y la fuerza expansiva...	{	Evans (art. 58).
		Taylor y Martineau.

361. *Primera especie.* Cuando la potencia de la máquina proviene solamente de la producción del vapor bajo cierta presión, la construcción de las partes que la componen es muy sencilla. La construcción ordinaria está representada en la fig. 1, lám. VI. Con el objeto de que no se pierda más que el menor calor posible por el enfriamiento del cilindro, se coloca este en parte en la caldera generalmente, y el vapor entra y sale por una llave A, colocada allí inmediato y fuera de la caldera, con una válvula de cuello V para regular la entrada del vapor que viene de S. Este se marcha á la atmósfera por un tubo E, que está generalmente rodeado de agua en W, para alimentar la caldera, lo cual surte el efecto de condensar parcialmente el vapor, y de facilitar su salida del cilindro, así como de elevar la temperatura del agua antes que entre en la caldera.

362. Esta construcción es defectuosa en cuanto debe causar una pérdida absoluta del vapor en las partes Ab, At de los tubos de entrada que están situados entre la llave y el cilindro: la gran densidad del vapor de alta presión, hace esta pérdida

de fuerza considerable. Para evitarla se deberian emplear dos llaves sencillas, la una en la parte inferior del cilindro, y la otra en la superior; ó bien las aberturas se pueden abrir y cerrar por un tirador, como se ve en la figura 2: es evidente que por medio de estas disposiciones los espacios entre las llaves y el cilindro se hacen tan pequeños como es posible.

363. Si describimos ahora la accion del vapor y la abertura de los tránsitos, veremos cuáles son los puntos que se han de tomar en consideracion para perfeccionar la accion de la máquina. La figura 1, lámina VI, representa una máquina, cuyo cilindro es C, y P el émbolo que ha llegado á la parte superior, y está pronto á bajar. El movimiento de la llave A podria concluir cuando el curso del émbolo se terminase, pero el vapor se interceptaria, y todos los pasos se cerrarian cuando la llave estuviese medio vuelta. Cuando se cierra con prontitud, empieza á efectuarse bastante antes del fin del curso para producir el retroceso del émbolo, y (art. 359) en el instante de su cambio de movimiento obra el vapor sobre él plenamente. La compresion que experimenta el vapor que se deja en el cilindro cuando se cierra la llave, no solo es un medio para cambiar el movimiento sin pérdida de fuerza, sino que ademas ocupa el espacio que queda al fin del curso, de modo que no exige mas que una pequeña cantidad para llenarlo de nuevo de vapor. El movimiento se podria disponer de tal suerte que las llaves se abriesen á medias, y se cerrasen los pasos, justamente al fin del curso del émbolo; pero es mejor que la llave dé vuelta con rapidez, porque de otro modo no habria acumulacion sensible de vapor para repeler el émbolo, y la fuerza del vapor en la caldera no empezaria á obrar completamente hasta que se hubiese efectuado una parte del curso, de manera que las pérdidas al fin de él serian mas grandes. Asi el mejor método es hacer de manera que el movimiento de la llave se concluya cuando se acabe el curso del émbolo.

364. En la construccion que representa la figura 1.^a á cada curso doble del émbolo hay pérdida de fuerza de todo el vapor contenido en los tránsitos que hay de la llave al cilindro. Se puede evitar este defecto por el uso de un tirador, figura 2 y 3.

El movimiento del tirador se terminaria con el curso del émbolo, como cuando se hace uso de la llave, y en esta construccion la reaccion del vapor comprimido seria mas grande, puesto que tendria menos espacio para colocarse. Las mismas ventajas se pueden obtener por medio de válvulas convenientemente situadas, pero en mi opinion los tiradores y las llaves se adaptan mejor á las máquinas de alta presion.

365. Los métodos para comunicar el movimiento á las llaves, á los tiradores y á las válvulas son muy variados, y dependen principalmente de la naturaleza de la accion á que se destina la máquina. Los mismos medios son aplicables á todas las especies de máquinas, y por esta razon los he descrito simultáneamente en la VII Seccion. La accion del vapor se regulariza ordinariamente por una válvula de cuello, pero mucho mejor por medio de la de Field, art. 547. (Véase la VIII Seccion).

366. *Proporciones de las partes.* La longitud del curso del émbolo no debe bajar, si es posible, del doble de su diámetro, como lo hemos visto en el art. 327. La velocidad en metros por minuto debe ser 57 veces la raiz cuadrada de la longitud del curso en metros (art. 337); y en cuanto al area de los tránsitos para el vapor, debe ser igual á la del cilindro en la misma razon que la velocidad asi hallada es á 732 (art. 154). La fuerza, las proporciones y la construccion de las partes se dan por menor en la Seccion VII, y los métodos de arreglarlas en la VIII.

367. *La potencia de una máquina sin condensacion* se puede calcular con grande exactitud, conocido el esceso de la fuerza elástica del vapor en la caldera sobre la presion atmosférica, tal como la indica el manometro, y conocidos tambien el diámetro del cilindro y la velocidad del émbolo. La presion sobre el émbolo es menor que la fuerza del vapor en la caldera, en las proporciones indicadas por la tabla siguiente, en la cual se toma por unidad aquella fuerza.

Esta disminucion es causada :

1.º Por la fuerza necesaria para la introduccion del vapor en el cilindro (art. 154).....	0,007
2.º Por el enfriamiento en el cilindro y los tubos (art. 158).....	0,016
3.º Por el rozamiento del émbolo, y las fugas ó pérdidas.....	0,200
4.º Por la fuerza necesaria para arrojar el vapor á la atmósfera (art. 154).....	0,007
5.º Por la fuerza perdida al abrir las válvulas, y el rozamiento de las partes de la máquina.....	0,062
6.º Por efecto de que el vapor se intercepta antes del fin del curso (art. 363).....	$\frac{0,100}{0,392}$

lo cual equivale con corta diferencia á 0,4. Asi la presion efectiva es los 0,6 de la fuerza del vapor en la caldera disminuida de la presion atmosférica; de donde se deduce la regla siguiente para calcular la potencia de una máquina de esta especie.

368. *REGLA para las máquinas sin condensacion funcionando á una presion constante.* Multiplíquense los seis décimos del exceso de la fuerza del vapor en la caldera sobre la presion atmosférica, menos la cuatro décimos de esta presion espresada en kilogramas por centímetro circular, por el cuadrado del diámetro del cilindro en centímetros, y por la velocidad del émbolo en metros por minuto. El producto dá la fuerza de la máquina en kilogramas elevados á un metro por minuto (1).

Para valuar esta fuerza en caballos, es preciso dividir el producto por 4500. Ejemplo: supongamos el diámetro del cilindro de 28 centímetros, la longitud del curso del émbolo de 0^m,75, el número de golpes por minuto 33, y la fuerza del vapor en la caldera de 1^{kilog},7 por centímetro circular sobre la presion atmosférica.

(1) Sea d el diámetro del cilindro en centímetros, v la velocidad del émbolo en metros por minuto, y f la fuerza del vapor en la caldera en centímetros de mercurio; entonces la espresion de la potencia en kilogramas elevados á un metro por segundo, será

$$\frac{0,6f - 76}{9,5} \times vd^2.$$

rica. En este caso la velocidad del émbolo es $2 \times 0,75 \times 33 = 49^m,5$ por minuto; y por consiguiente el valor de la potencia de la máquina en kilogramas elevados á un metro por minuto, es

$$(1,7 \times 0,6 - 0,81 \times 0,4) \times 784 \times 49,5 = 27011,$$

lo cual equivale á $\frac{27011}{4500} = 6$ caballos con muy corta diferencia.

369. Si se multiplica el area del cilindro en metros cuadrados por la velocidad de la máquina en metros por minuto, se tendrá el volumen del vapor consumido, cuando es de la misma densidad que el de la caldera. Dividiendo este producto por el volumen del vapor que forma un metro cúbico de agua á la temperatura y presión de la caldera (véase el art. 121, ó las tablas que estan al fin de esta obra), el resultado dará el número de metros cúbicos de agua consumidos por la máquina en un minuto, cuando la cantidad de agua, y por consiguiente la de combustible (art. 190), sean conocidas; pero la cantidad de agua deberá exceder un poco.

370. Los objetos á que se han aplicado las máquinas sin condensacion de esta especie, son los carruages de vapor, la extraccion de los materiales de las minas profundas, y su desagüe en los lugares de difícil acceso; el servicio de los motores en los parages en que no se puede obtener el agua en cantidad suficiente, y en fin diversos usos, á los cuales era tambien aplicable el vapor de baja presión; pero para la mayor parte de estos objetos, este género de máquinas es inferior al que nos resta que considerar; la única ventaja que le es peculiar es la uniformidad de la fuerza motriz á cada instante del curso del émbolo, circunstancia que en algunos casos es de desear, y en otros es nociva.

De las máquinas sin condensacion obrando por expansion.

371. *Segunda especie.* La sola modificación necesaria en una máquina sin condensacion para permitir el aprovechamiento de la fuerza expansiva del vapor, consiste en la disposición para abrir y cerrar las comunicaciones del vapor. Este debe llegar de la caldera solamente durante una parte del curso del émbolo, y entonces se debe interceptar la comunicacion al paso que la des-

tinada para la salida del vapor debe quedar abierta todo el tiempo del curso. Cuando la comunicacion de la caldera está cerrada, el vapor obra por expansion, y la potencia que resulta se añade en su totalidad á la que se obtiene en las máquinas de la especie anterior, de lo que resulta la economía que presenta este sistema.

372. La cuestion mas importante consiste en determinar á qué punto de la longitud del curso del émbolo se debe interceptar el vapor, á fin de obtener de una cantidad dada de vapor el mayor efecto útil posible; porque entonces una cantidad dada de combustible produce el efecto de *maximum*. Hemos visto que la resistencia que proviene del rozamiento y de otras diversas causas es, si no exactamente, á lo menos con corta diferencia, 0,4 de la fuerza total del vapor en la caldera (art. 367). Es evidente que cuando el vapor se dilata hasta el punto en que su exceso de fuerza llega á ser igual á aquella resistencia, la expansion no puede ya producir efecto, y que si la expansion pasa de este límite, debe haber una pérdida cierta de fuerza. Si se toma pues por unidad el volumen del cilindro, estando la fuerza del vapor en razon inversa del espacio que ocupa, se tendrá esta proporcion; como la fuerza total del vapor en la caldera es á 1, asi la fuerza total sobre el émbolo, cuando es exactamente igual al rozamiento, es á la parte del curso en el punto en que se intercepta el vapor (1). Por ejemplo, supongamos que la fuerza total del vapor en la caldera es 304 centímetros de mercurio, siendo la presion atmosférica de 76, la resistencia es $304 \times 0,4 = 121 =$ al número de centímetros equivalente al rozamiento, y $76 + 121 = 197$, es la fuerza total sobre el émbolo; por consiguiente,

$$304 : 197 :: 1 : 0,65 = \frac{1}{1,54} =$$

(1) Sea f la fuerza en la caldera en centímetros de mercurio, y $\frac{1}{n}$ la parte del curso del émbolo que se ha recorrido antes de la separacion del vapor; entonces la expansion es

$$n = \frac{f}{0,4f + 76}$$

á la parte del curso que debe haber hecho el émbolo antes que se intercepte el vapor, cuando su fuerza en la caldera es de 304 centímetros, ó de 228 centímetros sobre la presión atmosférica.

373. El exceso de fuerza en la caldera debe ser cerca de los cuatro décimos de la presión atmosférica, ó de 30 centímetros de mercurio, para que el movimiento pueda tener lugar con la velocidad conveniente; pero siendo el rozamiento absoluto solamente la mitad de esta fuerza, la máquina puede empezar á moverse con exceso de presión de cerca de 15 centímetros.

374. El modo mas comun de interceptar la comunicacion entre el cilindro y la caldera al tiempo conveniente del curso del émbolo, es dar al regulador de corredera dos movimientos: el primero intercepta el vapor, y el segundo lleva el regulador sobre la estremidad opuesta, abriendo la otra á la atmósfera. Esta construccion está representada en la lám. VI, fig. 4.^a, en donde se ve la posición del regulador cuando el vapor está interceptado al primer movimiento. Tal es el principio seguido por los señores Taylor y Martineau; pero colocan el eje del cilindro horizontalmente, y construyen los émbolos, asi como el regulador, de un modo algo diferente.

Un émbolo de vástago horizontal jamás funciona bien, y el exceso de gasto que ocasiona al armazon de la máquina de cilindro vertical, rara vez es mas oneroso que aquel defecto; sin embargo en los distritos montuosos, en que las minas son de difícil acceso, un cilindro horizontal tiene la ventaja de poderse fijar muy fácilmente (1).

375. La fuerza de una máquina de este género se debe metodizar cambiando la duración de la introducción del vapor; esta fuerza puede variar desde la presión entera y constante, durante todo el curso, hasta la que se obtiene interceptando el vapor en el punto determinado anteriormente. Lo que proporcionará mayor ventaja será el detener la introducción en un punto medio entre el que produce el *maximum* de efecto, y el

(1) Belidor espone un procedimiento de construcción para el émbolo de un cilindro horizontal por medio de la adición de rodillos de rozamiento (*Architect. hydraulique*, vol. II, pág. 240).

que corresponde á la mayor fuerza necesaria para el trabajo; porque hay pérdida de potencia cuando se intercepta el vapor antes de lo que indica la regla, sobre todo cuando se ha calculado el verdadero valor del rozamiento. En cuanto á los medios de poner en movimiento los reguladores, véase el art. 478.

Olivier Evans hizo una tentativa muy tosca para valuar la ventaja de interceptar el vapor en las máquinas de alta presión, y reclama este principio como de su pertenencia; pero la máquina que describe no está dispuesta á este efecto, se sirve de válvulas para los tránsitos del vapor (1). Una objecion grave contra el uso de las válvulas que pasan de cierta dimension es la dificultad de abrirlas.

376. Se pueden calcular las proporciones de las partes para las máquinas de expansion por las mismas reglas que las dadas (art. 366) para las máquinas de llena presión, á escepcion de que la velocidad se debe determinar por la regla del art. 36.

377. Para determinar la potencia de una máquina sin condensador trabajando por expansion, conviene valuar primero la presión media efectiva que se verifica sobre el émbolo, á fin de deducir de ella la potencia.

Supongamos que el vapor se intercepte en la parte $\frac{1}{n}$ del curso del émbolo. Añádase 1 á 2,3 veces el logaritmo tabular de n ; dividamos la suma por n , y quitemos 0,4 del cociente; multiplicando el resto por la fuerza total del vapor en la caldera en kilogramas por centímetro circular, y quitando 0,81 del producto para la presión de la atmósfera, el resultado es la presión media efectiva del vapor sobre el émbolo en kilogramas por centímetro circular (2). Para deducir de aqui la potencia, es preciso multiplicar esta presión por el cuadrado del diámetro del émbolo

(1) *Steam engineer's Guide*, p. XXX y LXVII. Philadelphie, sin fecha.

(2) Haciendo $b+x=l$ y $b=\frac{l}{n}$, tenemos por la presión (art. 306)

$$pb \left(1 + \log \text{hip.} \frac{b+x}{b} \right) = \frac{pl}{n} (1 + \log \text{hip.} n.)$$

Por consiguiente, la potencia de un cilindro que tenga d centímetros de

en centímetros, y por la velocidad en metros por minuto. El producto espresa el número de kilogramas elevados á un metro por minuto.

Esta potencia se reduce á fuerzas de caballos dividiéndola por 4500.

378. *Ejemplo.* Supongamos que en una máquina que trabaja por expansion, se intercepte el vapor á la parte $\frac{1}{1,5}$ del curso del émbolo, teniendo el cilindro 30 centímetros de diámetro, siendo la velocidad del émbolo de 48 metros por minuto, y la fuerza total del vapor en la caldera de 305 centímetros de mercurio, ó de 3^{kil.}25 por centímetro circular.

$$2,3 \times \log 1,5 = 0,405$$

Añadiendo 1, y dividiendo por 1,5..... 0,936

Quitando 0,4, se tiene..... 0,536

Multiplicando por la presion del vapor, ó 3,25

se tiene..... 1,742.

Quitando 0,81 por la resistencia de la atmósfera, la presion media efectiva sobre el émbolo es 0,932. El cuadrado del diámetro es

$$30 \times 30 = 900.$$

diámetro, y una velocidad de v metros por minuto, es

$$\frac{pvd^2}{n} (1 + \log \text{hip. } n) - \text{el rozamiento y la resistencia de la atmósfera.}$$

Estas dos resistencias tienen el valor de $0,4pvd^2 + 0,81vd^2$; luego la potencia valuada en kilogramas elevados á un metro por minuto es

$$vd^2 \left[p \left(\frac{1 + \log \text{hip. } n}{n} - 0,4 \right) - 0,81 \right].$$

El logaritmo hiperbólico de n es igual á 2,30285 veces su logaritmo tabular, de donde resulta la regla enunciada en el testo.

Cuando n se determina por la regla del art. 372, la fórmula se reduce á la espresion mas simple.

$$\frac{vd^2 p}{n} \times \log \text{hip. } n,$$

y el valor de n es

$$n = \frac{p}{0,4p + 0,81}$$

Multiplicando por la velocidad 48 se tiene 43200.
Este producto multiplicado por la presión hallada 0,932 da por la potencia

40262 kilogramas elevados á 1 metro por minuto.
Dividiendo este número por 4500, se encuentra que esta potencia equivale á 8,95 caballos.

379. Cuando la introducción del vapor se detiene á la parte $\frac{1}{n}$ del curso del émbolo, la cantidad de metros cúbicos de vapor consumidos por minuto se obtiene multiplicando el área del cilindro en metros cuadrados por la velocidad en metros por minuto, aumentada en un décimo, y dividiendo el producto por n . Si se divide este resultado por el volumen que ocupa 1 metro cúbico de agua reducido á vapor de la fuerza del de la caldera (vease el art. 121 ó las tablas del fin de la obra), el cociente será la cantidad de agua que la máquina exige por minuto, de donde se deducirá la cantidad de calor equivalente por la regla del artículo 190. El gasto de agua alimenticia y la potencia vaporizante de la caldera deberian ser n veces esta cantidad; entonces la máquina podría trabajar, ya sea á presión llena, ó ya por expansión, según se necesitase.

380. En una máquina de expansión la fuerza motriz varía, desde la presión total hasta cero, mientras la duración del curso del émbolo. Esta variación se desea en algunos casos, porque el movimiento del émbolo no es tan acelerado hacia la estremidad de su curso. Esto puede ser útil para algunos de los objetos á que se aplica la fuerza del vapor; y cuando no se puede procurar el agua fácilmente, esta especie de máquina es la más económica.

381. *Máquinas de expansión de dos cilindros.* Una máquina sin condensación se puede construir para trabajar por expansión, por medio de un cilindro doble, según el método de Hornblower (art. 32). En la fig. 5, lám. VI C es el cilindro para el vapor no dilatado, y B el en que obra por expansión. El vapor llega á S de la caldera, y pasando por el conducto t á la parte superior del cilindro pequeño, empuja el émbolo. El vapor, que estaba antes en el cilindro C, pasa al través de b , y subiendo por

el tubo e , entra en el gran cilindro B en a , y por su fuerza expansiva obliga al émbolo á descender. El vapor dilatado debajo del émbolo se escapa á la atmósfera por el paso c , y al través de d . Cuando los émbolos en el paso del vapor llegan llevados por sus vástagos gh , á los lados opuestos de las aberturas de los cilindros, las presiones se ejercen en sentido opuesto, y el vapor dilatado se escapa á la atmósfera por el paso a al través de la abertura f . Esta construcción para obtener el movimiento de los dos émbolos en la misma dirección no es muy complicada; pero evidentemente se podría llegar al mismo fin con un solo regulador, cuyos émbolos tuviesen movimientos contrarios, y entonces el eje de su movimiento se colocaría entre ellos.

Ahora tenemos que considerar el efecto de este método de aplicar el vapor.

382. Sean $0,385f$ la fuerza por centímetro circular sobre el émbolo pequeño, y a su area, l la longitud de su curso; sean igualmente ma el area del émbolo grande, y nl la longitud de su curso; entonces á una parte x del descenso del émbolo en el cilindro pequeño, corresponderá otra parte nx del descenso en el grande. Siendo la el espacio primitivo ocupado por el vapor, y estando su presión en razón inversa de su volumen, la fuerza elástica del vapor, repartida entre los dos émbolos, se determinará por la proporción

$$(l-x)a + mnax : la :: f : \frac{fl}{l-x+mnx}.$$

Si $0,385f'$ es la resistencia que proviene del rozamiento, de la pérdida de fuerza y de la resistencia de la atmósfera, tendremos por las fuerzas de los dos cilindros

$$0,385fa \left[1 - \frac{l}{l+(mn-1)x} + \frac{ml}{l+(mn-1)x} \right] - 0,385maf'.$$

La diferencial de la potencia mecánica es

$$0,385fa \left[dx + (mn-1)l \frac{dx}{l+(mn-1)x} \right] - 0,385mnaf' dx,$$

cuya integral es, al límite $x=0$,

$$0,385fa \left[x+l \log \text{hip.} \frac{l+(mn-1)x}{l} \right] - 0,385mnaf' x.$$

:

Quando $x=l$, esta espresion es

$$0,385fal(1 + \log \text{hip. } mn) - 0,385mnaf'l.$$

Simplificando, se tiene definitivamente por la potencia que se busca

$$0,385fal\left(1 + \log \text{hip. } mn - \frac{mnf'}{f}\right).$$

383. La razon entre el volumen del cilindro grande y el pequeño depende del valor total del rozamiento y de la pérdida de fuerza. En el cilindro pequeño la pérdida debe ser la misma que en el cilindro de una máquina trabajando á presion llena, pérdida que, segun nuestras investigaciones, parece que asciende á 0,4 de la fuerza del vapor en la caldera (art. 367). En el segundo cilindro, el rozamiento del émbolo, el enfriamiento y el exceso de la fuerza necesaria para arrojar el vapor á la atmósfera, equivalen juntos á

$$0,016 + 0,2 + 0,007,$$

es decir, á 0,223 de la fuerza restante. Asi,

$$0,223 \times 0,6 + 0,4 = 0,5338$$

es la pérdida total en los dos cilindros. Tenemos pues para determinar el volúmen del cilindro grande, tomando por unidad el del pequeño, la proporcion

$$0,5338f + 76 : f :: 1 : mn = \frac{f}{0,5338f + 76}.$$

Si $f = 305$ centímetros, será

$$\frac{f}{0,5338f + 76} = 1,28.$$

Asi en este caso el volumen del cilindro grande debe ser 1,28 veces el del pequeño. En todos los casos el valor de mn deber ser menor que el de n en la nota del art. 377. Puesto que $0,5338f + 76 = f'$, tenemos, con arreglo á la fórmula del artículo precedente, á causa de ser $mn = \frac{f}{f'}$,

$$\begin{aligned} & 0,385fd \cdot V \left(1 + \log \text{hip. } mn - \frac{mnf'}{f} \right) \\ & = 0,385fd \cdot V \times \log \text{hip. } \frac{f}{0,5338f + 76} \end{aligned}$$

por la potencia del vapor, cuando la velocidad del émbolo pe-

queño es de V metros por minuto, su diámetro de d centímetros, y la fuerza total del vapor en la caldera f centímetros de mercurio.

Por consiguiente la potencia es menor en una máquina de dos cilindros, que en la de uno, en la proporción del logaritmo hiperbólico de

$$\frac{f}{0,5338f+76} \text{ al de } \frac{f}{0,4f+76} \quad (1).$$

Una disminución de potencia y una disposición más complicada hacen la máquina de doble cilindro inferior, bajo todos aspectos, á la otra, á escepción de que la fuerza es más igual en aquella que no en la máquina de cilindro simple.

384. *De la presión más conveniente para el vapor en las máquinas sin condensación.* Las circunstancias que determinan la elección de la presión del vapor son casi enteramente de una naturaleza práctica. Considerando la producción misma del vapor, se necesitará mayor cantidad de combustible para producir el vapor á grande presión, y la operación llevará consigo mayor pérdida de calor; así, bajo este aspecto la presión más débil es la mejor. Pero en las máquinas sin condensación, el vapor debe obrar en oposición con la presión de la atmósfera, y perder mucho de su efecto: así cuanto mayor sea el exceso de su fuerza elás-

(1) Esta disminución sería fuera de esto muy considerable, y aunque aumenta poco en las presiones altas, nunca podrá ser menor que la razón

$$\frac{\log \frac{1}{0,4}}{\log \frac{1}{0,5338}} = 1,46.$$

Tomando por ejemplo la presión de tres atmósferas empleadas ordinariamente en las máquinas de dos cilindros, se tendrá $f = 228$ centímetros,

y

$$\frac{\log \left(\frac{228}{0,4 \times 228 + 76} \right)}{\log \left(\frac{228}{0,5338 \times 228 + 76} \right)} = 2,176.$$

Así el efecto se reduciría á $\frac{1}{2,176}$, ó 0,46 de la máquina de un cilindro. Este cálculo será tal vez exagerado; pero es preciso recordar que se trata de máquinas sin condensador. *El traductor francés.*

tica sobre la presión atmosférica, tanto mas grande será el efecto de una cantidad dada de vapor, en proporción de esta pérdida. Por otra parte, cuando la fuerza del vapor es considerable hay mucho menoscabo por las fugas (1), lo que junto con el acrecentamiento del gasto en el combustible tiende á contrapesar la ventaja del aumento de presión. Considerando estas circunstancias, y además el riesgo de una presión demasiado alta, me parece que el vapor de la fuerza de 4, ó 5 atmósferas es con corta diferencia el mas conveniente para estas máquinas.

(1) La proporción de acrecentamiento de la pérdida por las fugas se puede calcular, porque depende de la bondad de la ejecución de la obra y de la fuerza que tiende á separar las partes de la máquina. Hoy un buen constructor puede ajustar las partes de manera que bajo la presión de una atmósfera no se pueda formar una abertura continua de mas de $\frac{1}{1000}$ de centímetro de ancho. Entonces, si f es la fuerza del vapor en centímetros de mercurio, y d el diámetro del cilindro en centímetros, el grandor de la juntura formada por el vapor será en centímetros cuadrados

$$\frac{\pi df}{2000 \times 76} = \frac{3,1416df}{152000}$$

La velocidad de la evacuación del vapor será

$$3,6 \sqrt{47,5(273+t)} \text{ en metros por segundo (art. 136),}$$

ó bien

$$25 \sqrt{273+t}.$$

Por consiguiente, la cantidad de vapor perdido por segundo será

$$\frac{3,1416df \sqrt{273+t}}{6080}.$$

Si v es la velocidad del émbolo en metros por segundo, la cantidad de vapor necesaria en el mismo tiempo será

$$\frac{\pi d^2 v}{4} = 0,7854 d^2 v.$$

Así, tomándola por unidad, la pérdida de las fugas será

$$\frac{3,1416df \sqrt{273+t}}{0,7854 d^2 v \times 6080} = \frac{f \sqrt{273+t}}{1520 d v}.$$

Suponiendo $v=1^m, 2; d=25$ centímetros, $f=343$ centímetros, y $t=150^\circ$, esta fórmula da cerca de un sexto por la pérdida del vapor, que proviene de las fugas al rededor del émbolo.

SECCION SESTA.

De la construccion de las máquinas de condensacion.

385. El caracter distintivo de esta clase de máquinas es que el vapor se condensa en ellas en el estado líquido. La fuerza motriz es poco mas ó menos equivalente á la fuerza del vapor en la caldera, y obra, por la diferencia del volumen, en el estado de vapor, y en el estado líquido. El método de construccion que se adopta hace mayor ó menor el efecto útil: voy á tratar de esponer brevemente los principios generales, y pasaré despues á los pormenores particulares.

386. Las partes esenciales de una *máquina de condensacion de simple efecto* consisten en un cilindro con una abertura en su parte superior para dar entrada al vapor, y otra en la inferior para transmitir este vapor á otro cilindro llamado *condensador*. Este se comunica por debajo con una bomba de aire, y ambos estan sumergidos en un reservatorio de agua fria, de la cual puede saltar un chorro al condensador. En el cilindro se mueve un émbolo, cuyo vástago pasa á una caja de estopas colocada en la parte superior del cilindro. Concibamos que este émbolo esté provisto de una válvula que se abra cuando él llegue á la parte inferior de su curso, y permita asi al vapor que se halla encima pasar abajo. Sentado esto deténgase el chorro de agua fria, llénese el cilindro y el condensador del vapor que viene de la caldera, y el contrapeso suspendido en el otro extremo de la balanza levantará el émbolo hácia la parte superior del cilindro. Si se establece la comunicacion entre la caldera y el cilindro, y se hace llegar un chorro de agua fria al condensador, casi todo el vapor que se halla en este último, y en el cilindro debajo del émbolo, se liquidará; y siendo la presion del vapor en la parte superior la misma que en la caldera, mientras que en la parte inferior esta presion es muy debil, el émbolo se halla impelido por dos fuerzas muy desiguales, y es capaz de levantar un peso

igual á la diferencia, y que se hallase suspendido á la otra estremidad de la balanza.

Cuando el émbolo llega hácia la parte inferior del cilindro, se cierra la comunicacion con el condensador, y se abre la válvula del émbolo; el vapor que se halla encima pasa abajo mientras que el émbolo sube por efecto del contrapeso; cuando llega á lo alto de su curso, se cierra su válvula, se abre la del condensador, el émbolo vuelve á comenzar el mismo movimiento, y continúa así sucesivamente.

Pero como á cada golpe se emplea una cantidad de agua bastante considerable, y esta agua encierra mucho aire, el condensador se llenaria bien pronto de agua y de aire, y la máquina no tardaria en pararse: para remediar esto se adapta al condensador una *bomba de aire*, cuyo émbolo movido por la balanza da el mismo número de golpes que el émbolo del cilindro grande, y estrahe el agua y el aire que se hallan en el condensador.

387. La máquina *atmosférica* de condensador difiere de esta de que acabamos de hablar en que el vapor entra y sale por las aberturas colocadas en la parte inferior, y que el descenso del émbolo se verifica por la presion atmosférica que se ejerce sobre su superficie superior, ó la que está espuesta al aire.

388. En las máquinas atmosféricas construidas antes que Watt hubiese pensado en hacer la condensacion en un vaso separado, la inyeccion del agua fria se hacia á cada golpe en el cilindro mismo, lo cual obligaba á calentar y enfriar á cada vez el cilindro, y ocasionaba un gasto considerable de vapor y agua fria. El aumento de un condensador separado es la perfeccion mas útil de Watt; despues de esto lo mas importante es su máquina de doble efecto. La economía y aumento de fuerza que resultan de estas mejoras no se pueden apreciar bien sino por los que conocen á fondo el uso de las máquinas: solo estos pueden determinar de un modo conveniente el mérito de esta invencion, y con arreglo á su juicio se debe formar definitivamente la opinion del público.

389. La máquina de doble efecto se parece en sus disposiciones generales, á la máquina de simple efecto descrita en el artículo 386; difiere de ella en que la caldera y el condensador

se comunican una y otra con la parte superior é inferior del cilindro. Esta disposicion hace inutil el contrapeso, y dispensa de hacer pasar el vapor de la parte superior á la inferior del émbolo; la fuerza del vapor es la que hace mover sucesivamente el émbolo en las dos direcciones. Comparada con una máquina de simple efecto de la misma dimension, la máquina de que hablamos consume dos veces tanto vapor, y produce un efecto doble en el mismo tiempo.

390. En cada una de estas dos especies de máquinas el vapor puede obrar por expansion, ya sea que la presion se ejerza por medio del aire atmosférico, ya directamente por el vapor. Pero se puede hacer la fuerza mas uniforme sirviéndose de dos cilindros de diferente tamaño. El vapor obra primero con toda su fuerza, durante todo el curso, en el mas pequeño de los dos cilindros, y se dilata despues en el segundo á medida que el émbolo anda, de manera que la intensidad de la presion es variable; pero como las fuerzas reunidas de los dos émbolos forman la fuerza motriz total, esta nunca es menor que la presion del vapor sobre el émbolo pequeño. Esta combinacion ha sido inventada por Hornblower (art. 32). Estas máquinas de vapor pueden ser de simple ó doble efecto; pero en uno y otro caso son de una construccion bastante complicada.

391. Vamos ahora á clasificar estas máquinas, y á indicar las proporciones que convienen á cada caso particular.

SEGUNDA CLASE. — *Máquinas de vapor de condensacion.*

I. Por condensacion.	{ 1. Presion atmosférica. 2. Presion directa del vapor.	{ á simple efecto. á doble efecto.	Newcomen, 1705.	Watt, 1769.	Watt, 1782.
II. Por condensacion y expansion.	{ 1. Presion atmosférica. 2. Presion directa del vapor.	{ á simple efecto. á doble efecto. á 2 cilindros.		Watt, 1782.	Watt, 1782.
					Hornblower, 1781.
III. Por produccion y condensacion.					
IV. Por produccion, expansion y condensacion.	{ á simple efecto. á doble efecto.	{ Mecánicos de Cornouailles, sobre el sistema de Watt. Woolf, 1804. Mecánicos de Cornouailles, sobre el sistema de Watt. Woolf, 1804.			

De la construccion de las máquinas que obran por condensacion.

392. Se distinguen dos géneros de máquinas en las cuales el vapor obra solamente por condensacion: en las unas la fuerza motriz es la presion atmosférica, y en las otras es la presion directa el vapor. El primer género se puede dividir en aquellas en que la condensacion se hace en el cilindro, y las que tienen un condensador separado; y el segundo género en máquinas de simple y doble efecto.

Máquinas atmosféricas.

393. *Máquinas atmosféricas ordinarias.* En las máquinas atmosféricas, tales como se construyen generalmente, la condensacion se ejecuta en el cilindro. En este caso el aparato consiste en un cilindro C, lám. VIII, fig. 1, cerrado por abajo y abierto por arriba, con un émbolo y un conducto S que sirve para el paso del vapor de la caldera á la parte inferior del cilindro, y que está provisto de una válvula V, ó de una llave. Hay ademas otro tubo DI para introducir en el cilindro en I el agua de inyeccion destinada á condensar el vapor; este tubo está guarnecido de una llave D. Otro tubo E sirve de descarga para dar salida al agua de inyeccion, y está provisto de una chapaleta ó válvula pequeña F, que impide la vuelta de ella. En fin, una válvula G da salida al aire contenido en él agua. El mecanismo para abrir y cerrar las válvulas está enlazado con la balanza de la máquina. Se hace que caiga constantemente un hilo delgado de agua sobre el émbolo, para humedecer la guarnicion y hacerla impermeable al vapor.

394. El movimiento de la máquina es simple; la balanza está equilibrada de tal suerte, que cuando se introduce el vapor debajo del émbolo por la válvula V, se levanta este hasta lo alto del cilindro; entonces se cierra la válvula del vapor, se abre la llave de inyeccion D, y hace saltar un chorro de agua fría en I, que condensa el vapor, y destruye casi enteramente su fuerza elástica. El agua de condensacion se escapa por el tubo E y la vál-

vula F. No estando ya contrapesada la presión atmosférica sobre el émbolo, le obliga á bajar; cuando llega á la parte mas baja de su curso, esple por la válvula G el aire que se ha desprendido del agua.

La válvula de vapor y la llave de inyección se ponen en movimiento por medio de unos camones fijos á una palanca movable que la balanza hace mover. Se debe cerrar la válvula y abrir la llave de inyección en el instante en que el émbolo llega al término de su curso, y el intervalo de cerrar la llave se debe arreglar según la potencia que ha de producir la máquina. La válvula de vapor se debe abrir al momento que se levante el émbolo.

395. *Proporciones de las diferentes partes.* La longitud del cilindro debe ser doble del diámetro (art. 329); la velocidad en metros por minuto se espresará por 54 veces la raíz cuadrada de la longitud del curso (art. 342). Suponiendo que la máquina se emplea en elevar el agua, el área de los tránsitos del vapor se obtendrá estableciendo esta proporción: 1464 es á la velocidad en metros por minuto, como el área del cilindro es al área del tránsito del vapor (art. 154). La temperatura de condensación que produce el mayor efecto útil se obtendrá por la regla del artículo 166. Si se multiplica el área del cilindro valuada en decímetros por la mitad de la velocidad por minuto, también en decímetros, y el producto por 1,23, añadido á 0,43 dividido por el diámetro (art. 163), el resultado dividido por 1480, da el número de decímetros cúbicos ó de litros de agua necesaria para el vapor por minuto. Si de 660 se deduce la temperatura de la condensación, y se divide el resultado por la diferencia entre la temperatura del agua fría y la de condensación, el cociente indicará la razón de la cantidad de agua requerida para la inyección á la que es necesaria para la formación del vapor (art. 284). En general, será doce veces esta cantidad; pero mas vale quedarse corto que no largo. La abertura de inyección debe ser tal, que la cantidad de agua anterior se introduzca durante el descenso del émbolo, y por consiguiente si se quiere que la inyección sea suficientemente enérgica al principio, la altura del reservatorio deberá ser igual á tres veces la del cilindro. La abertura del surtidor deberá tener la 850ª parte de la superficie del

cilindro; y si es cuadrada, su lado será $\frac{1}{3}$ del diámetro de este. El tubo de conduccion tendrá un diámetro cerca de cuatro veces mayor que el del surtidor.

Medio de determinar la fuerza de una máquina atmosférica.

396. La fuerza motriz es la presión de la atmósfera, de la cual es preciso deducir los rozamientos y la resistencia que opone el vapor no condensado.

La fuerza motriz es la presión de una atmósfera, ó..... 1,00

Las pérdidas de fuerza medidas en fracciones de atmósfera, provienen:

1.º De la tensión del vapor no condensado, cuya temperatura es ordinariamente de casi 70º.	0,33	
2.º De la fuerza para espeler este vapor, así como el aire del cilindro (art. 154).	0,007	
3.º Del rozamiento del émbolo (art. 474).	0,050	
4.º De la fuerza necesaria para abrir y cerrar las válvulas, subir el agua de inyección, y vencer el rozamiento de los ejes.	0,093	
		0,48

La parte de la presión de la atmósfera que representa el efecto útil es de..... 0,52
ó de 0, kil.54 por centímetro cuadrado, ó 0, kil.42 por centímetro circular.

397. REGLA. Para calcular la fuerza de una máquina atmosférica multiplíquense 0,42 por el cuadrado del diámetro del cilindro expresado en centímetros, y el producto por la mitad de la velocidad del émbolo por minuto; el producto será la fuerza efectiva expresada en kilogramas elevados á 1 metro por minuto. Para obtener el número de caballos á que equivale esta fuerza bastará dividir el resultado obtenido por 4500.

Ejemplo. Sea el diámetro del cilindro de 180 centímetros; supongamos además que la longitud del curso sea 2^m,5, y el número de golpes por minuto 10. En este caso la mitad de la velocidad por minuto será

$$10 \times 2,5 = 25.$$

Por consiguiente el número de kilogramas que la máquina podrá elevar á 1 metro de altura por minuto, será

$$0,42 \times 180' \times 25 = 340200,$$

y la fuerza en caballos será

$$\frac{340200}{4500} = 75,6.$$

Este ejemplo está tomado con arreglo á las dimensiones de la máquina de *Chase-Water*, construida sobre los planes de Smeaton (véase el art. 24). La estimacion que hacia de la potencia de aquella máquina difiere de esta, sobre todo, en que aquel empleaba una unidad diferente de fuerza, y tambien en que suponía que la condensacion se verificaba á una temperatura menor de 70°. Para calcular exactamente es preciso en cada caso particular contar con la disminucion de fuerza causada por el vapor no condensado.

398. La máquina se puede arreglar interceptando el vapor antes que el émbolo acabe su curso, y deteniendo tambien la inyeccion mas pronto: en la Seccion VIII se hallarán otros medios de arreglar este movimiento. Cuando se intercepta el vapor, obra por expansion, y entonces el efecto se produce por una cantidad menor de vapor. Se debe subir del reservatorio de agua caliente la agua necesaria para cubrir la parte superior del émbolo, y para alimentar la caldera. Determinando la cantidad de agua necesaria para este último uso en litros por minuto, con arreglo al art. 395, se obtendrá la cantidad de combustible ateniéndose al art. 190, y se determinará la capacidad de la caldera por los artículos 225 ó 229. En el caso de la máquina de *Chase-Water* se tendrá

$$\frac{(1^m,8)' \times 0,7854 \times 10 \times 2,5}{1480} \times \left(1,23 + \frac{0,43}{1,8}\right) = 63,14.$$

El gasto será pues de 63^{lit.},14 por minuto, ó 3^{m.},7884 por hora. Como un kilograma de carbon de piedra craso basta para convertir 7^{lit.},6 de agua en vapor, la cantidad de combustible consumida por hora será

$$\frac{3788,4}{7,6} = 498^{\text{kil.}},5.$$

Será, pues, el gasto por caballo

$$\frac{498,5}{75,6} = 6^{\text{kil.}},6 \text{ por hora.}$$

La caldera puede ser rectangular ó cilíndrica, y la tensión del vapor limitada á 0^{kil.},07 por centímetro circular.

399. Las máquinas atmosféricas se pueden emplear para subir el agua, cuando el carbon de piedra está barato; son fáciles de construir; su accion es muy sencilla, y exige menos cuidados por parte del constructor, que aquellas en que el vapor obra por solo la presion. En pequeñas dimensiones ofrece menos ventaja; asi cuando el cilindro no tiene mas que 6 decímetros de diámetro, el consumo de carbon es considerable en proporcion del efecto que produce. Esta máquina se emplea convenientemente para desaguar las minas de carbon de piedra, y para subir las aguas necesarias al servicio de las ciudades, y para los riegos cuando el combustible no está caro.

Máquinas atmosféricas con condensador separado.

400. En la lám. VIII, fig. 2, se ve cómo estan construidas estas máquinas. C representa el cilindro; P su émbolo. El vapor viene de la caldera por el tubo S, y se introduce en el cilindro en D, despues de haber atravesado el tirador del émbolo B, que en caso necesario sirve para interceptarle. A es la bomba de émbolo lleno destinada á recibir el vapor condensado, el aire y el agua, y para espelerlos. La inyeccion se hace en E por la llave I. F es una llave destinada á la salida de las porciones de aire que pueden reunirse sobre el émbolo P cuando la máquina está en reposo. Para empezar la operacion, el émbolo B debe subir sobre S, y se deja entrar el vapor hasta que todo el aire sea espelido por la válvula Q. Cuando los émbolos del cilindro y de la bomba de aire estan en lo alto de su curso, se cierra el tirador de émbolo B, y se abre la llave de inyeccion; se verifica la condensacion, y bajan los dos émbolos. Durante este primer movimiento debe estar abierta la llave F; pero despues se debe quedar cerrada. Suspendida la inyeccion, y habiendo bajado el émbolo B para cerrar el paso del condensador, se restablece al

mismo tiempo la comunicacion entre la caldera y el cilindro; los émbolos suben de nuevo, y el aire y agua de condensacion son espelidos por la válvula Q. El movimiento se continúa despues por la apertura y cierre sucesivos del regulador y la llave de inyeccion.

401. Se puede arreglar esta máquina cerrando el regulador B á todos los periodos del ascenso del émbolo, y tambien la llave I á cualquier tiempo de su descenso. Como la aplicacion de esta máquina está limitada á la subida del agua, la velocidad en metros por minuto debe ser igual á 54 veces la raiz cuadrada de la longitud del curso (art. 342); la longitud del cilindro será dos veces su diámetro; el area de la abertura que sirve de paso al vapor, será á la seccion del cilindro, como la velocidad en metros por minuto es á 1464 (art. 154). La bomba de aire tendrá $\frac{1}{4}$ de la capacidad del cilindro (art. 349, nota); y si se hace el curso de la bomba de aire la mitad del del émbolo del vapor, el diámetro de esta bomba deberá ser los $\frac{2}{3}$ del del cilindro. La cantidad de vapor se obtiene multiplicando el area del cilindro en metros por la mitad de la velocidad tambien en metros, y añadiendo $\frac{1}{3}$ por el enfriamiento (art. 161) y las pérdidas. El resultado dividido por 1480 dará la cantidad de agua necesaria por minuto para alimentar la caldera, y se necesitará 24 veces esta cantidad para la inyeccion (art. 284). El diámetro de la abertura para la inyeccion deberá ser $\frac{1}{3}$ del del cilindro, y el tubo de inyeccion $\frac{1}{4}$.

402. *La fuerza de esta máquina atmosférica* será igual á la diferencia entre la presion de la atmósfera sobre el émbolo, y las fuerzas retardatrices multiplicadas por la mitad de la velocidad.

Siendo la presion atmosférica.....	1,000
serán las fuerzas retardatrices:	
1.º La resistencia del vapor no condensado á la temperatura de 50º.....	0,134
2.º La fuerza necesaria para espelerle por los conductos (art. 154).....	0,007
3.º Las pérdidas que provienen del enfriamiento en el cilindro, etc. (art. 161).....	0,067

4.º El rozamiento del émbolo (art. 474).....	0,050
5.º La fuerza necesaria para abrir las válvulas, subir el agua de inyección, y vencer el rozamiento de los ejes.....	0,100
6.º La fuerza necesaria para hacer andar la bomba de aire (art. 354).....	0,100
Total de las fuerzas retardatrices...	<u>0,458</u>
Parte de la presión atmosférica que produce un efecto útil.....	0,542

Esto equivale á una fuerza de 0^{kil.},56 por centímetro cuadrado de superficie, ó 0,43 por centímetro circular. El exceso de presión del vapor en la caldera es una compensación suficiente de las otras pérdidas de fuerza.

403. REGLA. Multiplíquense 0^{kil.},43 por el cuadrado del diámetro del émbolo, y por la mitad de la velocidad en metros por minuto; el producto espresará la fuerza efectiva en kilogramas elevados á 1 metro por minuto. Dividiendo el resultado por 4500 se tendrá la fuerza de caballos.

Ejemplo. Sea el diámetro del cilindro de 0^{m.},80, y la mitad de la velocidad de 33 metros por minuto, se tendrá

$$0,43 \times 80^2 \times 33 = 90816;$$

lo cual espresará el número de kilogramas que elevará la máquina á 1 metro por minuto;

y
$$\frac{90816}{4500} = 20$$

representará la fuerza en caballos.

404. La cantidad de agua necesaria para la caldera, se halla como se ha indicado en el art. 401, y la del combustible como en el 190. En el caso del ejemplo del art. precedente, tenemos

$$\frac{1,2 \times (0,8)^2 \times 0,7854 \times 33}{1480} = 13^{\text{lit.}}, 1,$$

ó 786 litros por hora.

Dividiendo por 7,6, el cociente 103^{kil.},4 espresa la cantidad de carbon craso que consumirá la máquina por hora, y el consumo por fuerza de caballo será

$$\frac{103,4}{20} = 5^{\text{kil.}}, 17.$$

Para la proporcion de la caldera, véase la Seccion III; y para la fuerza de la balanza y de las otras partes, véase la Seccion VII.

405. Esta especie de máquina atmosférica es excelente para elevar el agua; se puede construir sin dificultad por obreros ordinarios, y de una potencia motriz muy económica para los establecimientos hidráulicos, los desagües, los riegos, la alimentacion de los canales, y en general siempre que hay necesidad de subir el agua en gran volumen.

Máquinas á presión directa del vapor.

406. *Máquina de simple efecto de Boulton y Watt.* Habiéndose descrito (art. 386) las partes principales y la marcha de las máquinas de simple efecto, solo tenemos que hablar de su construcción con respecto al efecto. La fig. 4.^a, lám. VII, representa el corte del cilindro C, del condensador B, y de la bomba de aire A de una máquina de simple efecto, dispuesta de modo que se puedan ver sus diferentes partes. El vapor penetra desde la caldera al cilindro por el tubo S, y la caja de válvula O, y oprime el émbolo P, que se supone en el momento del descenso; el vapor que se encuentra debajo del émbolo se va al condensador, en donde se liquida por el chorro de agua que salta á su interior. El émbolo *p* de la bomba descende á la mezcla de vapor y de aire que ella habia recibido del condensador durante la ascension precedente. Cuando el émbolo se detiene en la parte inferior del cilindro, el vástago O toma un movimiento, cierra las válvulas *a* y *c*, y abre la otra válvula *b*; el tubo E pone entonces en comunicacion la parte superior é inferior del cilindro. La accion del contrapeso debe ser suficiente para vencer el rozamiento y el peso del émbolo, y para echar el vapor de la parte superior á la inferior de este último: el contrapeso debe espeler tambien, por medio de la bomba de aire, este y el agua de condensacion por la válvula Q. El medio que acabo de indicar para colocar y hacer obrar las válvulas por un solo movimiento, no pertenece á Watt y Boulton, pero es una disposicion propia para hacer mas rápido el tránsito del vapor de arriba abajo del cilindro, por cuanto se halla formado el vacío en el tubo E: este movimiento de válvulas es sencillo y facil de

arreglar. El sistema de válvulas de Watt y Boulton es semejante al de la fig. 5; pero cada una se mueve independientemente de las otras, y así debe ser en una máquina de expansión, á menos que para interceptar el vapor no se haga uso de una válvula separada movida por un regulador. (Véase la Sección VIII). La lámina XIV representa la elevación de una máquina de simple efecto de Watt y Boulton destinada á elevar el agua.

407. *Proporciones de las diferentes partes.* La longitud del cilindro debe ser el duplo del diámetro (art. 329). La velocidad del émbolo en metros por minuto debe ser $5\frac{1}{4}$ veces la raíz cuadrada de la longitud de su curso (art. 342). El área ó paso del vapor deberá ser igual á la del cilindro multiplicada por la velocidad del émbolo en metros por minuto, dividida por 1464 (art. 154). La bomba de aire debe tener la octava parte de la capacidad del cilindro, ó bien la mitad del diámetro y de la longitud del curso (art. 351); el condensador tendrá la misma capacidad. La cantidad de vapor se obtendrá multiplicando el área del cilindro en metros por la mitad de la velocidad en metros también, y añadiendo $\frac{1}{5}$ por el enfriamiento (art. 160) y las pérdidas; este volumen dividido por el del vapor correspondiente á la fuerza que tiene en la caldera (art. 121), da la cantidad de agua necesaria por minuto; de esta se deducen fácilmente las dimensiones de la caldera (véase la Sección III, artículo 224 y 227). Para la presión ordinaria sobre la válvula de $0^{\text{kil}},18$ por centímetro cuadrado, ó $0^{\text{kil}},14$ por centímetro circular, el divisor será 1450. La cantidad de agua de inyección será 24 veces la que es necesaria para el vapor (art. 284), y el diámetro del tubo de inyección será $\frac{1}{3}$ del diámetro del cilindro. Las válvulas de la bomba de aire deberán ser tan grandes como sea posible; las válvulas del émbolo de la bomba de aire, las chaquetas ó pequeñas válvulas del condensador, así como la de descarga, no deberán tener menor superficie. En cuanto á las proporciones de la balanza y á la fuerza de las otras partes, véase la Sección VII, y por lo que toca á los medios de arreglar y dirigir la máquina, véase la Sección VIII.

408. Se puede estimar la fuerza de una máquina de simple efecto del modo siguiente:

La presión útil sobre el émbolo es menor que la diferencia entre la fuerza del vapor en la caldera y la resistencia del vapor no condensado.

Representemos la fuerza en la caldera por.. 1,000

Será preciso deducir:

1.º La fuerza que produce el movimiento del vapor en los conductos para pasar al cilindro (art. 154).....	0,007
2.º La pérdida del enfriamiento en el cilindro (art. 160), y en los tubos (art. 148).....	0,038
3.º El rozamiento del émbolo y las pérdidas por las huidas del vapor (art. 474).....	0,050
4.º La fuerza necesaria para espeler el vapor en los conductos fuera del cilindro.....	0,007
5.º La fuerza indispensable para abrir y cerrar las válvulas, subir el agua de inyección y vencer el rozamiento de los ejes.....	0,100
6.º La disminución de efecto que resulta de interceptar el vapor antes del fin del curso....	0,098
7.º La fuerza necesaria para poner en movimiento la bomba de aire (art. 354).....	0,100

0,400

0,600

La presión del vapor en la caldera es generalmente de 90 centímetros de mercurio; la del vapor no condensado (temperatura de 50º), es de 0^m,10. Mas $90 \times 0,60 = 54$ centímetros, y $54 - 10 = 44$ centímetros; así la presión útil sobre el émbolo será 0^{kil},47. Cuando el vapor en la caldera tiene otra fuerza, la presión útil media se determina del mismo modo.

409. REGLA. Multiplíquese la presión útil media sobre el émbolo por el cuadrado del diámetro en centímetros, y por la mitad de la velocidad en metros por minuto, el producto dará la fuerza efectiva de la máquina en kilogramas elevados á 1 metro por minuto.

Divídase el resultado por 4500, y se tendrá la fuerza en caballos.

Ejemplo. Sea la fuerza del vapor en la caldera de 90 centímetros de mercurio, el diámetro del cilindro de 1^m,20 y la mitad de la velocidad por minuto 43 metros. Siendo la presión del vapor 0^{kil.},47 por centímetro circular, se tendrá

$$0,47 \times 120^2 \times 43 = 29100 \text{ kilogramas}$$

por el peso elevado á 1 metro por minuto, y por el número de

caballos $\frac{29100}{4500} = 64\frac{2}{3}$; la agua necesaria será

$$\frac{1,1 \times (1,20)^2 \times 0,7854 \times 43}{1450} = 36^{\text{lit.}},9$$

El consumo de agua será pues por ahora 2214 litros, y en

virtud del artículo 190 $\frac{2214}{7,6} = 291$ kilogramas de carbon (1), ó

$\frac{291}{64\frac{2}{3}} = 4^{\text{kil.}},5$ por hora y fuerza de caballo.

410. La aplicación de las máquinas de simple efecto está limitada por la naturaleza de su acción, á subir el agua, ó á otros trabajos compatibles con la interrupción de efecto á la vuelta del émbolo; pero entonces tiene grandes ventajas. Miraré como una perfección el que se haga la condensación, como se ha dicho (art. 400) para la máquina atmosférica, y que el vapor pueda obrar siempre con mas ó menos expansión: de cualquier modo no se puede obtener el efecto total de la expansión, á menos que el movimiento de la máquina se regularice por una disposición conveniente de presión y contrapeso.

411. *Máquina de simple efecto obrando por expansión.* Cuando una máquina de este género obra por expansión, es preciso determinar el punto del curso en que se ha de interceptar el vapor. Ahora, la presión sobre el émbolo no debe nunca ser menor que la resistencia media, pues de lo contrario sería arrastrado, y la columna de agua volvería á bajar. Por consiguiente se podrá establecer esta proporción: la fuerza del vapor en la caldera es á 1, como la mitad de la mayor fuerza efectiva útil sobre

(1) Esto equivale á 4800 metros cúbicos de agua elevados á un metro por hora y por hectolitro de carbon, ó 60000 kilogramas de agua por kilograma de carbon.

el émbolo, añadida al rozamiento, etc. es á la parte del curso en que se debe interceptar el vapor. Asi si la presion en la caldera es de 90 centímetros de mercurio, y la del vapor no condensado de 10 centímetros, se tendrá

$$10 + 90 \times 0,40 = 46 \text{ centímetros}$$

por las pérdidas de toda especie (art. 408); de donde se saca

$$\frac{90 - 46}{2} + 46 = 68$$

por la presion sobre el émbolo al fin del curso; se tendrá pues

$$90 : 68 :: 1 : 0,75 = \frac{3}{4} \text{ del curso.}$$

El vapor obrará tambien evidentemente por expansion durante el ascenso, y en la misma razon, lo cual exigirá un contrapeso menor.

412. Busquemos la presion media del vapor sobre el émbolo en las máquinas de expansion. Supongamos que la parte del curso corrida por el émbolo en el momento en que se intercepta el vapor esté representada por $\frac{1}{n}$.

Entonces la n^a parte de la fuerza total del vapor en la caldera en kilogramas por centímetro circular, multiplicada por 2,3 veces $\log n$ añadido á 0,3, es la fuerza motriz ó presion media; de este valor se ha de echar mano en la regla (art. 409) para hallar la potencia, y tambien para proporcionar la carga.

Ejemplo. Supongamos que el vapor se intercepte á los $\frac{3}{4}$ del curso; entonces $\frac{1}{n} = \frac{3}{4}$, y $n = 1,33$, logaritmo $n = 0,125156$. Siendo la presion total de 90 centímetros de mercurio, ó de 0^{kil.}96 por centímetro circular, tendremos

$$\frac{3 \times 0,96 \times (2,3 \times 0,125156 + 0,3)}{4} = 0,96 \times 0,441 = 0^{\text{kil.}}42$$

por centímetro circular por la presion media.

413. La velocidad se hallará por la regla del art. 343. La cantidad de vapor será una parte de la que se requiere para hacer andar la máquina á presion llena, y será tanto mas debil cuanto mas pequeña sea la parte del curso á que se intercepta el vapor con respecto al curso entero; por lo demas, las cantidades de agua, de combustible, de agua de condensacion etc. se

determinarán por las reglas dadas (1) en el art. 407. El contrapeso deberá ser menor en la misma razon que la presión sobre el émbolo será menor que en las máquinas ordinarias. Exigiendo el método por expansion el uso de máquinas de las mayores dimensiones, no es tan apreciado como debería, á escepcion sin embargo de cuando se aumente la fuerza del vapor en la caldera, y á este efecto recomendaría que se hiciese subir á 2 atmósferas, pero no mas.

414. *Máquina de doble efecto de Boulton y Watt.* Se ha dicho ya (art. 389) en qué se diferenciaba una máquina de doble efecto de otra de efecto simple. La fig. 1, lám. VII, representa una máquina de esta especie, cuyo cilindro es C; el vapor entra en S, y pasa á la parte superior del cilindro en F, ó á la inferior en D, como en la fig. 3. La fig. 1 representa el émbolo durante su descenso, y la fig. 3 en su ascenso. El vapor sale por la abertura D de la parte inferior del cilindro (fig. 1), y va al condensador B, en donde se liquida por un caño de agua fria que corre sin intermision; los gases no condensados y el agua salen por la válvula G durante el ascenso, y mientras se verifica el descenso pasan de abajo arriba del émbolo de la bomba de aire al través de las válvulas p; durante el ascenso del émbolo son impelidos y arrojados por la válvula Q, hasta el reservatorio de agua caliente K. Cuando el émbolo P sube, el vapor que se halla encima sale por el paso F, y vá al condensador por el tubo E. Las aberturas para el vapor D y F se abren y cierran por un tirador en D, llamado así porque su corte se parece á la letra D; se pone en movimiento por la vara O, por medio de pitones ó de cualquiera otro mecanismo. (Véase la Seccion VII, en la cual se describen diversos modos). Muchas veces en las máquinas pequeñas se abren y cierran las comunicaciones del vapor por medio de llaves; en las grandes se sirven de válvulas ó de tiradores, cuyas diversas especies se describen en la Seccion VII, así como los émbolos y otras partes.

(1) Si se toma el ejemplo del art. 409, hallamos que 6000 metros cúbicos de agua se pueden elevar á 1 metro por hectolitro de carbon, ó cerca de 75000 kilogramas por kilograma de carbon, y yo no pienso que se haya obtenido mejor resultado con una máquina de simple efecto y á baja presión.

415. *Proporciones de las partes de una máquina de doble efecto obrando á presion constante ó sin expansion.* Cuando el uso á que se destina la máquina lo permite, la longitud del cilindro será dupla de su diámetro (art. 329). La velocidad del émbolo en metros por minuto se obtendrá multiplicando la raiz cuadrada de la longitud del curso por 57 para las máquinas motrices, ó por 54 cuando se trate de subir agua (art. 337 y 342); el area de las aberturas del vapor será igual á la del cilindro multiplicada por la velocidad del émbolo en metros por minuto, y dividida por 1464 (art. 154); la bomba de aire será $\frac{1}{5}$ de la capacidad del cilindro, ó bien tendrá un diámetro y un curso de émbolo la mitad menores que el cilindro (art. 351); el condensador tendrá la misma capacidad. Se hallará la cantidad de vapor multiplicando el area del cilindro en metros por la velocidad tambien en metros, y añadiendo $\frac{1}{2}$ por el enfriamiento y las pérdidas: este número dividido por el volumen del vapor correspondiente á la presion en la caldera (art. 121), dará la cantidad de agua necesaria para el vapor por minuto, de donde se deducirán las dimensiones de la caldera (véase la Seccion III, art. 224 y 227). A la presion ordinaria de 0^{kil.},14 por centímetro circular sobre la válvula, el divisor será 1500; la cantidad de agua de inyeccion será 24 veces la que se requiere para el vapor (art. 284), y el diámetro del tubo de inyeccion $\frac{1}{2}$ del diámetro del cilindro. Las válvulas del émbolo de la bomba de aire serán del mayor tamaño posible: la chapaleta de descarga y la del condensador no tendrán menos superficie. Para las dimensiones y la fuerza de la balanza y de las otras partes, véase la Seccion VII; y para los medios de regularizar y conducir la máquina, véase la Seccion VIII.

Método para determinar la fuerza de una máquina de doble efecto.

416. Representemos la fuerza del vapor en la caldera por..... 1,000

Poniendo á un lado la pérdida que proviene del vapor no condensado, las otras pérdidas serán:

1.º La fuerza que produce el movimiento del vapor al entrar en el cilindro (art. 154).....	0,007
2.º El enfriamiento en el cilindro (art. 157) y en los tubos (art. 148).....	0,016
3.º El rozamiento del émbolo y las huidas (art. 474).....	0,125
4.º La fuerza necesaria para espeler el vapor (art. 154).....	0,007
5.º La fuerza necesaria para abrir y cerrar las válvulas, subir el agua de inyeccion, y vencer el rozamiento de los ejes.....	0,063
6.º La pérdida que proviene de interceptarse el vapor antes del fin del curso.....	0,100
7.º La fuerza necesaria para mover la bomba de aire (art. 35).....	0,050
Total.....	<u>0,368</u>
Diferencia.....	632

La fuerza del vapor en la caldera es generalmente de 90 centímetros de mercurio; la temperatura del vapor no condensado de 50º, y su fuerza de 10 centímetros; así se tiene $90 \times 0,632 - 10 = 47$, ó 0^{kil},50 por centímetro circular para la presión media efectiva sobre el émbolo (1).

417. REGLA. Multiplíquese la presión media efectiva sobre el émbolo por el cuadrado del diámetro del cilindro en centímetros, y el producto por la velocidad en metros por minuto: el resultado será el efecto útil de la máquina expresado por el número de kilogramas elevados por minuto. Para tener la fuerza expresada en caballos bastará dividir por 4500.

Ejemplo. Siendo el diámetro del cilindro de una máquina de doble efecto de 60 centímetros, la longitud del curso de 1^m,5, el número de golpes por minuto 22, y la fuerza del vapor en la caldera 90 centímetros de mercurio, ó 14 centímetros sobre la presión atmosférica, se pide calcular la fuerza.

La velocidad es $2 \times 1,5 \times 22 = 66$ metros por minuto ó 1^m,1

(1) Lo que viene á ser 0^{kil},63 por centímetro cuadrado.

por segundo, la presión media sobre el émbolo 0^{kil.}5 por centímetro circular; el peso elevado á 1 metro por segundo será

$$0,5 \times 60^2 \times 66 = 118800 \text{ kilogramas, y } \frac{118800}{4500} = 26,4$$

por el número de caballos. La fuerza nominal de esta máquina, según el modo de calcular de Watt, no sería más que de 20 caballos; pero se hallará que la fuerza nominal y la fuerza real concuerdan con bastante exactitud, cuando el vapor obra por expansión (art. 422).

El agua necesaria para esta máquina será (art. 415)

$$\frac{1,1 \times (0^m,6)^2 \times 0,7854 \times 66}{1500} = 13^{\text{lit.}}7$$

por minuto, ó 822 litros por hora (art. 190); lo cual da

$$\frac{822}{7,6} = 108 \text{ kilogramas de hornaguera,}$$

$$\text{ó } \frac{108}{26,4} = 4,1 \text{ kilogramas de hornaguera}$$

por hora y fuerza de caballo (1).

Cuando la máquina es de una fuerza inferior á 10 caballos, el consumo de combustible por fuerza de caballo es mayor con corta diferencia en la razón indicada en el art. 221.

418. Esta máquina es aplicable á todos los trabajos que convienen á una máquina estacionaria, y solamente en los casos en que es difícil procurarse el agua es cuando no puede hacerse uso de ella. También se ha aplicado en los últimos tiempos á los barcos de vapor (véase la Sección X). Cuando el vapor obra por expansión se gasta menos combustible, y esta economía es de la mayor consideración en toda aplicación de la fuerza del vapor.

419. *Máquinas de doble efecto obrando por expansión.* El movimiento de una máquina de doble efecto obrando por expansión se debe regularizar por un volante, ó por cualquier otro medio (véase la Sección VIII), sin lo cual no se podría obtener el efecto de una manera perfecta. Para determinar el instante

(1) Watt gradúa en 3^{kil.}95 el consumo de hornaguera por fuerza de caballo, pero sin duda cuando la máquina obra por expansión. (Notas sobre *Robison's Mechanical philosophy*, vol. II, p. 145).

en que se debe interceptar el vapor, tenemos la proporcion siguiente:

La fuerza total del vapor en la caldera es á 1 como 0,368 veces esta fuerza (véase el art. 416), mas la resistencia del vapor no condensado es á la parte del curso durante la cual debe entrar el vapor.

Asi si la fuerza en la caldera es de 90 centímetros de mercurio, y la resistencia del vapor no condensado de 10 centímetros, tendríamos

$$90 : (90 \times 0,368 + 10) :: 1 : 0,479 = \frac{1}{2,1}$$

Este último número espresa la parte del curso.

420. Para hallar la presion media sobre el émbolo en una máquina de expansion, representemos por $\frac{1}{n}$ la parte del curso durante la cual entra el vapor en el cilindro: será preciso dividir 2,3 veces el logaritmo de n por n y multiplicar el cociente por la fuerza del vapor en la caldera por centímetro circular; el resultado será la fuerza motriz media del émbolo por centímetro circular.

Ejemplo. Supongamos que el vapor se intercepta á $\frac{1}{2,1}$ de curso, entonces

$$n = 2,1 \text{ y } \log n = 0,322216;$$

por consiguiente

$$\frac{2,3 \times 0,322216}{2,1} = 0,354;$$

y como la presion correspondiente al punto en que se intercepta el vapor es de 90 centímetros ó de 0^{kil.}96 por centímetro circular, tendríamos 0^{kil.}96 \times 0,354 = 0^{kil.}34 por centímetro circular para la presion media.

421. La velocidad se hallará como se ha indicado en el art. 336 ó 343, y la cantidad de vapor será la novena parte de lo que es cuando la máquina anda á presion llena. Asi la cantidad de agua para el vapor ó alimenticia, y las del combustible y agua de inyeccion, se disminuirán en la misma proporcion, atendidas las dimensiones del cilindro; pero las aberturas del vapor, las

bombas, la caldera y las otras dimensiones se determinarán por las reglas dadas (art. 415), á fin de que la máquina pueda andar á presion llena ó por expansion, segun las circunstancias.

422. Tomando las dimensiones y la fuerza como en la máquina puesta por ejemplo en el art. 417, su fuerza, cuando el vapor obra por expansion, seria

$$0,34 \times 60^3 \times 66 = 80784$$

kilogramas elevados á un metro por segundo. Dividiendo por 4500, se halla $\frac{80784}{4500} = 18$ por la fuerza de la máquina en caballos.

Cuando la máquina anda á presion llena, el gasto de combustible es de 108 kilogramas por hora: en el caso presente no se gastarán mas que $\frac{108}{2,1} = 51 \text{ kil.,4}$ (1).

El carbon consumido por fuerza de caballo será

$$\frac{51,4}{18} = 2 \text{ kil.,85.}$$

Será pues la ventaja de $\frac{2,85}{4,1} = \frac{7}{10}$ (2). En las máquinas de pequeña dimension esta cantidad crece en la razon indicada en la tabla (art. 221).

423. El medio de interceptar el vapor dando dos movimientos á la válvula de tirador durante el curso, está indicado en la lámina VII. La figura 2 indica la posicion del tirador durante el descenso del émbolo, cuando el vapor está interceptado quedando abierta la comunicacion D al condensador. Las válvulas de tirador tienen el inconveniente de exigir una abertura separada para introducir el vapor, que debe primero arrojar el aire de la máquina, ó como se dice, purgarla de aire; pero bajo otros aspectos parece que ofrecen el medio mas sencillo y duradero de abrir y cerrar las comunicaciones.

(1) Esto equivale á 7560 metros cúbicos de agua elevados á 1 metro por hectolitro de carbon, ó á 94500 kilogramas por kilograma de carbon.

(2) Si se toma la cantidad media entre 2,85 y 4,1, ó 3,48, se obtendrá el consumo ordinario de una máquina que experimenta una resistencia variable, suponiéndola de las mejor construidas.

Máquinas de dos cilindros.

424. En las máquinas de dos cilindros de Hornblower el vapor obra en el uno á presión constante, y en el otro por expansión. Como máquina de simple efecto es conocidamente inferior bajo todos aspectos al sistema de Watt y Boulton, á escepcion de que la fuerza motriz es mas uniforme; tiene en efecto además el rozamiento adicional del émbolo pequeño, y es muy singular que una máquina de simple efecto de esta especie sea mas complicada que una máquina de doble efecto. Como se ha abandonado casi enteramente el uso en las minas, no es necesario describir este sistema, que se concebirá fácilmente imaginando dos máquinas de simple efecto obrando sobre una balanza, y de las cuales la una funciona á presión llena, recibiendo después la otra el vapor que obra entonces por expansión en el segundo cilindro durante el golpe siguiente. En uno y otro cilindro el vapor pasa, durante el ascenso, de arriba abajo del émbolo. La razón entre la capacidad del cilindro grande y el pequeño se determina por la misma regla que para las máquinas de doble efecto de la misma especie (art. 426), y por lo demás las proporciones serán las mismas que para las máquinas de simple efecto.

425. *Máquinas de doble efecto y dos cilindros.* Se comprenderá muy fácilmente esta máquina, suponiendo un modo simple de introducir y hacer salir el vapor. Sea C el cilindro pequeño, lám. VIII, fig. 3, y D el grande, S el lugar en que entra el vapor en los conductos. El vapor penetra al cilindro pequeño en *a* cuando el émbolo baja, y el que está debajo del émbolo sigue el camino *b* y el conducto *c*, y entra en el cilindro grande en *d*, mientras que el vapor en D pasa al condensador por *e*.

Cuando se invierte el movimiento por el juego de la válvula de tirador que pasa al otro lado de los tránsitos, entonces se verifican iguales movimientos en la dirección opuesta, y el vapor pasa por *f* al conducto del condensador. Así el aparato entero se reduce á una caja de tirador, cuyo vástago recibe un solo movimiento á cada curso del émbolo, y aunque se ha colocado entre los cilindros para mayor claridad, se puede situar en el

ángulo que forman uno con otro cuando estan aproximados.

426. *Proporciones de las máquinas de dos cilindros.* El cilindro pequeño tendrá las mismas dimensiones que para una máquina sin condensador, andando con el vapor de la misma fuerza elástica (art. 366). La pérdida de fuerza será la misma, es decir, cerca de los cuatro décimos de la presión del vapor en la caldera.

La pérdida de fuerza del émbolo grande, tomando por unidad la fuerza total, será:

1.º	Por el enfriamiento en el cilindro y los tubos.....	0,016
2.º	El rozamiento del émbolo.....	0,125
3.º	La fuerza necesaria para espeler el vapor en los tránsitos.....	0,007
4.º	La fuerza necesaria para poner la bomba de aire en accion.....	0,050
		0,198

Por consiguiente $0,6 \times 0,198 = 0,1188 =$ á la parte de la fuerza total, la cual añadida á la pérdida en el cilindro, da una pérdida total de $0,1118 + 0,4 = 0,5188$, ó cerca de 0,52. Ahora si f representa la tensión del vapor en la caldera, 10 centímetros la del vapor no condensado, y n el número de veces que la capacidad del cilindro grande excede á la del pequeño, tendríamos

$$n = \frac{f}{0,52f + 10}$$

Si por ejemplo, la fuerza del vapor en la caldera equivale á 300 centímetros de mercurio, se tendrá

$$n = \frac{300}{0,52 \times 300 + 10} = 1,81;$$

es decir que la capacidad del cilindro grande debe ser 1,81 veces la del pequeño, si fuese mayor, habria necesariamente pérdida de efecto.

427. Se halla fácilmente la fuerza de una máquina de dos cilindros con el auxilio de lo que se ha dicho en el art. 382, sustituyendo constantes convenientes. La regla para hallar la presión media, suponiendo que recaiga toda sobre el émbolo pequeño, será 2,3 veces el logaritmo ordinario del número de veces que el cilindro grande es mayor que el pequeño, multi-

plicado por la fuerza del vapor en la caldera por centímetro circular. Asi, siendo la presión de 300 centímetros de mercurio, la capacidad del cilindro grande será 1,81 veces la del pequeño: se tendrá pues

$$2,3 \times \log 1,81 = 0,59;$$

y como cada centímetro de mercurio equivale á una presión de 0^{kil.}0107 por centímetro circular, se tendrá

$$300 \times 0,0107 = 3,21 \text{ kilogramas por centímetro circular,}$$

y $3,21 \times 0,59 = 1^{\text{kil.}}$ 90 por la presión media por centímetro circular del émbolo.

428. REGLA. Hallada la presión media como se ha dicho arriba, multiplíquese por el cuadrado del diámetro del cilindro pequeño en centímetros, y por la velocidad del émbolo pequeño en metros por minuto, el resultado dará la fuerza de la máquina expresada por el número de kilogramas elevados á 1 metro por minuto.

Divídase por 4500, y se tendrá la fuerza en caballos.

Ejemplo. Si la tensión del vapor es de 300 centímetros de mercurio, el diámetro del cilindro pequeño de 0^{m.}28 y la velocidad de su émbolo de 50 metros por minuto, la presión media será 1^{kil.}90, y el producto

$$1,90 \times 28^2 \times 50 = 74480$$

expresará el número de kilogramas elevados á un metro por minuto.

El número de caballos será igual á $\frac{74480}{4500} = 16,5$.

429. El volumen de vapor por minuto será igual al área del cilindro pequeño en metros multiplicada por la velocidad; y se obtendrá la cantidad de agua dividiendo este producto por el volumen de vapor dado por un litro de agua, cuando la tensión es igual á la de la caldera, y añadiendo un décimo para la pérdida. En el ejemplo anterior esta cantidad de agua por minuto será

$$\frac{1,1 \times 0,616 \times 50}{480} = 0^{\text{m. c.}}$$
0071 = 7,1 litros,

ó 426 litros por hora. Dividiendo este número por 7,6 el cociente

te $\frac{426}{7,6} = 56$ expresará el número de kilogramas de carbon cra-

so gastados por hora; y $\frac{56}{16,5} = 3^{\text{kil.}},4$ el gasto de combustible por hora y por caballo. Si se compara este resultado con el del artículo 422, se verá que no hay ventaja, respecto de la economía del combustible, en emplear dos cilindros en lugar de uno solo.

430. Los efectos obtenidos por las máquinas de diferentes especies acaban de reducirse por primera vez á medidas determinadas, y de deducirse sus proporciones de principios científicos. He procurado dar en estas dos secciones nociones útiles á los constructores, concretándome, y procurando ser tan claro como ha estado en mi mano, sin olvidar ninguno de los pormenores que pueden hacer variar los efectos de las máquinas por medio de mejoras aplicables á su movimiento ó á su construcción. Se verá que la suma calculada de estos efectos particulares se acerca mucho á la verdad, y se reconocerán las circunstancias que hacen aumentar ó disminuir cada uno de ellos, ya sea inmediatamente, ó ya refiriéndose á los artículos en que se ha espuesto el cálculo. El mecánico que ponga algun cuidado en distinguir los resultados reales dados por la práctica de los que solo dependen de pretensiones empíricas, se convencerá de que la teoría y la práctica se dan la mano, no haciendo la una mas que confirmar las deducciones de la otra. Es un principio incontestable que la práctica se debe proponer llegar al fin por los medios mas económicos posibles; la utilidad de la ciencia consiste en ayudarnos á la eleccion de los medios, de modo que nos haga llegar á conclusiones exactas con el menor gasto posible en ensayos; pero al mismo tiempo que se tiene en consideracion la economía de la fuerza, es preciso cuidar de las formas mas adecuadas, de las buenas proporciones, de la perfeccion de la obra de mano, y algunas veces de la hermosura de las máquinas; porque una máquina linda producirá mas efecto que otra inferior, la cual pereceria por falta de cuidado, porque la atencion que se pone naturalmente en conservar las bellas obras de este género, puede producir una economía muy señalada en las mismas circunstancias, en que una máquina menos hermosa y espuesta á que se la descuide, no tardaria en perecer prontamente.

SECCION SEPTIMA.

De las proporciones y construccion de las diversas partes de las máquinas de vapor.

431. **H**asta aqui hemos estudiado las máquinas de vapor en su totalidad, pero para conocer mejor la naturaleza de ellas es preciso estudiar sus diferentes partes, y este es el objeto de esta Seccion. Algunas de estas partes se deben considerar solamente con respecto á su fuerza, como las balanzas, los vástagos, los travesaños, árboles etc. Otras con respecto á los movimientos que deben producir, como el paralelo, el escéntrico etc. Otras dependen de la combinacion de las partes movibles y del esmero de la ejecucion, como los émbolos, las válvulas etc, y despues se siguen los modos de hacer las juntas etc. Atendida la dependencia que tienen entre sí estas diferentes partes, me ha parecido conveniente hablar de ellas bajo el siguiente orden: válvulas, émbolos, cajas de estopas, medio de manejar los reguladores, guias de los émbolos, paralelogramos, fuerza de las partes, tales como las balanzas, manubrios, rayos de las ruedas, muñones, dientes de rueda; travesaños y armazones, árboles y ejes; vástagos de los émbolos, palancas movibles, varillas de los paralelogramos; cilindros, tubos y calderas, y la union ó enchufe de los tubos.

De las llaves y de las válvulas.

432. Bajo el título de llaves y de válvulas es preciso comprender todos los medios usados para abrir y cerrar los pasos del vapor. Para discutir su mérito respectivo conviene clasificarlos, y el medio mas sencillo de hacerlo me parece que es atender al género de movimiento que sirve para abrirlos. Con arreglo á este método se pueden presentar en el siguiente orden:

VALVULAS.	De movimiento alternativo.	De suspension.	Válvulas planas.		
			Cónicas.	{ ordinarias. de Hornblower.	
	De movimiento de rotacion.	De corredera. . .	Sobre un eje. . .	Esféricas.	
				Planas.	{ de Bramah. de Murray. de Murdoch.
				Cilíndricas.	
	De movimiento de rotacion.	Cónicas ó llaves.	Planas.	De garganta.	
De Betancourt.					
Ordinarias.					
De movimiento de rotacion.	Cónicas ó llaves.	Regulador. . . .	De 4 aberturas (de Papin).		
			De Bramah.		
			Máquina de Newcomen.		
De movimiento de rotacion.	Planas.	De disco.	de Stevens,		
			ó de Evans.		

433. Siendo el objeto de las válvulas ó llaves abrir y cerrar los pasos del modo mas perfecto, ya sea instantánea, ya progresivamente, segun el fin que se propone, es evidente que las que presentan menor obstáculo al paso del vapor, y que se abren con menos esfuerzos, son las mejores. Conviene pues examinarlas sucesivamente por su orden, y dar á conocer sus usos y cualidades respectivas.

434. Todas las especies de válvulas son tanto mas difíciles de manejar cuanto mayor es su abertura. El area del paso de una válvula abierta debe ser un poco mas grande que la menor seccion del tubo; comparando estas areas se calcularán fácilmente las proporciones de las cajas con válvulas ó de las aberturas para cada especie.

435. Cuando las válvulas, las llaves ó tiradores se deben poner en movimiento para introducir el vapor en una máquina, la accion debe ser tan viva como sea posible, de manera que el paso esté enteramente abierto ó cerrado en el momento que se quiere, y casi instantáneamente; porque es facil comprender que hay una pérdida considerable de fuerza en la lentitud del manejo para abrir ó cerrar las válvulas.

Válvulas de suspension.

436. La válvula comun de *chapaleta* es una de las mas sencillas: su forma ordinaria consiste en una placa de cuero un poco mas ancha que la abertura de la válvula, y uno de sus lados está fijo sobre una juntura para servir de charnela: el cuero está reforzado de cada lado por una placa de metal; la de abajo es mas estrecha, y la de arriba mas ancha que el paso. La válvula se debe abrir bajo un ángulo de cerca de 30° , para dejar un paso libre equivalente á su abertura: la caja debe ser de vez y media el diámetro de la abertura de la válvula.

La aplicacion ordinaria que se hace de ella en la máquina de vapor es para la comunicacion del condensador con la bomba de aire; se le da el nombre de válvula ó chapaleta del fondo: sirve tambien para la válvula de aire del condensador, pero por causa del calor del agua, es preciso reemplazar el cuero por una pieza de metal bien ajustada. La válvula del fondo G, fig. 1 y 4, lám. VII, se suspende algunas veces por una charnela ó bisagra en el borde superior del paso, y cae sobre un parage inclinado, cuya pendiente es bastante grande para que el peso de la válvula baste simplemente para cerrarlo.

437. La *válvula de doble chapaleta* está formada de dos válvulas semicirculares; se usa de ella para los pequeños cilindros de las bombas: su construccion es semejante á la de la válvula de chapaleta simple y las chapaletas dobles se deben levantar bajo el mismo ángulo. Tienen la ventaja de ser mas á propósito para los émbolos de grandes diámetros. El émbolo de la bomba de aire en la máquina de vapor está provisto de válvulas metálicas de esta especie. (Véase en la lám. VII, p, fig. 1 y 4.)

Para lograr mayor abertura y menos resistencia en el juego de las válvulas, se emplea algunas veces una especie de válvula piramidal que consiste en cuatro piezas triangulares; pero la construccion es complicada, sin que resulten de ella ventajas que la compensen suficientemente.

438. Se ha recomendado muchas veces por válvula el uso de un disco metálico, particularmente para las válvulas de seguridad. Este exige una guia para mantenerlo en su lugar; el mejor

medio de direccion consiste en un vástago que entra en una abertura hecha en los travesaños dispuestos encima y debajo de la válvula. El diámetro de la caja debe ser al de la válvula, como 3 es á 2; los bordes deben ajustar bien el uno sobre el otro al esmeril, hasta que no dejen escapar el vapor. Se halla que sus ventajas, como válvula de seguridad, consisten en que está menos espuesta á tomar adherencia, y yo soy de esta opinion: bajo otros aspectos se diferencia poco de la válvula cónica (1).

439. *La válvula cónica* es un disco metálico, cuyo borde está cortado en bisel para entrar en un lugar cónico; algunas veces se llama *muñeca* ó *válvula en T*. Las válvulas de vapor de las máquinas de Watt al principio eran de esta suerte. En una válvula de esta especie la caja debe ser de un diámetro mayor que la válvula en la razon de 3 á 2, y no se debe levantar menos de la cuarta parte del mayor diámetro, cuando está enteramente abierta, pero estas dos proporciones se deben aumentar si la válvula está fuera del centro de la caja. Estas válvulas y sus asientos se hacen frecuentemente de laton; pero en bronce es mejor, porque el disco y su asiento son de la misma composicion. Estos se ajustan á torno en cuanto es posible; luego se sobrepone el uno al otro con esmeril en polvo fino hasta que junten perfectamente.

El mejor ángulo para ajustar la válvula á su asiento es el de 45°, porque entonces la presion está contrapesada por la reaccion del vapor entre las paredes: si se le diese menos pendiente, la válvula tendria tendencia á permanecer cerrada; y si se le diese mas ocuparia mayor espacio. Cuando la válvula cónica escede de 12 á 15 centímetros de diámetro, exige una fuerza

(1) El fenómeno observado por el señor Clemente Desormes con referencia á las placas atraidas por una corriente de aire, en lugar de ser repelidas por su impulso, no tendrá efecto sensible en la salida del vapor por las válvulas de seguridad, porque parece, segun algunas esperiencias que yo he tentado, que sería preciso que los discos fuesen de un diámetro muy grande para dar lugar á un efecto de esta naturaleza; mas las válvulas de seguridad no estan en este caso. La esposicion y la esplicacion que el señor Hachetle ha dado de este fenómeno, se han publicado por el señor Brande en su nueva série del *Quarterly Journal of Science*, v. II, p. 193.

grande para levantarla contra la presión del vapor, lo cual es un inconveniente. Watt guarnece el vástago de la válvula con un émbolo que se mueve en un cilindro del mismo diámetro al lado opuesto del paso, y obrando el vapor igualmente sobre la válvula y sobre el émbolo, la resistencia que se experimenta para levantarla disminuye mucho.

Cuando la válvula ha de obrar por sí misma, es decir, cuando se ha de mover en el momento en que su superficie se somete á una presión determinada, el peso de la válvula debe ser igual al cuadrado del diámetro multiplicado por la presión en kilogramas por centímetro circular.

440. Algunas veces se da al asiento de una válvula la forma de un casquete esférico, y la válvula misma recibe entonces esta forma, ó la de una bola. Esta especie designada bajo el nombre de *válvula de copa*, ha sido muy recomendada para válvula de seguridad; se esperaba que suspendiendo el peso debajo de esta válvula, estaría constantemente en movimiento en el vaso de vapor de modo que impediría la adherencia (véase en U, lámina XXI, fig. 1). Bajo otros aspectos la válvula de copa parece inferior á la válvula cónica.

441. *Válvula de Hornblower*. La válvula ordinaria de los reguladores se debe abrir frecuentemente venciendo á cada vez la presión que está en razón de su superficie: para evitar este esfuerzo inventó Hornblower una válvula bajo un principio diferente. Esta válvula, fig. 4, lám. VIII, está encerrada en una caja, y consiste en un cilindro corto que reposa sobre dos asientos cónicos, el uno á la parte exterior del cilindro, y el otro que ocupa el fondo. La válvula se levanta ó baja por medio de un vástago que pasa á un travesaño en lo alto del cilindro; está guiada por el émbolo mismo, que entra en un gorrón ó rangua debajo del asiento inferior. Si la presión del vapor sobre la válvula es muy grande, mientras que se hace el vacío debajo, la presión que tiende á tener la válvula cerrada, se ejerce solamente sobre la área horizontal de los dos asientos, en lugar de obrar sobre toda la superficie de la válvula (1).

(1) El profesor Robison conoció las ventajas teóricas de esta construcción;

La reduccion que se obtiene de este modo en la estension de la superficie comprimida es considerable en las válvulas grandes; el paso del vapor es muy directo; hasta el asiento inferior el vapor se dirige de alto á bajo al traves del cuerpo de la válvula, y esta no se encuentra oprimida mas que por el travesaño de arriba.

442. *Forma perfeccionada de la válvula de Hornblower.* La dificultad evidente que presenta esta construccion de válvula, es el hacer impermeables al vapor las juntas de los dos asientos; pero si se hace que el cilindro entre en una caja de estopa, ó en una guarnicion metálica (véase la fig. 1, lám. VIII), se vence esta dificultad, y se pueden hacer las válvulas de todo el ancho que se quiera, sin que presenten mas resistencia que la presion sobre el asiento y el rozamiento del cilindro. Es una válvula simple cónico-inversa, en la cual se mueve el asiento en lugar del disco, y que evidentemente debe jugar en una caja impermeable al vapor.

Válvula de tirador.

443. Las compuertas de corredera son el typo antiguo de estas válvulas; pero no parece que se han comprendido sus ventajas para otros usos mas que para las construcciones groseras de armazones: en efecto, no se debia esperar que las superficies metálicas pudiesen ponerse una encima de otra tan justamente que fuesen impermeables y duraderas, á menos que se ejecutasen con una precision perfecta y en metal muy duro.

Watt fue el primero que pretendió servirse de ellas, pero sin fruto; hasta cerca de treinta años despues no se perfeccionaron bastantemente los medios de construccion para que se pudiese hacer uso de esta válvula.

444. *Válvula de tirador de Bramah.* Esta válvula de tirador es muy usada para las conducciones del agua, las cervecerías,

mas ¿por qué se ha omitido en la reimpression de sus obras la noticia que habia dado de ella?

los aparatos de gas y otros usos; conviene perfectamente á los conductos del vapor; consiste en un bastidor ó corredera perpendicular al paso, movida por un vástago, que atraviesa una caja de estopas.

La corredera está tan lisa que se ajusta exactamente sobre la circunferencia del paso por una de sus caras, y se mantiene firme por un resorte; se pone en movimiento con el auxilio de un mango para las aberturas pequeñas, y para las grandes por medio de una barra dentada y de un piñon.

445. La primera idea del uso de las válvulas de tirador para obrar al mismo tiempo sobre mas de una abertura, parece que se aplicó á la máquina pneumática por Lavoisier, ó algunos de sus colaboradores; y con este motivo observa el doctor Robison que un disco de corredera hace el oficio de cuatro llaves de un modo tan sencillo como elegante: añade sin embargo que los mejores artistas de Londres pensaban que sería muy difícil de ejecutar (1). Murray aplicó este mismo principio á la máquina de vapor en 1799, por medio de una caja de corredera que abria y cerraba á la vez cuatro pasos de vapor: combinacion que, segun la espresion de Robison, no era menos notable por su sencillez que por su elegancia.

446. *Válvula de tirador de Murray.* Las aberturas van todas á dar á una caja de vapor, en la cual se mueve otra caja mas pequeña de alto á bajo, de modo que abre y cierra alternativamente los pasos. La fig. 5, lám. VIII, representá un corte de este sistema. El tirador está puesto en movimiento por el vástago *o* que pasa á una caja de estopa.

El vapor que viene de la caldera llega por *S* y pasa por *a* para ir á lo alto del cilindro, cuando el tirador está abajo, mientras que el paso *c* al condensador está abierto en el interior del tirador; del mismo modo cuando el tirador está arriba, el paso *b* del vapor que va á la parte inferior del cilindro está abierto, y el paso *a* para el vapor que viene de lo alto del cilindro para irse por el conducto *c* al condensador se encuentra libre al mismo tiempo.

(1) Robison's *Mechan. philosophy*, art. *Pneumatics*.

Un pequeño movimiento alternativo basta evidentemente para el juego de esta válvula. El rozamiento causado por la presión del vapor contra la caja movable es considerable; para reducirle no se debe tratar de disminuir demasiado las superficies rozantes, sino escogerlas lo mas duras que sea posible. En los barcos de vapor se emplea el bronce; pero cuando no hay que servirse de agua salada, las piezas rozantes pueden ser de acero templado; entonces andan bien y son de un buen uso.

447. *Tirador de Murdoch.* En las válvulas que acabamos de describir se hace pérdida de vapor, en razon de que los pasos se abren y se cierran á alguna distancia de la entrada del vapor en el cilindro: se ha evitado este defecto en las máquinas de Watt y Boulton; se han empleado en ellas válvulas semejantes á las de Murdoch, en las cuales el vapor y el vacío ocupan una posición inversa de la de Murray. En las máquinas de cilindro largo se emplean dos tiradores, que se ponen en movimiento por medio de un vástago de comunicacion. Seria en efecto muy difícil ajustar bien un tirador un poco largo, para que las superficies de rozamiento estuviesen en perfecto contacto, y la menor desviacion de estos tiradores arriba ó abajo del cilindro, causa fugas considerables. Maudslay en las primeras máquinas que construyó para los barcos, adoptó el mismo sistema de tiradores que Boulton y Watt. (Véase la fig. 2, lám. VI).

448. Las válvulas de tirador son muy favorables para varias aplicaciones, y aun en la apariencia exterior la complicacion de las máquinas de doble efecto se ha disminuido notablemente por su uso: la invencion de un regulador para interceptar el vapor en un punto cualquiera del curso, es un objeto de bastante importancia. El señor Millington mira, con razon, como un defecto la falta de un medio para obtener este efecto, y añade que es comun á la válvula de tirador y á la llave de cuatro aberturas (1); pero esta objecion está destruida en los dos casos, si se aumenta en una mitad la estension del movimiento de las superficies de corredera. Con este objeto, la corredera ó tirador debe ser mas corto en toda la estension de la abertura, de modo

(1) *Epítome of natural Philosophy*, p. 313.

que no pueda cubrir á un mismo tiempo las dos aberturas del cilindro (véase la fig. 1, 2 y 3, lám. VII), y debe moverse en dos veces durante el curso, por medio de un camon, que se pueda ajustar segun se quiera; el primer movimiento detiene el vapor, como en la fig. 2; el segundo abre el paso de comunicacion con el condensador, y da entrada al vapor por el otro extremo. Contrayéndonos á este caso, sean F y D los pasos al cilindro, S el lugar en que entra el vapor, y E el paso al condensador: supongamos que el vapor se haya introducido en la parte superior del cilindro por el paso F, fig. 1, y que se haya dado al tirador su primer movimiento, fig. 2, de modo que cubra F, y deje aun abierta la comunicacion D con el condensador; al movimiento siguiente, fig. 3, el tirador estará al fin del curso, dará entrada al vapor en D, y abrirá la comunicacion F con el condensador; el vapor rodeará el tubo E, y no podrá aumentar sensiblemente el rozamiento por la presion.

449. A lo que se debe atender principalmente cuando se establece una válvula de tirador, es á abreviar la duracion del movimiento cuanto sea posible, de modo que no se disminuya el area de los pasos. La de la superficie de rozamiento apenas puede ser menor que ocho veces la de los pasos, los cuales serán un veinte y cincoavo del area del cilindro (art. 154). Asi la presion sobre el tirador será los ocho veinte y cincoavos de la del émbolo: suponiendo que el maximum de la presion sea el duplo de la presion media, y el rozamiento un octavo de la presion, será los dos veinte y cincoavos de la fuerza motriz, y este esfuerzo se verificará en un cilindro corto sobre cerca de un quinto de su curso. Entonces la pérdida será casi un sesenta y dosavo de la fuerza motriz de la máquina; esta razon será menor en los cilindros largos.

450. *La válvula cilindrica ó del émbolo metálico*, semejante á un émbolo que se mueve en un tubo, se empleó por Edelcrantz por válvula de seguridad; pero una válvula de esta naturaleza debe estar espuesta á tomar adherencia, ó á dejar escapar el vapor, puesto que está sujeta á tomarse ó á gastarse. La válvula de Woolf para arreglar la cantidad de vapor que pasa por una abertura, está fundada sobre el mismo principio, y no pa-

rece que ha tenido ninguna aplicacion útil (1). Se ha intentado echar mano de émbolos metálicos como válvulas de tirador; y no hay duda que podrán servir para este uso asi como para la parte superior de las válvulas planas. Se debe poner cuidado en construirlas de modo que sean impermeables y se gasten con igualdad por su movimiento en el cilindro. He procurado hacer resaltar las ventajas de estas válvulas de émbolo en las láminas VI y VIII (2).

Válvulas de movimiento de rotacion.

451. Las válvulas de eje diametral son las mas sencillas de las que tienen movimiento de rotacion. Una válvula de este género consiste en un disco de metal colocado sobre un eje transversal al paso: el eje divide el disco pasando por su centro, y sale á la parte exterior del tubo por una abertura impermeable al aire: estas válvulas son de la mayor utilidad cuando no hay precision de cerrar perfectamente como las válvulas de cuello, las de las chimeneas y otras. Belidor aplicó á las bombas la válvula de eje, colocando este un poco al lado del centro; esta modificacion hace tan difíciles los ajustes, que se ha renunciado á su uso. Esta dificultad subsistirá siempre en una válvula de asiento doble; á no ser asi, seria facil simplificar la válvula de Belidor (3).

452. Betancourt habia propuesto una especie de válvula que

(1) *Philosophical Magacine*, vol. XVII, p. 164.

(2) En la fig. 4, lám. VI, he indicado un sistema de válvulas de émbolo que me parece tiene algunas ventajas. Un anillo de figura cilíndrica en el exterior y cónico por dentro, se puede cortar en dos ó mas partes con juntas sobrepuestas una á otra, y estas partes pueden ser comprimidas por la accion del vapor sobre una parte cónica hecha para adaptarse al interior del anillo; al lado opuesto debe haber una placa tersa para ajustarse á la superficie del anillo. Entre esta placa y la base del cono se ingerirá una guarnicion elástica de cáñamo, y estará todo sujeto por tuercas que den vuelta sobre el vástago taladrado de los émbolos. Los pasos del vapor se deberán dividir de modo que ninguna de estas aberturas simples esceda de un octavo de la circunferencia.

(3) *Architecture hydraulique*, vol. II, p. 220.

daba vueltas sobre un eje para una máquina de doble efecto; de todos modos esta válvula no serviría para mucho tiempo, y no parece que se haya hecho uso de ella (1).

453. Las llaves son tan conocidas, que es inútil describirlas; en escala pequeña es indudablemente el mas seguro de todos los medios que se conocen para abrir y cerrar los conductos: no sucede así cuando tienen que moverse constantemente; pero aun en este caso dudo que sean inferiores á los otros medios, y su calidad depende mucho de su buena ejecucion. Para una llave simple y ordinaria el hueco interior debe ser casi cilíndrico, cuando ha de estar espuesta á una fuerte presión: la reducción del diámetro es cerca de un sexto de su longitud.

454. En ciertos casos es útil emplear la llave de dos agujeros, y en otros puede haber necesidad de otra de tres; pero las que se emplean mas comunmente en las máquinas de vapor son de un género llamado *llave de cuatro aberturas*: en el hecho es una válvula que da vueltas. Hay dos especies, una que ha sido indicada por Leupold, art. 12, y empleada por Trevithick: la otra inventada por Bramah.

455. *La llave de cuatro aberturas*, por su movimiento de rotacion al rededor de su eje, abre alternativamente la comunicacion de la caldera y del condensador con lo alto y bajo del cilindro de la máquina. (Véase la fig. 1, lám. VI). La sencillez de su accion compensa hasta cierto punto el inconveniente del rozamiento; pero tiene el defecto de dejar al vapor á cada golpe de émbolo perderse en los conductos. Su forma debe ser casi cilíndrica; á no ser así el rozamiento y su tendencia á gastarse con igualdad, se aumentarían. Cuando está bien tersa y exactamente ajustada, la presión del vapor tiende á mantener las superficies en contacto, y á gastar el asiento dándole una forma elíptica, de modo que bien pronto es necesario ajustarla de nuevo.

456. La llave construída como acabamos de ver, no permite interceptar el vapor arbitrariamente en un punto cualquiera del curso, sin el auxilio de otras válvulas; pero dividiendo los

(2) De Prony, *Nouvelle Architecture hydraulique*, vol. I, p. 572.

intervalos de modo que la parte llena de cada lado de la abertura, por donde pasa el vapor al condensador, sea doble de esta misma abertura, la llave podrá moverse en dos tiempos, de manera que el primer movimiento interceptará el vapor, y dejará el paso libre al condensador hasta el instante del segundo movimiento. (Véase la fig. 6 y 7, lám. VIII). En este caso la llave debe tener un movimiento alternativo, pero es preciso que la disposición de las superficies sea tal que impida el desgaste que es tan destructor en las llaves de forma ordinaria.

457. *Llave de cuatro aberturas de Bramah.* Como en una llave ordinaria se ejerce toda la presión entera contra una de las bases en el hueco interior cónico, la llave se gasta desigualmente y el rozamiento es considerable: para evitar estos inconvenientes se acomoda el tronco del cono sobre un eje cilíndrico, y el vapor penetra por la base más ancha, lo cual hace casi igual la presión sobre el asiento; y si la llave gira constantemente en la misma dirección, el desgaste es uniforme, á pesar de la desigualdad de la presión.

Estas llaves, con algunas modificaciones, se han empleado frecuentemente por Maudslay en máquinas pequeñas; en la lámina XVII se ve un ejemplo de su aplicación á una máquina portátil, y los detalles sobre una escala mayor, lám. X, fig. 3, 4 y 5. En el plano, fig. 5, C es el cilindro, I la llave de cuatro aberturas, y E el tubo por donde entra el vapor. La llave está figurada con todas las aberturas cerradas. La fig. 4 debajo del plano representa un corte por el eje de la llave; el vapor, viniendo por el tubo E, pasa por la base superior de la llave y llega por la abertura G', sea á la parte superior, ó á la inferior del cilindro, según que la abertura sobre el lado del cono está vuelta hácia uno ú otro de estos pasos.

Se comprenderá fácilmente el medio de abrir y cerrar los pasos, investigando lo que debe suceder cuando se vuelve la llave á derecha ó á izquierda de la posición que ocupa en el plano. El paso de la derecha conduce al condensador, que está indicado por la letra F en los dos cortes; la abertura del medio se comunica con lo alto del cilindro; la de la izquierda A con la parte inferior del cilindro. Si se vuelve la llave á la derecha de

modo que la abertura triangular por donde llega el vapor venga á colocarse delante de la abertura del medio, entonces el vapor podrá penetrar á lo alto del cilindro, cuya parte inferior se comunicará con el condensador á través del cono. Si se vuelve la llave á la izquierda de modo que el centro del paso triangular se comunique con el paso al fondo del cilindro, el vapor seguirá esta direccion, y lo alto del cilindro se comunicará con el condensador á través del nucleo. En esta llave el movimiento es alternativo. Se evita la pérdida de vapor en la parte inferior del cono con una guarnicion de cáñamo al rededor de la parte cilíndrica; en cuanto á la parte superior, se emplea un resorte en espiral con una taza de aceite H y un tornillo de cabeza para cerrar en caso necesario.

La presion y el rozamiento de esta llave no serán mas grandes que los de un tirador, si está igualmente bien ejecutada. Se puede objetar la pérdida de vapor que se verifica en los pasos, y es preciso tambien observar que no se puede detener el vapor sin interceptar igualmente el paso al condensador. De todos modos estos inconvenientes están compensados hasta cierto punto por el uso de la válvula de Field (véase la lám. XVII).

458. *Llave de cuatro aberturas pudiendo interceptar el vapor en un punto cualquiera del curso del émbolo.* Se obtendrá este efecto valiéndose de una llave bastante grande para que haya el espesor de dos aberturas entre dos pasos inmediatos. El diámetro se aumentará solamente en razon de 10 á 8; la superficie de rozamiento será casi la misma, y el cono será oprimido en su asiento con mas igualdad.

459. *Llave de doble paso.* En la práctica lo mas sencillo es emplear dos llaves de dos pasos. La sencillez aparente del uso de una sola, causa mas sujecion y cuidados, y sobre todo llena menos el objeto que dos llaves pequeñas: es tan facil mover dos como una sola, cuando los movimientos son simultáneos, y es mas facil manejarlas cuando se trata de interceptar el vapor arbitrariamente.

460. *Válvulas planas ó de disco.* Se comprenderá fácilmente la naturaleza de estas válvulas concibiendo dos discos ajustados uno sobre otro, de los cuales el uno puede dar vueltas al

rededor de un eje que atraviesa el otro; ambos tienen varias aberturas que se corresponden en una de las posiciones del disco movable, al paso que se hallan cerradas en otras. A estas válvulas hechas de acero templado recurrió Perkins para sus máquinas de alta presión. Cuando estas válvulas se ejecutan con exactitud y se aplican de manera que la presión sea con corta diferencia la misma sobre todo el disco movable, pueden ser de buen uso; permiten reducir la extensión del movimiento para abrirlas á un grado considerable, mas no sin dividir el paso en pequeñas aberturas.

461. *Regulador.* La válvula de vapor toma el nombre de regulador en la máquina atmosférica; es una especie de válvula plana rotante; pero está situada toda ella á un solo lado del eje, y esto la hace mas difícil de cerrar herméticamente. La figura 4, lám. XVIII, representa esta válvula segun el plan de Smeaton; AB parte inferior de la abertura; CD corte; P disco ó platillo que la cubre, y que se pone en movimiento por medio de un mango aplicado en E.

De los émbolos.

462. La primera circunstancia que debe tener un émbolo es no dejar salida al vapor, y obtener este resultado con el menor rozamiento posible. Los émbolos se hacen impermeables poniéndoles una guarnición elástica de materia vegetal ó animal; pero esta última especie de guarnición no puede servir para el vapor, porque el calor la destruiria.

Tambien se hacen émbolos enteramente metálicos, contruidos de manera que tengan un cierto grado de elasticidad. Después de haber hecho algunas consideraciones comunes á todos los émbolos, los examinaremos en el siguiente orden, dividiéndolos en dos clases.

EMBOLOS.....	De guarnicion no metálica.	De cuero.	{ Sobre madera, { Sobre metal.
		De la máquina atmosférica.	
	De guarnicion metálica.	De cáñamo.	{ Ordinarios. { De Woolf.
		De Cartwright, 1797. De Barton, 1816. De Jessop, 1823. De Perkins, 1823.	

463. El émbolo, ya sea tirado su vástago, ó ya impelido, está espuesto á torcerse si hay la menor desigualdad en el rozamiento ó en la posicion del centro del vástago, y este efecto se verifica, á menos que el émbolo no sea de un espesor proporcionado á su diámetro. Si no fuese mas que un disco, no habria mas que su enlace con el vástago que le impidiese dar vueltas por el esfuerzo de la mas ligera resistencia cuando fuese impelido; pero á medida que se hace mas grueso este espesor, se opone mas y mas á que pueda dar vueltas: sin embargo no es difícil hallar las proporciones que nos deben poner á cubierto de este accidente.

Supongamos que la presion sobre el émbolo AB ponga en movimiento el vástago CD, fig. 5, lám. XVIII, para que el émbolo tenga entonces una marcha segura, el rozamiento que experimenta en la circunferencia multiplicado por la mitad del diámetro del émbolo, debe ser igual á la presion que produce el rozamiento multiplicado por la mitad del espesor del émbolo; asi el espesor es al diámetro como el rozamiento á la presion de la superficie rozante.

El rozamiento del laton sobre el hierro es la octava parte de la presion; asi el espesor de los émbolos metálicos no debe bajar de la octava parte del diámetro.

El rozamiento de la guarnicion de cáñamo sobre el hierro es cerca de la sesta parte de la presion; por consiguiente el espesor de la guarnicion de cáñamo deberá ser la sesta parte del diámetro. La práctica varía en extremo sobre este punto; sin embargo la dimension media no se aparta mucho de la regla que acabamos de indicar. En el cuero sobre el hierro el rozamiento

es mayor, pues se aproxima al quinto de la presión (1). Cuando el émbolo obra tirando del vástago, su espesor no debe exceder los cuatro décimos del que se necesita cuando obra por presión sobre el mismo vástago.

Es bastante evidente que la parte media del contorno del émbolo contribuye poco á asegurar el movimiento, aunque aumenta el rozamiento; esto induce á construir el émbolo de manera que la guarnición no ocupe mas que el contorno de las dos bases *a* y *b* del émbolo, y quede libre la parte intermedia *A*, que entonces no experimenta ningun esfuerzo.

464. El émbolo comun es un cono doble de madera, fig. 6, lám. XVIII, guarnecido de dos bandas de cuero fuerte, fijas con dos clavos ó cercos. Las juntas del cuero no están unidas con costura sino que los dos bordes están en *justa posición* en cuanto sea posible, y sin corresponder el uno encima del otro.

465. Si las piezas son de metal, se deberá fabricar un platillo circular de cobre *B*, fig. 7, que se torneará bien para que se ajuste al cilindro en que debe moverse el émbolo, de modo que pueda entrar sin resistencia sensible. Los discos superior é inferior serán bastante espesos para dar á todo el conjunto el espesor que requiere el émbolo, y se encerrarán en cueros de figura de copas *CC* con los bordes levantados y cortados en biseles, haciendo un ángulo de cerca de 45° . Estos dos émbolos, fig. 6 y 7, tienen la ventaja de distribuir el rozamiento sobre el borde superior y el inferior; y el biselamiento del cuero hace que la presión del fluido tienda á desarrollarle y aplicarle contra la superficie del cuerpo de bomba. La idea de biselar el cuero parece que se ha adoptado primitivamente por Smeaton en el émbolo de una bomba ordinaria: en 1752 aplicó este principio de construcción á la máquina pneumática. Bramah hizo tambien uso de él en diversas partes de sus prensas hidráulicas, y le halló muy ventajoso para las grandes presiones.

(1) Belidor, que parece ser el primero que se sirvió de los émbolos llenos, da tales proporciones, que el espesor es casi igual al diámetro. Con ellas se aumenta mucho el rozamiento, como debe suceder en todas las partes que se quieren hacer impermeables: se halla además, en las láminas de sus obras, un espesor menor que el tercio (*Architecture hydraulique*, vol. II p. 117, y 223).

466. El émbolo de la máquina atmosférica consiste en un platillo de hierro colado de diámetro menor cerca de un tercio de centímetro que el del cilindro, y de 3 á 4 centímetros de espesor, con un borde levantado de cerca de un decímetro de alto. Se añade encima del circuito un anillo con aberturas correspondientes á las del borde levantado, por las cuales entran pasadores para sujetar uno sobre otro, despues de haber ingerido entre ellos una guarnicion de cáñamo ó de estopa empapada en sebo: á fin de hacer la guarnicion mas impermeable, se mantiene una capa de agua sobre el émbolo. Smeaton construyó el émbolo de las máquinas atmosféricas por un método bien superior á este que hace mucho menor la pérdida del vapor por su condensacion: se conocerá este sistema por la construccion del émbolo de la máquina de *Chase-Water*, cuyo cilindro tiene 1^m,1 de diámetro. El fondo del émbolo (véase la fig. 1, lám. VIII) está hecho de piezas de madera fijas á su platillo por pasadores, cuya cabeza se aplica á unas rodajas de hierro para defender la madera. El emplear esta materia, en el caso en que se hace la inyeccion en el cilindro, ofrece una ventaja bien facil de comprender. El platillo inferior, de olmo ó de haya, tenia de 5 á 6 centímetros de espesor, y estaba hecho de dos planchas cruzadas con una ranura de dos centímetros sobre los bordes para recibir las piezas destinadas á llenar los cuatro ángulos restantes; estas piezas se deben colocar de manera que la veta de la madera se dirija del centro á la circunferencia. Algunos clavos para sujetar las planchas cruzadas están colocados en su interseccion, y rodeado el todo de una faja de hierro de 2½ centímetros de espesor y de 6 de ancho, se hace de este modo impermeable. El diámetro exterior del círculo tiene medio centímetro menos que el cilindro. Las rodajas de hierro que van debajo del émbolo deben estar colocadas en mortajas ó muescas, de modo que las cabezas de los pasadores no sobresalgan; puesto el platillo de madera sobre el de hierro por medio de un pasador, despues de haber intercalado un espesor doble de franela y de brea, y de haber llenado todas las cavidades que puedan haber quedado con otra capa de franela y brea, de modo que no haya ningun vacío entre la madera y el hierro, se clavaban los pasadores con cuida-

do, de manera que sus juntas fuesen tambien impermeables. El platillo de madera tenia un borde de pinavete sin albura, y del espesor de 2 centímetros; se clavaba debajo del platillo, interponiendo una capa simple de franela y brea para suprimir todo vacío intermedio: hecho esto se allanaba exactamente la cara ó superficie de este borde.

467. El émbolo de guarnicion de cáñamo es ahora el que mas generalmente se emplea en las máquinas de vapor. Hé aqui como se construye de ordinario. Se ajusta en cuanto es posible la base *b* del émbolo, fig. 1, lám. IX, dejándole la libertad de moverse en el cilindro. La parte del émbolo que está inmediatamente encima, tiene de 2 á 5 centímetros, segun la fuerza de la máquina, menos que el cilindro para recibir la guarnicion; esta está formada de cáñamo largo sin hilar, ó de una cuerda blanda ó trenza preparada al efecto, que se tiene tan unida como sea posible. Esta guarnicion está comprimida por un plato ó cubierta *C*, que se coloca sobre el émbolo; está guarnecido de un borde levantado que se ajusta sobre la pieza inferior, y completa ó llena las paredes de la caja de guarnicion, produciéndose la compresion por tornillos *SS*. Las dos partes del émbolo que tocan á la guarnicion, estan un poco redondeadas, á fin de que la compresion que se ejerce perpendicularmente empuje el cáñamo contra las paredes del cilindro, y produzca un contacto tan perfecto como sea posible.

Cuando la guarnicion gastada por el rozamiento empieza á no juntar, los tornillos, que son mas ó menos numerosos segun el diámetro del émbolo, sirven para apretarla de nuevo por todo el tiempo á que su accion se puede estender. Cuando esto no es ya posible, es preciso levantar la parte superior del émbolo y añadir guarnicion. El vástago está ordinariamente unido al platillo inferior del émbolo; le atraviesa por una abertura cónica que llena exactamente, y se mantiene firme con una tuerca ó chapeta. Se alimenta el émbolo de sebo derretido, por medio de un embudo colocado sobre la cubierta del cilindro, y provisto de una llave para impedir que se escape el vapor.

468. *Embolo de Woolf*. En el método ordinario de construccion, cuando el émbolo por un trabajo continuo empieza á

menguar demasiado, y ocasiona pérdida de vapor, es preciso levantar la cubierta del cilindro para apretar las tuercas, aun cuando no haya necesidad de poner una guarnicion nueva. Como este trabajo es penoso, el atizador no se toma la pena de hacerlo mientras que la máquina puede andar: esta negligencia da lugar á una pérdida considerable de vapor y de combustible. La mejora de Woolf tiene por objeto permitir al obrero apretar el émbolo sin levantar la cubierta del cilindro, sino es cuando es preciso poner una guarnicion nueva. He aqui como lo consigue.

Sobre la cabeza de cada tuerca se coloca una rueda pequeña dentada, que se pueda poner en movimiento, y por consiguiente cerrar por medio de otra rueda central dentada que da vuelta al rededor del vástago del émbolo; si se hace andar una de las ruedas pequeñas, comunica su movimiento á la del centro, y esta hace dar vuelta á todas las demas. La que debe producir el movimiento está guarnecida de un cuadrado, que se viene á colocar en una cavidad de la cubierta del cilindro, cuando el émbolo está levantado. Esta cavidad se cierra con una pieza atravesada con un pasador, que se llama *capucha* ó *gorro*, y que se puede quitar y poner con facilidad.

Otro medio, cuyo fundamento es el mismo que el que precede, pero que se diferencia de él en la construccion, consiste en que en lugar de varias tuercas que se cierran por el movimiento de una sola, solo se emplea una que hace parte del vástago del émbolo (lám. IX, fig. 2). Sobre esta tuerca está colocada una rueda *d* de diámetro conveniente, y cuyo centro está taladrado para ajustarse sobre el vástago del émbolo. Se hace dar vuelta á la rueda para cerrar el émbolo, por medio de un piñon *a*, que tiene sobrepuesto un cuadrado que entra en una cavidad del cilindro, como se ha dicho arriba: se impide al platillo superior del émbolo dar vuelta con la rueda por medio de tuercas ó chapetas *ee*, llamadas clavijas de detencion.

Embolos metálicos.

469. *Embolo de Cartwright.* La idea de emplear un metal,

en lugar de una sustancia vegetal elástica para hacer los émbolos impermeables, formaba uno de los artículos de la patente obtenida por Cartwright en 1797. Consistía esta idea en reemplazar la guarnición por seis ó mayor número de piezas metálicas, que no son mas que segmentos de anillos *aa*, fig. 3, lámina IX, que se adaptan á la superficie interior del cilindro; otra série *bb* cruzaba las juntas de la primera: las dos séries estaban apretadas una con otra y contra el cilindro, por resortes en figura de V, y del uso de estas dos séries, así como de que alternaban las juntas de los anillos, resultaba que las huidas por las juntas se podían hacer imposibles. Los dos sistemas estaban contenidos entre dos platillos, en los cuales estaba fijo el vástago del émbolo (véase el corte fig. 3).

Los dos anillos exteriores que eran de latón, tenían exactamente el diámetro del cilindro, y estaban cortados en muchos segmentos, como se ve en *aaa*. Estos anillos estaban colocados uno sobre otro alternando las juntas. Las del anillo inferior están indicadas en la figura por líneas de puntos; los dos anillos interiores estaban igualmente dispuestos y mantenidos en su lugar por los dos platillos en que está fijo el vástago del émbolo; los segmentos eran impelidos del centro á la circunferencia por resortes de acero de la figura de la letra V.

Los émbolos de Cartwright no han probado bien en la práctica, mientras que los cilindros no estaban bien barrenados. Nicholson esplicó claramente la causa de esto poco tiempo después de haberse publicado esta invención (1). Teniendo las piezas que formaban el émbolo una curvatura determinada, y demasiada fuerza para tener flexibilidad sensible, no podían acomodarse á las irregularidades de la curvatura que se encontraban á lo largo del cilindro, como lo hacia la guarnición mas elástica de cáñamo. Hay motivo para dudar si la presión de los anillos ó segmentos unos contra otros era bastante fuerte para impedir que los resortes llenasen su objeto cuando se empleaban de esta manera.

El rozamiento de los émbolos que mantienen el vapor con

(1) *Philosophical Journal*.

igualdad, es menor sin contradicción en los que tienen guarnición metálica (art. 463).

470. *Émbolo de Barton.* Este émbolo se tiene por superior al de Cartwright (lám. VII, fig. 4). Consiste en un anillo grueso E de cobre ó de hierro colado, del mismo diámetro con corta diferencia que el cilindro, y dividido en tres ó mas segmentos. Unos triángulos iguales, haciendo el oficio de cuñas, deben servir para echar hácia fuera los segmentos de los anillos, de modo que se ensanche su círculo. Los segmentos y los triángulos se mantienen entre dos platillos, como en el émbolo que se acaba de describir. Los triángulos estan constantemente impelidos hácia la circunferencia por resortes en espiral, y sirven como de cuñas para apretar los segmentos contra la superficie del cilindro, á medida que se gastan. Las puntas de las cuñas se gastan tambien, y como estan hechas del mismo metal que los segmentos, hacen aun parte del émbolo. Un émbolo de ésta naturaleza puede durar muchos años en un cilindro bien acondicionado, sin exigir mas cuidados que el de untarle; pero es facil ver que las cuñas y los segmentos no oprimen con igualdad: asi en este estado este émbolo no es aplicable á las presiones altas, prescindiendo de que tiene todas las imperfecciones del émbolo de Cartwright. Barton lo ha perfeccionado recientemente, y voy á hacer la descripción detallada de él en este estado de perfección. El émbolo está representado en la fig. 4 en plano y en corte; se compone de un cilindro macizo de hierro colado A, que tiene una abertura cónica B, para recibir la estremidad ensanchada del vástago del émbolo, en la cual está fija por una clavija D. Al rededor del émbolo se ha abierto un espacio ó ranura, destinada á recibir cuatro segmentos de laton, de hierro colado ó de acero fundido templado, representados por la letra E, y que tienden á separarse á causa de la acción de las cuatro cuñas triangulares G, del mismo metal que los segmentos, y oprimidas por resortes espirales de acero templado. Estos resortes están metidos por sus estremidades en huecos ó cavidades cilíndricas para impedirles que se descompongan, sin embarazar no obstante su acción. Por la misma causa se coloca en cada resorte una clavija de hierro un poco mas pequeña que el resorte.

Para los émbolos destinados á las máquinas de alta presión, se hacen tres ranuras en la parte exterior de los segmentos, fig. 5; la del medio *a* encierra el aceite ó grasa para untar las superficies rozantes; las ranuras superior é inferior *bb* están guarnecidas de anillos de acero templado, teniendo en un punto, fig. 6, una junta libre ahorquillada; estos anillos están exactamente encajados en las ranuras, y cuando el émbolo penetra al cilindro, se juntan sus estremidades. Cada anillo está sujeto á su ranura por una chapeta que le impide dar vuelta, y que las juntas lleguen á corresponderse. Estos anillos, ó mas bien resortes circulares, forman una adición importante, y son de gran auxilio para impedir las huidas que resultarían de la expansión desigual de los segmentos y de las cuñas; porque la punta de la cuña se moverá hácia fuera en la dirección *nm*, al paso que los segmentos no se moverán sino en la dirección *no*; por consiguiente estas juntas no tardarían en abrir en el cilindro ranuras ó canales longitudinales, si no estuviesen redondeadas, y si no se les añadiesen los anillos ó resortes circulares para impedir las huidas del vapor.

Pero combinando la dureza y la elasticidad, Barton hizo mucho para hacer los émbolos impermeables y duraderos: de todos modos estas cualidades dependen mucho de la habilidad del obrero. Cuando estan bien hechos por una persona que comprende su acción, no hay duda que pueden ser de buen servicio.

471. Por medio de la construcción indicada en la fig. 7, se puede evitar el efecto que proviene de la expansión desigual de las diversas partes del émbolo de Barton. En esta disposición, las piezas en forma de cuña no se extienden hasta la superficie del cilindro, y para precaverse contra las aberturas de cada junta, se emplean dos series de segmentos y de cuñas, como se ve en el corte; las juntas de la segunda serie estan indicadas en el plano por líneas de puntos.

472. Es importante notar que el vapor mismo comprime las guarniciones metálicas, y tiende á hacerlas impermeables; y es esencial para la perfección del aparato que el vapor pueda penetrar al interior del émbolo, y que todas las partes se ajusten perfectamente en las juntas horizontales. Supongamos que el

vapor comprime la superficie superior A del émbolo, fig. 7, y que la parte inferior B se comunica con el condensador: el vapor entra por las juntas *e*, comprime los segmentos contra la plancha inferior, llena el interior de modo que empuja, juntamente con los resortes, los segmentos contra las paredes del cilindro. Del mismo modo cuando la parte inferior está abierta al vapor, y la parte superior se comunica con el condensador, el vapor penetra por *ff*, y comprime los segmentos contra el platillo superior y contra el cilindro. Si no fuese así, los resortes no podrían comprimir con bastante fuerza para que las juntas detuviesen el vapor; porque un fluido no puede ser detenido por una fuerza menor que su tensión. En el caso de que se trata, la presión que produce este rozamiento es siempre más grande que la presión del vapor sobre la superficie rozante, en toda la cantidad que proviene de la presión de los resortes (1).

473. *Émbolo de Jessop.* Se debe al señor Jessop un medio enteramente diverso de emplear un metal para hacer los émbolos impermeables, y por el cual obtuvo una patente en 1823. Este medio consiste en una guarnición elástica de metal que rodea el émbolo bajo una forma espiral. La fig. 8, lám. IX representa un corte de esta especie: AA es una espiral de metal que abandonada á sí misma y fuera del émbolo, toma la forma que indica la fig. 9. Para establecer este émbolo se prepara una capa de cáñamo BB, que llena el doble objeto de impedir que el vapor pase por las juntas, y de ayudar á la presión de los resortes contra la superficie del cilindro. Es preciso añadir de cuando en cuando un poco de cáñamo para reemplazar la parte que se ha gastado. La acción del vapor para hacer el émbolo impermeable, se ejerce por la presión sobre los platillos superior é inferior, como en los émbolos ordinarios guarnecidos de cáñamo.

(1) Algunos mecánicos conocen tan poco el modo de obrar de los émbolos, que no es muy raro el oírles apreciar el rozamiento del émbolo por lo que se verifica en un cilindro abierto. Se puede poner en la misma línea el método que consiste en valuar los rozamientos de una máquina por la fuerza que exige para andar en vacío, es decir, cuando no tiene nada que mover. El hecho es que el rozamiento está en razón del esfuerzo soportado por las partes, y que este esfuerzo está casi en la proporción del trabajo ejecutado.

Estos émbolos comprimen y se gastan mas igualmente que las otras especies de émbolos metálicos, cuando estan hechos con el mismo cuidado, y han probado tan bien en la práctica (1).

474. *Del rozamiento de los émbolos.* Las superficies rozantes del émbolo deben oprimir contra el cilindro, con una fuerza á lo menos igual á la tension del vapor que impide pasar; de otro modo las superficies se separarian, y dejarian escapar el vapor. Se ha visto (art. 463) que el espesor de la superficie rozante debia ser igual á la fraccion del diámetro que espresa el rozamiento: sea pues r = al rozamiento cuando la presion es la unidad; t = al espesor; d = al diámetro, y p = á la presion del vapor; F = al rozamiento total, y entonces el rozamiento será igual á $3,1416 tdpr$, ó puesto que $t = rd$, se tendrá

$$F = 3,1416 pr^2 d^2;$$

será preciso añadir un décimo para el rozamiento del vástago del émbolo.

Siendo la fuerza motriz $\frac{3,1416pd^2}{4}$,

la presion de la fuerza motriz igual al rozamiento, será por consiguiente

$$\frac{4,4 \times 3,1416pd^2 r^2}{3,1416pd^2} = 4,4r^2.$$

En las máquinas de doble efecto con el émbolo metálico, se tiene

$$4,4r^2 = \frac{4,4}{8 \times 8} = 0,069$$

de la fuerza total.

En las máquinas de doble efecto con el émbolo de guarnicion de cáñamo, el rozamiento será

$$4,4r^2 = \frac{4,4}{6 \times 6} = 0,1222$$

de la fuerza total.

(1) Perkins ha pedido tambien patente por una disposicion particular de las piezas de un émbolo metálico; pero como es evidentemente inferior á los que se han descrito, basta indicarle (véase *Repertory of Patents*, vol I, p. 224).

En las máquinas de simple efecto con émbolo de guarnicion de cáñamo se tendrá

$$0,4 \times 4,4r = \frac{1,76}{6 \times 6} = 0,049.$$

En las máquinas de alta presion se supone que el rozamiento está en la misma razon; pero estando la pérdida del vapor por el émbolo, en cuanto á la potencia, en razon inversa del diámetro del émbolo, he admitido que el rozamiento y las huidas absorbian los dos décimos de la fuerza, y esto está conforme con la observacion que he hecho en dos circunstancias en que tenia medios bastante seguros de comparar la potencia y los efectos producidos. El cálculo da para las fugas una cantidad un poco mayor (véase la nota del art. 384).

Cuellos de los vástagos de émbolo ó cajas de estopa.

475. Los cuellos de los vástagos de émbolo ó cajas de estopa son aparatos destinados á hacer impermeable á todo fluido el paso de un vástago movable. Este modo de comunicar el movimiento sin dar entrada al aire, debe haberse usado hace mucho tiempo: le encontramos en diversas obras sin indicar la época de su invencion. Se semeja de tal modo á la construccion de un émbolo, que parece casi inutil entrar en detalles particulares. Su efecto se produce, como en el émbolo, por la elasticidad, y se ha echado mano del cuero, del cáñamo, del algodón, del corcho y del metal para llenar este objeto. Cuando el calor del vapor no puede ser nocivo, se podrá emplear el cuero. Se ha hecho uso de él bajo la forma de discos, que presentan una abertura para el vástago del émbolo, y estan sujetos por medio de tornillos. Se han empleado despues en forma de copa, primero en el establecimiento de las bombas de York Buildings en Lóndres (1). Smeaton se sirvió tambien de ellos para su máquina pneumática; ademas los ha aplicado á los vástagos de los émbolos de las máquinas de soplar de Carron en Escocia; y des-

(1) *Architecture hydraulique*, vol. II, p. 62.—*Description of the Pumps of York buildings*, London.

cribe cómo se forman estas copas, abriéndolas con un sacabocados en un cilindro del mismo diámetro que el vástago del émbolo á que se destina (1). Lo que hace mas curiosa la caja de Smeaton para los cilindros de soplar es que estaba colocada en un zoquete de madera dura, y que parece que los vástagos habian sido tirados por hilera. La aplicacion de este género de guarniciones á los émbolos de la prensa hidráulica por Bramah dió lugar á que se experimentasen sobre una grande escala y bajo presiones enormes.

476. La caja de estopa con guarnicion de cáñamo debe contener el vapor al rededor del vástago, de un modo semejante con corta diferencia al del émbolo. Un cuello con una abertura adecuada para recibir exactamente el vástago está fijo á rosca sobre la cubierta del cilindro, de modo que oprime contra el vástago la guarnicion que encierra; la parte superior está hueca en figura de taza para recibir el sebo que sirve para untar el vástago (véase la lám. VI y VII).

477. Cartwright hizo un ensayo para las guarniciones metálicas de los vástagos de émbolo. Despues Barton las ha perfeccionado mucho. Este objeto es menos importante que el émbolo, y debe ocasionar menos gastos; sin embargo la invencion es tan ingeniosa, que vamos á describirla. El aparato que Barton substituyó á las cajas de estopas, está representado por la figura 3, lám. XVIII. D es el vástago del émbolo, E una caja con un espaldon para sostener la placa de bronce F, y otro en G para la placa H. La cubierta I de la caja está fija por pasadores del modo ordinario, con hojas de plomo en las juntas I,K, para que venga mas justa. Tres piezas principales de metal L abrazan el vástago del émbolo D, y tres cuñas M, llenan el espacio que dejan entre sí. Dos aros delgados de acero templado N,N, sólidamente remachados en sus puntos de union, sujetan fuertemente los ángulos achaflanados de estas piezas. Estos ángulos sirven para mantener los aros en su lugar. En cada ángulo exterior de las piezas L hay dos resortes en espiral colocados en agujeros

(1) *Philosophic. Transactions*, vol. XLVII, p. 415.—*Smeaton's Reports*, vol. I, p. 360.

cilíndricos, que tienen en su interior clavijas como en el émbolo; estos resortes y los cercos elásticos oprimen fuertemente las piezas L contra el vástago del émbolo. Otros dos cercos de acero *aa* están colocados en dos ranuras, y en contacto con el vástago, cuyas juntas cierran aun mas perfectamente; están fijos del mismo modo que los anillos del émbolo que hemos descrito arriba. La ranura del medio R, colocada entre las otras dos, está destinada á recibir la grasa. La cavidad circular SS, abierta en la cubierta del cilindro, está destinada al mismo uso (1). Al construir este aparato, se tendrá cuidado de que las piezas L tengan las caras paralelas: sin esto se gastarían desigualmente, y los resortes dejarían bien pronto de hacer efecto. Las piezas M no se deben apoyar sobre el vástago del émbolo; y yo no creo que la caja guarde bien el vapor, si no se guarnece de cáñamo el espacio que se halla detras de los cercos NN.

Medios de abrir las válvulas, las llaves y los tiradores.

478. El movimiento se imprime, ó por las partes de la máquina que dan vueltas, ó por las que tienen un movimiento alternativo. En las máquinas que no tienen piezas de la primera especie, se comunica el movimiento á las válvulas por un vástago ó palanca movable, que está enlazada á la balanza de la máquina, cerca de la estremidad puesta en movimiento por el vástago del émbolo. Esta palanca está guarnecida de unos pitones movibles á discrecion, que vienen á dar contra las palancas de las válvulas, para abrir ó cerrar estas en los instantes que conviene del ascenso ó descenso de la balanza. Estas palancas giran sobre sus ejes y hacen moverse á las válvulas, tiradores ó llaves. El punto importante es que la accion sea bien regular, porque el efecto de una máquina depende principalmente del cuidado con que se abren los pasos, ó se cierran, en el momento oportuno. Cuando se hace uso de válvulas, se abren comunmente por medio de pesos (véase la lám. XI fig. 5). Un peso *w* suficiente para vencer el rozamiento y abrir la válvula, obra so-

(1) Gill's *Technical Repository*, vol. IV, p. 242.

bre una palanca angular a movable sobre un eje, y que abre la válvula luego que la hace dar vueltas. Este peso se mantiene suspendido por un trinquete de resorte b mientras que la válvula está cerrada; y cuando el trinquete se desprende por medio del mango c , que se pone en movimiento por el piton d , se abre la válvula. Si esta es un poco grande, exige un peso considerable w para abrirse á pesar de la presión del vapor, y en este caso es preciso recurrir, ya sea á la válvula indicada, art. 443, ó ya al medio de Watt, para desembarazarse de esta presión. Se puede preguntar ¿por qué se levantan pesos para abrir las válvulas en lugar de hacer uso directamente de la palanca movable? El único motivo que hace que se proceda así es, que el peso *abre* la válvula mas rápidamente, y que la pérdida de fuerza que se experimenta, *cerrando* las aberturas con lentitud, no se descubrió tan prontamente. No obstante, la pérdida absoluta es casi la misma, y en la práctica es cada dia mas comun abrirlas directamente. El descenso del peso que abre una válvula se arregla por un medio muy ingenioso; este peso baja á un vaso lleno de agua, ó bien empuja un émbolo á este vaso (véase en C, fig. 5 lám. XI), mientras que la abertura por donde el agua se escapa abajo, se puede disminuir ó aumentar como se quiera. El peso obra, pues, con toda su fuerza para abrir la válvula; pero luego que empieza á moverse, se va deteniendo por la resistencia del agua, hasta que al fin se para. Durante el ascenso, una válvula colocada en el fondo del vaso, se abre interiormente, y en consecuencia la máquina no tiene ya que levantar de nuevo el mismo peso.

En las máquinas destinadas á subir el agua, se ha empleado siempre el medio de abrir las válvulas; y como este mecanismo es muy ingenioso, se conserva su uso. Pero yo creo que es mas sencillo, y al mismo tiempo mas ventajoso, comunicar el movimiento de la palanca movable á la válvula de un modo directo, como se ve en el artículo 482. El piton que detiene el vapor debe ser capaz de hacer una larga carrera, ya sea que se le ajuste á mano, ya que se dirija por sí mismo. (Véase el artículo 554).

479. En una máquina de volante vale mas colocar una rueda escéntrica sobre el arbol del volante, la cual por su revolucion

imprime un movimiento de ida y vuelta á un vástago enlazado á un cerco, que rodea el escéntrico, y da así el movimiento á las válvulas ó tiradores. Este aparato está representado en la fig. 2, lám. XVII. N es el corte del arbol del volante, y K el escéntrico fijo sobre este arbol, y girando con él; un cerco de metal cubre el escéntrico de modo que le permite dar vuelta, y de este cerco parten dos varillas *i* unidas entre sí para mas seguridad: estas varillas se terminan sobre una palanca curva, que hace mover la vara *l*, y por consiguiente otra palanca, que por medio de un par de ruedas de ángulo, da el movimiento á la llave de la máquina sobre su eje *n*, y la vuelve á traer á su lugar. Un escéntrico tiene la ventaja de facilitar en gran manera los cambios de movimiento, que haciéndose de un modo constante no dan ningun sacudimiento. En las máquinas grandes se equilibra el escéntrico por medio de un contrapeso, de manera que no ejerce mas que una ligera presion sobre el eje (véase la lám. XXIII). Sea *r* el radio del escéntrico, *d* la distancia de su centro de movimiento, $r + d - (r - d) = 2d$ será la estension del movimiento ó el duplo de la escentricidad. En cualquiera otra posicion, la distancia horizontal será $d \cos a$, siendo *a* el ángulo formado por la línea de los centros y la horizontal. Cuando los dos centros están en la misma vertical, $a = 90^\circ$, y $\cos a = 0$, la distancia es nula, y esto corresponde al fin del curso. Sabemos, por la naturaleza del círculo, que el coseno crece rápidamente, partiendo del ángulo de 90° ; pero cuando el émbolo haya corrido un sexto de su curso, el tirador ó llave no podrá estar aun mas que medio abierta, y á menos que su movimiento no sea mayor de lo que es necesario para abrirla, no quedará enteramente abierta sino durante la novena parte del curso.

480. Los rodillos escéntricos para levantar los vástagos de las válvulas, tienen el mismo defecto, pero la aplicacion es ingeniosa. Concíbese que el arbol Y, fig. 1, lám. X, se pone en movimiento por el arbol del manubrio de una máquina de doble efecto, y comunica un movimiento de rotacion al arbol Z por medio de las ruedas 7 y 8: si se colocan entonces sobre Z dos ruedas escéntricas 4,4 debajo de dos vástagos que entran verticalmente en unas guias (véanse *z, z*, fig. 2), y guarnecidas

de rodillos de rozamiento 3,3, la revolucion del arbol Z hace levantar y bajar alternativamente los vástagos que por medio de los brazos 9, 10, 11, 12 levantan y bajan las válvulas. La palanca ó mango 13 sirve para abrir y cerrar las válvulas á mano cuando se empieza á trabajar, etc. Se puede notar que esta construccion no permite interceptar el vapor sin que la comunicacion con el condensador esté cerrada.

481. El escéntrico se ha perfeccionado considerablemente para abrir y cerrar los pasos con mas rapidez, cambiando la forma de la polea del eje en términos que pueda obrar casi como un camon, y colocando sobre la varilla del escéntrico unas piezas movibles á discrecion; pero ¿por qué no se le da la forma de un camon ó de una serie de dientes, para producir del modo mas conveniente el movimiento deseado? Supongamos que se quiere interceptar el vapor á un punto cualquiera del curso; deberá haber dos movimientos, y la estension del uno deberá ser doble de la del otro. Sean fig. 1 y 2, lám. XI, AB la estension del primer movimiento, y BG la del segundo. Describiendo desde el centro D dos círculos que pasen por estos puntos, tómese AE por el momento del cierre del paso al condensador, y AF por el de la abertura del paso del vapor: para hacer entonces el movimiento mas facil, se describirá la curva HG de modo que cada una de sus partes sea una parábola, teniendo una de ellas su vértice en H, y la otra en G (1). Para producir el segundo movimiento, se colocará otra rueda sobre el mismo eje, detras de la primera, con una curva IK. Si estas curvas tienen sus correspondientes en sentido opuesto, y obran sobre poleas, el movimiento será seguro, y su amplitud limitada, y se le podrá hacer cambiar de direccion cuando se quiera para las máquinas de barcos ó carruages, porque cambiándose á mano la posicion del tirador, la presion del vapor hará dar vuelta al manubrio en sentido contrario, y la rueda de camones hará mover las válvulas ó la llave en las direcciones que convengan. Para interceptar el vapor en un instante determinado del curso, segun la resisten-

(1) La mejor curva para pasar del reposo al movimiento es la parábola. (Véase Emerson's *Mechanics*. vol. IV, p. 91.)

cia ó trabajo de la máquina, la rueda con la curva IK debe poder introducirse al rededor de su eje, y la curva IK se debe ajustar de modo que se pueda hacer variar el instante en que se detiene el vapor desde N hasta O.

482. Cuando se emplean válvulas, su propio peso y el de los vástagos bastan generalmente para cerrarlas. En este caso los vástagos no requieren estar enlazados de modo que produzcan los dos movimientos; pero por otro lado, es preciso para una máquina de expansión (1), que haya un vástago separado para cada válvula, y será ventajoso colocar las ruedas dentadas, ó los camones debajo de los vástagos que deben poner en movimiento, como sobre el eje Z, lám. X, fig. 1 y 2.

483. Para aplicar estos mismos principios á las máquinas de movimiento alternativo, sea AB, fig. 3 y 4, lám. XI, una palanca movable con una curva CD para obrar sobre el rodillo C, que luego que la palanca desciende á C, hace entrar el bastidor del rodillo, y dar vuelta al eje E, de modo que baja el vástago de corredera por medio del brazo F. El vapor se interceptará por HI durante el descenso, y por KL durante el ascenso del émbolo.

484. Para arreglar la duracion de la introduccion del vapor, las piezas que tienen las curvas IH y KL, están divididas en dos partes, á fin de que se las pueda hacer entrar una en otra por medio de una rosca; y si la vara ó vástago que tiene la rosca entra en una rueda movida por un moderador ú otro mecanismo de este género, la máquina se arreglará por sí misma (véase el art. 554).

(1) Siendo los movimientos de las válvulas, tiradores y llaves, incompatibles con el uso de la fuerza expansiva del vapor en las máquinas de la mayor parte de los constructores, se puede decir que, á escepcion de Boulton y Watt, hay muy pocos que hayan sacado partido de este gran manantial de economía. Los propietarios de las máquinas se esmeran demasiado en conseguir la mayor fuerza posible en una máquina de tamaño determinado, y se olvidan de que para que una máquina funcione consumiendo el *minimum* de combustible, debe ser el cilindro mucho mas grande en igualdad de efecto. En la estimacion comparativa de la economía de una máquina, no se debe considerar su fuerza nominal, sino el efecto producido por un kilograma de combustible.

485. En todos los casos los árboles que han de ser movidos alternativamente en dos diferentes sentidos, deben estar en equilibrio, y el esfuerzo de todas las partes pesadas se debe compensar por contrapesos que obren sobre palancas. El *encliqueta-ge* regulador debe ser de una fuerza proporcionada á la que es preciso hacer para abrir las válvulas, las llaves ó tiradores. (Véase el art. 449).

De las guias de los émbolos.

486. El movimiento del vástago del émbolo se debe hacer en línea recta en la direccion de su longitud; y cuando el punto sobre que obra describe una parte de círculo, la construcción debe ser tal que cada parte tome exactamente el movimiento que conviene. El vástago del émbolo debe producir el movimiento circular, de modo que la acción sea la menos oblicua posible; el método mas sencillo es conservar al vástago su direccion por medio de guias, y hacerle obrar sobre las partes que tienen un movimiento circular, por medio de palancas móviles que se fijan en su estremidad. A fin de disminuir el rozamiento de las guias, se añaden poleas ó piezas móviles. En la lám. XVII, fig. 1, se ve una combinación de esta especie, tan simple como eficaz. Una pieza móvil ó polea F está unida al vástago D del émbolo, y se mueve por la vertical con el auxilio de las guias GG; el movimiento se transmite al manubrio I por la palanca móvil HH. Cuando el volante tiene la energía suficiente, la pérdida de fuerza en esta combinación es simplemente el rozamiento producido por una acción oblicua, la cual es tanto menor cuanto mas larga es la palanca móvil, siempre que el peso de esta no se aumente de un modo notable (1).

(1) El aumento total de esfuerzo necesario para cambiar el movimiento alternativo en el de rotación, no puede ser duplo en ningún caso del rozamiento sobre el eje del manubrio; y como el duplo de este rozamiento no asciende jamás á la décima parte de la fuerza de la máquina, no se podrá esperar igual grado de economía y de sencillez empleando directamente el vapor á un movimiento de rotación. (Véase art. 313-317, y la tabla del art. 487).

Manubrios.

487. El manubrio es una de las mejores invenciones para cambiar un movimiento alternativo en otro de rotacion: tres casos se presentan:

1.º La fuerza motriz puede ser uniforme, y ejercerse en línea recta;

2.º La fuerza puede ser uniforme, y ejercerse en línea curva.

3.º Y en cada uno de estos casos la fuerza puede ser variable.

El manubrio aumenta la velocidad de la fuerza motriz, y en la construccion que se usa la aumenta en la razon de la circunferencia del círculo al duplo de su diámetro; pero esta relacion puede variar: esto se concebirá fácilmente pasando la vista por la fig. 8, lám. XVIII. Representando AB el curso del vástago del émbolo, el manubrio se puede hallar en un punto cualquiera de la lúnula representada por las líneas de puntos.

Si tomamos la suma de las fuerzas que obran sobre toda la circunferencia, la hallamos exactamente igual á la que obra sobre la línea recta, salvo el rozamiento adicional.

La tabla que sigue se ha calculado para una fuerza uniforme obrando en línea recta: se ha representado la fuerza motriz en línea recta por la unidad, y la tabla indica la presion que produce en la direccion de la tangente al círculo á cada cuarto de circunferencia, y de 30 en 30 grados. Por esto podrá juzgar el lector del efecto de una fuerza variable. Cuando el punto de aplicacion describe una curva, el efecto es menos regular; pero la diferencia no es tanta, ni tan importante que exija investigaciones particulares. Se ha añadido la última columna para manifestar el aumento de esfuerzo sobre el eje, con respecto al que tendria lugar si este eje se pusiese en movimiento por ruedas dentadas (1).

(1) Supongamos que la fuerza motriz se mueva segun la línea AB, y que el escéntrico D de la palanca movable se mueva al rededor del círculo. Sea a el ángulo que forma dicha palanca con la direccion AB del movimiento, y c el

Tabla de las variaciones de la fuerza de rotacion cuando una fuerza constante comprime el manubrio.

PARTE del curso descrita, tomando el curso entero por unidad.	NUMERO de grados corridos partiendo del origen.	RAZON de la longitud de la palanca movable á la del manubrio tomando la última por unidad.						ESFUERZO soportado por el arbol, cuando la palanca movable tiene seis veces la longitud del manubrio.
		2.	3.	4.	5.	6.	7.	
0	0°	0	0	0	0	0	0	1,0
0,067	30	0,72	0,65	0,61	0,59	0,57	0,56	0,825
0,146	45	0,97	0,87	0,83	0,80	0,78	0,77	0,624
0,25	60	1,10	1,01	0,98	0,95	0,94	0,93	0,375
0,5	90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,169
0,75	120	0,62	0,75	0,75	0,78	0,79	0,80	0,625
0,854	135	0,43	0,57	0,57	0,60	0,62	0,63	0,790
0,933	150	0,27	0,39	0,39	0,42	0,43	0,44	0,907
1,000	180	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,00

Se ha representado la longitud del manubrio por la unidad; pero estas tablas se aplican á toda especie de longitud de manubrio, cuando la palanca movable tiene 2, 3, 4, 5, 6 ó 7 veces su longitud. Las columnas que estan debajo de estos números, dan

ángulo ó arco descrito partiendo de E. La fuerza en la direccion de la palanca será P secante a , siendo P la fuerza segun la vertical, se tendrá la proporcion

$$1 : \text{sen } (c+a) :: P \text{ sec } a : P \text{ sec } a \times \text{sen } (c+a),$$

cuyo último término es la fuerza en la direccion FD de la tangente al círculo, pero

$$\text{sen } c(+a) = \text{sen } c \cos a + \text{sen } a \cos c;$$

luego se tendrá

$$P (\text{sen } c \cos a + \text{sen } a \cos c) \text{ sec } a$$

por la expansion de la fuerza. Si la palanca tiene una longitud n veces mayor que el manubrio, $\text{sen } c = n \text{ sen } a$, y la fuerza á un ángulo cualquiera c estará representada por

$$P \text{ sen } c \left(\frac{\cos c}{\sqrt{n^2 - \text{sen}^2 c}} + 1 \right).$$

El aumento de presion sobre el eje ó arbol del manubrio, y por consi-

la fuerza que corresponde á las posiciones indicadas en la primera y segunda columna.

Paralelogramos.

488. El último medio de transmitir el movimiento de un vástago de émbolo á la balanza que resta describir, se llama *paralelogramo*. El descubrimiento de él se debe á Watt, que dió una breve noticia de sus ensayos sobre esta materia en la *Mecánica Filosófica* de Robison; pero la teoría ha sido mas particularmente estudiada por el señor de Prony. No trataré esta materia sino con mucha brevedad, y mirándola solo por el lado de la práctica, limitándome á indicar las mejores proporciones.

Hay dos casos que examinaré separadamente para mayor sencillez, pero que se emplean á un tiempo por lo general en la misma máquina.

489. *Primer caso.* Habiendo dos barras, AB, CD, lám. XII, fig. 4, que tienen en una de sus estremidades un eje, al rededor del cual pueden dar vueltas, y la otra estremidad unida á una tercera barra BD por una charnela, existe un punto E en la barra de union, que describe con corta diferencia una línea recta. El movimiento rectilíneo para la bomba de aire se obtiene frecuentemente de esta manera: como este movimiento no es perfectamente rectilíneo, es bueno investigar el punto en que lo es mas.

490. En un aparato regulador de esta especie, es muy im-

guiente el rozamiento será proporcional á

$$P \left(\cos c \mp \frac{\text{sen}^2 c}{\sqrt{n^2 - \text{sen}^2 c}} \right).$$

Se debe tomar el signo inferior despues que el vástago es tangente al círculo. El rozamiento adicional no será pues nunca mayor que $\frac{Pd}{16r}$,

en donde d representa el diámetro del arbol, y r el radio del manubrio, suponiendo el rozamiento la octava parte de la presion.

Se puede hallar la razon de arriba construyendo la figura, porque cuando CG representa la presion, FD espresará la fuerza en la direccion del manubrio, y CF será el esfuerzo soportado por el eje.

portante que el esfuerzo sobre las piezas no cambie su direccion durante el movimiento: verificada esta condicion, habrá menos dificultad en construirlas de modo que marchen con regularidad. La balanza AB y la brida CD deberán estar en una posicion casi horizontal hácia la mitad del curso del émbolo; y para que el esfuerzo no cambie su direccion de modo que cause algunos sacudimientos á su eje, la barra BD no deberá pasar de la vertical al fin de cada curso. Para limitarla de esta manera, supondremos que la barra, tal como está figurada por las líneas de puntos, sea exactamente vertical, ó que coincida con la direccion del vástago que guia al fin de cada curso.

Cuando $AB=DC$, el punto E ocupa el medio de la longitud de la barra BD (1).

491. REGLA. Cuando AB y CD tienen entre sí cualquiera otra razon, por ejemplo, si $\frac{AB}{DC} = \frac{n}{m}$, entonces se restará del número n la mitad de la raiz cuadrada de cuatro veces su cuadrado disminuido de 1; despues quítese tambien del número m la raiz cuadrada de cuatro veces su cuadrado disminuido de 1.

Divídase despues el primer resultado por la suma de los dos,

(1) Sean AB y CD los dos brazos, BD la barra que los une, y E el punto en que se debe suspender el vástago del émbolo, cuyo movimiento se verificará segun la direccion *bd*. Hagamos $AB=ns$, $DC=ms$, $BD=l$, y sea s la longitud del curso del vástago, la cual es igual á la cuerda del arco descrito por la barra AB. Llamemos x el seno verso de este arco, y v el seno verso del arco descrito por la estremidad D de la brida, y asi $AB=x+v$ suma de los senos versos,

$$y \quad x+v : x :: l : BE;$$

$$\text{de donde} \quad BE = \frac{lx}{x+v}.$$

Pero en virtud de una propiedad del círculo tenemos

$$v = s(m - \sqrt{m^2 - 0,25}), \text{ y } x = s(n - \sqrt{n^2 - 0,25});$$

lo cual da, sustituyendo estos valores,

$$BE = \frac{l(n - \sqrt{n^2 - 0,25})}{(m - \sqrt{m^2 - 0,25}) + (n - \sqrt{n^2 - 0,25})}.$$

Cuando $m=n$, ó $AB=CD$, se halla $BE = \frac{1}{2} l$.

y multiplíquese el cociente por la longitud BD, y se obtendrá la distancia del punto E al punto B.

Ejemplo. Sea $\frac{AB}{CD} = \frac{2}{3}$; se tendrá

$$2 \times 2 \times 4 = 16, \text{ y } 16 - 1 = 15,$$

cuya raíz cuadrada es 3,873: la mitad de este número es 1,9365. Despues $2 - 1,9365 = 0,0635$; lo cual da el primer resultado. Por otra parte,

$$3 \times 3 \times 4 = 36, \text{ y } 36 - 1 = 35,$$

que tiene por raíz cuadrada 5,916, cuya mitad es 2,958. En fin

$$3 - 2,958 = 0,042 \text{ por el segundo resultado;}$$

lo cual da

$$\frac{0,0635}{0,0635 + 0,042} = 0,602.$$

Asi la longitud de la barra BD, multiplicada por la fraccion 0,602, será la distancia del punto E al punto B, cuando $\frac{AB}{CD} = \frac{2}{3}$; ó bien si se da el punto E, BE dividido por 0,602, espresará la longitud BD de la barra, ó la distancia entre los dos puntos de union B y D. El paralelogramo de la máquina figurada en la lámina XIII y la de la lámina XXIII presentan ejemplos de esto.

492. *Segundo caso.* En la estremidad de una balanza que se mueve al rededor del punto A, fig. 5, lám. XII, se hallan tres barras mas pequeñas que forman con una parte de la primera el paralelogramo BDGF; otra barra DC, que se mueve al rededor del centro C, está fija en el ángulo inferior D del paralelogramo, ó en lo mas distante del centro C, al rededor del cual se mueve la barra. Si se suspende el vástago del émbolo en el otro ángulo inferior G del paralelogramo, su movimiento será casi rectilíneo en la direccion GH.

Para dár tambien al esfuerzo la misma direccion durante todo el curso, yo me determinaria á preferir la construccion que diese á las barras BD y FG la posicion vertical en las dos estremidades del curso; sin embargo esto no es lo que se hace, porque en general se coloca la línea de movimiento del vástago, de modo que divida en dos partes iguales el arco descrito por la estremidad de la balanza. Esta disposicion aumenta un poco la

ligera tendencia del movimiento á desviarse de la línea recta, y produce este efecto en dos puntos del curso, en lugar de ser en uno, lo cual causa una accion irregular; pero la diferencia en esta parte no influye en el resultado de las reglas en cuanto á la longitud de las bridas etc. En todos los casos, á escepcion de cuando la brida DC y la barra paralela DG son de la misma longitud, la deviacion crece á proporcion del ángulo que describe la balanza; asi las balanzas que tengan barras paralelas cortas estarán limitadas en la estension de sus movimientos angulares: este movimiento en general no deberá pasar de 20 grados, y es con corta diferencia lo que se debe verificar cuando la distancia de la estremidad F de la balanza al centro de movimiento A es á la longitud del curso Hf, como 3 es á 2, y entonces se hallará la longitud de la brida por la regla siguiente.

493. REGLA. Para hallar la longitud de la brida, cuando la distancia del centro de movimiento de la balanza á su estremidad es á la mitad del curso del émbolo, como 3 es á 2, del triplo de la mitad del curso del émbolo réstese el triplo de la longitud de la barra paralela, y multiplíquese la diferencia por la mitad de la longitud del curso; divídase el producto por 0,343146 veces la longitud de la barra paralela, y el cociente añadido á la longitud de la barra paralela será la longitud de la brida (1).

(1) Sean b = la longitud AF de la balanza, partiendo del centro de movimiento;

c = la longitud de la barra paralela DG;

r = la longitud de la brida DC;

v = el seno verso del ángulo descrito por la brida;

a = la mitad del ángulo descrito por la balanza.

Supongamos que la brida pueda ser horizontal, cuando la balanza está en la presion horizontal (esto no puede verificarse sino próximamente); entonces

$(b-c) \operatorname{sen} a = \sqrt{2rv - v^2}$ = la mitad de la cuerda del arco descrito por la estremidad D de la brida. Pero $v = c(1 - \cos a)$; de donde sustituyendo

$$(b-c)^2 \operatorname{sen}^2 a = 2rc(1 - \cos a) - c^2(1 - \cos a),$$

y reduciendo

$$r = \frac{(b^2 - 2bc)(1 - \cos^2 a)}{2c(1 - \cos a)} + c.$$

Cuando $b = 2c$, el primer término del segundo miembro desaparece y queda

:

Cuando la barra paralela y la longitud del curso son como 2 á 3, la brida será igual á la barra paralela.

Ejemplo. Sea la longitud del curso $fH = 2^m,4$, la mitad será $1^m,2$; sea la longitud de la paralela $DG = 0^m,9$, se tendrá

$$\begin{aligned} 3 \times 1^m,2 - 2 \times 0,9 &= 1,8, \\ 1,8 \times 1,2 &= 2,16. \end{aligned}$$

Este número dividido por $0,9 \times 0,343146 = 0,30883$, es

$$\frac{2,16}{0,30883} = 6,994.$$

Añadiendo la longitud de la barra paralela que es $0^m,9$, tendremos $7,894$ por la longitud de la brida DC.

He escogido para ejemplo el caso de una barra paralela corta, para hacer ver cuán larga debe ser la brida en este caso.

La longitud de las barras DB y GF es de $\frac{1}{4}$ á $\frac{1}{5}$ décimos de la longitud del curso, según convenga, y conforme al espacio reservado en la máquina; pero cuanto mas larga se pueda hacer, menos esfuerzo oblicuo produce en el movimiento. La distancia vertical entre el centro del movimiento de la balanza y el de la brida será exactamente igual á la longitud de las barras de union.

494. REGLA SEGUNDA. Para hallar la longitud de la brida, cuando no se da la proporción entre la longitud del curso y el radio de la balanza, es preciso restar primero de la longitud del

$c = r$; es el único caso en que la longitud de r no varía con el aumento del ángulo. Si se representa por s la mitad de la longitud del curso, se tendrá

$$1 - \cos^2 a = \frac{s^2}{b^2},$$

y sustituyendo

$$r = \frac{(b-2c)s^2}{2bc(1-\cos a)} + c.$$

Es la fórmula que conviene cuando el ángulo está determinado; pero cuando no lo está se tiene

$$r = \frac{(b-2c)s^2}{2c(b-\sqrt{b^2-s^2})} + c.$$

Si la longitud de la balanza entre el centro de movimiento y el punto F es vez y media la longitud del curso, se tendrá

$$r = \frac{(3s-2c)s}{0,343146 \times c} + c.$$

radio de la última el duplo de la longitud de la barra paralela, y multiplicar la diferencia por el cuadrado de la mitad de la longitud del curso; despues se toma la raiz cuadrada de la diferencia entre el cuadrado de la longitud del radio de la balanza y el cuadrado de la longitud del curso, se resta esta raiz cuadrada de la longitud del radio de la balanza, y se multiplica la diferencia por el duplo de la longitud de la barra paralela. Divídase el número obtenido primeramente por el segundo, añádase al cociente la longitud de la barra paralela, y se tendrá la longitud de la brida.

Ejemplo. Supongamos que el radio de la balanza sea 3^m,6, la longitud del curso 1,8, la de la barra paralela 1^m,5: en este caso la primera operacion dará

$$3,6 - 2 \times 1,5 = 0,6,$$

que multiplicado por el cuadrado de la mitad de la longitud del curso, da

$$0,9 \times 0,9 \times 0,6 = 0,486.$$

Para la segunda operacion es preciso restar del cuadrado de 3,6, el cuadrado de 0,9; lo cual da

$$12,96 - 0,81 = 12,15,$$

cuya raiz cuadrada es 3,486, y $3,6 - 3,486 = 0,114$.

Multiplicando por el duplo de 1,5, se tiene

$$3 \times 0,114 = 0,342.$$

La longitud de la brida será pues igual á

$$\frac{0,486}{0,342} + 1,5 = 1,421 + 1,5 = 1,921.$$

495. Una vez determinadas las proporciones del paralelogramo por las reglas precedentes, se obtendrá fácilmente el punto de union sobre BD, en donde debe fijarse el vástago de la bomba de aire, tirando una línea desde G á A, fig. 2; el vástago se unirá en el punto de interseccion E. Se puede hallar su distancia al punto B por la proporcion

$$AF:FG :: AB:BE = \frac{AB \times FG}{AF}.$$

Sea, por ejemplo, $AF = 4$ metros, $FG = 1$ metro, y $AB = 2^m,2$, se tendrá

$$BE = \frac{2,2 \times 1}{4} = 0^m,55.$$

En cualquier otro caso mas complicado, tal como la máquina de Woolf de dos cilindros, los puntos de union de los vástagos de los émbolos deben estar tambien sobre la línea AG, como en los ejemplos de la lám. XII; ó bien habiendo determinado el punto de suspension del vástago de la bomba de aire por la regla del artículo 491, el punto para el vástago del émbolo se obtendrá, haciendo pasar una línea por los puntos A y E, fig. 4, lám. XII, y prolongándola hasta el punto G, por el cual debe pasar el vástago del émbolo. Haciendo GF paralela al tirante BD, y GH paralela á la balanza, BF y GH serán las articulaciones del paralelogramo, y G el punto en que se debe suspender el vástago del émbolo. Para la construcción del paralelogramo de las máquinas destinadas á los barcos, fig. 1, lám. XII, convendrá emplear la regla que se refiere al primer caso, como resulta evidentemente de la figura y de la conclusion del ejemplo (art. 491).

De la fuerza de las diversas partes de las máquinas de vapor.

496. Al examinar este ramo importante de mi asunto, me propongo esponer los métodos mas sencillos que pueda encontrar, y los que se puedan aplicar mas fácilmente en la práctica. El fundamento de esta investigacion debe ser la fuerza del vapor en la caldera, ó mas bien la mayor fuerza á que puede llegar sin escaparse por la válvula de seguridad. Aunque siempre es de temer que la válvula de seguridad no esté en un estado perfecto, podemos precavernos contra este inconveniente, suponiendo que la válvula esté cargada de un peso doble del que verdaderamente soporta. Asi, siendo el peso sobre la válvula $0^{\text{kil.}},55$ por centímetro circular, se supondrá que es $1^{\text{kil.}},10$; y añadiendo la presión atmosférica, que es $0^{\text{kil.}},81$, se tendrá $1^{\text{kil.}},91$ por la fuerza del vapor ó la presión que puede hacer retrogradar la máquina.

497. Tratando de los barcos de vapor, se debe contar con un exceso mayor de fuerza, porque los accidentes en la mar tienen consecuencias mas terribles. Una buena máquina se debe establecer bajo la regla siguiente. El límite de la fuerza del vapor se debe considerar como que es el duplo de la carga por centímetro circular de la válvula, aumentada con la presión atmosférica.

Asi, siendo el peso sobre la válvula de seguridad $0^{\text{kil}},55$ por centímetro circular, y la presión atmosférica $0^{\text{kil}},81$, la suma será $1^{\text{kil}},36$, cuyo duplo ó $2^{\text{kil}},72$ dará el valor de la mayor presión sobre el émbolo por centímetro circular. Si las partes de la máquina estan calculadas para resistir á esta presión, cuando la máquina se ve forzada á marchar en un sentido inverso por un exceso de resistencia, no padecerá sino cuando el momento del impulso de un volante demasiado pesado haga necesario el proporcionarse una resistencia contra la fuerza impulsiva.

498. Los datos para la resistencia de los materiales consisten en el esfuerzo que soportan, sin experimentar trastorno permanente en sus partes; este esfuerzo es cerca de la tercera parte de su fuerza de cohesión (1).

499. Cuando se busca la fuerza de las piezas de una máquina, se debe añadir el rozamiento de ella á su potencia, porque cuando la resistencia que se ha de vencer llega á cambiar el movimiento de la máquina, debe esta sobrepujar tambien el rozamiento de las partes intermedias; pero cuando la fuerza del vapor se considera como dupla de la presión que determina la válvula de seguridad, el rozamiento se puede despreciar.

500. El esfuerzo sobre cada parte movable de la máquina de vapor se deduce fácilmente del número de revoluciones ó vibraciones que hace á cada curso doble del émbolo, pues está en razón inversa del número de dichas revoluciones ó vibraciones, multiplicado por el diámetro del círculo, ó por la cuerda del arco descrito por el punto sobre que obra la fuerza. Asi, si una rueda tiene 2 metros de diámetro, y hace tres revoluciones mientras que el émbolo da un golpe, y si la longitud del curso es de $1^{\text{m}},5$, se tendrá $2 \times 3 : 1,5 ::$ la presión sobre el émbolo : el esfuerzo sobre el diente de la rueda $= \frac{1,5}{6}$, ó el cuarto de la presión sobre el émbolo. El esfuerzo asi hallado se puede considerar como un peso aplicado al punto en que se hace el movimiento. Tambien se puede considerar como unidad el periodo del movimiento de la parte agente de una máquina, y por la compara-

(1) Véase el *Ensayo práctico sobre la fuerza del hierro fundido*, por Tredgold, seccion V.

cion de las cuerdas de los arcos descritos en el mismo tiempo, y de las revoluciones acabadas en el mismo intervalo, se hallará el esfuerzo en funcion de la fuerza necesaria para vencer la resistencia en el punto en que se verifique la accion.

501. Cuando la máquina no comunica su fuerza mas que en un solo punto, el método para determinar la fuerza de las partes que la componen, consiste en tomar la fuerza de la máquina como la medida del esfuerzo en cada punto, y en calcular cada parte de tal suerte que pueda sostener un cambio inverso de movimiento; pero si la fuerza de la máquina se distribuye en diferentes aparatos de mecanismo, entonces su potencia no puede ser la medida de la fuerza, sino en el punto en que los aparatos se enlazan; y para cada aparato separado, el mayor esfuerzo posible en el punto en que se verifica la accion, se tomará por la medida de la fuerza de sus partes.

Como es muy ventajoso raciocinar por fórmulas generales, y deducir de ellas reglas acompañadas de ejemplos, adoptaremos esta marcha.

502. Sea D el diámetro del émbolo en centímetros, L la longitud del curso en metros, y P el duplo de la fuerza elástica del vapor en la caldera, en kilogramas por centímetro circular.

Sea tambien l la distancia del centro de movimiento al centro del esfuerzo en metros, d el espesor ó el diámetro, b la latitud en centímetros, f la fuerza de cohesion de un centímetro cuadrado en el punto en que el metal empieza á ceder, y R el radio de una rueda.

La presion sobre el émbolo es $D \cdot P$ en kilogramas.

503. *Fuerza de los vástagos cuando el esfuerzo obra en el sentido de la tension sola.* Es preciso admitir, en cada caso de esta especie, la posibilidad de una desviacion del eje del vástago de un sexto de su diámetro. Cuando es asi, la resistencia está representada por

$$\frac{d^2 f}{2 \times 1,27}, \text{ ó con corta diferencia } \frac{d^2 f}{2,5};$$

por consiguiente,

$$D \cdot P = \frac{d^2 f}{2,5}, \text{ ó } D \left(\frac{2,5 P}{f} \right)^{\frac{1}{2}} = d.$$

Para el hierro forjado, $f=1350$; por consiguiente,

$$\frac{D}{23} \sqrt{P} = d \quad (1).$$

Esta regla se aplica á los vástagos que no deben sufrir mas que un esfuerzo de tension; tales son los vástagos de émbolo de las máquinas de simple efecto, y los de las bombas.

Para las varillas planas esta fórmula es

$$\frac{D^2 p}{675} = le \quad (2),$$

es decir, la latitud multiplicada por el espesor en centímetros.

504. REGLA. Multiplíquese el diámetro del émbolo en centímetros por la raíz cuadrada del duplo de la fuerza elástica del vapor en la caldera en kilogramas por centímetro circular; el producto, dividido por 23, da el diámetro del vástago en centímetros.

Ejemplo. Si la fuerza del vapor es de 1^{kil.}2 por centímetro circular, el diámetro del cilindro de 140 centímetros, la raíz cuadrada de 2,40 es 1,54, y se tendrá

$$d = \frac{140 \times 1,54}{23} = 9^{\text{cent.}}, 3.$$

Para la presión atmosférica este espesor es un diez y seisavo del diámetro.

505. *Fuerza de los vástagos tirados y comprimidos alternativamente.* En la compresión de los vástagos, la fuerza se aumenta con la curvatura; pero si la longitud no pasa de treinta y seis veces el diámetro, se cometerá un error muy ligero suponiendo el mismo grado de inflexión; y si contamos con la

(1) En medidas inglesas viene á ser

$$d = \frac{D}{84} \sqrt{P}.$$

(2) El autor dá, en medidas inglesas,

$$le = \frac{D^2 P}{8400};$$

pero esta fórmula, para ser consiguiente con la anterior, debería ser

$$le = \frac{D^2 P}{9000}.$$

El traductor francés.

:

mayor desviación posible por efecto de un mal ajustamiento, es decir, la mitad del diámetro del vástago, con esta simplificación hallamos con corta diferencia

$$D \cdot P = \frac{d^2 f}{8,75}, \quad \text{ó} \quad d = D \left(\frac{8,75 P}{f} \right)^{\frac{1}{2}};$$

para el hierro forjado, $f = 1250$ kilogramas, y

$$d = \frac{D}{12} \sqrt{P};$$

para el hierro colado $f = 1150$, y

$$d = \frac{D}{11,5} \sqrt{P};$$

para el acero templado, $f = 3500$, y

$$d = \frac{D}{20} \sqrt{P}.$$

Esta regla se puede aplicar á los vástagos de los émbolos de las máquinas de doble efecto, á los de los paralelogramos, á los de la bomba de aire y de la bomba de compresión, y á cualesquiera otros; y si se aumenta P en la razón del radio al seno del mayor ángulo que forma una palanca móvil con la dirección de la fuerza, se podrá aplicar á estas palancas.

506. REGLA. Multiplíquese el diámetro del émbolo en centímetros por la raíz cuadrada del duplo de la presión del vapor por centímetro circular, y divídase el producto por 12 para el hierro forjado, y se tendrá el diámetro del vástago en centímetros. Para el hierro colado, el divisor será 11,5 en lugar de 12, y 20 para el acero.

Primer ejemplo. Siendo la fuerza del vapor 1 kil.,2 por centímetro circular, y el diámetro del cilindro 2 metros, el del vástago del émbolo, siendo de hierro forjado, será

$$\frac{200 \sqrt{2,4}}{12} = 25 \text{ cent., } 8.$$

Segundo ejemplo. Siendo la fuerza del vapor de 4 atmósferas = 3 kil.,25 por centímetro circular, y el diámetro del cilindro de 28 centímetros, el vástago de hierro del émbolo tendrá por diámetro

$$\frac{28 \sqrt{6,5}}{12} = 5 \text{ cent., } 95.$$

Si el vástago es de acero, el diámetro será

$$\frac{28\sqrt{6,5}}{20} = 3^{\text{cent.}}, 57.$$

Tercer ejemplo. Siendo la fuerza del vapor $1^{\text{kil.}}, 2$ por centímetro circular, y el diámetro del émbolo de 6 decímetros, el diámetro de una palanca movable de hierro colado no deberá bajar de

$$\frac{60\sqrt{2,4}}{11,5} = 8 \text{ centímetros.}$$

El medio presenta ordinariamente mas fuerza en el sentido de la latitud, y se debe en todos los casos aumentar el diámetro en un décimo mas que en las estremidades.

507. Para el vástago de la bomba de aire se puede tomar la presión atmosférica y el diámetro de la bomba de aire, en lugar de la tensión del vapor y el diámetro del cilindro. Las barras del paralelogramo deben ser los tres séptimos del diámetro del vástago del émbolo, esceptuando en las máquinas de vapor de los barcos el caso en que haya presión lateral. Las palancas movibles que comunican el movimiento de las traviesas á la balanza y á los manubrios, deben tener los siete décimos del diámetro del vástago del émbolo.

508. *De la fuerza de las balanzas, manubrios, etc.* Se puede admitir como principio, que una balanza de espesor uniforme no puede tener menor espesor que $\frac{1}{6}$ de su altura, sin estar espuesta á volverse; por otra parte no se podia confiar en la solidez de una pieza fundida que no tuviese de espesor la décima sexta parte de la altura. En el caso en que la velocidad es la misma que la del émbolo (1), se tiene

$$D \cdot Pl = 180bd^2;$$

y cuando $16b = d$, y $l = nD$, se tendrá

$$d = D \left(\frac{16Pn}{180} \right)^{\frac{1}{2}}.$$

En esta fórmula (2), $D =$ al diámetro del émbolo en centí-

(1) *Practical Essay on Strength of iron*, art. 116, ó la traducción.

(2) En medidas inglesas, viene á ser

$$d = D \left(\frac{1,34Pn}{212} \right)^{\frac{1}{2}}.$$

metros, d = á la altura de la balanza en centímetros, y su espesor es la décima sexta parte de su altura; n representa el número de veces que el diámetro está contenido en la longitud comprendida entre el centro de movimiento y el punto en que se aplica la fuerza, y P es el duplo de la fuerza del vapor en la caldera en kilogramas por centímetro circular. La profundidad en las estremidades será la mitad de la del centro de movimiento; el espesor será uniforme. Se da mas fuerza haciendo el corte de manera que se aumente el espesor en los bordes en razon de un noveno de la altura, hasta que la latitud de la parte que entra hácia adentro yendo hacia las estremidades, se reduzca á un diez y seisavo de la latitud total.

Para el hierro forjado es preciso poner 204 en lugar de 180, y para la madera reemplazar este número por 54.

509. *Primer ejemplo. Balanzas.* La balanza de una máquina debe tener, desde el punto en que obra el émbolo hasta el centro de movimiento, una longitud igual al triplo del diámetro del cilindro. Supongamos que la tension del vapor en la caldera sea igual á 1^{kil.},2 por centímetro circular, el duplo es 2^{kil.},4. Siendo el diámetro del émbolo 60 centímetros, se tendrá por el espesor vertical

$$d = D \left(\frac{16Pn}{180} \right)^{\frac{1}{3}} = D \left(\frac{16 \times 2,4 \times 3}{180} \right)^{\frac{1}{3}} = 0,86 \times D = 51^{\text{cent.}},6.$$

El espesor del medio será de 3^{cent.},2, y el de los bordes igual á 5^{cent.},7.

Para el hierro forjado se hallaria 0,83D = d , y el espesor sería la décima sexta parte del espesor vertical.

Para la madera se tendria 0,83D = d ; pero el espesor sería un cuarto de la latitud.

510. *Manubrios.* El punto de union de un manubrio al arbol debe ser mas grueso que este último, y la latitud del manubrio en este punto debe ser 1,5 veces el diámetro del arbol. Asi, siendo SD el diámetro, el espesor del manubrio será 1,5SD; pero puesto que (art. 508) $D^3Pl = 180bd^3$, tendrédmos

$$b = \frac{Pl}{2,25S^3 \times 180} = \frac{Pl}{405S^3}.$$

Segundo ejemplo. El arbol de un manubrio describe un círcu-

lo de un diámetro igual á 0,31 del del cilindro; siendo la tension del vapor en la caldera de 1^{kil.},2 por centímetro circular, lo que equivale á decir que $P=2^{\text{kil.}},4$, y siendo el radio del manubrio de 66 centímetros, se pregunta la latitud de este manubrio en su punto de union con el arbol. En el caso de que se trata se tendrá

$$b = \frac{Pl}{405S^2} = \frac{2,4 \times l}{405 \times (0,31)^2} = 0,06 \times l.$$

Pero $l=66$ centímetros, luego $b=4$ centímetros próximamente, y el espesor será

$$1,5 \times 0,31 \times 66 = 31 \text{ centímetros.}$$

511. *Rádios de las ruedas.* Los rádios de las ruedas no se deben examinar sino bajo el aspecto de su fuerza; y si el contorno es de una fuerza igual, la rueda debe tener seis rádios, en todos los casos en que sea del tamaño suficiente para recurrir á las reglas á fin de hallar su fuerza. Bajo esta condicion tenemos

$$2D \cdot PR = 180 \times 6bd^2, \text{ ó } D \cdot PR = 3 \times 180bd^2.$$

Si los rádios tienen un tercio del espesor de la rueda, y se les da el exceso de fuerza necesario para el esfuerzo lateral, se tendrá

$$\frac{D \cdot PR}{180} = bd^2, \text{ ó } d = D \sqrt{\frac{PR}{180b}}.$$

Cuando el radio $R=1$, y $P=2^{\text{kil.}},4$ = al duplo de la presion del vapor en la caldera, se tiene

$$d = \frac{D}{\sqrt{75b}}.$$

Estas dimensiones se hallan calculadas en la tabla del artículo 513, con las proporciones de los dientes.

512. Será muy cómodo presentar en un cuadro la forma de los dientes, con una correccion para la curvatura en la determinacion de su latitud, correccion que no se halla en mi *Tratado sobre el hierro colado*. La primera columna indica la presion en kilogramas que se ejerce sobre los dientes; la segunda el número de caballos á que equivale esta fuerza, siendo la velocidad 1 metro por segundo; la tercera el intervalo entre los medios de los dientes consecutivos; la cuarta el espesor; la quinta la latitud,

y la sexta la mayor latitud del medio del radio, en el sentido del movimiento de la rueda, cuando el radio es de 1 metro. Multiplicando los números de esta columna por la raíz cuadrada del radio en metros, se tendrán las dimensiones que convienen á cualquiera otra rueda. La séptima columna da el espesor del talon que fortifica el radio, y la octava el diámetro del cilindro, cuando la fuerza del vapor en la caldera equivale á una columna de mercurio de 90 centímetros, y que los dientes se mueven con la misma velocidad que el émbolo. Para cualquiera otra velocidad se hallará la presión sobre los dientes, como lo indica el artículo 500.

513. *Tabla de la fuerza etc., de los dientes y de los radios de las ruedas.*

PRESION sobre los dientes en kilogr.	FUERZA en caballos, siendo la velocidad 1 metro por segundo.	DIENTES DE LAS RUEDAS.			RUEDAS DE SEIS RADIOS.		DIAMETRO del cilindro en centimetr. para maquina de baja presión, teniendo los dientes la misma velocidad que el émbolo.
		Intervalos entre los medios de dos dientes consecuti- vos, en cen- tímetros.	Espesor en cen- tímetros.	Latitud en cen- tímetros.	Latitud de los rayos en centíme- tros para un metro de radio.	Espesor del refuerzo en cen- tímetros.	
10	$\frac{1}{2}$	0,63	0,30	2,00	4,20	1,21	5,08
40	$\frac{1}{2}$	1,27	0,60	3,27	6,00	2,00	9,40
80	1	2,00	0,90	4,54	8,00	3,00	14,00
158	2	2,54	1,20	5,81	8,50	3,90	18,80
244	3	3,17	1,50	7,08	9,70	4,85	23,36
336	4	3,80	1,80	8,35	10,67	6,30	28,70
430	5	4,43	2,10	9,62	11,64	6,80	35,00
580	7	5,08	2,40	10,89	12,12	8,25	37,60
730	9	5,71	2,70	12,16	13,10	8,73	42,16
870	10	6,34	3,00	13,43	13,80	9,70	46,70
1100	13	6,97	3,30	14,70	14,50	10,67	51,55
1210	15	7,62	3,60	15,97	15,50	11,64	56,40
1500	18	8,25	3,90	17,24	16,00	12,60	60,96
1750	21	8,88	4,20	18,51	16,50	13,68	66,00
2200	24	9,51	4,50	19,58	17,00	14,06	70,13
2300	27	10,16	4,80	20,85	17,50	16,50	73,00
2660	31	10,79	5,10	22,12	18,00	17,00	80,00
2840	34	11,42	5,40	23,39	18,50	17,95	84,60
3220	38	12,05	5,70	24,66	19,00	19,00	88,90
3500	42	12,68	6,00	25,93	19,50	19,40	94,00

514. La fuerza de los muñones de la balanza se determina por la fórmula $PD^3 = 60d^3$ (1), que se reduce á

$$d = \frac{D\sqrt{P}}{8}.$$

Su longitud no será menos de los ocho décimos del diámetro. En una máquina de baja presión el duplo de la tensión es 2 kilogramas por centímetro circular, es decir, que $P = 2$, y entonces el diámetro de los muñones es de cerca de un sexto del del cilindro. Para los muñones de las palancas móviles siendo el tiro doble, el esfuerzo se halla reducido á la mitad, y se tendrá

$$d = \frac{D\sqrt{P}}{11,5}.$$

En el caso de baja presión $d = \frac{D}{8}$.

515. *Fuerza de los árboles.* Se supone que los árboles están sostenidos de modo que hagan el esfuerzo lateral lo más débil que sea posible; entonces no se debe considerar más que la resistencia á la torsión, y como ninguna parte del árbol debe ser menor que los pivotes, dejando un sexto para el desgaste, se tendrá

$$RD^3P = 67D^3 \text{ (2).}$$

Cuando el árbol da una vuelta entera mientras que el émbolo da dos golpes, y cuando el radio $R = nD$, se tiene para el diámetro en centímetros

$$d = D \left(\frac{nP}{67} \right)^{\frac{1}{3}}.$$

Si da N vueltas mientras que el émbolo da dos golpes, tendremos (art. 500)

$$d = D \left(\frac{nP}{67N} \right)^{\frac{1}{3}}.$$

Para el hierro forjado el divisor sería 76 en lugar de 67 (3).

(1) *Essai sur la force du fer fondu*, art. 139.

(2) *Essai sur la force du fer fondu*, art. 227, expresándose R en centímetros.

(3) En medidas inglesas la fórmula es

$$d = D \left(\frac{nP}{960N} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Ejemplo. ¿Cuál sería el diámetro de un arbol de hierro colado si el radio del manubrio tuviese una longitud igual al diámetro del cilindro, siendo la tension del vapor en la caldera de 1 kilograma por centímetro circular, el diámetro del émbolo de 90 centímetros, y si el arbol hiciese una revolucion mientras que el émbolo diese dos golpes? En este caso n y $N = 1$, y

$$D \left(\frac{P}{67} \right)^{\frac{1}{3}} = D \left(\frac{2}{67} \right)^{\frac{1}{3}};$$

lo cual da

$$d = 0,31D = 27^{\text{cent}},90.$$

De la fuerza de los tubos y de los cilindros.

516. El espesor de los tubos y de los cilindros metálicos se determina atendiendo mas á la perfeccion de la fundicion que no á la fuerza; sin embargo es esencial indicar las proporciones que convienen á una fuerza dada, á fin de evitar toda equivocacion en esta parte.

Los datos necesarios son: 1.º el esfuerzo de traccion que puede soportar 1 centímetro cuadrado de metal sin experimentar alteracion permanente á una temperatura determinada; 2.º la presion del vapor por centímetro circular, contando con un escedente para el caso de un aumento imprevisto; 3.º el diámetro del cilindro. Yo aconsejo que se tome el duplo de la fuerza del vapor cuando se escapa de la caldera por la válvula de seguridad.

Podemos considerar el cilindro como que presenta una resistencia igual en toda su longitud; y entonces si se toma el esfuerzo sobre 1 centímetro de la longitud, este esfuerzo será igual al diámetro espresado en centímetros, multiplicado por la mayor fuerza sobre un centímetro cuadrado, y la resistencia será el duplo del espesor del cilindro multiplicado por un cuarto del límite del esfuerzo de traccion del metal, pudiendo esta traccion repartirse desigualmente sobre la parte resistente; por consiguiente se tendrá la regla que sigue:

517. REGLA. Hallar el espesor de metal que es preciso dar á los tubos de los cilindros para sostener un esfuerzo determina-

do, suponiendo que la temperatura sea en todas partes una misma.

Multiplíquese 2,54 veces el diámetro interior del cilindro por la mayor presión del vapor sobre 1 centímetro circular; divídase por el esfuerzo de tracción que puede soportar el metal sin alteración; el resultado dará el espesor en centímetros.

Ejemplo. Se quiere determinar el espesor de un cilindro de hierro colado de 150 centímetros de diámetro, no excediendo la presión de 0^{kil.},25 por centímetro circular sobre la presión atmosférica. En este caso el duplo de la fuerza es 2^{kil.},1 por centímetro circular, y siendo la resistencia del hierro colado 1060 kilogramas por centímetro cuadrado, se tendrá por el espesor

$$\frac{2,54 \times 150 \times 2,1}{1060} = 0^{\text{cent.}},75.$$

518. Si no hubiese que considerar más que la fuerza directa, vemos que basta dar al cilindro ó al tubo muy poco espesor; pero la presión se aumenta considerablemente á cada paso por la desigualdad de la dilatación. Si e representa la extensión que puede soportar el metal sin alteración, t su espesor, y d el diámetro del tubo, tendremos $\frac{2ed}{t}$ por la mayor dilatación en que un lado de un tubo puede exceder al otro, y que sería ha , siendo h el exceso de calor, y a la dilatación para un grado de temperatura.

Para el hierro fundido se tiene

$$e = \frac{1}{1200} \text{ y } a = \frac{1}{36000};$$

luego el mayor aumento de calor que pueda soportar el metal sin alteración duradera será

$$h = \frac{36000 \times 2d}{1200t} = \frac{60d}{t}.$$

519. Aquí suponemos que el calor no obra más que sobre un punto solo; pero en general, ó más bien en todos los casos, el calor ataca directamente una porción muy grande de superficie. En este caso el efecto de la dilatación será con corta diferencia doble, ó dará

:

$$h = \frac{30d}{t}.$$

Contrayéndonos á los tubos y cilindros, la mayor diferencia de temperatura no excederá nunca de 165° ; y entonces se tiene

$$\frac{165t}{30d} = \frac{5,5t}{d}$$

por la fuerza de cohesión que pierde el cilindro en el caso de una dilatación desigual.

Añadiendo esta expresión á la primera, tendremos

$$t = \frac{2,54dP}{1060} + \frac{5,5t}{d};$$

de donde

$$t = \frac{dP}{420} \left(\frac{d}{d-5,5} \right) (1).$$

El efecto de una dilatación irregular no es sensible sino en los cilindros pequeños; en el caso de que un cilindro tenga 150 centímetros de diámetro, se halla que el espesor sería de 0^{cent.},75, y de 0^{cent.},78 solamente cuando se introduce la corrección para la dilatación.

Para los tubos que tienen menos de 16 centímetros de diámetro, la ecuación será

$$t = \frac{dp}{420(2,54-0,116d)} (2).$$

En los cilindros de vapor se agrega el efecto del desgaste, así como otras causas de esfuerzos; el espesor debe ser doble á lo menos por esta última causa, y aumentarse en un centímetro para compensar el desgaste del cilindro.

520. REGLA. Para obtener el espesor de un cilindro de vapor, multiplíquese el cuádruplo de la fuerza elástica del vapor en ki-

(1) En medidas inglesas

$$t = \frac{dp}{6000} \left(\frac{d}{d-2,2} \right).$$

(2) En medidas inglesas

$$t = \frac{dp}{6000(1-0,116d)}.$$

El señor Tredgold no dice cómo deduce esta fórmula, que no parece ser una consecuencia de la precedente. *El Traductor francés.*

logramas sobre un centímetro circular, por el diámetro espresado en centímetros, y divídase por 420. El resultado se multiplicará por el diámetro, y se dividirá por el diámetro menos 5,5. Será preciso añadir un centímetro para el desgaste.

Primer Ejemplo. Se quiere hacer un cilindro de hierro colado de 60 centímetros, no debiendo esceder la tension del vapor de 0^{kil.}25 por centímetro circular sobre la válvula de seguridad, ó 0,8+0,25=1^{kil.}05 para la fuerza elástica. Se pregunta el espesor del tubo; se tendrá

$$\frac{1,05 \times 4 \times 60}{420} = 0,60,$$

y

$$\frac{60}{60-5,5} \times 0,60 = 0,66.$$

Añadiendo un centímetro para el desgaste, el espesor que se busca será igual á 1^{cent.}66.

Segundo Ejemplo. Se pide el espesor de un cilindro de hierro colado para una máquina de alta presion, que tenga 25 centímetros de diámetro, siendo la fuerza del vapor de 3^{kil.}5 por centímetro circular. En este caso se tiene

$$\frac{4 \times 3,5 \times 25}{420} = 0,8,$$

y

$$\frac{25 \times 0,8}{25-5,5} = 1;$$

á lo cual añadiendo un centímetro, tendrémos

$$t = 2 \text{ centímetros}$$

por el espesor del cilindro.

521. *De la fuerza de las planchas para resistir á la presion del vapor ó á la de cualquier otro fluido elástico.* La fuerza de una plancha está limitada por la curvatura que toma bajo la presion. Cuando su longitud es igual á su latitud, la resistencia es la misma en los dos sentidos; pero no sucede asi en los demas casos: la resistencia depende sobre todo de la curvatura en la direccion mas corta del soporte.

De las leyes de la inflexion de los cuerpos resulta que la re-

;

sistencia en el sentido de la longitud está representada por $\frac{b^2}{l^2}$, y que $1 + \frac{b^2}{l^2}$ será el coeficiente, por el cual será preciso multiplicar la resistencia en la dirección mas corta, para obtener la resistencia entera.

Cuando una plancha está fija por sus bordes, la curvatura disminuye el esfuerzo sobre las partes resistentes, pero en una cantidad muy corta; estendiéndose en su nueva posición, el interior de la plancha se ve comprimido en parte, y la resistencia á la tensión no se estiende apenas sino á un poco mas de la mitad del espesor, y varía como la distancia de la línea neutra; así no es mas que un cuarto de tf cuando el espesor no es mas que un cuarto de centímetro, siendo t el espesor total y f la fuerza de cohesión de un centímetro cuadrado. Para las planchas remachadas se deducirá $\frac{1}{3}$, y se tendrá

$$\frac{tf}{4} \times \frac{2}{3} = \frac{tf}{6} = \text{á la resistencia en un sentido,}$$

$$\text{y } \left(1 + \frac{b^2}{l^2}\right) \frac{tf}{6} = \text{á la resistencia total.}$$

El esfuerzo es proporcional á la fuerza que se ejerce sobre una parte dada de la curva, y que se resuelve en una tendencia á hender ó abrir la materia. Siendo z la porción de la curva, y r el radio de la curvatura (1), se tendrá

$$z : r :: 1,27pz : x = 27pr = \text{al esfuerzo,}$$

(1) La curvatura está limitada por la estension y la inflexion en el sentido de la dimension menor; y si suponemos que la acción se verifique enteramente por inflexion, tendrémos

$$\epsilon : 1 :: \frac{t}{2} : r = \frac{t}{2\epsilon}$$

Por consiguiente en este caso

$$\frac{1,27pt}{2\epsilon} = \frac{tf}{6} \left(1 + \frac{b^2}{l^2}\right); \text{ de donde } p = \frac{\left(1 + \frac{b^2}{l^2}\right) f \epsilon}{3,81}$$

Así hallamos que la resistencia de una plancha es absolutamente independiente de su espesor, cuando está estendida de esta manera, pero que esta presión está limitada. Para el hierro forjado, $f = 1350$, y $\epsilon = \frac{1}{1400}$; luego $\frac{f \epsilon}{3,81} = 0,25$,

siendo p la presión sobre un centímetro circular; luego

$$1,27pr = \frac{tf}{6} \left(1 + \frac{b^2}{l^2} \right); \text{ de donde } t = \frac{7,62pr}{f \left(1 + \frac{b^2}{l^2} \right)}.$$

Para una plancha cuadrada ó circular, esta fórmula se cambia en esta otra

$$t = \frac{3,81pr}{f}.$$

Para el hierro forjado, cuando se opera á baja presión, se tiene

$$t = 0,006r.$$

Los dos valores r y t están expresados en centímetros.

Cuando la longitud es grande con respecto á la latitud, ó que las juntas de las planchas no están dispuestas como conviene en la misma dirección, se toma el diámetro en lugar del radio de curvatura.

Del exceso de fuerza conveniente para afianzar la seguridad de las calderas.

522. La presión que tiende á romper una caldera es casi proporcional á la carga de la válvula de seguridad; la que tiende á destruirla comprimiéndola, es igual á la presión atmosférica. En el último caso este esfuerzo no puede exceder de dicha presión; en el primero el exceso de presión puede llegar á ser considerable, si hay algún trastorno en la válvula, y se deben

y por consiguiente el mayor esfuerzo en kilogramas por centímetro circular que puede soportar una placa, estará representado por

$$0,25 \left(1 + \frac{b^2}{l^2} \right).$$

Cuando la plancha es cuadrada ó circular se halla 0kil,50 por centímetro circular, y 0kil,64 por centímetro cuadrado. La ecuación da el esfuerzo para las otras proporciones. Cuando la longitud es muy grande el esfuerzo es de 0kil,25 por centímetro circular, y de 0kil,32 por centímetro cuadrado.

El cobre soporta sobre poco más ó menos el mismo esfuerzo.

De aquí se saca la consecuencia importante de que no se puede hacer uso con seguridad de superficies planas para contener el vapor de alta presión.

tomar precauciones contra este accidente. Para evitarle, es indispensable dar un exceso de fuerza á la caldera. La esperiencia fundada en los accidentes que han sobrevenido, hace que se admita, en general, que es preciso que la caldera pueda soportar sin alteracion una presion igual al triplo de la que obra sobre la válvula. Este exceso de fuerza parece muy suficiente para una caldera ordinaria de baja presion. En efecto yo pienso que bastaria el duplo de aquella presion, y en este caso habria poco riesgo de accidente, si las válvulas estuviesen bien construidas, y conservadas en buen estado. Este aumento de fuerza sería insuficiente para las calderas de alta presion, porque una caldera ordinaria de baja presion contiene diez veces el volumen del vapor necesario para un curso del émbolo. Por consiguiente el vapor puede aumentarse durante veinte golpes del émbolo, sin que la densidad ascienda al triplo de la que es necesaria durante el trabajo, suponiendo que la máquina llegase á detenerse por algun accidente de la válvula; pero cuando la caldera no contiene mas que la cantidad de vapor necesaria para un golpe, la fuerza será triple mientras que el émbolo haga dos viages. Esta rapidez de aumento de fuerza no deja tiempo para examinar, ni siempre para abrir la válvula oportunamente, y entonces el riesgo es muy grande. En todos los casos el tiempo, durante el cual debe poderse acumular el vapor, no puede ser menor que en una caldera ordinaria. Por otra parte, para una máquina, en que este exceso de fuerza creciese tan rápidamente, la pérdida de vapor á cada variacion de calor en el fogon seria considerable, aun en el caso de que la válvula obrase como conviene; y por consiguiente siempre se inclinan á aumentar la carga de la válvula mas de lo regular. Para tener en todas las circunstancias el mismo grado de seguridad en caso de pararse la máquina, es preciso que el exceso de fuerza esté en razon inversa del espacio que está reservado al vapor en la caldera.

Es aun mas importante examinar este asunto por la parte del riesgo que proviene de la accion desigual del fuego, y en este caso el exceso de fuerza deberia estar en razon inversa de toda la capacidad de la caldera espresada en unidades dinámicas.

Asi tomando la fuerza de caballo por unidad de medida, si

una caldera encierra 500 litros por cada fuerza de caballo, y otra contiene 250 solamente, esta última caldera deberá tener una fuerza doble de la primera, porque cantidades iguales de potencia exigen una misma intensidad de fuego. El efecto del exceso de calor para aumentar la temperatura, así como la fuerza del vapor, está en razón inversa de la cantidad de agua sobre que se produce la acción. Por consiguiente el riesgo causado por este aumento de tensión está en razón inversa de la cantidad de agua y de vapor que contiene la caldera.

523. Suponiendo que el exceso de fuerza necesario para una caldera, que encierra 500 litros por fuerza de caballo, deba ser el duplo de la que se necesita bajo la tensión á que marcha la máquina, se hallará el exceso de fuerza que se ha de dar á una caldera que encerrase n litros por fuerza de caballo, mediante la proporción

$$n : 500 :: 2 : x = \frac{1000}{n}.$$

La prudencia exige además que se tomen en consideración en los cálculos de la fuerza que se ha de dar á la caldera, los efectos de una dilatación desigual, los de la propiedad de la imperfección, de la inflexión y del desgaste.

Por otras causas, además de la fuerza del vapor, se puede romper una caldera, y es bueno designarlas, á fin de precaverse de las circunstancias que las originan.

Si el conducto del humo de una caldera arranca desde el fogón subiendo hácia arriba, y baja después antes de entrar en la chimenea, estará espuesto en algunos casos á llenarse de gas inflamable, que se enciende y causa explosión. El efecto de esta explosión puede comprimir la caldera en términos que reviente.

Se puede evitar este riesgo disponiendo los conductos del humo de modo que no haya depresión hasta la chimenea, y construyendo los registros de manera que no puedan cerrarse herméticamente; además estos últimos deben estar dispuestos de manera que se cierren en último resultado en la parte superior, ó bien que se muevan horizontalmente.

El gas hidrógeno se desenvuelve muchas veces en la caldera de vapor á proporción de que el agua está en contacto con una

parte de la caldera calentada hasta el rojo, y parece que se produce regularmente al tiempo de la formación del vapor á muy alta temperatura. Yo no creo que deba aumentar los riesgos de la explosion; sin embargo el accidente seria mucho mas terrible si llegase á verificarse (1).

Calderas de hierro batido.

524. Despues de haber determinado la resistencia de las piezas curvas, es facil aplicar estas reglas á las calderas rectangulares. Se puede notar que para la presion es indiferente que la curva sea cóncava ó convexa, siempre que sea como un arco de bóveda, ó que forme un círculo entero. Yo dudo de la eficacia de los medios que se usan para producir este arqueamiento, y creo que la causa que hace faltar á las calderas en sus asientos se debe en gran parte á los esfuerzos de la presion, y á los movimientos de las partes que se realizan á cada variacion de fuerza ó de temperatura.

Una caldera rectangular puede ser considerada como un cilindro que tiene por diámetro la mayor diagonal de la seccion, y su fuerza será (art. 521)

$$t = \frac{3,81pd}{f}.$$

Haciendo $f = 1250$ kilogramas para el hierro forjado, se tiene con corta diferencia

$$t = \frac{pd}{330}.$$

(1) En una carta que he recibido del señor Williams, maestro forjador en Cyrfartha, atribuye este fabricante los funestos efectos de un accidente ocurrido en las inmediaciones de aquel pueblo á la acumulacion del hidrógeno que se inflamó cuando la caldera hizo explosion. Esta caldera era de figura esférica como las antiguas, de 6 metros de diámetro, y el espesor de las planchas cuando se colocaron era de 6 milímetros en la de encima, y de 12 en las del fondo. La carga sobre la válvula de seguridad era de 2 kilogramas por centímetro circular. Perdieron la vida en esta explosion muchas personas, y la caldera fue arrojada á la distancia de 45 metros á un parage elevado 10 metros sobre el nivel del lugar que ocupaba.

Siendo el exceso de fuerza necesaria para precaver los riesgos $\frac{1000}{n}$, tendremos (art. 523)

$$t = \frac{pd}{0,33n} = \frac{3pd}{n} \quad (1).$$

y para el cobre, $f=775$ kilogramas: por consiguiente

$$t = \frac{pd}{0,2n} = \frac{5pd}{n} \quad (2).$$

525. REGLA. Para hallar la fuerza que se ha de dar al hierro batido que debe cubrir una caldera rectangular ó cilíndrica, multiplíquese el triplo de la carga sobre la válvula de seguridad en kilogramas por centímetro circular, por la mayor diagonal en centímetros de la seccion de la caldera, y divídase este producto por la capacidad de la caldera correspondiente á un caballo. El resultado dará el espesor en centímetros. Para el cobre es preciso tomar el quintuplo en lugar del triplo.

El hierro batido que se emplea para los fondos de las calderas, debe tener un espesor suficiente para compensar el desgaste; en general este espesor debe ser vez y media el de la parte superior de la caldera.

Primer ejemplo. Siendo la mayor diagonal de una caldera rectangular 2^m,4, y por consiguiente equivalente á un radio de curvatura de 240 centímetros, el peso sobre la válvula de seguridad 0^{kil.},25 por centímetro circular, y el espacio para el vapor 450 decímetros cúbicos, se pregunta el espesor que se ha de dar á la plancha de hierro batido que debe cubrir la caldera. En este caso se tiene

$$\frac{3 \times 0,25 \times 240}{450} = 0^{\text{cent.}}4.$$

Las planchas del fondo deben tener la mitad mas, ó 0^{cent.},6;

(1) En medidas inglesas

$$t = \frac{pd}{120n}.$$

(2) En medidas inglesas

$$t = \frac{pd}{72n}.$$

es con corta diferencia el espesor que dan los mejores constructores.

526. *Segundo ejemplo.* Si la caldera es un cilindro de 150 centímetros de diámetro, la presión sobre la válvula de seguridad de 2^{kil.},1, y la capacidad de la caldera de 560 decímetros cúbicos por cada fuerza de caballo de la máquina, entonces se tiene

$$\frac{3 \times 2,1 \times 150}{560} = 1^{\text{cent.}},7.$$

En la práctica la fuerza de las calderas de esta especie equivale simplemente á la presión bajo la cual trabajan; ¿y nos admiraremos si alguna vez ocurren desgracias?

La misma regla se aplica á los conductos interiores, pero añadiendo algo por el deterioro que causa el fuego.

527. *De las calderas esféricas.* Siendo las dimensiones de una caldera esférica las mismas en todos sentidos, su fuerza será (art. 521)

$$t = \frac{3,81 pd}{2f}.$$

Para el hierro forjado esta fórmula es

$$t = \frac{pd}{0,66n} = \frac{3pd}{2n} \quad (1),$$

y para el cobre

$$t = \frac{pd}{0,4n} = \frac{5pd}{2n} \quad (2).$$

REGLA. Para las calderas esféricas de hierro batido, multiplíquese el diámetro en centímetros por $\frac{1}{2}$, y por la presión sobre la válvula de seguridad en kilogramas por centímetro circular, y divídase este producto por la capacidad de la caldera para cada fuerza de caballo; para el cobre tómense $\frac{1}{2}$ en lugar de $\frac{1}{2}$.

Ejemplo. Una caldera esférica de 6 metros de diámetro, en-

(1) En medidas inglesas

$$t = \frac{pd}{240n}$$

(2) En medidas inglesas

$$t = \frac{pd}{144n}$$

cierra 560 decímetros cúbicos por fuerza de caballo; siendo la carga de la válvula 0^{kil.}50, ¿cuál será su espesor? Siendo el diámetro de 600 centímetros, se tiene

$$\frac{3 \times 0,5 \times 600}{2 \times 560} = 0^{\text{cent.}}80.$$

(Véase la nota del art. 523).

Cuando una caldera cilíndrica tiene los fondos de figura esférica, el radio de curvatura puede ser igual al diámetro del cilindro, y entonces los fondos serán también fuertes si tienen el mismo espesor de metal. Los fondos planos son más fáciles de construir, y ocupan menos espacio, produciendo el mismo efecto.

Calderas de hierro colado.

528. Las reglas que preceden no se aplican más que á las calderas de metales ductiles; pero cuando se hacen de materias quebradizas, se debe tener en consideración el efecto de la desigualdad de la dilatación.

Para las calderas cilíndricas la ecuación es

$$t = \frac{2,54pd}{f} \times \frac{n}{1000} = \frac{0,42n}{pd} \text{ (art. 517 y 523),}$$

y se ha indicado (art. 519) lo que se ha de añadir para la dilatación.

Cuando una caldera está compuesta de tubos, puede suceder que uno de ellos, cuyo diámetro sea de 20 centímetros ó más, tenga en uno de sus lados una temperatura 550° más alta que en el otro; entonces $\frac{550t}{30d} = \frac{18t}{d}$ = á la pérdida de fuerza; lo

cual indica que en estas circunstancias se rompería efectivamente un tubo, cualquiera que fuese su fuerza de resistencia. Si se hace $18t > d$ para todos los casos en que el cociente es la unidad ó mayor que ella, la desigualdad de dilatación excederá solo la resistencia de la materia. Esto explica el hecho conocido de que los tubos se rompen sin tener ningún defecto aparente, cuando el vapor es más fuerte de lo regular.

De estos principios sacamos las reglas siguientes para las

calderas de hierro colado: siendo d el diámetro, y p la fuerza elástica del vapor, se tiene

$$\frac{pd}{0,42n}$$

por el espesor que se ha de dar en razon de la resistencia. Si se añade el espesor para compensar la pérdida de fuerza que puede tener por la desigualdad de dilatacion, se tendrá para los hervidores de mas de 20 centímetros de diámetro,

$$t = \frac{pd}{0,42n} + \frac{18t}{d};$$

de donde

$$t = \frac{pd^2}{0,42n(d-18)}.$$

Para las calderas de tubos, ó cilindros de menos de 20 centímetros de diámetro,

$$t = \frac{pd}{0,42n(2,54-0,116d)} = \frac{20,5pd}{n(22-d)}.$$

En uno y otro caso hay peligro de ruptura, cuando el diámetro es menor de 18 centímetros en el primero, y cuando es mayor que 22 en el segundo. Si el espesor es mucho mas grande de lo que indica la regla, se aumenta mucho el riesgo de la desigualdad de la dilatacion; si es menor, el efecto de la presión, unido á la desigualdad de la dilatacion, puede tambien hacer reventar al tubo.

529. REGLA. Para tener la fuerza de los tubos de hierro colado de mas de 20 centímetros de diámetro, multiplíquese el cuadrado del diámetro por la presión en kilogramas sobre la válvula de seguridad; divídase el producto por 4,2 veces el número de decímetros cúbicos igual á la capacidad de la caldera por fuerza de caballo, multiplicada por la diferencia entre el diámetro y 18 centímetros; el resultado espresará el espesor en centímetros que se deberá aumentar para el desgaste y deterioro, en razon del tiempo que se quiera que dure.

Primer ejemplo. Siendo el diámetro interior de un tubo de 25 centímetros, la capacidad de la caldera de 280 decímetros cúbicos por fuerza de caballo, y el peso sobre la válvula de

2^{kil},50 por centímetro circular, se pide el espesor. En este caso se tiene

$$\frac{25 \times 25 \times 2,5}{0,42 \times 280(25-18)} = 1,9.$$

Segundo ejemplo. Siendo el diámetro interior de un hervidor de caldera cilíndrica de hierro colado de 90 centímetros, y la fuerza del vapor de 5 atmósferas, ó de 4 kilogramas por centímetro circular sobre la válvula, ¿cuál será el espesor? Siendo la capacidad de la caldera de 450 decímetros cúbicos por fuerza de caballo, se tendrá en este caso

$$\frac{90 \times 90 \times 4}{0,42 \times 450(90-18)} = 2,4.$$

Del enchufe de los tubos y demas partes de las máquinas.

530. Se cierran ordinariamente las juntas con pasadores que atraviesan los bordes; se pone entre estos bordes una sustancia elástica y duradera, ó una composicion llamada cemento, que hace cuerpo con las superficies de union ó enchufe.

El cemento de hierro es el mejor. Se hace del modo siguiente: se mezclan en un mortero dos partes de sal amoniaco, una de flor de azufre, y 16 de limaduras de hierro colado, ya provengan de la lima, ó ya del barreno ó la terraja. Estos polvos se deben mantener secos. Cuando se tiene necesidad del cemento, se toma una parte de estos polvos, y 20 de hierro colado puro en limaduras, y se mezclan con cuidado, machacándolas en un mortero; se deslíe esta composicion en agua hasta que tenga una consistencia conveniente, se aplica á las juntas, y se aprietan despues los pasadores. Estas diversas materias ejercen despues una fuerte reaccion las unas sobre las otras, asi como sobre la superficie de las juntas, y se unen de manera que bien pronto no forman mas que un solo cuerpo: las juntas se encuentran unidas por una especie de pirita, cuyas partes todas contraen la mas fuerte adherencia. Watt halló que se mejoraría el cemento añadiendo un poco del polvo que se recoge debajo de la artesa de las muelas de amolar.

531. Algunas veces vale mas unir las partes con albayalde

mezclado con minio, lo cual se aplica sobre las dos caras de un pedazo de lienzo espeso, de franela, ó de una trenza de cáñamo, á las cuales se da la figura de las partes que se han de unir, y que se interponen entre ellas antes de meter los pasadores. Este modo de hacer las juntas es exacto y permanente; se emplea en general para las juntas que se deben abrir de tiempo en tiempo, y para las que se deben rehacer despues del primer ajustamiento; y en este caso se debe aumentar la dosis del albayalde en la mezcla, porque cuesta menos que el minio.

532. Hay otro cimento que usan los fabricantes de calderas de cobre para los pasadores y las puntas de las hojas de cobre en las calderas grandes. Este cimento es mas á propósito para asegurar mas la impermeabilidad de las juntas, asi como de los puntos de union de las llaves; se obtiene mezclando cal viva pulverizada con la serosidad de la sangre, ó con clara de huevo, y se hace una pasta que se aplica al instante, porque se endurece tan pronto que despues no se podria hacer uso de ella. Los químicos conocen hace mucho tiempo las propiedades de esta argamasa ó cimento, y podria ser útil en una multitud de circunstancias en que no se hace uso de él. Es poco costoso, y dura mucho tiempo.

533. Tambien se pueden formar juntas impermeables al vapor ajustando las partes con cuidado en figura de abertura cónica, y apretándolas con pasadores de un metal menos dilatible; se puede seguir el mismo método cuando la presion del vapor tiende á cerrar la junta.

Cuando se trata de juntar dos superficies planas, es preciso ajustarlas con cuidado, é introducir un anillo de alambre de cobre delgado entre las planchas antes de apretar los pasadores; la compresion de estos aplasta el alambre y le hace unir tan bien, que impide toda salida del vapor, aun en una presion alta.

SECCION OCTAVA.

De los medios de regularizar la accion de las máquinas de vapor, arreglar su potencia, calcular su efecto útil, y manejarlas.

534. **L**a accion de una máquina de vapor es variable; por consiguiente es preciso regularizarla cuando se quiera un movimiento igual. Puede tambien haber que vencer ya una pequeña resistencia, ya una grande; por esta razon se deben prever los medios de arreglar la potencia. Tenemos que considerar igualmente ciertos métodos que pueden servir para valuar el efecto útil de una máquina despues que está colocada; y en fin el modo de dirigir la produccion del vapor y el trabajo de la máquina.

De los medios de regularizar la accion de las máquinas de vapor.

535. Un movimiento uniforme conviene á casi todas las máquinas, porque un movimiento desordenado las destruye, como tambien á su armazon, mas que no un movimiento regular. La fuerza de resistencia de la máquina se debe adaptar á los mayores esfuerzos que puedan verificarse, pero la cantidad de trabajo hecho equivale solamente á la accion media, y un movimiento irregular no produce mas que un movimiento medio uniforme. Me propongo describir dos métodos empleados para regularizar la accion de una máquina; el uno se obtiene por medio de un *volante*, el otro por un *contrapeso*.

536. *Del volante.* El volante es una rueda cuyas llantas ó contorno deben ser de un gran peso, de modo que absorvan el exceso de fuerza á una cierta época de la accion, y le distribuyan de nuevo cuando la fuerza falta. El profesor Leslie lo ha comparado con mucha exactitud á un reservatorio que recoge corrien-

tes intermitentes, y luego las da salida en un chorro regular (1). Para regularizar un movimiento sujeto á variar á cada golpe, como el de una máquina de vapor, se emplea el volante. La masa pesada debe estar proporcionada de modo que esté en equilibrio por sí misma, á cada posicion de un eje unido á la máquina, y dando vueltas con una de sus partes.

Las proporciones del volante se deben deducir de las leyes del movimiento de rotacion. Hasta ahora no se han establecido con claridad, sobre todo con respecto á su aplicacion. La ecuacion del doctor Jachson (2) concuerda muy bien con mi método, añadiéndole el tiempo y el radio correspondiente á la velocidad angular del círculo exterior de la rueda, y comparándola con la fuerza de la gravedad para obtener el coeficiente, la ecuacion es

$$\frac{9,8Pdr}{bx^2} = nv.$$

En esta ecuacion P designa la cantidad media en que varía la fuerza motriz en su intensidad sobre la resistencia, t el tiempo en que se verifica esta variacion, v la velocidad, y nv la mayor variacion; d el brazo de palanca con que obra la fuerza P; r el radio correspondiente á la velocidad v ; en fin b el peso del volante obrando á la distancia x del eje (3). Es evidente que la masa del volante debe ser la suficiente para recibir el exceso de fuerza en el tiempo de su duracion, y restituírsele á la máquina en un intervalo de tiempo igual, de modo que la velocidad no varíe mas que en la novena parte. Asi el solo punto que depende de la esperiencia práctica es la suma de esta variacion de velocidad. No hay dificultad en este punto, porque la práctica de diversos constructores difiere de tal manera, que deja bastante latitud para estenderse.

(1) *Philosophie naturelle*, vol. I, p. 152.

(2) *Mécanique théorique*, art. 400—403.

(3) Como el autor no da la demostracion de su fórmula, el lector que quisiere enterarse mas por estenso acerca de los volantes, podrá consultar la *Arquitectura hidráulica* de Belidor, tom. I, edicion de Mr. Navier, y el *Tratado de las Máquinas* de Mr. Hachette, p. 219, segunda edicion. *El Traductor francés.*

El peso de la llanta del volante se puede mirar siempre como unido á la estremidad del radio; entonces $x=r$ y la ecuacion es

$$\frac{9,8Pdt}{br} = n\omega.$$

El efecto de los rádios de la rueda se puede despreciar; porque el problema ni exige, ni puede tener una solucion muy exacta,  causa de la incertidumbre relativa á la variacion precisa de la intensidad de la fuerza motriz.

537. Resulta de esta ecuacion que si el peso ó el diámetro de la llanta es considerable, y mucho mas si lo son entrambos, el volante puede adquirir una gran fuerza viva por un pequeño aumento de velocidad angular,  perder una cantidad considerable de fuerza viva por una pequeña disminucion de esta velocidad. Asi viene á ser un reservatorio para el exceso de energía de la potencia, cuando esta obra con mas intensidad,  cuando la resistencia es menor, y la conserva para la necesidad futura.

Sin esto la máquina se podria acelerar mucho, ya sea por la disminucion de la resistencia, ya por el acrecentamiento de la potencia. El exceso de fuerza motriz se esparce en gran parte sobre el volante, en el cual produce una fuerza viva proporcional, con un pequeño aumento de velocidad. Despues cuando la resistencia crece,  la potencia disminuye, la máquina se retardaria, si la fuerza viva acumulada en el volante no hiciese continuar el movimiento con una pequeña disminucion de velocidad angular; y en igualdad de circunstancias, cuanto mas corto sea el intervalo de la variacion  de la resistencia desigual, menos alteracion de velocidad habra.

Cuanto mayor sea la velocidad angular del eje del volante, mayor será tambien la energía del volante para regularizar la accion; porque la variacion de velocidad está en razon inversa de la velocidad de la llanta.

Cada parte de una máquina dotada de un movimiento  continuo,  oscilatorio, sobre todo cuando es maciza, obra evidentemente como un volante para regularizar la accion de la máquina.

La mayor parte de estas advertencias han sido ya hechas,

bajo una forma mas general, por el doctor Robison (1) y por el doctor Jackson (2); pero estos sientan tambien que si se necesita regularizar la accion de un modo mas perfecto, se puede aumentar la potencia del volante aumentando el diámetro mas bien que la masa, porque asi se produce el mismo efecto con un peso menor, y por consiguiente con menos rozamiento y menor presion transversal sobre el eje y los apoyos ó sustentáculos.

Sin embargo esto no debe tener aplicacion sino con ciertos límites; porque una masa de materia animada de una velocidad inmensa, y soportada por ródios que deben ser totalmente incapaces de resistir á su impulso, es un accesorio muy peligroso para una máquina. Los ródios de hierro fundido no resistirian el esfuerzo causado por la detencion repentina de un volante que tuviese una llanta del mismo peso que ellos, y fuese movido con una velocidad de 5^m,5 por segundo (3). Asi los volantes deben ser de un diámetro limitado.

538. Cuando es necesario que la velocidad esceda de 4 metros por segundo, se deben emplear siempre ródios de hierro maleable; y una velocidad de 10 metros por segundo en la circunferencia, es con corta diferencia el límite extremo que puede soportar un volante, aun cuando el aro sea de hierro maleable. Para una llanta de hierro fundido con ródios de hierro maleable, no creo que sea prudente que la velocidad esceda de 5^m,5 por segundo.

Despues de estas aclaraciones podemos pasar á la formacion de las reglas deducidas de la ecuacion

$$b = \frac{9,8Ptd}{r\omega^2}$$

Es mas conveniente reemplazar el peso del volante b por sus dimensiones. Tenemos pues para el hierro fundido

$$b = 2 \times 3,1416ra \times 0^{\text{kil.}}72 = 4,525ra,$$

siendo a el area de la seccion de la llanta en centímetros cuadrados, r el radio medio del volante en metros, y tomando 7,2

(1) *Mechanical Philosophy*, vol. II, p. 250.

(2) *Mécanique théorique*, p. 227.

(3) *Essai sur la force du fer fondu*, art 261.

por la densidad del hierro fundido. Por esta sustitucion la ecuacion es

$$a = \frac{2,16Ptd}{r^3nv}$$

Si el volante hace N revoluciones por minuto, en el tiempo t hará $\frac{tN}{60}$, y por consiguiente $v = \frac{6,2832tNr}{60}$; lo cual da la

ecuacion

$$a = \frac{20,8Pd}{r^3Nn}$$

539. Ahora nos resta considerar el grado de regularidad que exige la máquina. Sus propias partes tienen ya mucho efecto, y las que obran como volantes son muy numerosas, aun en las máquinas que tienen mas necesidad de regularizarse por un volante. Por un término medio tal vez se debe admitir en la práctica una variacion de cerca de un décimo; si se adopta este valor para n , la fórmula precedente es

$$a = \frac{208Pd}{r^3N}$$

540. CASO 1.º *Máquina de doble efecto con manubrio.* En este caso la variacion se estiende desde la fuerza total del vapor hasta cero, á cada cuarta parte del curso del émbolo. Asi, el esceso medio de la cuarta parte de la mayor fuerza P sobre el émbolo, y la fórmula es entonces

$$a = \frac{52Pd}{r^3N}$$

y como vale mas quedarse un poco largo, á causa de las desigualdades de la fundicion, adoptaremos

$$a = \frac{55Pd}{r^3N}$$

REGLA. Multiplíquese 55 veces la presion sobre el émbolo en kilogramas por el radio del manubrio en metros, dividase este producto por el cubo del radio del volante en metros, y por el número de sus revoluciones por minuto; el cociente será la area ó la seccion de la llanta del volante en centímetros cuadrados.

El número de fuerzas de caballos multiplicado por 90,^{kil.} será con corta diferencia la mayor presión sobre el émbolo.

Ejemplo. Sea la presión sobre el émbolo 1800 kilogramas, el radio del manubrio 0^m,75, el número de revoluciones por minuto 22, y el radio del volante 2^m,75, la sección de la llanta será

$$a = \frac{55 \times 1800 \times 0,75}{(2,75)^2 \times 22} = \frac{742,50}{457,53} = 162 \text{ centímetros cuadrados,}$$

lo cual equivale á un cuadrado de 12 $\frac{3}{4}$ centímetros de lado.

541. CASO 2.^o *Máquina de simple efecto con manubrio.* El exceso medio entonces es la mitad de la fuerza motriz; así la ecuación será

$$a = \frac{110Pd}{r^2N};$$

es decir que la llanta del volante debe tener una área doble de la que conviene á una máquina de doble efecto, con un cilindro de las mismas dimensiones, ó de una potencia doble (1).

542. *De los contrapesos.* Se llama *contrapeso* la carga ó el peso que es necesario añadir ó quitar para obligar al émbolo á levantarse con la velocidad conveniente. El exceso de fuerza del vapor sobrepaja el rozamiento de las partes, y el peso adicional debe ser suficiente para producir el ascenso del émbolo é

(1) En las máquinas atmosféricas de simple efecto se ha aplicado al volante un peso calculado de manera que su esfuerzo para hacer dar vueltas al árbol fuese exactamente la mitad del vapor, y se ha colocado de modo que se levantaba mientras el émbolo descendía y *vice versa*.

Para determinar el valor de este peso tenemos la fórmula

$$m = \frac{Pd}{2r},$$

en la cual *m* designa el peso, y *P* la presión media sobre el émbolo. Se supone el peso aplicado á la llanta del volante, y la sección de esta debe ser la misma que para una máquina de doble efecto de igual potencia.

Este sistema está descrito en los *Ensayos* de Fenwick *sobre la Mecánica práctica*, p. 39. Woolf propuso hacer uniforme el movimiento de las máquinas por medio de un émbolo que se movía en un cilindro; pero este medio no tiene más efecto que el de un contrapeso, al paso que da lugar á mayor rozamiento y mayores gastos de construcción. (Véase Nicholson's *Philosophical Journal*, vol. VI, p. 218, y vol. VII, p. 134).

imprimirle una velocidad doble de la de la máquina, si se acelerase libremente mientras la duracion total del curso del émbolo.

Sea M el peso total de la masa puesta en movimiento, m el contrapeso, y l la longitud del curso del émbolo; se tendrá

$$\frac{19,6lm}{M+m} = 4v^2;$$

de donde

$$m = \frac{Mv^2}{4,9l - v^2}.$$

Pero tenemos (art. 342) $v^2 = 0,81l$, siendo v la velocidad en metros por segundo.

La fórmula es

$$m = \frac{0,81M}{4,9 - 0,81} = 0,2M;$$

por consiguiente el contrapeso debe ser con estas proporciones cerca del quinto de la masa total que se ha de mover, suponiendo está reunida á la estremidad del balancin, y su valor determinado por la esperiencia. La resistencia del agua en las bombas reducirá el movimiento acelerado á la uniformidad con una velocidad final, que será la mitad de la que habria sin esta resistencia (1).

De los medios de arreglar la potencia de las máquinas.

543. Con mucha frecuencia se tiene que aplicar una máquina á tales usos, que la obra que tiene que hacer no es constantemente la misma. Cuando una parte del mecanismo se detiene ó pone en movimiento de repente, si la fuerza motriz permaneciese la misma, habria alteracion en la velocidad: esta alteracion de velocidad sería en algunos casos muy perjudicial al trabajo de la máquina, y causaría una pérdida considerable; ademas hay siempre una velocidad que hace á la máquina obrar con la ma-

(1) Smeaton disponia sus máquinas de modo que la vuelta del émbolo se verificaba en menos tiempo que la ida (Rapports, vol. II, y p. 360). Watt dice que está generalmente admitido que debe ser á la inversa (*Mechan. Philosophy*, vol. II, p. 90). En el artículo 340 espuse las razones que hay para hacer los dos tiempos iguales.

yor ventaja posible; por esta razon la variacion de velocidad que se origina de la causa que precede, es siempre una desventaja, y algunas veces llega á ser perniciosa en extremo. En las filaturas de algodón, por ejemplo, en que la potencia debe mover las brocas con una velocidad dada, si se suspendiese á un tiempo una parte considerable del trabajo hasta el punto de aumentarse en gran manera la velocidad, habría una pérdida inmediata de obra, y un aumento de menoscabo por la rotura de los hilos; por otra parte se perdería mucho tiempo y trabajo, si la máquina se moviese con demasiada lentitud.

Un efecto menos perjudicial se observa en las máquinas de subir el agua, y en otros géneros de máquinas.

544. *Válvula de cuello ó garganta.* La potencia de una máquina de vapor se arregla ordinariamente, aumentando ó disminuyendo el paso para el vapor, lo cual se hace generalmente, recibiendo el vapor en el cilindro mas ó menos libremente, por medio de lo que se llama una *válvula de cuello*. Esta válvula está formada por un disco metálico *a* (fig. 1, lám. X), que tiene un eje firme en el sentido de su diámetro. Este disco está exactamente adaptado á la abertura de un anillo metálico de algun espesor, al traves del cual pasa el eje, y el anillo está fijo entre las caras de la junta ó enchufe del tubo de vapor inmediato al cilindro.

Un extremo del eje tiene un cuadrado adecuado para recibir un brazo de palanca *b*, por medio del cual puede la válvula dar vuelta en la direccion conveniente.

545. En algunos casos las máquinas se arreglan á mano á gusto del obrero; pero cuando se necesita una velocidad regular, se deben emplear medios peculiares para abrir y cerrar la válvula, sin que tenga que prestar la menor atencion el que cuida de la máquina. A este efecto Watt, despues de varias tentativas, se decidió por un péndulo cónico, que llamó *gobernador ó moderador* (Véase el art. 550).

Una válvula de eje diametral de este género, lleva mucha ventaja á cualquiera otra forma de válvula para un tubo circular, porque cierra la abertura sin ser difícil de mover, y sin presentar mas obstáculo que el necesario; pero no es un medio económico de variar la potencia de una máquina de vapor.

546. *Modo de arreglar la máquina*, trabajando mas ó menos por la expansion. Esto se puede conseguir ajustando el movimiento de las válvulas de vapor de modo que se cierren á un periodo mas ó menos largo del curso del émbolo, segun que la máquina tenga mas ó menos trabajo que efectuar. Este método se emplea principalmente cuando se arregla á mano. (Véase el art. 481, y la lám. XI).

El regulador espontáneo ó mecánico, tal como se usa, no se aplica con ventaja sino á las máquinas de válvulas, puesto que los tiradores y las llaves que se usan no se pueden ajustar sino para cerrar el paso del condensador. (Véanse los artículos 448 y 456).

547. *Válvula de Field*. El señor Joshua Field ha descubierto un modo ingenioso de interceptar el vapor á un periodo cualquiera del curso del émbolo. Consiste en una válvula colocada en la situacion asignada ordinariamente á la válvula de cuello, es decir cerca del parage en que entra el vapor en el cilindro. Esta válvula debe estar abierta al principio del curso para dar libre paso al vapor, y cerrada despues que el émbolo ha corrido una parte de su curso, á fin de que el resto de él se concluya por la fuerza expansiva del vapor. Se puede hacer que la válvula se abra por un diente ó un camon sobre un rodillo, ó sobre uno de los árboles que dan vueltas y están destinados al juego de las válvulas; se puede mantener abierta hasta que el arbol haya hecho una parte de su revolucion, y por último cerrarla. Si el rodillo dentado puede entrar debajo del arbol, y si la forma del diente es tal que la válvula se cierre mas pronto cuando el rodillo se ve impelido por una direccion, y mas tarde cuando va por la contraria, se puede entonces arreglar la época en que se debe abrir la válvula, y por consiguiente arreglar tambien la potencia de la máquina. Se puede hacer á mano, ú obligando al rodillo dentado á entrar por medio del moderador. La aplicacion de esto se ve en la lám. XVII, en la máquina portatil de Maudslay, en la cual este medio está dirigido por el moderador. Primero se aplicó por via de ensayo lo que esplica el defecto de direccion del paso del vapor y el uso de la válvula de cuello; la economía de potencia que resultó de esto segun la experiencia, ascendió á cerca de 10 por 100.

548. Cuando las máquinas atmosféricas que condensan en el cilindro deben obrar bajo cargas inferiores á su potencia total, se las arregla disminuyendo la cantidad de agua inyectada, ó cerrando mas pronto la llave de inyeccion; pero en casi todas las máquinas de subir agua que se arreglan á mano, es necesario emplear algun medio para advertir al atizador el exceso de potencia, cuando se verifica.

549. *De los balancines de resorte.* En las máquinas provistas de un volante, no es necesario tomar precauciones para limitar el movimiento del balancin, porque la longitud del manubrio lo hace por sí misma, mientras que el volante continúa dando vueltas de modo que previene todo esfuerzo excesivo sobre el arbol del manubrio. Pero cuando no se emplea volante, como en las máquinas que mueven las bombas, se fija una pieza muy fuerte de madera transversalmente sobre el balancin, y en cada extremo, como se ve en la lám. XIV; cada una de ellas lude con dos resortes de madera, colocados á cada lado del balancin sobre dos viguetas longitudinales, que sostienen los muñones, y que por esta razon se llaman *viguetas de resorte*. Para impedir el ruido, los resortes estan cubiertos de corcho en el parage en que reciben el golpe, y cuando el choque es demasiado vivo, hacen sonar una campana, que da á conocer al obrero que la máquina necesita arreglarse.

Del péndulo cónico ó moderador.

550. Si dos ó mayor número de bolas se suspenden de un eje rotante, de modo que den vueltas con él, se elevarán cuando se aumente la velocidad, y bajarán cuando se disminuya; si se ponen brazos á las varas ó vástagos que las suspenden, su elevacion y depresion podrán hacer que se mueva una palanca de modo que abra ó cierre una válvula á cada cambio que se verifique en la velocidad de la máquina. Se puede emplear, pues, este mecanismo, para hacer á la máquina misma regulatriz de su propia potencia. En la construccion de este aparato es preciso considerar la posicion de las bolas correspondiente á la velocidad media, la amplitud del movimiento y el peso, asi como la

velocidad de las bolas. Varios mecánicos emplean diferentes medios de combinar las partes de este aparato. Uno de ellos se ve en la lám. X, fig. 1, en donde g es el eje que da vueltas, f el punto de suspension, jj las bolas, ee las varas que las suspenden. Estas varas estan enlazadas con los brazos ii , y por este medio levantan ó bajan la roldana h , y con ella la palanca l , que obra sobre la válvula de cuello. Las herraduras kk son dos descansos para recibir las bolas cuando la máquina no está en movimiento.

551. La distancia vertical entre el punto de suspension y el plano en que da vueltas el centro de las bolas, es igual á la longitud de un péndulo que hace una oscilacion completa en el mismo tiempo que las bolas hacen una revolucion. La velocidad ordinaria del eje es de treinta revoluciones por segundo, y por consiguiente la altura sería igual á la longitud del péndulo de segundos, es decir, á $99^{\text{cent.}},42$. Para hallar la altura correspondiente á otro número de revoluciones, será preciso dividir $99,42 \times 900 = 89478$ por el cuadrado del número; así para veinte revoluciones, la altura sería

$$\frac{89478}{400} = 223^{\text{cent.}},69.$$

552. Se puede determinar la amplitud, considerando el mayor cambio de velocidad que la máquina pueda soportar sin perjudicar al trabajo. En esta amplitud es en la que el moderador debe ser capaz de interceptar completamente la afluencia del vapor al cilindro. La mayor variacion no escede generalmente del décimo de la velocidad, es decir, la vigésima parte superior é inferior al valor medio, y la amplitud del movimiento del plano de revolucion será, en este caso, cerca del quinto de la altura del punto de suspension sobre el plano de revolucion á la velocidad media (1). Así, suponiendo la altura

(1) Sea v la velocidad media, y supongamos que se aumente hasta $v + nv = v(1 + n)$; la altura del plano de revolucion, que al principio era h , se hará $\frac{h}{(1+n)^2}$. Así el cambio de velocidad estará con el cambio de altura en la razon de $1+n$ á $(1+n)^2$, y sus aumentos serán entre sí como $n : 2n + n^2$, ó co-

media de $99^{\text{cent}},420$, la amplitud será de $19^{\text{cent}},88$ (1).

Cuando una válvula de cuello está dirigida por un moderador, el paso del vapor debe estar enteramente abierto á la velocidad usual de la máquina, y cerrado solamente cuando la velocidad es excesiva; de lo contrario el vapor no pasaría nunca con libertad, sino cuando la máquina tuviese que vencer una resistencia extraordinaria.

553. Las bolas pesan generalmente de 12 á 36 kilogramas cada una; su efecto de todos modos depende mucho de los ángulos formados por las dos varas. En la forma descrita, fig. 1, lám. X, la fuerza es pequeña, pero la estension del movimiento es considerable, mientras que en la que representa la fig. 3, lám. XVII, hay mas fuerza y menos movimiento. El ángulo que las varas de las bolas forman con el eje, debe ser de cerca de 30° cuando están en reposo; y siempre que la amplitud sea suficiente, el ángulo que los brazos ó varas de union forman con el eje se puede hacer agudo, á fin de que la intensidad del esfuerzo se aumente (2).

554. *Embolo regulador.* La velocidad de una máquina para

mo $1:2+n$; lo cual equivale con corta diferencia á la razon de $1:2$, cuando n es una fraccion muy pequeña.

Por no haber considerado este punto, se ha supuesto que el moderador no era sensible á las variaciones de velocidad en una máquina delicada, y el señor Preus propuso emplear una bomba pequeña para subir el agua á un reservatorio, de donde se saldría por una abertura que podria arreglar segun se quisiese. Si la máquina llega á moverse mas velozmente de lo que conviene, el agua subirá al reservatorio, y levantará un flotador que cerrará la válvula. (Véase *Magacin philosophique*, tom. LXII, p. 298). Es evidente que este aparato no puede ser mas sensible que el moderador, al paso que exige mayor atencion para conservarlo en estado de funcionar.

(1) Se tiene en efecto

$$99,42 + 9,942 = 109,362$$

$$99,42 - 9,942 = 89,478$$

$$\text{El quinto de } 99,42 = 19,884.$$

(2) Se han hecho varias tentativas para aplicar el moderador á las máquinas empleadas en los barcos; pero me parece que los movimientos en la mar son demasiado violentos para que este medio de regularizar se pueda emplear en ellas.

subir el agua se puede arreglar por medio de un pequeño cilindro provisto de un émbolo, y comunicándose con el reservatorio de aire del gran tubo de conduccion; cuando la máquina anda demasiado aprisa, el agua se ve impelida á la parte inferior del pequeño cilindro, y levanta el émbolo. Este está cargado de un peso correspondiente á la velocidad que debe tomar la máquina, y por consiguiente solo cuando anda demasiado aprisa, creciendo el rozamiento en los tubos de conduccion, se aumenta tambien la presion en el reservatorio de aire, y esta presion, comunicada por el tubo pequeño al cilindro regulador, determina la elevacion del émbolo cargado. El movimiento se transmite por un alambre á la válvula de cuello, de modo que la cierra y disminuye la cantidad del vapor. En el otro caso, ó si la máquina anda con demasiada lentitud, la presion en el reservatorio de aire se minora, y el émbolo cargado descende y abre la válvula de cuello.

A fin de impedir la demasiada estension del movimiento del émbolo, la carga está dividida en anillos como una cadena, y á medida que el émbolo sube, levanta mayor número de anillos, lo cual aumenta la carga; del mismo modo, cuando el émbolo baja, quedando suspendidos los anillos, disminuyen la carga. Se podria aplicar un resorte para producir un efecto semejante.

555. En algunos casos se ha adoptado una mejora ulterior, que consiste en servirse de este procedimiento para ajustar los pitones por cuyo medio se intercepta el vapor. A este efecto el movimiento del émbolo pequeño se comunica á una rueda que hace mover otras dos ruedas de ángulo, una de las cuales está fija sobre el cuadrado de una vara ó vástago de rosca unido á la palanca movable del regulador. Cuando el movimiento es demasiado rápido, la vara da vueltas y mueve el piton de modo que intercepte el vapor mas antes, y recíprocamente. El cuadrado de la vara entra libremente en la rueda colocada encima, sin ser arrebatada por ella, sino cuando esta rueda se mueve por el émbolo regulador.

556. *De la cataracta.* La potencia de una máquina de subir el agua puede tambien arreglarse, aumentando ó disminuyendo el intervalo entre sus pulsaciones sucesivas: se consigue ha-

ciendo desprender por medio de los pitones del *encliquetage* un émbolo cargado, que desciende á un pequeño reservatorio de aire, de donde espele este por un tubo; y esta salida se puede arreglar como se quiera por una llave: las válvulas no pueden abrirse hasta que el émbolo haya llegado al fin de su curso. El reservatorio de aire es un cilindro de 13 á 15 centímetros de diámetro, y de 50 de largo, abierto en la parte superior, y provisto de una válvula entrante en el fondo, á fin de que el aire pueda subir sin experimentar resistencia inútil. Tiene un tubo que arranca del fondo, de un diámetro bastante grande para que pueda salir el aire cuando la máquina tiene toda su velocidad, y provisto de una llave para arreglar el tiempo de esta salida. En este estado se le adapta un émbolo bien ajustado, cuyo vástago está enlazado con el aparato que abre las válvulas. En una máquina de doble efecto se necesitan dos reservatorios de aire.

De los medios de verificar el estado y la fuerza de las máquinas de vapor.

557. Se han inventado ciertos instrumentos que se usan mucho para asegurarse del estado de una máquina. Se deben conservar en buen orden para servirse de ellos en todo tiempo. Watt advierte muy fundadamente, que es del interés de los propietarios de máquinas el vigilar que estos instrumentos, así como tambien las otras partes del mecanismo, se tengan siempre bien acondicionados (1).

Estos instrumentos se componen del manómetro para el vapor, del manómetro del condensador, y del indicador.

558. *Manómetro para el vapor.* El manómetro para el vapor, n.º 18, lám. X. fig. 1, es un tubo recurvo de hierro, muy corto, de cerca de un centímetro de diámetro, una de cuyas estremidades está fija en la caldera ó en el tubo de vapor; la parte curva del tubo contiene una cierta cantidad de mercurio. El brazo adherente á la caldera, ó al tubo, está enteramente abierto al vapor, el cual comprimiendo la superficie del mercurio le hace

(1) *Mechanical Philosophy* by Robison, vol. II, p. 156.

subir en el otro brazo del tubo, cuya estremidad superior está abierta al aire. La altura á que sube el mercurio se mide sobre una escala 20, por la varita delgada de un flotador ligero, puesto sobre la superficie, y que muestra el exceso de la elasticidad del vapor sobre la de la atmósfera. La escala se debe ajustar de modo que permita al aire libre acceso sobre el mercurio por los dos lados.

La escala se divide por lo comun en centímetros, de los cuales cada uno corresponde á 2 centímetros de mercurio y á una presión de 21^{gram.},6 por centímetro circular, ó de 27^{gram.},2 por centímetro cuadrado. Si las divisiones de la escala fuesen de $\frac{1}{4}$ cent.,7, y estuviesen subdivididas en décimos, el manómetro indicaría directamente la presión en hectogramas y decagramas por centímetro circular. Algunas veces se divide la escala en semicentímetros, y entonces cada division corresponde á un centímetro de mercurio.

Tambien se suele colocar á veces entre el mercurio y el vapor una llave 19, que se puede abrir ó cerrar arbitrariamente.

A fin de agrandar las divisiones del manómetro, Watt hacia que su tubo de vidrio se terminase en un baño de mercurio contenido en una caja de hierro: entonces todo pasa como en un barómetro ordinario, teniendo el vapor libre acceso sobre el mercurio en el baño.

559. *Manómetro del condensador.* Este instrumento se parece á un barómetro; se compone de un tubo de hierro en forma de sifon inverso, n.º 21, lám. X, fig. 1, uno de cuyos brazos es cerca de la mitad mas corto que el otro. A la estremidad superior del brazo largo 24, está ajustado un tubo que se comunica con el condensador, y al cual está adaptada una llave 22 para abrir ó cerrar la comunicacion. Luego que se echa en el brazo mas corto una cantidad conveniente de mercurio, y se abre la comunicacion con la atmósfera por los dos extremos, el mercurio se pone naturalmente al nivel de los dos brazos. Un flotador ligero, con una varita muy delgada, está colocado en el brazo corto, al cual está unida una escala, n.º 25, que se divide ordinariamente en centímetros; y como por el vacío que se forma en el condensador el mercurio sube en el brazo largo otro

tanto como baja en el corto, estas divisiones equivalen á 2 centímetros del barometro ordinario.

El manometro del condensador debe indicar ordinariamente que el vapor en el condensador puede sostener una columna de 5 á 8 centímetros de mercurio. Mientras que la tension no pase de 8 centímetros, la condensacion se puede mirar como muy buena: una tension de 5 centímetros es con corta diferencia lo mejor que he visto obtener en la práctica.

La diferencia entre la fuerza elástica del vapor en el condensador, y la que tiene en la caldera, tales como las indica el manometro, añadida á la altura del barómetro en el mismo tiempo, da la fuerza relativa del vapor para mover la máquina, aunque hay aun algunas deducciones que hacer para tener la verdadera fuerza motriz. No obstante estas indicaciones manifiestan el estado de dos partes muy importantes de la máquina. (Véanse las Secciones V y VI.)

56o. *El indicador.* La fuerza del vapor y el grado de vacío del cilindro en los diferentes periodos de la accion de la máquina no se pueden calcular por el manometro del condensador. Para esto era necesario construir un instrumento menos espuesto á oscilaciones. El que se emplea se llama *indicador*, y llena bastante bien su objeto. Consiste en un cilindro de 4 á 5 centímetros de diámetro y 20 de largo, de un calibre igual y perfecto, y al cual se adapta exactamente un émbolo sólido que puede entrar fácilmente con el auxilio de un cuerpo grasiento. El vástago del émbolo se guia por la direccion del eje del cilindro de modo que jamás se desvie de ella, ni cause demasiado rozamiento en su juego. En la curvatura del fondo del cilindro hay una llave B, que sirve para cerrar el tubo de comunicacion (lámina XIX, fig. 1 y 2). El cilindro del indicador C está fijo á rosca en un pie derecho D, que soporta el bastidor EE de 30 centímetros sobre 18, y cuyos travesaños superior é inferior pueden recibir el tablero de corredera K.

El vástago G del émbolo es de cerca de centímetro y medio de diámetro y 15 de longitud, y está guiado por la cartela H, fija con pasadores en el pie derecho D, á cerca de 15 centímetros sobre la parte superior del cilindro C.

Un resorte espiral I está unido al émbolo en F y á la guía en H. Debe tener 18 centímetros de longitud en el estado de reposo, y su fuerza debe ser tal que permita al émbolo F bajar hasta cerca de 2 centímetros del fondo del cilindro C, cuando está cargado de un kilograma por centímetro cuadrado de su area, y el resorte debe ser capaz de comprimirse hasta no ocupar mas que cuatro centímetros.

El tablero ó tableta K entra en una ranura del bastidor EE, y debe tener 18 centímetros en cuadro: se debe fijar á una cierta altura sobre el vástago G del émbolo una pequeña corredera de cobre L por medio de un tornillo de presion. Al otro lado está fija una punta de lapiz con un pequeño resorte para empujarlo contra la superficie del tablero K, que hace entrar un peso N atado á una cuerda que pasa por una polea. La cuerda opuesta O está de tal manera enlazada á una parte conveniente del paralelogramo de la máquina, que la tableta K corre un espacio de cerca de 15 centímetros á cada media pulsacion de la máquina.

Operacion. Abriendo la llave B se establece una comunicacion directa entre el cilindro de la máquina y el del indicador. Cuando la fuerza del vapor en el cilindro es superior á la presion de la atmósfera, el émbolo F sube; cuando es inferior, baja. El indicador se levantará pues cuando la válvula de vapor esté abierta, y llegará á una altura proporcionada á la fuerza del vapor en el cilindro durante el curso de la máquina. Cuando la válvula de salida se abre, baja el indicador, y por la rapidez y estension de su descenso da á conocer el estado del vacío en el condensador. Durante el movimiento del émbolo F la tableta de corredera se mueve horizontalmente, y el lapiz L traza sobre la tableta K, ó en un papel colocado sobre ella, una curva PQRS, semejante á la que se ve en mayor escala en la figura 9, lám. XVIII. En estas figuras la curva PQ está descrita durante el descenso del émbolo; en Q se verifica la condensacion, y el indicador se ve forzado á descender por la presion de la atmósfera hasta que esta esté contrapesada por la resistencia del resorte y del vapor en el cilindro. La línea RS está descrita durante el ascenso del émbolo de la máquina, y la línea SP durante

la entrada de una nueva cantidad de vapor por la válvula superior.

La area PQRS es proporcional á la fuerza del vapor sobre el émbolo durante su curso; pero no se debe concluir de esto que al maximum de dicha area corresponda el maximum de accion del vapor en igualdad de combustible; porque si el vapor obra por expansion, el area descrita se parecerá á la figura PC qrs , interceptándose el vapor en C, y una cantidad dada de vapor ejercerá mayor potencia. En la misma máquina haciendo diferentes cantidades de obras, las curvas presentarán dos casos, correspondiendo las líneas llenas al caso en que se emplea por regulador la válvula de cuello, y las de puntos á aquel en que se arregla la máquina interceptando el vapor antes del fin del curso.

561. Si p es el número de hectogramas por centímetro circular del émbolo del indicador, que le hace descender de d centímetros, y m la longitud de la línea ab , medida en centímetros, sobre la figura trazada por el indicador, la presión ejercida por el vapor en hectogramas por centímetro circular se determinará por la proporción.

$$d : m :: p : x = \frac{mp}{d}$$

por el instante del descenso del émbolo correspondiente al punto a .

Si por ejemplo la experiencia ha mostrado que 15 hectogramas por centímetro circular hacen descender el émbolo 2^{cent.},5, se tendrá

$$\frac{mp}{d} = \frac{m \times 1,5}{2,5} = 0,6m;$$

asi cada centímetro del indicador corresponderá á 0^{hect.},6 por centímetro circular.

Si la distancia que la corredera ó pantógrafo corre horizontalmente está dividida en partes iguales, y en cada punto de division se toma la distancia vertical entre las líneas PQ y RS, y se divide la suma de estas distancias, menos la mitad de la distancia PS, por el número de divisiones, el cociente dará la distancia media vertical que corre el émbolo del indicador. Lla-

mando m esta distancia media, será $\frac{mp}{d}$ la presión media sobre el émbolo en hectogramas por centímetro circular (1).

562. *Modo de medir el efecto útil de una máquina.* Los métodos que preceden manifiestan solamente el estado de las partes; pero el efecto útil depende de la buena armonía del todo, y el rozamiento ofrece el medio más sencillo y conveniente para averiguarlo (2).

Si se coloca una brida sobre el árbol de una máquina de un diámetro conocido, y si se comprime por una fuerza que produce un grado conocido de rozamiento que sea exactamente igual al efecto de la máquina andando con su velocidad acostumbrada; entonces es claro que, si se determina el rozamiento producido por esta presión, la potencia dinámica de la máquina será igual á este rozamiento multiplicado por la velocidad de la superficie rozante.

Para aplicar esta idea, sea AB (fig. 1, lám. XX) una palanca provista de una faja ó brida que abrace la superficie cilíndrica del árbol ó polea C, y supongamos que esté apretado por una tuerca en B (estando detenida la palanca por el obstáculo fijo D) hasta que el rozamiento sea igual á la potencia de la máquina, estando suspendidos todos los demás trabajos de ella. Entonces mientras que la máquina está aun en movimiento, añadamos en E un peso tal que la palanca esté mantenida en una posición horizontal.

Para calcular la potencia de la máquina es preciso multiplicar la longitud FC de la palanca en metros por el número de revoluciones del árbol C por minuto, por el peso E en kilogramas, y por el duplo de la razón de la circunferencia al diámetro 6,2832; el resultado será el número de kilogramas elevados á un

(1) El indicador parece haber sido inventado por Watt (*Mechanical Philosophy*, by Robison, vol. II, p. 156). La aplicación del pantógrafo se debe á Field.

(2) Este procedimiento conviene al caso en que el trabajo hecho no admite una medida exacta, lo cual sucede en casi todas las máquinas motrices; pero la potencia de las máquinas de subir el agua se calcula fácilmente.

metro por minuto, y dividiéndole por 4500, se tendrá el número de caballos (1).

Haga por ejemplo el arbol C 25 revoluciones por minuto, sea la longitud de la palanca de 3 metros, y el peso necesario para mantenerla en la posición horizontal 109 kilogramas; se tendrá

$$6,2832 \times 3 \times 109 \times 25 = 51365 \text{ kilogramas,}$$

elevados á un metro por minuto, lo cual equivale con corta diferencia á $11\frac{1}{2}$ veces la fuerza de un caballo.

La experiencia es tan facil de hacer, y el resultado indica tan exactamente las cualidades de una máquina, que recomiendo muy eficazmente este procedimiento á la atención de los que deseen tener buenas máquinas (2).

563. *El contador.* Para valuar la economía de combustible, que resulta del uso de las máquinas de Watt, se une al balancin un aparato propio para dar á conocer el número de golpes de la máquina en un tiempo dado; se llama *el contador*, y con-

(1) Sea l el brazo de la palanca con que obra el peso P , r el radio de la rueda C , y f el rozamiento, v la velocidad, y n el número de revoluciones de rueda por minuto; entonces la potencia es $f v$, y

$$f = \frac{lP}{r}.$$

Pero $v = 2\pi r n$; luego $f v = 2\pi l P n$.

Tal es la espresion de la potencia en kilogramas elevados á un metro por minuto, estando l espresada en metros y P en kilogramas.

(2) Este procedimiento presenta sin embargo inconvenientes que hacen su uso incómodo, sobre todo para el ensayo de las máquinas grandes. El rozamiento de la brida se hace entonces insuficiente para suministrar la resistencia que conviene, y si se trata de aumentarla apretando la tuerca de presión, las partes se calientan de tal manera que es imposible continuar la prueba. Por otra parte es difícil mantener en un mismo punto la intensidad del rozamiento y de la resistencia que produce, como tambien proporcionar á cada instante el peso que sirve para medirla: de todos modos este último defecto se puede remediar en parte, empleando, en lugar de peso, un dinamómetro ó romana de resorte y con cuadrante, que señala á un golpe de vista los valores variables de la resistencia y del esfuerzo de la máquina.

Pero hay medios mas precisos y mas cómodos para medir los efectos dinámicos, los cuales se deben á los señores Molard, White, Welter y Lavelaye, y que están fundados sobre las medidas de las presiones en lugar del rozamiento. El lector podrá ver sus descripciones y diseños en el *Bulletin de la Société*

siste en un sistema de ruedas dentadas semejantes á las de un reloj, y dispuestas de modo que cada golpe de la máquina hace pasar un diente de la primera rueda. Un índice señala los golpes que ha habido en el intervalo de las observaciones. *El contador* está cerrado con llave en una caja, para preservarlo de toda alteracion ó fraude durante la ausencia del observador. Si la caja está unida al eje del balancin, la inclinacion de este determinará el péndulo á oscilar á cada golpe de la máquina, y hará pasar asi de cada vez un diente del contador. La caja puede tambien estar fija en los soportes del balancin, y entonces á cada golpe una pequeña detencion hace mover un diente. El *contador* se usa ademas en Cornouailles con el objeto de que los inspectores puedan hacer una relacion mensual sobre el efecto de las máquinas, y es útil en diferentes casos en que se desea obtener una reduccion en el consumo de combustible.

Del manejo ó modo de conducir las máquinas de vapor.

564. Lo primero á que se debe atender es á las cualidades del combustible y del agua. El combustible, sea de la especie que sea, debe estar seco, limpio de tierra, dividido en pequeñas partes, etc. Los pedazos de carbon no deben ser mayores que un huevo, y es preciso que contengan lo menos que sea posible de piritas. La leña debe estar en leños ó troncos que no tengan mas de 30 centímetros de largo, ni de 6 á 8 centímetros de diámetro. El agua debe ser pura y dulce cuanto sea posible.

Todas las aguas naturales contienen una cierta cantidad de materias estrañas procedentes de las capas de los terrenos que atraviesan. Las aguas manantiales mas puras corren por terrenos areniscos, ó por rocas silíceas ó arcillosas, y contienen por la

d'Encouragement de Paris, número de julio 1827, y en el *Dictionnaire technologique*, vol. XII, p. 457, ó el *Traité des Machines* del señor Hachette, tercera edicion, 1828.

En cuanto al dinamometro de brida, se hallarán detalles muy circunstanciados en el *Rapport sur la Machine à vapeur du Gros-Caillou*, por el señor de Prony, que ha hecho con este instrumento numerosas esperiencias. *El traductor francés.*

mayor parte una corta cantidad de materia salina, que es principalmente sal marina. En los terrenos calcáreos el agua contiene generalmente una cantidad mas grande de materia en disolucion, muy frecuentemente cal, ó sulfato y carbonato de cal, que constituyen las que se llaman *aguas crudas* (1). Las aguas de las mismas son aun mas impuras; contienen con mucha frecuencia tierras, ácidos, álcalis y sales. Asi el agua en su estado natural suele ser impropia para el servicio de las máquinas de vapor.

Acaso no hay mas método practicable para mejorar el agua, que el de esponerla por largo tiempo al aire libre en estanques. Otro medio mas eficaz es el de emplear muchas veces seguidas la misma agua, añadiendo solamente la necesaria para reemplazar las pérdidas; pero aun esto mismo exige un reservatorio mas grande para dar al agua tiempo para enfriarse. El agua de rio turbia se puede clarificar filtrándola por arena.

Para impedir la adherencia de los sedimentos que forman las aguas impuras en el fondo de las calderas, se acostumbra echar en ellas patatas machacadas, las heces de la cebada que ha servido para hacer cerveza, ó cualquiera otra sustancia farinácea, lo cual se renueva con frecuencia.

565. Para las máquinas de los barcos de vapor hay necesidad de emplear el agua de la mar, que deposita sal luego que está saturada. Se puede evitar este depósito, dejando salir constantemente de la caldera una pequeña cantidad de agua caliente. Cien partes de agua de mar contienen en peso 3 partes de materias salinas, y el agua está saturada cuando contiene 36 partes (2): supongamos que la caldera contenga 100 partes de agua, que se empleen s partes para formar el vapor, y que se dejen salir u ; designemos por a el número de partes de sal contenidas en el agua al grado de saturacion á que se quiere llegar, la cantidad de sal depositada, y la cantidad que se ha salido con el agua serán iguales, si se tiene la ecuacion

$$3(s+u)=au,$$

(1) El jabon no se disuelve fácilmente, ni hace mucha espuma en las aguas crudas; al contrario estas le descomponen en parte, y se forman unas pequeñas bombitas insolubles en el agua.

(2) La tabla siguiente manifiesta los grados de saturacion y las temperatu-

que dá

$$u = \frac{3s}{a-3}$$

Suponiendo $a=30$, el agua en la caldera no adquirirá un grado mas alto de saturacion, cuando se deje salir una novena parte de la cantidad empleada para la formacion del vapor. Mas como la ebulicion del agua no exige sino cerca de la sexta parte de la cantidad de calor necesaria para convertirse en vapor, la pérdida de calor que procede de esta disposicion será

$$\frac{1}{9 \times 6} = \frac{1}{54} \text{ (1).}$$

566. *Del manejo de una máquina de condensacion.* Se supone la máquina en reposo, el cilindro frio, el condensador lleno en parte de agua, y el émbolo levantado en lo alto. Cuando el tubo de la máquina se abre, el vapor que sale al escape se condensa en las paredes del cilindro, y el agua que se condensa se deposita en las partes bajas de la máquina. Las máquinas sin condensacion sufren estas pérdidas en que se verifican los depósitos en 1000 partes de agua de mar sometidas á la evaporacion, segun las esperiencias del señor Faraday.

Cantidad de agua de mar.	Temperatura de ebulicion.	Cantidad de sal contenida en 100 partes de agua.	Naturaleza del depósito.
1000	101° centig.	3	Ninguno.
299	102,7	10	Sulfate de cal.
102	109	29,5	Sal marina.

(1) Los señores Maudslay y Field han discurrido una combinacion ingeniosa para evitar esta pérdida. Antes de introducir el agua alimenticia en la caldera, la hacen correr por el interior de un tubo colocado concéntricamente en otro que sirve para evacuar el agua caliente saturada. La pérdida de efecto es entonces muy corta, aun á un grado de saturacion mucho menor. Para impedir el depósito de sulfate de cal, es preciso hacer $a=10$; entonces la cantidad de agua evacuada es los tres séptimos de la que se emplea para la formacion del vapor, y se pierde una catorzava parte del efecto del combustible. Puede ser necesario recordar aqui que el sulfate de cal no parece que existe en el agua de mar, hasta que por la evaporacion se efectúa un cambio en sus principios constituyentes. Se necesitan 36 partes de sal para saturar 100 partes de agua á 108° centígrados; pero parece que el depósito se verifica con 30 por 100 de sal solamente, á la temperatura de 109°.

agua empieza á hervir en la caldera, el vapor entra por las válvulas, ó por los tiradores, y por el tubo de comunicacion, de cuyo uso necesitan los tiradores; llena bien pronto el cilindro y los tubos: estando cerrada la llave de inyeccion, el vapor saca gradualmente de su lugar el agua en el condensador (1), y despues el aire, impeliéndolos contra la válvula. Cuando ha sido arrojado todo el aire, á escepcion del que está mezclado con el vapor, lo cual se conoce con el ruido fuerte que causa á su salida por la válvula, se debe dejar que continúe este ruido durante mucho tiempo, para que haya podido pasar al traves de la válvula á lo menos tanto vapor como el que se necesita para llenar la máquina. Entonces se intercepta la entrada del vapor, escepto sobre el émbolo, y se abre la llave de inyeccion: si el movimiento no empieza, se debe cerrar esta llave, y purgar de nuevo el aire de la máquina introduciendo aun vapor. Si la máquina está guarnecida de una camisa ó cubierta, se la debe vaciar de aire y de agua, y llenarla de vapor antes de empezar la operacion para purgar de aire la máquina. Las máquinas sin condensacion no exigen mas que calentarse y evacuarse de agua, y las máquinas atmosféricas que condensan en el cilindro no tienen necesidad mas que de vaciarse de aire.

567. *Del modo de manejar el fuego.* Lo principal es obtener una formacion de vapor tan regular como sea posible. Se debe procurar mantener un fuego claro y bien nutrido, y para esto se debe evitar que las escorias se acumulen sobre las parrillas. Se deben romper los carbones que no pasen por un anillo de cerca de 6 centímetros de diámetro. El carbon se debe echar frecuentemente en pequeñas cantidades y con igualdad sobre la superficie del fuego; ó bien se puede adoptar el medio descrito en el

(1) El mejor medio sería emplear una llave para hacer salir el agua del condensador, colocándola bastante baja para que el condensador se vaciase enteramente: entonces, luego que el vapor llegase á la llave, se cerraría hasta que hubiese certidumbre de que el cilindro estaba tan caliente como le podia poner el vapor. Se abriría entonces de nuevo la llave, para cerrarla cuando el vapor hubiese pasado por espacio de algunos segundos; de este modo se hallaría confinado sobre el émbolo, y se abriría la llave de inyeccion al principio del movimiento, si la operacion hubiese estado bien manejada.

artículo 249; pero en los trabajos de importancia es preciso emplear el método de Brunton (art. 250).

568. Es preciso poner el mayor cuidado en que la máquina y la caldera se mantengan limpias y en buen estado, y para esto una atención no interrumpida es mas eficaz que un trabajo doble sin orden ni método. En una obra de esta naturaleza lo bien hecho es lo que vale, y el celo mas ardiente es muy inferior á una atención constante y continuada, porque aquel destruye los objetos sobre que se ejercita, y esta los conserva y mejora.

Es preciso que el aceite y el sebo que se emplean sea de la mejor calidad; el sebo es preferible para untar el émbolo. Cuando los cilindros son nuevos, una ligera adición de plumbagina muy dulce, y en polvo menudo, perfecciona el efecto del sebo. Una corta cantidad de cera parece tambien que hace mas ventajoso el servicio del aceite.

SECCION NOVENA.

De la aplicacion de las máquinas de vapor á diferentes usos.

569. La inmensa variedad de objetos á que puede aplicarse la potencia del vapor, exige que limitemos nuestra atencion á los de mayor importancia. Estos son la elevacion del agua, las máquinas motrices para el uso de las minas, de las fábricas y de la agricultura, y la carretería ó transportes por tierra. La aplicacion á la navegacion es tan variada é importante, que merece por sí sola una seccion especial. (Véase la Seccion X.)

De la elevacion del agua.

570. Para subir el agua se usa generalmente de las bombas de compresion ó aspirantes. El curso de una bomba no debe exceder de 2 á 3 metros, pues de lo contrario, el aire que se desprende del agua, las huidas ó fugas por el pequeño cilindro ó por el émbolo, y la falta de presion sobre el fluido que sube de este último, sobrepujan el efecto util de la evacuacion por las válvulas. La velocidad del émbolo debe ser, á todo mas, igual á $5\sqrt{4}$ veces la raiz cuadrada de la longitud de su curso por minuto (art. 342).

571. Atendiendo á las huidas por las válvulas, y al desprendimiento del aire, la cantidad de agua que puede dar á cada curso de émbolo una bomba en buen estado es, en metros cúbicos

$$\frac{0,95ld^3 \times 0,7854}{10000} = 0,000075ld^3,$$

siendo l la longitud del curso en metros, y d el diámetro de la bomba en centímetros; sustituyendo por l la mitad de la velocidad, se tendrá el número de metros cúbicos por minuto.

572. La potencia necesaria para elevar el agua á una altura dada, se halla tomando exactamente la altura en metros, desde la superficie del agua hasta el punto de descarga, y añadiendo

un semimetro por cada golpe de bomba, á causa de la fuerza necesaria para dar al agua la velocidad conveniente; es preciso añadir tambien un veinteavo de la altura por el rozamiento del émbolo. Llamando h esta altura total, la carga en kilogramas será $0,07854hd^2$.

De aqui se sigue que si P es la presión media efectiva sobre el émbolo en kilogramas por centímetro circular, el diámetro del émbolo de vapor en centímetros será (1).

$$D = d \left(\frac{0,07854h}{P} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Como 54 metros por minuto es muy buena velocidad para una máquina de elevar el agua, si se la adopta, y se designa por Q el número de metros cúbicos de agua elevados por minuto, se tendrá

$$d = \left(\frac{Q}{0,000075 \times 27} \right)^{\frac{1}{2}} = (494Q)^{\frac{1}{2}}$$

y poniendo por d este valor en el de D , resulta

$$D = \left(\frac{38,8hQ}{P} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Ejemplo. Supongamos que se quieren elevar $2^m,24$ cúbicos

(1) Para hallar la fórmula general del diámetro, cuando se supone la velocidad variante en razon subduple de la longitud del cilindro, y esta constantemente igual al duplo del diámetro, se tendrá, designando por a el volumen de agua que se ha de elevar,

$$d^2 = \frac{2a}{0,000075V}, \text{ y } d^2 = \frac{D^2 P}{0,07854h}$$

é igualando estos dos valores,

$$\frac{D^2 P}{0,07854h} = \frac{2a}{0,000075V};$$

pero por la hypotesis

$$V = 54 \sqrt{l}, \text{ y } l = \frac{2D}{100}$$

Sustituyendo, hallamos

$$D = \left(\frac{273ah}{P} \right)^{\frac{1}{2}}$$

La misma fórmula en medidas inglesas es

$$D = \left(\frac{3,5ah}{P} \right)^{\frac{1}{2}}$$

de agua por minuto, por medio de una máquina de simple efecto, siendo la presión media efectiva del vapor sobre el émbolo de $0^{\text{kil}},772$ por centímetro circular, y la abertura de 272 metros distribuida en seis golpes de bomba, se tendrá en este caso

$$h = 272 + 3 + 13,6 = 288,6;$$

y se halla por el diámetro del cilindro

$$D = \left(\frac{388 \times 288,6 \times 2,24}{0,772} \right)^{\frac{1}{2}} = 182 \text{ centímetros,}$$

y por el diámetro de la bomba

$$D = (494 \times 2,24)^{\frac{1}{2}} = 33^{\text{cent.}},2,$$

siendo la velocidad de 54 metros por minuto.

Por consideración á las causas accidentales de pérdida, se debe aumentar en un veinteavo cada uno de estos dos diámetros.

Desagüe de las minas.

573. El desagüe de las minas es en Inglaterra un objeto de la mayor importancia, como que ellas son las que suministran el alimento necesario para el uso de la potencia del vapor, así como una gran parte de los materiales sobre que se ejercita esta potencia. Para las personas que se ocupan habitualmente de las minas, rara vez es necesario establecer los principios que deben dirigirlos en la elección de las máquinas. La necesidad absoluta de un sistema económico de desagüe es conocida de todos, y así esta economía se ha de apreciar por la comparación de los gastos anuales, y no por la de los efectos de una cantidad dada de calor.

Una máquina para las minas debe ser de una construcción simple, duradera y fácil de reparar. Cuando el carbon no es caro, los medios más sencillos son los más económicos.

574. El modo de desaguar las minas depende de la naturaleza del parage en que están situadas. En un país montañoso se puede abrir un subterráneo ó galería horizontal, desde la parte más baja, hasta el valle ó llanura más inmediata, procurando así una salida al agua: únicamente cuando este método es impracticable, es cuando se sube el agua por medio de máquinas, y aun entonces no se eleva á mayor altura que la del pa-

rage ó sitio en que se puede practicar una galería; pero sucede con mucha frecuencia que la configuracion del terreno no deja mas arbitrio que el de subir el agua directamente hasta la superficie del suelo. Por ejemplo en los depósitos de las minas de carbon de piedra de los condados de Northumberland y de Durham, algunos de los pozos tienen mas de 180 metros de profundidad; los hay hasta de 270 metros, sin que haya medio de construir galerías de desagüe. Se necesitan pues máquinas muy poderosas, y por último se han establecido en dichos puntos máquinas de doble efecto, de las cuales algunas pasan de la fuerza de 100 caballos. La mayor que he visto estaba situada á la orilla del sur del Tyne; su fuerza era de 160 caballos, y podia llegar hasta la de 200. En el pais de Cornouailles hay algunas máquinas mayores aun; pero cuando el cilindro de una máquina llega á necesitar de un diámetro de mas de 150 centímetros, será siempre mas ventajoso emplear de preferencia dos máquinas de una fuerza subdupla.

575. Cuando se emplean máquinas de doble efecto para subir el agua, generalmente una parte del sistema de las bombas se conduce por la estremidad exterior del balancin, y otra por los traveseros diagonales que parten de lo alto del vástago del émbolo. En el caso en que no se ha tenido por oportuno dividir las bombas en dos series, se ha empleado el ascenso del émbolo para levantar un peso igual á la presion de la mitad de la coluna de agua en las bombas; pero en estos casos sería preferible una máquina de simple efecto.

576. La tabla siguiente dará alguna idea del trabajo hecho por una cantidad dada de combustible, y de la naturaleza de las máquinas mas apreciadas en Cornouailles. Los resultados no se pueden mirar como exactos, sino por la compensacion reciproca de los diferentes errores que trae consigo el modo de apreciarlos, porque el peso de la coluna de agua es menor que la resistencia, y el contador indica solamente el número de golpes del émbolo, y no la cantidad actual de agua elevada.

Estracto de una relacion concerniente á seis máquinas de

NOTA. Las seis máquinas

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
MINAS.	DIAMETRO del cilindro.	CARGA por centímetro cuadrado sobre el émbolo.	LONGITUD del curso en el cilindro.	NUMERO de golpes por minuto.	NUMERO de juegos de bombas.	ALTURA de la coluna de agua elevada por cada juego de bombas.	DIAMETRO de la bomba.
	Centím.	Kilogr.	Metros.			Metros.	Centímet.
Wheal Hope.....	153	0,59	2,75	5,5	1 1 1	85,70 20,74 20,74	38 30,8 27,9
Wheal Vor.....	203	0,94	3,05	5,56	5 4 1 1	247,66 80,52 21,96 21,65	38 40,6 24 23,4
Minas consolidadas.	228	0,66	3,03	8,12	1 1 6	10,98 27,45 263,82	30,5 30,5 40,6
Dolcoath.....	177	0,705	2,67	6,3	1 5 1 3 1	3,66 170,19 6,71 119,25 28,37	20 28,9 30,5 29,2 33
Ting-Tang.....	160	0,94	2,36	6,1	2 4 1 1 1	71,37 149,14 37,52 21,04 21,96	22,8 35,5 30,5 22,8 20,3
Binner Down.....	177	0,43	3,05	8,6	1 1 1	5,18 42,7 74,42	25,4 22,8 45,6

- (1) El hectolitro de buen carbon de piedra, como el de Newcastle ó de Saint-Etienne, pesa por
(2) Debe haber yerro en los datos de esta línea, porque el cálculo da 7549 en lugar de 11467. El

las mas productivas entre 46, observadas en diciembre de 1826.

son de simple efecto.

9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.
CONSUMO de carbon en hectoli- tros.	NUMERO de golpes.	LONGITUD del curso en la bomba. Metros.	CARGA en kilogra- mas.	NUMERO DE unidades dinámicas ó de metros cúbicos de agua elevados á 1 metro.		OBSERVACIONES Y NOMBRES DE LOS MECANICOS.
				Por hecto- litros de carbon (1)	Por kilog. de carbon.	
590	261 890	2,44	12 578	1 3657	170	Tirando la máquina perpendicularmente de toda la carga; el gran balancin sobre el cilindro; un balancin angular con contrapeso en la superficie ó al aire. } GROSS.
1555	199 960	2,29	40 592	11 954	149	Tirando la máquina perpendicularmente de 247 metros, y en la mina de 52; el gran balancin sobre el cilindro; dos balancines angulares de contrapeso en las galerías. } SIMS Y RICHARD.
2223	304 500	2,29	36 998	11 606	145	Tirando la máquina perpendicularmente; el gran balancin sobre el cilindro; un balancin angular al aire. } WOOLF.
1264	264 970	2,21	15 864	11 467(2)	143	Tirando la máquina perpendicularmente de 528 metros, y en la mina de 622; el gran balancin sobre el cilindro; cuatro balancines angulares en el fondo y uno al aire; 122 metros de tiro en el pozo de la mina. } JEFFRIES.
940,5	229 520	2,06	22 037	11 078	138	Tirando la máquina perpendicularmente con el gran balancin debajo del cilindro, 28 metros de tirantes horizontales en las galerías. } SIMS é HIJO.
1248	420 550	2,29	14 222	10 975	137	Tirando la máquina perpendicularmente de toda la carga; el gran balancin sobre el cilindro. } THOMAS.

un término medio 80 kilogramas, y con arreglo á esto se ha añadido la columna 14.
Traductor francés.

Los mecánicos que se nombran en esta tabla (1) son los que están encargados de trazar los planos de las máquinas, y de cuidar de su ejecucion, asi como de su colocacion y asiento, y se les paga á proporcion del efecto dinámico que producen las máquinas. Ellos observan despues su marcha, y dirigen todas las innovaciones y reparos necesarios, mediante un salario fijo. Los principales constructores de máquinas para las minas de Cornouailles son los señores Trevenan, Carne y Wood, Harvey y compañía, Fox y compañía, y Price y compañía.

577. La profundidad del pozo de las bombas de una mina está dividida en varias partes ó tramos sucesivos, que no deben tener, si es posible, mas de 45 á 55 metros, con un reservatorio en cada descanso, y por consiguiente el agua sube sucesivamente de un piso ó tramo al otro. Las bombas rara vez tienen mas de 40 centímetros de diámetro, y es mucho mejor emplear una série adicional de bombas, que no pasar de esta dimension.

(1) En el año de 1811 muchos propietarios de minas considerables de estaño y de cobre del condado de Cornouailles, resolvieron hacer que se apreciase el trabajo hecho por sus diversas máquinas de vapor, porque se suponía que algunas no daban un resultado proporcionado al consumo de combustible. Para conseguirlo con mayor seguridad, se decidió que se pudiese un contador en cada máquina (art. 563), y que estuviesen todas bajo la direccion de un mismo ingeniero ó mecánico hábil, que manifestase todos los meses las particularidades siguientes:

1.º El nombre de la mina; 2.º las dimensiones del cilindro de vapor, y si la máquina era de simple ó doble efecto; 3.º la carga por unidad de area en el cilindro; 4.º la longitud del curso en el cilindro; 5.º el número de golpes por minuto; 6.º el número de juegos de bombas; 7.º la profundidad de donde cada uno de ellos subia el agua; 8.º el diámetro de las bombas y la duracion del trabajo; 9.º el consumo de carbon; 10.º el número de golpes del émbolo en el tiempo dado; 11.º la longitud del curso en la bomba; 12.º la carga; 13.º el peso elevado una unidad de longitud por medida de carbon; y en fin, una columna de observaciones y de los nombres de los mecánicos.

La inspeccion general se confió á los señores Thomas y John Lean, á los cuales los diferentes propietarios y los ingenieros ordinarios de las minas respectivas facilitaron todos los medios y recursos que estaban en su mano. La primera relacion mensual se verificó por el mes de agosto de 1811. (Véase *Magasin philosophique*, vol. XLVI, p. 116).

578. Las máquinas mejor dispuestas, por lo que hace á la economía del combustible, están descritas en los artículos 411 y 419, y las mas sencillas en los artículos 393 y 400. Como sucede muy frecuentemente tener que transportar una máquina de un sitio á otro, se ve en la lám. XIII una máquina sostenida por bastidores de hierro colado que se puede desmontar cuando se quiera.

579. Para extraer la ganga y el carbon, se emplea una máquina de doble efecto de la fuerza de 20 á 30 caballos. Las dimensiones del cilindro deben ser tales, que la potencia sea igual á la resistencia, cuando el esfuerzo es el mayor posible. Asi estas máquinas exigen mayor cantidad de combustible para levantar la misma cantidad de materia á una altura dada, y hay tambien en ellas mucha pérdida de efecto, á causa de las detenciones de la máquina, de los cambios de movimiento etc. El maximum de efecto en una máquina de este género, aplicada á este trabajo irregular, consiste con corta diferencia en que un kilograma de carbon eleva 21000 de mineral. El peso de materia levantada de cada vez es de 150 á 350 kilogramas. El peso de una cuerda para subir las barricas es de cerca de $0,011 c'$ kilogramas por metro, siendo c la circunferencia en centímetros. El mayor esfuerzo sobre una cuerda no debe pasar de 1200 veces el peso de un metro de la cuerda. El esfuerzo que la cuerda ejerce sobre la máquina debe estar contrapesado, arrollando la cuerda sobre un tambor cónico en espiral (1) como el caracol de un reloj, lo cual aminora el gasto de la máquina y el consumo de combustible. Las máquinas deben obrar por expansion (art. 419), y regularizarse por un volante (art. 540); su movimiento se arreglará por un moderador (art. 550).

Cuando es necesario establecer un plano inclinado en la mina para llevar los carbones hasta el pozo, se emplea una pequeña máquina de alta presion, del género de las que se describen en el artículo 371.

(1) Véase *Encyclopédie méthodique, Dictionnaire de Chimie et de Métallurgie*, segunda parte, lám. XX, ó el método de Gilpin (*Transactions de la Société des Arts*, vol. XXV, p. 76).

580. Tambien se emplean máquinas para quebrantar el mineral por medio de pilones, cuyo procedimiento admite muchas mejoras. Para levantar los pilones por medio de camones, se sirven de una máquina de doble efecto, y como la potencia de la máquina es casi constante, el espacio recorrido por el pilon debe empezar á crecer, segun la ley relativa á una fuerza constante; de lo contrario el movimiento sería irregular, y la pérdida de potencia considerable. El peso de un pilon es ordinariamente de cerca de 86 kilogramas, y la altura á que se le sube de 60 centímetros con corta diferencia: no se deben levantar menos de los dos tercios de los pilones al mismo tiempo.

Establecimiento de bombas para el servicio de las poblaciones.

581. Las mismas fórmulas se aplican á los sistemas de bombas hidráulicas como á los otros medios de elevar el agua cuando sube perpendicularmente; pero como esto sucede rara vez, en lugar de añadir 0^m,5 por cada elevacion parcial, como en el artículo 572, es preciso añadir

$$\frac{v^2 L}{5d} \text{ metros}$$

á la altura vertical, siendo v la velocidad en metros por segundo, L la longitud del tubo en metros, y d su diámetro en centímetros: es preciso tambien añadir un décimo de la altura para el rozamiento del émbolo, y proceder en lo demas como en el artículo citado.

582. El abastecimiento de agua para una ciudad debe ser de 280 litros al dia por cada casa, y esta cantidad para una casa de mediana magnitud no pasa de lo que exige el bien estar y la limpieza de los habitantes. Esta suma equivale á 56 litros por persona en Inglaterra. No comprendo en esta valuacion lo que se necesita para regar las calles, para las fábricas de cerveza, las máquinas y otros varios usos. Todos estos objetos exigen cerca de 56 litros mas al dia por cada persona en el verano; de manera que el maximum de agua de que se debe hacer el abastecimiento es de 112 litros por persona al dia. En las ciudades pequeñas y abiertas no se necesita tanta cantidad de agua; pero

aun en este caso se debe contar con unos 70 litros (1). Subiendo el agua por medio de las bombas de compresion el reservatorio de aire debe estar siempre en la direccion del movimiento del fluido y no lateralmente; en descuidando esto se originan sacudimientos que desunen las juntas, rompen los manubrios y destruyen el mecanismo. Las máquinas de doble efecto con volantes son las mas económicas para los parages en que vale caro el combustible (art. 419), y las de simple efecto cuando está barato (art. 411 y 400). (Véanse las láminas XIV y XV).

De las máquinas motrices para el uso de las fábricas ó manufacturas.

583. *Ferrerías.* En este género de fábricas la máquina de vapor se aplica á las máquinas de soplar, á los martillos y cilindros de forjar, á los castillejos ó cilindros para tirar el metal, á los aparatos de henderlo, asi como á otros varios usos.

584. *Máquinas de soplar.* El objeto de estas máquinas es suministrar oxígeno á los hornos, ya sea para fundir los minerales, ya para reducirlos al estado metálico; asi para que el efecto sea constante ó poco menos, es preciso que en igual cantidad de combustible, sea constante la cantidad de oxígeno. Pero

(1) La tabla siguiente se ha extractado principalmente de la *Filosofía natural* de Leslie, con algunas adiciones y una valuacion mas exacta del suministro de las aguas en Roma (antigua).

Ciudades.	Poblacion.	CANTIDAD DE AGUA DADA.	
		Por día.	Por individuo.
Londres.	1.225.634	110.400 met. cub.	90 litros.
Edimburgo.	138.235	2.283	16,5
Roma (moderna).	136.000	150.220	1.105
Roma (antigua).	1.200.000	300.000	250
París (*).	713.765	8.313	12
Plymouth.	21.570	950	44

(*) El Canal de Ourcq está destinado á llevar á París 80000 metros cúbicos de agua por día, es decir cerca de 100 litros por habitante. *El Traductor francés.*

en un volumen fijo de aire seco, hay cerca de diez por ciento menos oxígeno á 30° que á cero, y doce por ciento menos cuando el aire á 30° está saturado de vapor á causa de la dilatacion; por consiguiente si el servicio de un horno exige en invierno 42,000 litros de aire por minuto, se necesitarán en verano 45,500 para obtener el mismo efecto, y se deberá ganar la diferencia, parte haciendo mayores las aberturas, y parte aumentando la intensidad de la corriente.

Esta se produce ordinariamente comprimiendo el aire hasta que sostenga una columna de 10 á 16 centímetros de mercurio (ó de 0^{kil.},11 á 0^{kil.},17 por centímetro circular), en razon de la calidad de la hornaguera que se quema; lo mas comun es adoptar el término medio entre estas dos cantidades. El volumen de aire suministrado varía desde 84,000 litros hasta 33,600 por minuto.

Si el émbolo del cilindro de una máquina de soplar tiene una velocidad de v metros por minuto, y que sea p la fuerza de compresion en kilogramas por centímetro circular, y d el diámetro del cilindro en centímetros; suponiendo que el rozamiento obligue á aumentar la potencia en la razon de 1 á 1,25, tendremos $1,25pvd^2$ por la potencia valuada en kilogramas elevados á un metro por minuto, cuando la bomba de soplar es de doble efecto, y la mitad de esta cantidad cuando obra á simple efecto (1). El volumen del reservatorio de aire regulador debería ser proporcionado, con arreglo al principio sentado en el artículo 211, y las aberturas ó pasadizos del aire deben ser cerca de la vigésima parte del area del cilindro. La cantidad de aire introducida en el reservatorio será cerca de un quinto menor que la capacidad del cilindro, tomando el aire á la densidad de la atmósfera, y esto se verificará, tanto á causa de las huidas por las válvulas, como en razon de la rarefaccion que debe establecerse en el cilindro, para que el aire atmosférico pueda entrar en él con la velocidad conveniente.

(1) Esta regla no es mas que aproximativa; pero es bastante exacta para los grados inferiores de presion. Para una presion un poco mayor es preciso aplicar los principios de la nota del artículo 377.

Para este objeto, así como para todos los demás que ofrecen las herrerías, se verá que se deben preferir las máquinas de doble efecto y de condensación, construidas de modo que obren, ya sea por expansión, ya á presión llena. (Véase el art. 421.)

585. *Filaturas de algodón.* Las máquinas de vapor que mejor se adaptan á las filaturas de algodón, son las de doble efecto obrando por expansión. La presión media sobre el émbolo de una máquina de este género y de baja presión, cuando obra con la mayor ventaja posible, es casi de $0^{\text{kil}},34$ por centímetro circular (art. 420), y se puede contar que cada 2 centímetros circulares del émbolo conducen una broca de continuo con las máquinas preparatorias. En cuanto á la filatura por Mull-Jenny, comprendidas las máquinas preparatorias, se hará el cálculo añadiendo 15 al número que designa el del grueso del hilo, multiplicando la suma por 0,26, el resultado espresará el número de canillas correspondiente á una pulgada (inglesa) circular del émbolo. Por ejemplo, si el número es 40, se tiene

$$40 + 15 = 55, \text{ y } 0,26 \times 55 = 14 \text{ canillas.}$$

Es un poco más exacto espresar en caballos la fuerza de la máquina, y para esto se puede decir que la fuerza de un caballo conduce 100 canillas de continuo con las máquinas preparatorias. Añadiendo 15 al número de la filatura por Mull-Jenny, y multiplicando la suma por 8, el resultado será el número de canillas equivalente á la fuerza de un caballo, comprendidas las máquinas preparatorias. La fuerza de un caballo conducirá 12 telares de tejer con las máquinas preparatorias (1).

La obra de un día, suponiendo 11 horas de trabajo, se debe hacer con cerca de 40 kilogramas de buen carbon de piedra craso por fuerza de caballo.

586. *Molinos de papel.* También se usan mucho las máquinas de vapor en los molinos de esta especie; porque en los parages en que las corrientes de agua proporcionan un motor regular, se han hecho de una carestía equivalente á la de la máquina de vapor, mientras que esta reúne ventajas que le son peculiares.

Un molino de pilas exige una fuerza motriz de cerca de 7

(1) Brunton's *Compendium of Mechanics*, p. 109.

caballos. Las nuevas máquinas para la fabricación del papel exigen de dos á dos y media veces la fuerza de un caballo. Es preciso una fuerza de $3\frac{1}{2}$ caballos para preparar 1000 kilogramas de cordage viejo por semana, trabajando la máquina 10 horas por día (1).

De las máquinas motrices para los usos campestres.

587. Hay pocos trabajos en el campo que admitan el empleo de la potencia del vapor con economía; pero cuando llega el caso de valerse de ella es muy ventajoso hacer que sirva para tantos usos como sea posible.

Los trabajos á que las máquinas de vapor pueden aplicarse son los de trillar y aechar los granos, picar la paja, machacar los huesos para abono, y moler los granos destinados á engordar el ganado, ó para otros usos domésticos.

La caldera puede servir además para preparar al vapor el alimento de los ganados. Yo no encuentro mas objetos de aplicación que considerar, como no sea el desagüe en los lugares pantanosos, y el riego en los demas. Toca al propietario examinar si el uso de la máquina de vapor compensará ó no los gastos y los beneficios (2).

(1) Fenwick's *Essays*, tercera edicion, p. 62.

(2) Con una máquina de simple efecto (art. 409) un hectolitro de carbon eleva á un metro 4800 metros cúbicos de agua. Para cualquiera otra altura será preciso dividir por ella en metros 4800: una máquina de la fuerza de un caballo, trabajando $11\frac{1}{2}$ horas al día, es suficiente para producir este efecto diario. El gasto es cerca de 200 francos al año por cada fuerza de caballo, para pagar el interés de los adelantos y los gastos de renovacion y reparaciones de la máquina. El consumo de combustible es de 46 litros ó 38 kilogramas de carbon por día y fuerza de caballo. Un hombre y un muchacho bastarán para cuidar de una máquina de la fuerza de 10 á 12 caballos, y para hacer una parte de la distribución del agua. La cantidad de este liquido necesaria para una hectarea es de 36 metros cúbicos por día, y por consiguiente una máquina de la fuerza de 10 caballos regará 225 hectareas, si el agua está elevada á 3 metros. Los gastos rara vez pasarán de 30 francos por hectarea, si se continúa el riego durante seis meses del año. En los terrenos favorables la operacion seria muy ventajosa, sobre todo si se descubriesen, como se puede esperar, medios mas perfectos de aplicar el agua á los riegos.

588. *Trilla.* Las máquinas de trillar el grano que deben ser movidas por la potencia del vapor son de la fuerza de 4 á 6 caballos, y las proporciones ordinarias son:

Para los rodillos alimenticios 35 á 36 $\frac{1}{2}$ revoluciones por minuto, y 8 centímetros de diámetro.

Para los cilindros ó volantes de rastrillos 30 revoluciones por minuto, y 1 metro de diámetro.

Para el tambor 300 revoluciones por minuto, y 1 metro de diámetro.

El tambor tiene cuatro trillos ó mallos, guarnecidos de palastros ó planchas gruesas de hierro batido; un volante ó bastidor cilíndrico, que tiene en su circunferencia cuatro series de dientes de 12 centímetros de largo, forma el volante de raspa (1).

La latitud de la máquina, ó la longitud de los rodillos para recibir el grano, está limitada por la latitud á que puede alcanzar el obrero, es decir, á cerca de 12 á 15 decímetros. La cantidad de trigo trillado por una máquina de 12 decímetros de ancho, varía, segun la calidad, de 4 á 8 hectolitros por hora, y en cuanto á la avena, su cantidad es de 5 á 10 hectolitros por hora.

La potencia necesaria es de 13,500 kilogramas elevados á un metro por minuto para trillar el grano, y de 18,000 para aecharlo (2). Las máquinas de otra dimension obran con corta diferencia en proporcion de su latitud. Supongo siempre que la máquina está bien construida y en buen estado.

La especie de máquina propia para el uso de las labores del campo, es la de doble efecto (art. 414 y 419), con regulador de tirador, y construida del modo mas sencillo (3).

(1) Los haces ó gavillas estendidos sobre la tabla alimenticia, deben ir avanzando de modo que reciban seis golpes de mallo por 5 centímetros de longitud. Los golpes se dan con una velocidad de cerca de 16 á 17 metros por segundo, es decir, que el mallo se debe mover con una velocidad de 1000 metros por minuto. Llenas estas condiciones, el maquinista podrá despues disponer el resto de la máquina como guste.

(2) Estos números corresponden respectivamente á fuerzas de 3 y de 4 caballos.

(3) Cuando se emplea la máquina de vapor en los riegos, se puede adaptar tambien una máquina de trillar el grano, si las localidades son favorables; pero en este caso la máquina motriz debe ser de doble efecto.

589. *Molinos harineros.* La fuerza media necesaria para moler y preparar un hectolitro de trigo por hora, es de 12150 kilogramas elevados á un metro por minuto, y la mejor velocidad para la circunferencia de la muela es de 7 metros por segundo. Con esta velocidad un par de muelas de 1^m,5 molerá de 1^{hect.},4 á 1^{hect.},7 por hora, segun su calidad y el estado del grano. Se debe emplear para este género de obra la máquina de doble efecto y de expansion: cuando trabaja con la mayor ventaja posible á baja presion, debe moler 10 hectolitros de trigo por cada hectolitro de carbon, y por un término medio la molienda debe ser de 9 hectolitros por aquella cantidad de carbon (1).

La misma especie de máquina con el vapor á alta presion hará naturalmente mas obra con una cantidad doble de combustible. (Véase art. 419 y 422).

De la aplicacion de la fuerza del vapor á los carruages.

590. La aplicacion de un agente mecánico al movimiento de los carruages, es un asunto que ha escitado desde luego la atencion de los hombres especulativos. Emerson describió en su *Mecánica* algunos de sus proyectos, y pone con este motivo un ejemplo de cálculo (ex. 20, p. 194), que parece no haberse comprendido bien. El objeto de este cálculo es determinar la fuerza necesaria para mover un carro; pero en el hecho determina simplemente la razon de las fuerzas, siendo una misma la potencia, ya sea que obre dentro ó fuera del carro, siempre que no aumente el peso. Pero la fuerza, ó mas bien sus órganos, no podrán nunca obrar sin aumentar el peso que se ha de conducir. En los carros de vapor, la masa total de la máquina con su caldera, su combustible y su agua, se debe transportar lo

(1) En efecto, el consumo de 3 kilogramas de hornaguera por hora representa la fuerza de un caballo (art. 419 - 422), y siendo un hectolitro de hornaguera equivalente á 27 veces esta cantidad, representará la fuerza de 27 caballos, lo cual dá la proporcion

$12150 : 1 :: 4500 \times 27 : x = 10$ hectolitros de molienda por hectolitros de hornaguera.

mismo que la carga. A fin de hacer la máquina tan sencilla y ligera como sea posible, y evitar el peso del agua y la complicacion del aparato de condensar, se emplea siempre el vapor de alta presion.

La idea de emplear el vapor como fuerza motriz, ha sido muy ridiculizada, y se debe confesar que no sin razon, con respecto á algunos de los proyectos que se formaron. La esperiencia ha probado que en los caminos de hierro esta aplicacion es practicable, y que no trae consigo mas riesgos ó accidentes, que los otros usos en que se emplea la fuerza del vapor (1).

591. *De la aplicacion de la fuerza del vapor á los caminos de hierro.* La potencia del vapor se puede aplicar, ya sea por medio de máquinas fijas, ya movibles ó *carros de vapor*.

Las máquinas fijas se han aplicado solamente á los planos inclinados, y su construccion no exige ninguna disposicion particular mas que la de las máquinas motrices ordinarias.

Para este efecto se emplean generalmente máquinas de baja presion, y son evidentemente las mas seguras y económicas, á menos que la localidad no dé el agua en cantidad suficiente para alimentarlas.

(1) En los caminos ordinarios hay muchas circunstancias que impiden la aplicacion de la fuerza del vapor. Las ondulaciones del camino exigen una potencia capaz de vencer la pendiente mas agria, lo cual necesita de una adicion enorme al peso de la máquina; de manera que la máquina misma consumiria en un camino ordinario la mitad de la fuerza que produce. Se puede reducir la resistencia de estos caminos, sirviéndose de ruedas mas grandes, porque procede principalmente de que las ruedas se hunden en el suelo; mayores ruedas dan mayor superficie, sin aumentar la depresion del suelo, mientras que ruedas de llantas anchas, pero pequeñas, no proporcionan mas que muy poca ó ninguna ventaja. (Véase mi *Tratado de los caminos de fierro*, p. 63).

Se puede probar que no hay pies que exijan menos fuerza que las simples ruedas. Un animal está hecho para moverse venciendo los obstáculos, y cuando intentamos imitar las sábias disposiciones de la naturaleza, jamás debemos perder de vista su objeto: lo que escita nuestra admiracion es la perfecta correspondencia que hay entre el fin y los medios de ejecucion; y cuanto mas estudiamos las aplicaciones de las fuerzas que la naturaleza nos presenta, nos convencemos mas y mas de la ventaja que trae consigo el conocimiento de los primeros principios que presiden á la accion de las potencias naturales.

El movimiento de la máquina se debe regularizar por un volante, y arreglar por una válvula de cuello.

Para proporcionar la fuerza de la máquina al efecto que se quiere producir, el area del émbolo en centímetros, multiplicada por la presión efectiva en kilogramas sobre cada centímetro del émbolo, debe ser igual á la resistencia de los carros, aumentada con el rozamiento de la cuerda ó cadena de tracción y el de la máquina.

Si A es la carga en la subida, D en la bajada, q la resistencia que proviene del rozamiento del eje, é i el ángulo de inclinación, la resistencia de los carros subiendo y bajando será

$$A(q + \text{sen } i) + D(q - \text{sen } i) = (A - D)\text{sen } i + (A + D)q.$$

Siendo C el peso de la cuerda ó de la cadena, y de las partes movibles de la máquina, el rozamiento y tracción de la cuerda se pueden representar por CS ; por consiguiente, si d es el diámetro del émbolo, y p la presión por centímetro circular, tendremos

$$pd^2 = (A - D)\text{sen } i + q(A + D) + CS.$$

De aquí se saca fácilmente el diámetro del cilindro. En todos los casos, si R es el radio de las ruedas del carro, r el de los ejes, y f el rozamiento cuando la presión es S , se tiene

$$q = \frac{rf}{R}.$$

Del mismo modo se tiene

$$S = \frac{xf}{X},$$

siendo X el diámetro de las poleas, y x el de los ejes.

Cuando el camino es horizontal, se tiene $\text{sen } i = 0$, y por consiguiente

$$pd^2 = q(A + D) + CS;$$

cuando es vertical, $\text{sen } i = 1$, y se tiene

$$pd^2 = A - D + S(A + D + C).$$

En estas ecuaciones se supone que el émbolo de la máquina y la carga, se mueven con la misma velocidad. Si los carros tienen una velocidad que sea n veces la del émbolo, será preciso entonces multiplicar por n el cuadrado del diámetro.

592. *Carros de vapor.* Las máquinas de los carros de vapor

son de doble efecto y sin condensacion, del género de las que se describieron en el artículo 372. Tienen generalmente dos cilindros. Si p designa la presión media efectiva sobre el émbolo, d el diámetro de los cilindros, y v la velocidad en metros por minuto, siendo al mismo tiempo i el ángulo de inclinacion del camino, q el rozamiento de todos los ejes, P el peso de los carros y de sus cargas, V su velocidad en metros por minuto, y M el peso de la máquina, entonces se tendrá en la subida

$$V (P + M) (q + \text{sen } i) = 2pvd^2,$$

y en la bajada

$$V (P + M) (q - \text{sen } i) = 2pvd^2.$$

Para que la máquina no resbale en la subida, será preciso que se tenga la ecuacion

$$P = M \left(\frac{0,08 \cos i - \text{sen } i}{q + \text{sen } i} \right);$$

y para que no se deslice en la bajada, se deberá tener

$$P = M \left(\frac{0,08 \cos i + \text{sen } i}{q - \text{sen } i} \right).$$

En uno ú otro caso se tiene

$$q = \frac{r}{8R},$$

siendo r el radio del eje, y R el de la rueda.

Las máquinas deberán obrar por expansion, cuando se muevan con la velocidad ordinaria, sobre un camino medianamente inclinado, y tener la facultad de obrar á presión llena sobre las mas rápidas pendientes. (Véase la Sección V, art. 371—380).

En la lám. XXIV se representa un carro de vapor, el cual se describe en la leyenda que hace referencia á ella, con un nuevo proyecto de ruedas elípticas propias para regularizar la velocidad de estos carruages.

Para mayores detalles se puede consultar mi *Tratado de los caminos de hierro*, ó la traduccion francesa (Paris 1826, Bachelier).

SECCION DECIMA.

De la navegacion por el vapor.

593. **P**ara conocer la importancia de la aplicacion del vapor al movimiento de los barcos, basta considerar hoy la rápida estension que toma este método de navegacion en todos los puntos del globo en que el comercio es de consideracion: el uso no está limitado mas que por el estado imperfecto aun de este nuevo sistema. Si quisiésemos ceñir nuestras investigaciones á la simple aplicacion de una máquina de vapor á un barco construido ya, nuestro trabajo sería corto, y facil de desempeñar completamente; pero la construccion misma de los barcos es un objeto que admite mejoras; y como creemos que la ciencia puede indicar los medios de obtenerlas, debemos someter al lector el resultado de nuestros trabajos.

La figura de los barcos considerada relativamente á la estabilidad, capacidad, velocidad y fuerza;

Las especies de barcos propios para diversos usos;

La resistencia y los métodos de impulsión;

La naturaleza de las máquinas que convienen á los barcos, y la fuerza de sus partes;

La especie de combustible, y el modo de emplearlo para obtener el mayor efecto posible:

Tales son los importantes objetos que nos proponemos examinar con la debida separacion.

Estas investigaciones son igualmente aplicables á la navegacion mercantil, y á la marina del estado; pero hay aun otra parte de este asunto, sobre la cual sería de desear que se fijase la atencion.

En caso de guerra, los barcos de vapor serán un medio de ataque, y por esta razon es preciso considerar hasta qué punto pueden ser un medio de defensa, pues el poder ó facultad de resistir es la mejor garantía contra un género de agresion que

privaría á la Inglaterra de muchas de las ventajas de su situacion insular. Asi la construccion de barcas cañoneras para la defensa de los rios, de la navegacion por ellos, y de las havras, sería un asunto importante de investigacion, si los límites de esta obra no nos lo impidiesen.

De la forma de los barcos, considerada relativamente á la estabilidad, capacidad, velocidad y fuerza.

594. Considerando las propiedades de un barco, el orden de nuestro asunto exige que tratemos primero de la estabilidad, ó de la fuerza que tiene un barco en el agua para resistir á todo cambio de posicion; en segundo lugar de las formas compatibles con la estabilidad que presentan menor resistencia, y que por consiguiente son las que convienen mejor á la velocidad; en tercer lugar los diferentes modos de hacer andar los barcos; y en fin, la construccion mirada bajo el aspecto de la fuerza.

De la estabilidad de los barcos.

595. Una esfera perfecta flotando sobre un fluido, no tiene mas estabilidad que la que depende del rozamiento del fluido contra sus costados. Si se añade un pequeño peso en algun punto de su superficie, este punto descende inmediatamente hasta ponerse en la parte inferior. Un cuerpo de esta forma no podria emplearse nunca como barco. Sin embargo, es evidente que cuando se ha añadido un peso, y que este ha llegado al punto mas bajo, la esfera adquiere un grado de estabilidad dependiente de la razon de este peso al suyo propio. Asi se puede aumentar la estabilidad, disponiendo de un modo conveniente la carga del cuerpo flotante.

La estabilidad se determina tambien por la forma del cuerpo flotante: una esferoide, por ejemplo, está en un estado de equilibrio permanente, cuando su eje mayor es horizontal, y un prisma triangular resiste con mucha energía á todo cambio de posicion por efecto de su forma particular: lo mismo sucede con un prisma pequeño rectangular.

596. Se distingue la estabilidad en el sentido *longitudinal* de la estabilidad en el sentido *latitudinal*, y así es preciso considerarlas con separación; y cuando cada una de ellas es la mayor posible, su efecto es un maximum.

597. Los medios de obtener la estabilidad para la navegación de los ríos, no parece que son de mucha importancia; pero para la navegación marítima, la estabilidad debe ser tal que el barco tome el menor movimiento posible por la acción de las fuerzas perturbadoras. Es necesario pues considerar que la mar no es una superficie horizontal en reposo, y que en el momento en que la estabilidad es muy importante para un barco, sobreviene el mas alto grado de desigualdad en la superficie móvil que le sostiene.

598. *Estabilidad longitudinal.* Un barco en reposo se agitaría lo menos posible por el movimiento de la mar, si sus costados sobre la línea de agua fuesen verticales, y si la parte anterior y la posterior tuviesen la misma forma; pero en la marcha es una ventaja que las partes se extiendan sobre el agua, tanto hacia adelante como hacia atrás, para impedir que se sumerja la proa en la ola que llega, ó la popa en el vacío de la que se va. La cantidad de movimiento no se aumenta por esta construcción, siempre que las partes produzcan efectos semejantes, y que el grado de inclinación sea proporcionado á la velocidad que debe tomar el barco. Es también evidente que el barco tendrá tanta mas facilidad en sus movimientos longitudinales, cuanto mas estrechen gradualmente sus estremidades. Si el barco se inclina por razón de una fuerza lateral, los movimientos longitudinales serán tanto mas fáciles, cuanto mas se acerque la sección transversal á la figura de un sólido de revolución.

599. *Estabilidad lateral.* La desigualdad de la superficie de la mar produce por sí sola un movimiento lateral considerable, si los costados del barco no son verticales sensiblemente: así en los barcos destinados á la mar, no se podría obtener la estabilidad lateral por la forma de la superficie del agua. Ahora el punto esencial es que la estabilidad sea una misma en toda la longitud del barco.

Para facilitar esta investigación, podemos considerar el bar-

co como una masa homogénea de la misma densidad que el agua, con superficies verticales ó circulares en la línea del agua, cuando está en reposo; podemos suponerlo de una forma parabólica, que tenga por ecuación $y^2 = px$, en donde y designe, ya la mitad de la latitud, ya el calado, porque estas dos suposiciones nos permiten comparar formas muy opuestas.

600. Tomando primero las coordenadas paralelas á la línea que mide la profundidad, tendremos por la diferencia de los momentos de las partes parabólicas, designando por i el ángulo que forma el cuerpo con su posición, cuando BD (fig. 3, lámina XIX) coincide con la línea de agua,

$$ydx \left(\frac{1}{2}b - x + y \operatorname{sen} i \right) - ydx \left(\frac{1}{2}b - x - y \operatorname{sen} i \right),$$

que tiene por integral

$$\frac{ny^2 x \operatorname{sen} i}{n+2}.$$

La estabilidad es igual á la diferencia entre esta cantidad y el momento del duplo de la area del triángulo BCB. Este momento es

$$\frac{2b^3 \operatorname{sen} i}{8 \times 3} = \frac{b^3 \operatorname{sen} i}{12};$$

luego la estabilidad tiene por espresion

$$\frac{b \operatorname{sen} i}{12} = \left(b^3 - \frac{6nd^2}{n+2} \right).$$

La capacidad del barco es

$$\frac{nbd}{n+1}.$$

601. Si el término negativo es menor que b^3 , el cuerpo no tiene estabilidad; por lo cual se ve que se necesita una cierta relacion entre la latitud y la profundidad para hacer un barco estable. Sustituyendo por d^2 su valor, la espresion de la estabilidad es

$$\frac{b^3 \operatorname{sen} i}{12} \left(1 - \frac{6np^{\frac{1}{n}} b^{\frac{1-n}{n}}}{n+2} \right).$$

602. Si la forma del barco es triangular, se tiene $n=1$; y

designando por S la estabilidad, y por A el área, se tiene

$$S = \frac{b \operatorname{sen} i}{12} (b^2 - 2d^2), \text{ y } A = \frac{bd}{2}.$$

603. Si la forma del barco es una parábola ordinaria, se tiene $n=2$, y por consiguiente

$$S = \frac{b \operatorname{sen} i}{12} (b^2 - 3d^2), \text{ y } A = \frac{2bd}{3}.$$

604. Si es una parábola cúbica, entonces $n=3$, y

$$S = \frac{b \operatorname{sen} i}{12} (b^2 - 3,6d^2), \text{ y } A = \frac{3bd}{4}.$$

605. Si es una parábola del quinto orden $n=5$, y

$$S = \frac{b \operatorname{sen} i}{12} (b^2 - 4,3d^2), \text{ y } A = \frac{5bd}{6}.$$

Este caso está representado en la lámina XIX, fig. 3.

606. La estabilidad y la capacidad se aumentan á medida que el esponente n se hace mayor, pero entonces la estabilidad exige mas latitud en proporcion de la profundidad.

607. Suponiendo ahora que las coordenadas sean paralelas á la latitud, tenemos por la diferencia de los momentos de las partes parabólicas,

$$ydx [y + (d-x) \operatorname{sen} i] - ydx [y - (d-x) \operatorname{sen} i],$$

cuya integral es

$$\frac{2yd^2 n \operatorname{sen} i}{n^2 + 3n + 2}.$$

La espresion de la estabilidad es entonces

$$\frac{b^3 \operatorname{sen} i}{12} - \frac{2ynd^2 \operatorname{sen} i}{n^2 + 3n + 2} = \frac{b \operatorname{sen} i}{12} \left(b^2 - \frac{12nd^2}{n^2 + 3n + 2} \right).$$

El área del barco es, como antes,

$$\frac{nbd}{n+1},$$

y en el caso del triángulo se obtiene el mismo resultado.

608. Pero si la forma del barco es una parábola ordinaria, entonces $n=2$, y

$$S = \frac{b \operatorname{sen} i}{12} (b^2 - 2d^2), \text{ y } A = \frac{2bd}{3}.$$

609. Si es una parábola del quinto orden como en la lámina XIX, fig. 4, entonces $n=5$, y

$$S = \frac{b \operatorname{sen} i}{12} (b^2 - 1,43d^2), \text{ y } \Lambda = \frac{5bd}{6}.$$

610. Esta especie de figura se puede trazar fácilmente con todas las variedades de forma, y tiene evidentemente una ventaja conocida en cuanto á la estabilidad. Por otra parte es tan facil calcular la capacidad en este caso, y describir la curva por ordenadas, que se debe preferir á las figuras elípticas que algunos sabios extranjeros han escogido por tipo de cálculo (1). La latitud deberia ser en cada punto proporcional á la profundidad, para hacer la estabilidad igual en toda la longitud del barco, ó para que este no sufriese esfuerzo desigual por una mudanza de posicion (2).

De la resistencia de los barcos.

611. La resistencia de un barco que se mueve en un fluido crece desde el principio del movimiento hasta igualarse á la fuerza motriz, y entonces el movimiento es uniforme. La resistencia á este movimiento uniforme es solamente la que tenemos que considerar.

Para facilitar nuestras primeras investigaciones, limitémonos primero á un barco prismático, con las estremidades planas, y moviéndose en la direccion de su longitud.

612. La resistencia de un prisma de esta naturaleza seria casi igual á la columna de agua que diese al fluido, en un canal de la misma longitud, y de vez y media la seccion de la parte sumergida, la misma velocidad que la del prisma.

Porque sea AB (fig. 2, lám. XX) esta columna, y entonces la resistencia á la corriente en D debe ser igual á la resistencia al movimiento en C, siendo la seccion la misma; pues en otro

(1) En cuanto á los modos de describir las curvas de este género, véanse mis *Principios del arte de Carpintero*, Seccion I, art. 58.

(2) En cuanto á los otros métodos de cálculo véase la *Hidrodinámica* de Bossut, tom. I, cap. XXIII y XXIV, ó el *Tratado de Mecánica* de M. Poisson, tom. II, p. 389.

caso se aceleraria el movimiento. Pero el fluido se eleva en C, y baja en D, hasta que la diferencia sea igual á la columna que proviene de la velocidad del barco; y la corriente en D debe ser suficiente para llenar el vacío con una velocidad equivalente á la del barco, y para producir una resistencia igual á la presión de la proa. Esto sucederá cuando la columna de agua correspondiente á la velocidad sea los dos tercios de AB. Si v es la velocidad, y se hace $AE = h$, y $BE = x =$ á la columna de agua equivalente al rozamiento, se tendrá la ecuacion

$$v^2 = \frac{19,6(h-x)}{1,5},$$

en donde 19,6 es, con la diferencia de una pequeña fraccion, el coeficiente que conviene al movimiento de un fluido mirado como exento de rozamiento ó de cohesion. De esta ecuacion se saca

$$x = h - \frac{1,5v^2}{19,6}.$$

613. Ahora si c es el perimetro de la seccion en contacto con el fluido, a su area, l la longitud del barco, y F el rozamiento correspondiente á la unidad de superficie, tenemos

$$\frac{lcFv^2}{a} = x,$$

estando la columna de agua equivalente al rozamiento en razon directa del cuadrado de la velocidad, y en razon inversa del area, y siendo el rozamiento proporcional á la superficie del fluido puesto en movimiento, ó á la superficie rozante del barco.

Como estos dos valores de x deben ser iguales, tendrémos

$$h - \frac{1,5v^2}{19,6} = \frac{lcFv^2}{a};$$

de donde se saca

$$h = \frac{1,5v^2}{19,6} + \frac{lcFv^2}{a}.$$

Pero valuándose generalmente la resistencia en kilogramas, tenemos para el agua de la mar $19ha =$ á esta resistencia $= v^2 (52,5 \times 1,5a + lcF) = R$; y siendo la potencia necesaria proporcional á la fuerza de resistencia y á la velocidad, esta potencia será $v^3 (78,8a + lcF)$ kilogramas elevados á un metro por

segundo, estando v espresada en metros por segundo, y F en kilogramas. (1).

614. Para el agua dulce es preciso poner 76,2 en lugar de 78,8; pero esta correccion es inutil en la práctica. El coeficiente F se ha hallado por la esperiencia igual á 0,168 kilogramas.

615. Si el barco tiene una simple proa angular, y una popa de la misma forma, y que sea a el ángulo formado por la proa con la direccion de su movimiento, y e el ángulo de la popa; entonces la presion sobre su superficie depende de la velocidad de esta superficie en un sentido perpendicular. Esta velocidad es en la proa $v \text{ sen } a$, y en la popa $v \text{ sen } e$, y por consiguiente

$$R = v^2 \left(\frac{52,5 \times 2a \text{ sen }^2 a + a \text{ sen }^2 e}{2} + lcF \right).$$

El efecto de esta presion en la direccion del movimiento del barco está en razon del seno de a en la proa; pero la cantidad

(1) Esta demostracion tiende á probar que la resistencia que experimenta un barco es igual á la suma de las resistencias que proceden del impulso directo y del rozamiento, lo cual es bastante evidente; pero lo que no lo es tanto es el valor que el autor atribuye á cada una de estas resistencias. El coeficiente 78,8 de la resistencia directa es demasiado alto, puesto que las esperiencias de Bossut y de Alembert, y las de la Sociedad de Arquitectura naval de Londres no dan mas que 50 á 60 kilogramas por la resistencia de 1 metro cuadrado de superficie animada de una velocidad de 1 metro. El coeficiente del rozamiento, que viene á ser 0,168 seria por el contrario muy bajo, pues que las mismas esperiencias dan cerca de 0,216; pero este valor debe variar considerablemente, segun que el barco esté en madera ó en hierro, ó que esté forrado de cobre, y en todo caso segun la mayor ó menor limpieza de su carena. Por lo demas he aqui algunos de los resultados obtenidos por la Sociedad de Arquitectura naval.

Velocidad en metros por segundo.....	0,5	1	1,5	2	2,5	3
Velocidad en kilometros por hora.....	1,8	3,6	5,4	7,2	9,0	10,8
Rozamiento por metro cuadrado.....	Kilogr. 0,064	0,216	0,427	0,715	1,062	1,419
Resistencia directa de un metro cuadrado de superficie.....	15	60	135	259	372	633

El Traductor francés.

:

de fluido necesaria para llenar el vacio en la popa es constante para el mismo ángulo; luego

$$R = v^3 \left(\frac{52,5 \times 2a \operatorname{sen}^3 a + a \operatorname{sen}^3 e}{2} + lcF \right);$$

y la potencia en kilogramas elevados á un metro por segundo será

$$v^3 \left(\frac{52,5 \times 2a \operatorname{sen}^3 a + a \operatorname{sen}^3 e}{2} + lcF \right).$$

Esto da la resistencia, cuando el barco es de figura de cuña en los dos extremos, ó de la forma de una pirámide regular, siendo a el ángulo de la cara oblicua de la pirámide con la longitud del barco. Lo mismo sucede cuando el barco se termina en un cono (1).

616. Si la seccion es un triángulo, y los extremos pirámides triangulares, siendo c el ángulo que forma el lado del triángulo con la superficie superior, y designando g el producto de $\operatorname{sen} a$ por $\operatorname{sen} c$, la resistencia en kilogramas elevados á un metro será

$$v^3 \left[\frac{52,5 \times a(2g^3 + g^3)}{2} + 0,168lc \right].$$

La resistencia de un barco de esta forma es menor que la de un sólido de superficie curva convexa (2), pero tambien su

(1) Estas fórmulas, aunque mas complicadas que las que se dan ordinariamente para espresar la resistencia de los fluidos, no parece que representan aun exactamente los fenómenos; estan fundadas, en efecto, sobre principios que no concuerdan enteramente con la esperiencia tal como la ley de proporcion de la resistencia directa y del rozamiento al cuadro de las velocidades, como puede verse por la tabla de la nota anterior. Lo mismo sucede con la ley de proporcion de las resistencias oblicuas con el cuadrado ó el cubo de los senos de inclinacion. En el hecho, estas fórmulas dan el mismo grado de resistencia para un barco terminado en forma de cuña, de pirámide ó de cono; mientras que la resistencia debe evidentemente disminuir pasando de la figura prismática á la piramidal, y de esta á la figura cónica. *El Traductor francés.*

(2) Esto es aun contrario á la esperiencia que nos da á conocer que las superficies oblicuas un poco redondeadas experimentan menos resistencia que las superficies planas; de manera que el sólido de menor resistencia tiene una superficie convexa: esto se puede ver ademas, *à priori*, puesto que el liquido no puede separarse de su direccion, sino siguiendo una linea curva mas ó menos marcada, segun el grado de oblicuidad de la superficie resistente. *El Traductor francés.*

capacidad es mas pequeña; y dependiendo su estabilidad de la figura en la línea de agua, estará espuesto á balances. No se puede combinar una gran capacidad con una debil resistencia.

617. Si la línea de agua está compuesta de arcos de círculo, el fondo es chato, y el radio m veces la mitad de la latitud del barco, z la longitud de la parte curvilínea, r el radio, y d la profundidad que es uniforme, entonces

$$3z=r(4\sqrt{2m}-\sqrt{2m-m^2});$$

y la potencia necesaria para mantener el barco en movimiento con la velocidad v , es en kilogramas elevados á un metro por segundo,

$$52,5v^3d\left[\frac{3z-r(1-m)(3-4m)\sqrt{2m}}{4}+\frac{r[2-2(1-m)(1-m)^2+3m]}{3}+\frac{0,0032lc}{d}\right].$$

618. En los barcos para los canales $m=\frac{1}{2}=0,125$, es decir que el radio es cuatro veces la latitud, y por consiguiente la potencia es

$$52,5v^3(0,35bd+0,0032lc).$$

Si el radio es igual á la latitud, entonces $m=0,5$, y la potencia es

$$52,5v^3(0,74bd+0,0032lc) \text{ (1)}.$$

619. El señor Bevan ha hecho algunas esperiencias con un barco de canal de la forma que acabo de describir, y me ha comunicado los resultados para comparar la teoría con la práctica. La longitud del barco era de $21^m,22$, su latitud de $2^m,08$, su calado, cuando se hizo la esperiencia, de $0^m,27$; el fondo era chato, y los costados paralelos hasta cerca de cuatro metros de cada estremidad; pero las estremidades eran curvas en arcos de círculo, descritos con un radio igual á ocho veces la mitad de la latitud del barco. La superficie total en contacto con el agua era de 50 metros cuadrados, y el peso de 9000 kilogramas. Sustituyendo estos números en la fórmula del artículo anterior, tendremos por la resistencia

$$52,5v^3(0,27 \times 2,08 \times 0,35 + 0,0032 \times 50)=1,87v^3.$$

(1) Todas las fórmulas de arriba, si se espresan en medidas inglesas, no difieren sino en que el coeficiente 52,5 está reducido allí á la unidad. *El Traductor francés.*

Tabla comparativa de la fórmula con la experiencia.

VELOCIDAD.		RESISTENCIA EN KILOGRAMAS.	
En metros por segundo.	En kilogramas por hora.	Por la experiencia.	Por el cálculo.
0,3	1,08		1,68
0,4	1,44	2,76	2,99
0,6	2,16	6,34	6,73
0,9	3,22	12,68	15,15
1,11	4		23,04
1,31	4,72	25,36	32,09

La concordancia es bastante aproximada para la práctica (1).

620. Siendo la area del fondo del barco 39 metros cuadrados, una tonelada de carga (1000 kilogramas) le hará sumergir 2^{cent.},56. El aumento de la seccion añadiendo una tonelada á la carga, es pues

$$\frac{2,08 \times 2,56}{100} = 0^m,53,$$

y el aumento de superficie es 1^{met. cuad.},12. La adición de cada tonelada debe pues aumentar la resistencia cerca de 1^{kil.},44, siendo la velocidad de 4 kilometros por hora. Asi la carga en toneladas multiplicada por 1,44, y aumentada en 23 kilogramas por la resistencia del barco vacio, dará la fuerza necesaria para arrastrarlo. Si por ejemplo la carga es de 20 toneladas, la fuerza de traccion será

$$20 \times 1,44 + 23 = 52 \text{ kilogramas.}$$

621. Las formas que se usan para los barcos son generalmente superficies curvas de doble curvatura. Podemos considerarlas como divididas en triángulos curvilíneos, ó husos que tienen sus bases en la seccion transversal y convergentes hácia un punto comun de la línea de agua. Una solucion fundada sobre esta hipotesis, es bastante suficiente para la práctica. Sea r

(1) El esceso bastante considerable de los resultados del cálculo sobre los de la experiencia, confirman lo que hemos observado relativamente al esceso de valor atribuido al coeficiente de la resistencia (art. 613, nota).

el radio de curvatura del huso, c su latitud en la base, y a su distancia del eje. En este caso la diferencial de la area del huso proyectada sobre la seccion será

$$cdx - \frac{cx dx}{a'}$$

y la de la resistencia procedente de la presion

$$52,5v^3c \left(1 - \frac{x^2}{a'}\right) dx \left(\frac{2 \operatorname{sen}^2 a + \operatorname{sen}^4 a}{2}\right)$$

Adoptando la ecuacion aproximada, $y^2 = 2rx$, tenemos

$$dx = \frac{y dy}{r} \quad \text{y} \quad \frac{y}{r} = \operatorname{sen} a;$$

por consiguiente la diferencial de la resistencia es

$$52,5v^3c \left(\frac{y^4}{r^4} + \frac{y^3}{2r^3} - \frac{y^6}{2r^3a} - \frac{y^5}{4r^4a}\right) dy.$$

La integral de esta expresion, ó la resistencia directa misma, es pues

$$52,5 \frac{v^3 c y^4}{r^3} \left(\frac{y}{5r} + \frac{1}{8} - \frac{y^3}{14r^3a} - \frac{y^2}{24ra}\right).$$

Sustituyendo por y su valor $\sqrt{2rx}$, haciendo $b = 2x$, y $x = a = \frac{r}{n}$, esta fórmula, corregida por la comparacion con casos particulares, da definitivamente por el valor de la resistencia en kilogramas,

$$52,5v^3c \left[\frac{b}{n} \left(\frac{0,1617}{\sqrt{n}} + 0,0833 \right) + 0,0032(l + 0,29b\sqrt{1+2n}) \right].$$

622. Tomando ahora por el radio un valor tal, que el arco descrito concuerde con corta diferencia con la forma, se hallará la resistencia con bastante exactitud, aun en las formas mas complicadas. En los casos en que la curva es un círculo, la fórmula se aproximará mucho á la verdad. A fin de facilitar estos cálculos, pongo aqui una tabla con algunos ejemplos para aclarar su aplicacion:

RADIOS DE CURVATURA en mitades de latitud.	FORMULAS QUE DAN LA RESISTENCIA para los diferentes rádios de curvatura.
1	$52,5v^2c [0,245b + 0,0032 (l + 8,5b)]$
$1\frac{1}{4}$	$52,5v^2c [0,188b + 0,0032 (l + 0,545b)]$
$1\frac{1}{2}$	$52,5v^2c [0,120b + 0,0032 (l + 0,58b)]$
2	$52,5v^2c [0,101b + 0,0032 (l + 0,616b)]$
$2\frac{1}{4}$	$52,5v^2c [0,086b + 0,0032 (l + 0,65b)]$
$2\frac{1}{2}$	$52,5v^2c [0,075b + 0,0032 (l + 0,71b)]$
$2\frac{3}{4}$	$52,5v^2c [0,067b + 0,0032 (l + 0,74b)]$
3	$52,5v^2c [0,060b + 0,0032 (l + 0,77b)]$
4	$52,5v^2c [0,041b + 0,0032 (l + 0,87b)]$
5	$52,5v^2c [0,032b + 0,0032 (l + 0,955b)]$
6	$52,5v^2c [0,025b + 0,0032 (l + 1,05b)]$
7	$52,5v^2c [0,021b + 0,0032 (l + 1,13b)]$
8	$52,5v^2c [0,018b + 0,0032 (l + 1,2b)]$

En esta tabla b es la latitud del barco en la superficie del agua; l la longitud de la parte paralela, c el perimetro de la seccion de la cuaderna maestra bajo la línea de agua, y v la velocidad en metros por segundo. Para hallar la potencia es preciso aun multiplicar la resistencia, calculada segun estas fórmulas, por la velocidad; ó bien si en la tabla que precede se pone el cubo de la velocidad en lugar de su cuadrado, el resultado espresará la potencia en kilogramas elevados a un metro por segundo.

623. Hayase de determinar por ejemplo la resistencia de un barco, cuya latitud es de $6^m,7$, la latitud de la parte paralela de 24 metros, el perimetro de la seccion de la cuaderna maestra de $9^m,45$, siendo la velocidad de 3 metros por segundo, y el radio de curvatura igual á 4 semilatinudes. En este caso debemos, con arreglo á la tabla, emplear la fórmula

$$52,5v^2c [0,041b + 0,0032(l + 0,87b)],$$

que sustituyendo los valores anteriores, dará para la resistencia del barco

$$52,5 \times 3^2 \times 9,45 (0,041 \times 6,7) + 0,0032(24 + 0,87 \times 6,7) = 1655 \text{ kilog.}$$

Multiplicando este resultado por la velocidad, tendremos para la potencia $3 \times 1655 = 4965$ kilogramas elevados á 1 metro por segundo. Como la fuerza de un caballo es equivalente á 75 kilogramas elevados á 1 metro por segundo, la potencia valuada en caballos es pues

$$\frac{4965}{75} = 66,2 \text{ caballos.}$$

Siendo la potencia proporcional al cubo de la velocidad, es facil determinarla para cualquiera otra velocidad pedida (1).

De los mecanismos para poner en movimiento los barcos de vapor.

624. Dependiendo la mayor parte de las ventajas de la potencia del vapor del modo de aplicarla al movimiento de los barcos, una breve reseña de los diferentes medios empleados para esto, nos pondrá en estado de juzgar si el método adoptado es realmente el mas eficaz y cómodo al mismo tiempo.

El medio mas sencillo y mas antiguo de aplicar á un barco una fuerza para moverlo, es un sistema de remos; y el modo de combinarlos se ha llevado á un alto grado de perfeccion. Sin embargo los remos no son muy adecuados para el movimiento de un barco grande, porque ocupan mucho espacio, y exigen para ser movidos un mecanismo muy complicado. El segundo medio en el orden de sencillez, y acaso tambien en el cronológico, consiste en emplear una rueda semejante á las hidráulicas.

(1) Si se hubiese dado la velocidad en millas marinas por hora, se reducirá á metros por segundo, multiplicándola por 0,54.

Si se hubiese dado en kilometros por hora, sería preciso dividirla por 3,6.

Se podría tambien, y aun con mas comodidad, hacer uso directamente de la fórmula, reemplazando el coeficiente 52,5 por 8,25 en el primer caso, y 1,15 en el segundo cuando se quiere obtener la fuerza, en razon del cubo de la velocidad y en kilogramas.

El autor debería haber dicho que aqui solamente se trataba de la fuerza aprovechada, y no de la fuerza empleada á bordo de los barcos, la cual, á causa de las pérdidas de efecto, es mucho mas considerable que la que hace simplemente equilibrio con la resistencia. *El Traductor francés.*

cas, con paletas á cada costado del barco. Este es el método adoptado generalmente en el día. En tercer lugar se ha propuesto una combinacion ingeniosa de partes constantemente colocadas debajo del agua, que se repliegan en un pequeño espacio cuando se mueven hácia adelante, y se extienden cuando van hácia atras. En cuarto lugar se han discurrido planos inclinados, colocados en la popa del barco, y movidos por un movimiento alternativo. Quinto, Daniel Bernouilli propuso en 1752 un método, que consiste en planos sumergidos en el agua, paralelos á los costados del barco, dando vuelta en un pivote, y moviéndose en un plano perpendicular á la quilla. Sesto, se propuso una rosca semejante á la de Arquimedes, y obrando en un cilindro enteramente sumergido en el agua (1). Séptimo, se pueden emplear aun dos roscas obrando en sentidos opuestos y sin cilindro (2). Octavo, en fin Daniel Bernouilli, y despues el señor Linaker, propusieron una bomba para subir el agua é impelerla á la popa del barco (3).

Tales son los diversos mecanismos que se han propuesto con numerosas variaciones, la mayor parte inferiores á los procedimientos primitivos. Nos proponemos considerar algunos de los mejores, aunque nuestra eleccion será limitada, porque debemos ceñirnos á los que presentan una potencia suficiente, y son de facil aplicacion, sin estar espuestos á descomponerse ni inutilizarse por la violencia de las olas.

625. Los procedimientos se pueden dividir en dos clases, á

(1) Este medio ha sido propuesto por el señor Scott d'Ormiston (*Ann. of Philos.*, vol. XI, p. 438), y un siglo antes por Duquet (*Mach. de l'Acad.*, t. V, n.º 338). *El Traductor francés.*

(2) Este medio se ensayó en parte por el señor Whytock (*Journal philosophique* de Brewster, vol. II, p. 39). El coronel Beaufoy pretende que se ha traído de la China. El señor Lyttleton ha hecho la esperiencia en escala grande en el Groenland-Dock. Fijó en el estambor de un barco piloto de Virginia una grande espira de cobre, que por una cabria á que daban vuelta dos ó tres hombres, tomaba un movimiento de rotacion. El efecto fue mucho menor de lo que se esperaba, porque á pesar de que el barco estaba enteramente vacío, y que los hombres hicieron grandes esfuerzos, la velocidad que adquirió no pasó de 3kil, 2 por hora.

(3) Buchanan, *On propelling vessels by steam*, p. 40.

saber: 1.º aquellos en que la accion es continúa; 2.º los que tienen la accion intermitente. A la primera clase pertenecen los mecanismos segundo, sexto y séptimo; y á la segunda el primero, tercero, cuarto, quinto y sexto.

Quando la accion es continúa, el area de las superficies que obran, multiplicada por su resistencia, debe ser igual al area del barco multiplicada por la resistencia descompuesta segun la misma direccion. Se sigue de aqui que todos los procedimientos en que la accion no es continúa, exigen mayor area que aquellos en que lo es. Asi, á menos que por otra parte no haya una ventaja manifiesta, esta circunstancia nos debe determinar á adoptar con preferencia los mecanismos de la primera clase, y entre ellos solamente el segundo, sexto y séptimo. La mayor parte de los otros exigirian un mecanismo complicado é incómodo en la práctica. La primera clase se reduce aun á dos procedimientos, porque las dos roscas hidráulicas opuestas sin cilindro, dan con corta diferencia el mismo resultado que una sola con un cilindro; y este método, aunque no ha sido empleado, merece atencion, á causa de la propiedad que tiene de obrar enteramente debajo del agua en una direccion paralela al movimiento del barco, y tan lejos del centro de resistencia como se juzgue necesario para la estabilidad. Yo no puedo concebir que una sola esperiencia baste para condenar un principio muy útil, y solamente á causa de una falta de atencion á las proporciones y al método de accion conveniente.

De la rosca hidráulica ó rosca de Arquimedes.

626. La parte activa del aparato es una superficie helizoidal que gira al rededor de un eje cilíndrico. Para que toda la superficie participe de la accion, cada uno de sus puntos debe girar con bastante rapidez para que su movimiento en la direccion del eje sobrepuje el del barco. Si el ángulo de la helice ó espira con el eje es constante, es evidente que cuando hay mas de un paso de rosca el resto añade poco al efecto, y acaso menos que el equivalente del rozamiento.

Sea $BAC = a$ (fig. 3, lám. XX) el ángulo que forma la helice

con la línea AB perpendicular al eje. Mientras que el barco se mueve de C á B, un punto de la superficie se debe mover de B á A; de lo contrario la rosca detendria el barco, y para obrar eficazmente debe tener mayor velocidad. Pero la velocidad v del barco es á la de un punto de la superficie, cuando no se ha producido el efecto, como BC : AB, ó

$$BC : AB :: v : \frac{AB \cdot v}{BC} = \frac{v}{\text{tang } a}.$$

Asi la velocidad actual efectiva es

$$V - \frac{v}{\text{tang } a} = \frac{V \text{ tang } a - v}{\text{tang } a}.$$

Sea x el radio variable del cilindro, entonces la longitud de la helice es

$$\frac{2\pi x}{\cos a},$$

y la diferencia de su area es

$$\frac{2\pi x}{\cos a} dx.$$

La diferencial de su resistencia, cuando el barco está en reposo, es pues

$$r \frac{\pi (V \text{ tang } a - v)^2 (2 \text{ sen }^2 a + \text{sen } a) x}{\cos a \text{ tang }^2 a} dx \quad (1);$$

y cuando está en movimiento se aumenta en la razon de $\frac{V \text{ tang } a - v}{\text{tang } a}$ á v : es pues entonces

$$\pi v r (V \text{ tang } a - v) (2 \text{ sen }^2 a + \text{sen } a) x dx.$$

La integral de esta espresion, y por consiguiente la resistencia es

$$\frac{1}{3} \pi v x^3 r (V \text{ tang } a - v) (2 \text{ sen }^2 a + \text{sen } a).$$

Esta resistencia es al efecto necesario para impeler el barco, como 1 metro es á tang a ; asi la fuerza de impulso es

$$\frac{1}{3} \pi v x^3 r (V \text{ tang } a - v) (2 \text{ sen }^2 a + \text{sen } a) \text{ tang } a;$$

y el efecto que debe ser igual á la resistencia del barco es por consiguiente

$$\frac{1}{3} \pi v^3 x^3 r (V \text{ tang } a - v) (2 \text{ sen }^2 a + \text{sen } a) \text{ tang } a.$$

(1) Hemos reemplazado por r el coeficiente de la resistencia 52,5, que en las formulas en medidas inglesas reduce el autor á la unidad. *El Traduct. francés.*

Esta expresion es un maximum, cuando $v^2 (V \text{ tang } a - v)$ es tambien un maximum, lo que se verifica cuando $V = \frac{3v}{2 \text{ tang } a}$, y entonces el efecto es

$$\frac{1}{4} \pi x^2 v^3 r (2 \text{ sen }^2 a + \text{sen } a) \text{ tang } a.$$

Pero la fuerza necesaria para producirle debe ser

$$\frac{3 \pi x^2 v^3 r (2 \text{ sen }^2 a + \text{sen } a)}{8};$$

por consiguiente cuando $\text{tang } a = 1$, la potencia es al efecto, como 3 es á 2, asi como sucede en las ruedas hidráulicas de paletas; pero si $\text{tang } a = 1,5$, la potencia será igual al efecto. Al contrario si $\text{tang } a = 0,5$, ó si el ángulo CAB es de cerca de 26° , la potencia (1) es al efecto como 3 es á 1.

Bastaria un poco mas de un paso de la helice para producir

(1) Este cálculo y las conclusiones que le acompañan son necesariamente inexactas, puesto que el autor considera como constante el ángulo a , al paso que este ángulo disminuye evidentemente yendo del eje á la circunferencia de la helice. Si en efecto se designa por l la longitud del paso de esta, se tendrá

$$\text{tang } a = \frac{l}{2 \pi x}.$$

Asi siendo el ángulo a una funcion de x , se deben tomar las diferenciales ó las integrales de las expresiones de arriba, sin diferenciar ó reintegrar tambien con respecto á a , ó á lo menos sin sustituir el valor de este ángulo.

Con esta modificacion el valor de la diferencial de la resistencia sería

$$\frac{rlv}{2} (2V - 2\pi vx) \left[\frac{2l}{l^2 + (2\pi x)^2} + \frac{1}{\sqrt{l^2 + (2\pi x)^2}} \right] dx.$$

La integral de esta cantidad y la determinacion de su *maximum* conducirian á resultados diferentes de los del testo; pero no seguiremos estos cálculos complicados, atendiendo á que el simple raciocinio basta para manifestar la impropiedad del sistema de helice, fig. 3.

En efecto creciendo la velocidad de los filetes de la helice yendo del eje á la circunferencia, la velocidad que conviene á los unos por *maximum* de efecto no puede convenir á los otros, y sucederia tambien en este sistema que la parte de la helice menos rápida retardaria la marcha, lejos de serle útil. Por otra parte si se quieren evitar estos inconvenientes, vaciando el interior de la helice de manera que no haya mas que una banda espiral, cuyos filetes tengan todos sensiblemente la misma velocidad, se ve uno precisado á aumentar el diámetro considerablemente, y con esto las dificultades de la construccion é instalacion á bordo de los barcos. *El Traductor francés.*

este efecto, y un segundo paso de rosca bajo el mismo ángulo tendría muy poca influencia, porque el agua habría adquirido ya toda la velocidad que la helice podría comunicarla. Si se prolongase la superficie helizoidal, debería ser bajo un ángulo decreciente.

627. El punto esencial para la práctica es determinar la estension de las superficies correspondientes á este efecto, y es lo que vamos á investigar. Suponiendo el ángulo CAB de 60° , será la tang $a = 1,732$, y sen $a = 0,866$. El efecto es pues

$$52,5 \times \frac{1,732}{4} \pi x^2 [2 \times (0,866)^2 + 0,866] = 38,4x^2.$$

Pero πx^2 es la area de la base del cilindro; así cada metro de superficie de la base del cilindro obrará con una fuerza de $38^{\text{kil}},4$, á razon de 1 metro por segundo. La longitud del cilindro sería $2\pi x \text{ tang } a = 10,8$ veces su radio, ó $5,4$ veces su diámetro. La fuerza necesaria, para producir el efecto que acabamos de calcular, sería

$$52,5 \times \frac{3\pi x^2 [2 \times (0,866)^2 + 0,866]}{8} = 46,5\pi x^2,$$

ó $46^{\text{kil}},5$ por cada metro del area de la base del cilindro, siendo la velocidad de 1 metro por segundo.

Cuando el ángulo a es de 40° , la fuerza efectiva es solamente de 23 kilogramas por metro, y la potencia que la produce de $33^{\text{kil}},6$. La potencia disminuye pues casi proporcionalmente á la longitud.

Estos cálculos bastan para manifestar que este mecanismo se puede emplear muy ventajosamente, por cuanto la accion se verifica debajo del agua, y el ímpetu lateral no es tan grande como el de una rueda de paletas, al paso que la suavidad y uniformidad del movimiento son circunstancias muy favorables. Por otra parte se puede objetar contra este mecanismo la dificultad de la comunicacion del movimiento, y la resistencia que presentan las partes del aparato que se emplea; así me contentaré, por el momento, con recomendar este procedimiento á la atencion de mis lectores.

De las ruedas de paletas.

628. Ahora debemos tratar de determinar el efecto de las ruedas de paletas. La especie mas comun consiste en un sistema de planchas fijas á los rayos de una rueda. Estos rayos son tan delgados como lo permite su fuerza, y están unidos entre sí por uno ó muchos aros de hierro muy delgados. Las paletas están algunas veces construidas de modo que puedan entrar en los rayos, á fin de disminuir ó aumentar la profundidad de la parte sumergida en el agua, segun que el barco tira mas ó menos.

629. Para calcular la fuerza de este aparato, sea V la velocidad de la parte exterior de la rueda y r su radio; la velocidad, á la distancia $r-x$ del centro, será $\frac{V(r-x)}{r}$. Si v es la velocidad del barco, la resistencia del agua, que es equivalente á la fuerza motriz del barco, será por metro cuadrado de su area

$$78,8 \left[\frac{V(r-x)}{r} - v \right]^2,$$

ó bien

$$\frac{78,8[V(r-x) - rv]^2}{r^2}.$$

Pero mientras que la paleta obra sobre el agua, el barco se adelanta, y el agua retrocede solamente con la velocidad que procede de la diferencia entre las velocidades de la rueda y del barco; luego la cantidad de agua puesta en movimiento es tanto mas grande, cuanto mas sobrepuja la velocidad del barco al exceso de velocidad de la paleta. Por esto, con arreglo á la proporcion

$$\frac{V(r-x) - rv}{r} : v :: \frac{78,8[V(r-x) - rv]^2}{r^2} : \frac{78,8v[V(r-x) - rv]}{r},$$

designando por b la latitud de la paleta, se tendrá por la diferencial de la potencia efectiva (1)

$$\frac{78,8v^2(Vr - Vx - rv)b}{r} dx.$$

(1) La cantidad de agua puesta en movimiento por las paletas en razon de su velocidad, es ya uno de los elementos de la ley de proporcion entre la resis-

La integral de esta expresion es

$$\frac{78,8v^2b(Vrx - \frac{1}{2}Vx^2 - rvx)}{r}$$

Si la altura de la paleta es h , se tendrá por la potencia real, que debe ser igual á la resistencia del barco,

$$\frac{78,8v^2bh(Vr - \frac{1}{2}Vh - rv)}{r}$$

Antes de poder hallar la potencia de la máquina, se debe apreciar la pérdida que proviene de la oblicuidad de accion. Pero podemos proceder desde luego á determinar la mejor velocidad para las ruedas sumergidas en una agua mansa.

630. Prescindamos de los coeficientes constantes de la fórmula $\frac{78,8bh}{r}$. Si en ella suponemos á v variable, igualando á cero la funcion derivada para la investigacion del *maximum*, hallaremos la ecuacion

$$2Vrv - Vhv - 3rv^2 = 0,$$

que dá

$$V = \frac{3rv}{2r-h} \text{ y } v = \frac{V(2r-h)}{3r}.$$

El exceso de velocidad del borde exterior de la paleta dependencia y los cuadrados de las velocidades. Es pues defectuoso introducirla de nuevo en la expresion de esta resistencia, que debe quedar igual á

$$78,8 \frac{[V(n-x) - rv]^2}{r^2}.$$

Pero igualmente no siendo tampoco susceptible de *maximum* la integral que de aquí resulta, la determinacion del art. 630 es ilusoria, asi como las consecuencias que el Autor deduce de ella (art. 631 y siguientes). En efecto es evidente que la fuerza de resistencia de las paletas debe crecer indefinidamente á medida que se aumente su velocidad ó su superficie. Estableciendo el cálculo sobre este principio, se halla que la velocidad de las paletas lejos de ser un multiplo determinado de la velocidad del barco, debe pasar de ésta lo menos posible, y que el *maximum* de efecto, si pudiese tener lugar, se obtendría aumentando mas y mas la superficie de las paletas.

He procurado hacer perceptible aun á la vista estos resultados del cálculo, asi como las otras leyes del movimiento de los barcos, figurándolos por medio de curvas. (Véase *l'Essai sur les bateaux á vapeur*, etc. en 4.º Paris 1828). *El Traductor francés*,

de, pues, en parte de la razón de su altura al radio; y cuanto mayor es la altura, menor debe ser este exceso de velocidad (1).

631. Si se sustituye aquel valor de V en la fórmula para la área de las paletas, se halla que su efecto, que debe ser equivalente á la resistencia del barco, es $39,4v^3bh$. Se puede hacer la comparación fácilmente por medio de las fórmulas para la resistencia de los barcos (art. 622). La potencia necesaria para producir el efecto es

$$\frac{3r}{2r-h} (39,4v^3bh) = \frac{118,2rv^3bh}{2r-h}.$$

Se necesita una potencia un poco mas grande, á causa de la pérdida que se experimenta por la oblicuidad de acción. La potencia conveniente se hallará con bastante exactitud para este objeto, multiplicando el valor que precede por

$$\sqrt{\frac{2r-\frac{1}{2}h}{2r-h}};$$

porque el centro de gravedad a (fig. 4, lám. XX), de la parte sumergida ABD , se puede considerar como el punto actual de aplicación de toda la fuerza, en lugar de distribuirla sobre toda la extensión del segmento. La dirección de esta resultante es EF , perpendicular á la recta aC , que une el centro de gravedad de la parte sumergida al centro de la rueda. Esta dirección determina la pérdida que proviene de la oblicuidad de acción, porque la potencia es al efecto $:: AH: AD$, lo cual equivale con muy corta diferencia á la razón dada arriba.

Un ejemplo aclarará esta regla. Supongamos el radio de la rueda de $2^m,4$ y la altura de las paletas de $0^m,6$, y entonces

$$\sqrt{\frac{2r-\frac{1}{2}h}{2r-h}} = \sqrt{\frac{4,8-0,4}{4,8-0,6}} = 1,024 \text{ próximamente.}$$

Esta corrección, que no excede un cuarentavo de la fuerza total, se puede despreciar. La dirección media de la acción es mas importante para el movimiento que esta pérdida de potencia.

(1) Esta proposición es muy cierta; pero la fórmula de la cual se deduce, parece que dice lo contrario; y esto confirmaría la observación de la nota anterior sobre la inexactitud de este cálculo. *El Traductor francés.*

632. Hemos supuesto que las paletas tenian la misma latitud por todas partes; pero es posible que esta forma no sea la mejor. Supongamos, pues, ahora que el cuarto término de la proporción

$$h^n : b :: x^n : \frac{bx^n}{h^n}$$

sea la latitud de la paleta correspondiente á la altura x ; sustituyéndola por b , la diferencial de la potencia será

$$\frac{78,8v^3 b(Vr - Vx - rv)x^n}{rh^n} dx.$$

Integrando, resulta

$$\frac{78,8v^3 b}{rh^n} \left(\frac{Vrx^{n+1}}{n+1} - \frac{Vx^{n+2}}{n+2} - \frac{rvx^{n+1}}{n+1} \right),$$

y haciendo $x=h$, se halla

$$\frac{78,8v^3 bhr}{r} \left[\frac{r(V-v)}{n+1} - \frac{Vh}{n+2} \right].$$

Si $n=0$, la forma de la paleta es un rectángulo, y se vuelve al resultado obtenido arriba.

633. Si $n=1$, la paleta tiene la forma de un triángulo, y el resultado es menor que para un rectángulo, permaneciendo las mismas la velocidad y el area.

634. Si $n=\frac{1}{2}$, la forma de la paleta es parabólica, y se halla

$$\frac{78,8v^3 bh[10r(V-v) - 6Vh]}{15r}.$$

Aquí se gana algo, puesto que se tiene una resistencia igual con una latitud menor: por esta forma la resistencia que experimenta la paleta es menor, cuando bate el agua oblicuamente, como en A (fig. 5, lám. XX), y se aumenta á medida que su acción se hace mas directa. La velocidad para el *maximum* de efecto es á la velocidad del barco, como

$$3r : 2r - 1,2h;$$

se tiene, pues,

$$2r - 1,2h : 3r :: v : V; \text{ de donde } V = \frac{3rv}{2r - 1,2d}$$

La velocidad V es menor que las paletas rectangulares. Sustit-

tuyendo este valor de V en la fórmula que espresa la potencia de las paletas, resulta

$$26,3v'bh:$$

tal es pues la fuerza de las paletas parabólicas de una altura h y de una latitud b .

Si el borde exterior tuviese una curvatura mas pronunciada que la de la parábola ordinaria en su vertice, el efecto disminuiria aun. Dejo al cuidado del lector examinar este punto. Las líneas ADEF (fig. 5) manifiestan las dimensiones de una paleta rectangular, capaz de producir el mismo efecto. Esta paleta bate el agua de un golpe con toda su latitud, como en G; la paleta parabólica la bate un poco mas pronto, y adquiere por grados toda el agua que corresponde á su latitud.

635. El mejor modo de sentar las paletas parece ser el de colocar en un plano que pase por el eje, como lo representa la fig. 5. Colocadas en otro plano, deben batir mas oblicuamente el fluido á su entrada, y llevarse una gran cantidad de él á su salida.

En la direccion de la altura de la paleta, es evidente que la forma deberia ser tal, que la resistencia al movimiento de la paleta fuese la mayor posible, y la presion posterior la mas pequeña que fuese dable. Estas condiciones parece que se llenan bien, haciendo de la paleta una superficie plana en la direccion del eje. Se han empleado paletas curvas, cuya superficie cóncava batia el fluido, y tal vez con muy poco aumento de potencia. En cuanto al proyecto de colocar las paletas de otro modo que no sea en ángulo recto con la direccion del barco, es evidentemente un defecto; porque la resistencia al movimiento es menor, cuando la superficie bate el agua oblicuamente, y cuanto mayor es esta resistencia, mayor es tambien el efecto de la fuerza impulsiva del barco.

Es de desear que la accion de las paletas sea tan uniforme y continúa como sea posible; pero esforzándose para hacer esta accion igual, no se ha de aumentar el número de las paletas, sino lo menos que sea posible, porque la construccion es mas costosa, y la reaccion del agua, que no tiene tiempo bastante para introducirse entre ellas, se disminuye. Si suponemos que

AE (fig. 6, lám. XX) sea el nivel del agua en reposo, la disposición mas favorable con el mas pequeño número de paletas, parece que es hacer de modo que una paleta se encuentre en A á la entrada, cuando la que le sigue está en B en una posición vertical, y otra en E á la salida del agua. Si se emplease un número menor de paletas, habria un corto intervalo, durante el cual ninguna de ellas obraria completamente. Se obtendria una acción mas uniforme aun, dividiendo el arco sumergido en tres partes iguales; pero no creo que la ventaja compensase el aumento de gasto; por esta razón daré fórmulas generales para una proporción cualquiera, y reglas particulares para el caso solo en que hay tres paletas sumergidas á un tiempo.

637. En cuanto á la cuestión de determinar el radio de la rueda ó la altura de las paletas, cuando se da el número de estas, el problema es facil suponiendo las condiciones que preceden. Porque sea $BC=r$ el radio de la rueda, $BD=x$ la altura de las paletas, n su número, y a el de las partes en que está dividido el arco sumergido; entonces el ángulo ACB es igual á

$$\frac{a \times 180^\circ}{n},$$

puesto que corresponde á la mitad del arco sumergido; y la distancia CD entre el centro de la rueda y la superficie del agua es igual á

$$r \cos \frac{a \times 180^\circ}{n}.$$

Como por otra parte $CD=r-x$, tendremos pues la ecuación

$$r \cos \frac{a \times 180^\circ}{n} = r - x;$$

de donde se saca

$$x = r \left(1 - \cos \frac{a \times 180^\circ}{n} \right), \text{ y } r = \frac{x}{1 - \cos \frac{a \times 180^\circ}{n}}.$$

De estas fórmulas se derivan las reglas siguientes para el caso en que hay tres paletas sumergidas.

638. REGLA I. Hallar el radio de la rueda, dada la altura de las paletas, y su número.

Divídase 540 por el número de las paletas, lo cual dará el

número de grados de la mitad del arco sumergido. Quitando de la unidad el coseno del ángulo correspondiente, y dividiendo por el resto la altura de las paletas, se tendrá el radio de la rueda.

En el caso inverso, el radio de la rueda multiplicado por este resto dará la altura de las paletas.

639. REGLA II. Hallar el número de las paletas, dada su altura y el radio de la rueda.

Divídase la altura por el radio, y el cociente réstese de la unidad. Búsquese el ángulo correspondiente á este residuo tomado por el coseno, y dividiendo 540 por el número de grados de este ángulo, se tendrá el número de las paletas que se busca.

Si el radio de la rueda es de 2^m,4, y la altura de las paletas de 0^m,6, entonces

$$1 - \frac{0,6}{2,4} = 0,75$$

es el coseno de 41°4'; y por consiguiente el número de paletas es

$$\frac{540^\circ}{41^\circ 4'}$$

es decir 13.

640. Las dimensiones de la rueda dependen principalmente del modo con que se comunica el movimiento por la máquina. La rueda debe ser bastante grande para tener en su circunferencia la velocidad conveniente; y cuando se pueden emplear ruedas muy grandes, ofrecen algunas ventajas: deben ser necesariamente mas estrechas; baten el fluido en una direccion favorable, y se desprenden de él mucho mejor. Teniendo sus paletas una accion mas directa sobre el agua, la hacen saltar mucho mejor al rededor; el peso de la rueda la hace tambien mas eficaz, y la constituye en una especie de volante ó de regulador de las fuerzas que obran sobre ella. Sin embargo hay algunas graves objeciones prácticas por otra parte contra el uso de las ruedas muy grandes á bordo de los barcos de mar; porque ofrecen mayor cebo á las olas contra el mecanismo; son embarazosas y disformes, y elevan demasiado el centro de accion sobre la línea de agua.

641. Cuando las ruedas se mueven directamente por el arbol del manubrio, el radio se determina por la velocidad de la

máquina. Supongamos que esta velocidad sea n golpes de émbolo por minuto. Entonces, siendo la circunferencia de la rueda $2\pi r$, su velocidad por minuto será $2\pi rn$. Como esta velocidad debe estar con la del barco en la razón (1) de 3 á 2, se tendrá

$$2\pi rn = \frac{3}{2} v \times \frac{1000}{60} = 25v,$$

espresando v el número de kilómetros que anda el barco por hora. De esta ecuacion se deduce

$$n = \frac{4v}{r}, \text{ y } r = \frac{4v}{n}.$$

Así la velocidad del barco por hora multiplicada por 4, es igual al radio de la rueda multiplicado por el número de golpes de émbolo por minuto.

Por medio de esta regla, simple en extremo, se puede saber desde luego si la rueda es ó no demasiado grande, cuando se emplea el movimiento transmitido inmediatamente por el manubrio; y este es el modo de transmision que se debe preferir al de una engranadura intermedia, siempre que no hay mas dificultades que las dimensiones de la rueda.

De las modificaciones de las ruedas de paletas.

642. Se han ensayado ó proyectado diferentes medios para remediar ciertos defectos supuestos de las ruedas de paletas. Se ha exagerado mucho la pérdida de fuerza ocasionada por la oblicuidad de accion, y la mayor parte de las tentativas han tenido por objeto hacerla desaparecer en todo ó en parte.

Los medios propuestos son de dos especies.

En la una, el movimiento de la rueda produce un cambio gradual de posicion en las paletas; se ha olvidado completamente que por la pérdida de velocidad que resulta de aqui, la disminucion de fuerza es como el cuadrado, mientras que la que produce el cambio de direccion es solamente como la primera potencia.

El señor Oldham, de la banca de Irlanda, propuso uno de

(1) Esta razón se puede obtener con mas exactitud por medio del art. 63o.

estos sistemas de paletas giratorias (1), para evitar los inconvenientes de las paletas fijas que se emplean ordinariamente; asegura que la accion violenta de las paletas de las ruedas ordinarias contra las olas de una mar de leva, desaparece enteramente con el uso de las paletas movedizas, que entran en el agua y salen con suavidad y facilidad. Es sensible que esta facilidad no se pueda obtener sin una pérdida considerable y continua de efecto dinámico.

El otro medio consiste en imprimir á las paletas un movimiento rápido en dos puntos de su revolucion, por medio de trinquetes provistos de un mecanismo conveniente. Este método es preferible cuando las ruedas tienen que obrar á grandes profundidades en el agua; pero semejantes ruedas necesitarian construirse tan sólida y fuertemente, que parece poco probable que el mecanismo pueda mantenerse en buen estado.

El método que parece mejor, es el de tener á cada costado del barco un par de ruedas, sobre las cuales obren dos cadenas sin fin llevando las paletas. A medida que la cadena circula en una direccion, las paletas se sumergen en el agua, y salen en la direccion opuesta, estando en parte debajo del agua las dos ruedas, al rededor de las cuales pasan las cadenas. El impulso total dado por estas paletas desde la parte inferior de una rueda hasta la de la otra, pareceria que debia ser directo y eficaz; y en efecto se dice que el resultado ha sido satisfactorio, en cuanto se puede juzgar por una esperiencia hecha en pequeño. Buchanan dice no obstante que este procedimiento se ha ensayado en el canal del duque de Bridgewater, en donde no produjo efecto favorable: como no manifiesta la razon, debemos investigar directamente si esta disposicion es capaz de producir mas ó menos efecto que las ruedas de paletas ordinarias.

Si una rueda está provista de un número suficiente de paletas para poner en movimiento la totalidad del fluido opuesto al area de la paleta, es evidente que cualquiera prolongacion de

(1) El señor Duquet habia ensayado en Marsella, desde el año 1694 paletas de esta especie que mostraron dar buenos resultados; á lo menos comparativamente con los remos. (Véase el *Recueil des Machines appr. par l'Académie*, t. I, p. 173).

la línea de acción de las paletas equivaldrá solamente al rozamiento de la corriente, puesta en movimiento por el primer impulso; y este efecto es demasiado pequeño para tratar de obtenerle por medio de una disposición complicada, que sería difícil hacer duradera; así esta construcción imperfecta no merece ninguna preferencia.

De la fuerza de ensambladura de los barcos.

643. Hasta 1818 no se han empezado á construir barcos de vapor para viajes marítimos regulares, y cuanto mas se han ido experimentando, mas se ha ido aumentando la fuerza de ellos. Un barco se debe considerar como un armazon un poco flexible, y su fuerza se debe determinar de tal manera que el mayor esfuerzo posible, obrando en las circunstancias mas desventajosas, no pueda alterar la elasticidad natural de sus partes, ni perjudicar á su union ó trabazon. Por no haber mirado la ligazon como un todo, se ha hecho frecuentemente uso de malos métodos de construcción ó trabazon. Es preciso tambien considerar un barco en el caso en que la presión hidrostática contribuye lo menos posible á sostenerle.

Los esfuerzos se reducen á los que se verificarian en un gran balancin hueco, cuyo eje neutro se hubiese de hallar, y entonces es fácil medir la fuerza de resistencia (1). Cuando el intervalo de los miembros ó ligazones, ó bien las mallas, se rellenan de un modo conveniente, se aumenta la fuerza; y acaso se podría obtener este aumento con menos materiales y una adición mas corta al peso del barco; pero la ventaja de no dejar ningun hueco ó cavidad, es aun de mayor importancia para la duración y la limpieza del barco (2).

644. En cuanto á la madera, el pinabete tiene la ventaja de la ligereza, y en las piezas rectas es mas fuerte que un peso igual de encina; pero para las piezas curvas se prefieren maderas mas duras que tienen mas cohesión lateral.

(1) Véanse mis *Principios elementales del arte del Carpintero*, Sección I y II, y mi *Tratado de la fuerza del hierro*, art. 85 a.

(2) Véanse *Transactions Philosophiques*, de 1820.

De la aplicacion de las velas.

645. Se ha encontrado que las velas se pueden combinar ventajosamente con la potencia del vapor, siempre que la direccion no está en cuatro rumbos de la del viento.

Pero cuando la fuerza del último es considerable, y la mar de leva, las ruedas dan vueltas muchas veces sin tocar el agua en los huecos de las oleadas, y adquieren un grande aumento de velocidad, que luego que encuentran de nuevo la oleada, se reduce á menos de la velocidad ordinaria. Para hacer estos cambios menos violentos, es preciso disminuir el suministro de vapor, y por consiguiente la fuerza de la máquina.

646. Parece imposible que se pueda emplear bastante velamen, para dar á un barco de vapor la ventaja de poder servir eficazmente como barco de velas, en caso de descomponerse la máquina ó de faltar el combustible. El objeto propio de las velas en un barco de vapor, es ahorrar el combustible cuando se puede aprovechar el viento (1), y para hacerlo con economía, las máquinas deben obrar por expansion (véase el art. 419); así la disposicion de la máquina debe ser tal, que pueda trabajar á presion llena en tiempo de calma. Esta condicion nos permite fijar la potencia de la máquina con arreglo á la que necesita en tiempo de calma; y si el barco tiene suficientes velas para mantener su velocidad con cerca de la mitad de la fuerza de las máquinas, cuando el viento es favorable, es todo lo que se puede desear. Es preciso poner la mayor atencion en mantener el centro de esfuerzo sobre las velas tan bajo como sea posible, y en arreglar estas de modo que el barco se haga á la banda lo menos que se pueda; es decir, que el ángulo de inclinacion no sea grande, á fin de que las ruedas no se sumerjan desigualmente.

(1) Se piensa comunmente que el efecto de las velas se debería emplear juntamente con la fuerza del vapor, para dar una velocidad mayor; pero esto no conviene sino en los barcos correos y otros semejantes; porque una inmensa estension de vela da solamente una fuerza muy pequeña, cuando el barco se mueve con una gran velocidad; así la economía conduce á ahorrar el combustible antes que á aumentar la velocidad.

647. La velocidad, de que no parece que se debe pasar en una agua tranquila, es la de 3 metros por segundo, es decir 11 kilometros por hora. Con esta velocidad, cuando el viento es de una fuerza tal que el barco puede aun sin riesgo llevar todas sus velas, el efecto directo equivale solamente á la fuerza de un caballo, á razon de 27 metros cuadrados de velas (1).

648. Un viento favorable contribuye tambien á la marcha del barco, dando un movimiento progresivo á las olas de la mar; un viento contrario opone una cierta resistencia, y sucede lo mismo con una corriente. Si v es la velocidad con que la fuerza P impele un barco por una agua tranquila, y la velocidad de la corriente $\mp nv$, tomando el signo superior cuando concurre con la del barco, entonces se tendrá la proporcion

$$v^3 : P :: v(v \mp nv)^3 : P(1 \mp n)^3,$$

cuyo término $P(1 \mp n)^3$ es la fuerza que exige el barco (2).

Si la corriente obra en la direccion del movimiento del bar-

(1) Para hallar el efecto del viento en cualquiera otra direccion y con cualquiera otra velocidad, sea V la velocidad del viento en metro por segundo, a el ángulo que forma su direccion con la del movimiento del barco, v la velocidad del barco en metros por segundo, y b el ángulo que forma la normal en la vela con la direccion del movimiento del barco; se tendrá con corta diferencia

$$\frac{250 \cos b}{[V \cos(a+b) - v \cos b]^3}$$

por el número de metros cuadrados de velas equivalente á la fuerza de un caballo, suponiendo este de 75 kilogramas elevados á un metro por segundo.

(2) Esta regla es errónea; porque mientras que la resistencia varía en razon del cuadrado de la velocidad relativa $(v \mp nv)^2$, la velocidad de las paletas debe aumentar ó disminuir en razon simple de esta velocidad; la potencia debe pues variar en razon compuesta de estos dos elementos, es decir, como $(v \mp nv)^3$; será pues

$$P(1 \mp n)^3,$$

en lugar de $P(1 \mp n)^2$ que supone el autor.

Tomando los ejemplos del párrafo siguiente, se tendría por el valor de la fuerza en el sentido de la corriente

$$P(1-n)^3 = P(1-0,5)^3 = 0,125P,$$

y para subir la corriente

$$P(1+0,5)^3 = 3,375P.$$

El Traductor francés.

co, y la velocidad es la mitad de la del último en una agua tranquila, entonces $n=0,5$, y la fuerza es

$$P(1-0,5)^2 = 0,25P,$$

es decir que el barco exige solamente la cuarta parte de la fuerza.

Si va contra la corriente, y la velocidad de esta es la misma que anteriormente, entonces la fuerza es

$$P(1+0,5)^2 = 2,25P;$$

es decir que el barco exige una fuerza $2\frac{1}{4}$ veces mayor para conservar su velocidad.

649. Pero remontando una corriente, debe haber una diferencia en la velocidad, y la hay tambien generalmente descendiendo. Si u es la velocidad de la corriente, y mv la velocidad con que el barco se mueve en la corriente, se tiene

$$v^2 = mv(mv \pm u)^2; \text{ ó } v^2 = m(mv \pm u)^2.$$

El valor de m sacado de esta ecuacion (1) sería muy complicado; pero suponiendo que la fuerza de las ruedas sea constante, se tiene

$$v^2 = (mv \pm u)^2; \text{ de donde } v \pm u = mv,$$

tomando el signo superior cuando el barco va en el sentido de la corriente.

Supongamos por ejemplo que la velocidad del barco en una agua tranquila sea de 8 kilometros por hora, y la de la corrien-

(1) Esta fórmula tiene el mismo defecto que la que le precede, y debe ser rectificadada, por las mismas causas, del modo que sigue:

$$v^2 = (mv \pm u)^2,$$

de donde se saca

$$mv = v \pm u.$$

Por lo demas el autor llega en definitiva á este último resultado; pero haciendo una segunda suposicion no menos inexacta, y que consiste en mirar la velocidad de las paletas como variable, y la fuerza de la máquina como constante, lo cual es contradictorio.

Las fórmulas del texto convienen á otro caso de la navegacion; es el de la *espia*, en el cual los barcos son movidos por una fuerza motriz, colocada á bordo ó en tierra, y obrando por medio de cadenas y de puestos fijos. (Véase la teoría y las esperiencias relativas á este sistema en el *Essai sur les bateaux à vapeur* ya citado.) *El Traductor francés.*

te de 3 kilometros, entonces descendiendo en el sentido de la corriente se tiene

$$v + u = 8 + 3 = 11 \text{ kilometros,}$$

y remontándola,

$$v + u = 8 - 3 = 5 \text{ kilometros.}$$

Si la velocidad de las paletas cambia, la fuerza no será constante; y si no cambia, esta razon no puede mantenerse exacta.

Regla para la fuerza de las máquinas empleadas en los barcos.

560. La fuerza de las máquinas se puede calcular del modo siguiente. Sea p la presión media sobre el émbolo en kilogramas, d su diámetro en centímetros, v su velocidad en metros por minuto, y n el número de caballos equivalente á su fuerza, se tendrá

$$n = \frac{pvd^2}{4500}.$$

Si l es la longitud del curso del émbolo en metros, entonces $v = A\sqrt{l}$, designando A el coeficiente hallado en el art. 366, de donde

$$n = \frac{pAd^2\sqrt{l}}{4500}, \text{ y } d = \left(\frac{4500n}{pA\sqrt{l}} \right)^{\frac{1}{2}}.$$

En logaritmos se tendrá

$$\log d = \frac{1}{2} (\log 4500 + \log n - \log p - \log A - \frac{1}{2} \log l).$$

Para el vapor de baja presión, obrando con toda su fuerza durante el curso entero, tenemos $A = 57$ (art. 337), y $p = 0,5$ (art. 416). Así en este caso la fórmula es

$$\log d = \frac{1}{2} (\log n + 1,19837 - \frac{1}{2} \log l):$$

del mismo modo se tendrá

$$\log n = 2 \log d + \frac{1}{2} \log l - 1,19837.$$

651. Si el diámetro del émbolo en centímetros se espresa por m veces la longitud del curso en metros, se tiene

$$\log d = \frac{1}{2} (\log n + 1,19837 + \frac{1}{2} \log m).$$

En las proporciones mas usuales se tiene $m = 75$, es decir, que la longitud del curso del émbolo es los cuatro tercios del diámetro; luego

$$\log d = \frac{1}{2} (\log n + 3,07343).$$

Ejemplo. Si la resistencia es equivalente á la fuerza de 100

caballos, obtenida con dos máquinas de 50 caballos cada una,

el logaritmo de.....	50 = 1,69897
	3,07343
	4,77240
multiplicado por.....	2
	9,54480

y dividiendo por 5 se halla..... $\log d = 1,90896$,
cuyo número correspondiente es 81.

Así el diámetro del émbolo es de 81 centímetros, y la longitud del curso $81 \times \frac{4}{3} = 108$ centímetros.

De las proporciones de las máquinas para los barcos.

652. Procediendo ahora al cálculo de las proporciones, y á establecer las condiciones que deben presidir á la disposicion de las partes de una máquina para un barco, presentaremos las mejores esplicaciones posibles del uso de las reglas que preceden.

653. *La resistencia del barco* se debe calcular segun la velocidad. Sin pretender fijar absolutamente la velocidad mas ventajosa, la supondré de 3 metros por segundo, ó de 11 kilometros por hora en una agua tranquila, lo cual equivaldria á 14½ kilometros por hora, si se añadiese el auxilio de las velas. Supongamos que la longitud de la parte paralela del barco sea de 22 metros, que el radio de curvatura de las estremidades sea de 6 semi-latitudes, la latitud en la seccion de la cuaderna maestra de 8 metros, y el perimetro de la parte de esta seccion sumergida en el agua de 11^m,6. Entonces siendo la velocidad de 3 metros por segundo, tenemos por la tabla (art. 622) para el valor de la resistencia, valuada en kilogramas elevados á un metro por segundo

$$52,5 \times 3^3 \times 11,6 [0,025 \times 8 + 0,0032 (1) (22 + 1,05 \times 8)] \\ = 3^3 \times 18,8 = 5076 \text{ kilogramas,}$$

(1) El coeficiente $52,5 \times 0,0032$ (véase art. 614) es probablemente demasiado grande. Se ha tomado de las esperiencias de la *Sociedad para la perfeccion de la Arquitectura naval*, y concuerda con las esperiencias mas recientes

elevados á un metro por segundo, lo cual equivale en fuerzas de caballos á

$$\frac{5076}{75} = 67\frac{2}{3}.$$

654. Si se debiese fijar ahora el area y la velocidad de las paletas con arreglo á la velocidad señalada aqui arriba al barco, no podrian obrar con ventaja, ni contra el viento, ni contra la corriente. Por otra parte hay en la mar, en el uso de las paletas grandes, una desventaja que es mas considerable que la pérdida que se experimenta alejándose del maximum; por esta razon recomendaré que se construyan las paletas para una velocidad mayor cerca de 0^m,3 por segundo que la que se ha calculado. Por consiguiente (art. 631) $(3,3)^3 \times 39,4 \times bh =$ á la potencia de las paletas, y como la resistencia es 5076, tendremos para el area de las paletas

$$bh = \frac{5076}{(3,3)^3 \times 39,4} = 3^m,58.$$

Supongamos que el radio de las ruedas sea de cuatro veces la altura de las paletas; en este caso por la segunda ecuacion del artículo 631, tenemos

$$\frac{118,2r \times (3,3)^3 \times bh}{2r-h} = \frac{472,8 \times (3,3)^3 \times 3,58}{7} = 8700 \text{ kilogramas elevados}$$

á 1 metro, de donde se saca para la fuerza en caballos

$$\frac{8700}{75} = 116.$$

655. Puesto que el barco exige una fuerza de 116 caballos, si se emplean dos máquinas, deberá equivaler cada una á 58 caballos; y por la regla del artículo 651 hallaremos, segun esto, que el diámetro del émbolo debe ser igual á 93 centímetros. Debiendo ser la longitud del curso los cuatro tercios del diámetro, será 2^m,24, y por consiguiente el número de golpes por minuto (art. 336) será 25 $\frac{1}{3}$. Asi con arreglo á la fórmula del ar-

del coronel Beaufoy. Pero estoy bien convencido de que cuando el agua está en movimiento, el rozamiento es menor; solamente resta determinar su valor exacto.

título 641 corregida para la altura de la paralela (1), hallaremos para el radio de las ruedas, cuando la velocidad del barco es de 3^m,3 por segundo, ó de 11^{kil.},88 por hora,

$$r = \frac{32v}{7 \times 25,5} = \frac{32 \times 11,88}{7 \times 25,5} = 2^m,12.$$

Dividiendo este radio por 4, se halla 0^m,53 por la altura de las paletas.

Pero á fin de reducir la latitud de la rueda, es preferible dar 0^m,6 á la altura y 2^m,19 al radio; las paletas tendrán entonces una area de 0,6 × 3 metros cuadrados por cada rueda, lo cual hace 3^m,6 cuadrados por las dos, y la latitud de la rueda será de 3 metros (2).

Las otras proporciones de las máquinas se hallarán por la regla general (art. 415), á escepcion de que el vapor se produce por una cantidad de agua un poco mas pequeña, en razon de que se forma por el agua de mar á una temperatura mas alta (véase el art. 90); pero no es mas que 2 por 100 menos, y el consumo de combustible no se altera sensiblemente; hay tambien una pequeña ventaja, á causa de que la tension del vapor

(1) Si en la fórmula

$$v = \frac{3rv}{2r-h}$$

se supone que el radio $r = 4h$, se tendrá

$$V = \frac{3 \times 4}{8-1} v = \frac{12}{7} v,$$

en lugar de

$$V = \frac{3}{2} v;$$

lo cual da, por la proporcion

$$\frac{3}{2} : \frac{12}{7} :: 4 : x = \frac{32}{7},$$

el coeficiente del texto.

(2) Las proporciones de un barco semejante son con corta diferencia las que pertenecen al barco *James Watt*, de lo cual estoy seguro. En las tablas siguientes doy las mejores noticias que he podido adquirir sobre este barco, á fin de poder comparar el cálculo con la observacion. Pero la velocidad en una agua tranquila es muy difícil de probar; verosimilmente es la velocidad que tomaba este barco en un rio sin deduccion de la de la corriente.

es menor en el condensador que cuando se emplea el agua pura. (Véase la tabla del artículo 94.) Por consiguiente se puede suprimir sin pérdida el depósito de agua fría que encierra el condensador. Las máquinas se deben disponer para obrar por expansion, y se deben arreglar á mano (véanse los artículos 419 y 481); se hallará la fuerza de las partes por las reglas de los artículos 496—527: el servicio del agua se ha tratado en el artículo 565 y el paralelogramo artículos 488—495.

656. Creo que seria conveniente ensayar el efecto que podría producir un grado de elasticidad considerable, proporcionado á los brazos de las paletas, y dar á estas la forma representada en la fig. 5, lám. XX (art. 634). Las ruedas de los barcos me parecen, en general, colocadas muy hácia la proa, de modo que tienden constantemente á levantarla; lo cual da lugar á una accion desventajosa. Para tener una marcha segura, debe apoyarse todo barco con fuerza sobre la direccion del camino que ha de seguir; y que esta observacion sea tan cierta en la práctica como en la teórica, se puede inferir del hecho de hallar en el sistema actual de construccion una ventaja en emplear las velas para dar asiento al barco y asegurar la línea de estela. En los barcos remolqueros (1), se puede usar de este medio con una ventaja mas señalada aun; y en todos los casos, el emplazamiento conveniente de las ruedas parece que es detras del centro de gravedad del barco.

La construccion de las calderas se ve en la lám. XXI, y la máquina en las láminas XXII y XXIII.

Las tablas siguientes se han formado principalmente con arreglo á los documentos impresos en las relaciones sobre los paquebotes de vapor de Holyhead por la comision nombrada por la Cámara de los Comunes, y suministrarán los medios de comparar la práctica de varios constructores (2).

(1) La fuerza necesaria para remolcar un barco se puede calcular por las fórmulas del art. 622.

(2) Se hallará en el *Essai sur les bateaux à vapeur*, ya mencionado, el estado circunstanciado de casi todos los barcos de este género construidos en América, en Inglaterra, en Francia y en los otros países de la Europa, con sus dimensiones, sus velocidades observadas etc. *El Traductor francés.*

657. Tabla de los barcos de vapor.

NOMBRE DE LOS CONSTRUCTORES DE LA MÁQUINA.		MAUDSLAY, HIJOS, Y FIELD, EN LONDRES.								
NOMBRE DEL BARCO.	.....	La Dee.	La Empresa.	El Comercio.	El Mante- quero de Amsterdam.	El Ingeniero de Londres.	El Relámpago.	El Arlequin.	El Ivanhoe.	El-Guarda costas.
Nombre del constructor del barco.	.....	.....	.....	.....	.....	Brent.	.....	.....	.....	.....
Longitud del puente.	.....	5 ^m ,81	.....	.....	.....	.....	38 ^m ,43	6 ^m ,40	5 ^m ,49	5 ^m ,19
Latitud mayor.	.....	9 ^m ,15	7 ^m ,93	6 ^m ,81	7 ^m ,88	7 ^m ,32	6 ^m ,81	2 ^m ,34	2 ^m ,14	1 ^m ,91
Calado.	.....	3 ^m ,05	4 ^m ,27	3 ^m ,05	2 ^m ,44	1 ^m ,52	2 ^m ,95	3 ^m ,96	3 ^m ,82	3 ^m ,51
Diámetro de las ruedas de paletas.	.....	6 ^m ,10	4 ^m ,57	5 ^m ,49	4 ^m ,88	3 ^m ,82	4 ^m ,57	2 ^m ,14	1 ^m ,83	.....
Latitud de dichas ruedas.	.....	3 ^m ,5	2 ^m ,13	2 ^m ,13	2 ^m ,44	1 ^m ,98	2 ^m ,74	.....	.....	.....
Velocidad de la estremidad de las ruedas de paletas en kilogramas por hora.	.....	.....	20kil,6	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Altura de las paletas.	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Toneladas de 1000 kilogramas.	.....	710 ton.	507 ton.	406 ton.	507 ton.	320 ton.	300 ton.	235 ton.	163 ton.	96 ton.
Potencia total de las máquinas en caballos.	.....	200 cab.	120 cab.	140 cab.	120 cab.	70 cab.	100 cab.	80 cab.	60 cab.	50 cab.
Consumo de carbon por hora.	.....	.....	.....	.....	.....	285 kilog.	.....	562 kilog.	.....	.....
Número de máquinas.	.....	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Diámetro de los cilindros de las máquinas.	.....	135 cen.	109 cen.	118 cen.	109 cen.	91 cen.	102 cen.	91 cen.	81 cen.	75 cen.
Longitud del curso del émbolo.	.....	152 cen.	122 cen.	137 cen.	122 cen.	76 cen.	122 cen.	107 cen.	91 cen.	91 cen.
Número de golpes por minuto.	.....	20	24	22	25	28	25	28	30	32
Diámetro de la bomba de aire.	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Destino del barco.	.....	La Marina Real.	Las Indias Orientales.	Liverpool y Dublin.	Amsterd. y Londres.	Paquebot de Margate.	La Marina Real.	Paquebot del correo.	Paquebot del correo.	Paquebot del correo.
Data de la construcción.	.....	1827	1825	1826	1826	1818	1824	1824	1826	1827
Potencia de las máquinas en caballos, cal- culada por la mejor velocidad y la pre- sion total.	.....	272	160	197	160	88	137	104	76	68

658. Tabla de los barcos de vapor.

NOMBRE DEL CONSTRUCTOR DE LA MAQUINA.	BOULTON Y WATT, EN SOHO, CERCA DE BIRMINGHAM.						FENTON Y COMP. ^a , EN LEEDS.
	El Soho.	El James Watt.	La ciudad de Edimburgo.	El Shannon.	El Soberano Jorge IV.	La Caledonia.		El Meteor.
Nombre del constructor del barco.....	.....	Wood y compañía	Wigram.	Fletcher é hijo.	Evans.	Wood y compañía	Bancham.
Longitud del puente.....	50 ^m ,23	45 met.	44 met.	55 met.	38 met.	30 met.	.....
Latitud mayor.....	8 ^m ,23	7 ^m ,82	7 ^m ,72	14 ^m ,4	6 ^m ,66	4 ^m ,57	1 ^m ,93
Calado.....	.....	3 ^m ,05	.....	.....	2 ^m ,59	1 ^m ,37	4 ^m ,27
Diámetro de las ruedas de paletas.....	4 ^m 78,	5 ^m ,49	5 ^m ,49	.....	4 ^m ,88	.....	2 ^m ,44
Latitud de dichas ruedas.....	2 ^m 44,	2 ^m ,74	2 ^m ,44	.....	2 ^m ,44	.....	.....
Velocidad de la estremidad de dichas ruedas en kilogramas por hora.....	23kil,6	19kil,32	19kil,32	.....	.....	.....	24kil,15
Altura de las paletas.....	0 ^m ,61	0 ^m ,61	0 ^m ,61	.....	.....	.....	0 ^m ,46
Toneladas en 1000 kilogramas.....	518 ton.	455 ton.	406 ton.	521 ton.	213 ton.	103 ton.	236 ton.
Potencia de las máquinas en caballos.....	120 cab.	100 cab.	80 cab.	160 cab.	80 cab.	28 cab.	90 cab.
Velocidad por hora en una agua tranquila.....	.....	16 kil.	.....	.....	15kil,7	13kil,7	18kil,5
Consumo de carbon por hora.....	.....	.....	.....	.....	400 kil.	.....	1000 kil.
Número de máquinas.....	2	2	2	2	2	2	2
Diámetro de los cilindros de las máquinas.....	107 cent.	99 cen.	91 cen.	.....	.....	.....	.....
Longitud del curso del émbolo.....	122 cent.	107 cen.	107 cen.	.....	.....	.....	.....
Número de golpes por minuto.....	26	27 $\frac{1}{2}$	27 $\frac{1}{2}$	.....	.....	.....	30
Diámetro de la bomba de aire.....	58 cent.	53 cen.	50 cen.	.....	.....	.....	.....
Destino del barco.....	Transporte de pasajeros.	Transporte de pasajeros.	Transporte de pasajeros.	Transp. de pasaj. y 200 ton. de flete.	Transporte de pasajeros.	.....	Paquebot de Margate.
Data de la construcción.....	1823	1821	1821	1826	1821	1815	1821
Potencia de las máquinas, calculada por la mejor velocidad y la presión total.....	151 cab.	122 cab.	104 cab.	.....	.....	.....	.....

659. *Tabla de los barcos de vapor.*

NOMBRE DEL CONSTRUCTOR DE LA MAQUINA.	NAPIER, EN GLASGOW.			FAWCET Y LITTLEDALE, EN LIVERPOOL.				
	El Reino Unido.	El Magestuoso.	El Soberbio.	El Talbot.	El Principe Leollin.	El Albion.	El Duque de Lancaster.	La Cambria.
Nombre del constructor del barco.....	.....	Scott	Scott	Wood	Mottershead y Hayes.			
Longitud del puente.....	53 metr.	y comp.	y comp.	y comp.	40 metr.	32 metr.	31 metr.	28 metr.
Latitud mayor.....	13 ^m ,98	.....	.....	28 metr.	6 ^m ,96	5 ^m ,74	5 ^m ,18	5 ^m ,34
Calado.....	.....	.....	.....	5 ^m ,46	4 ^m ,17	2 ^m ,90	2 ^m ,90	2 ^m ,54
Diámetro de las ruedas de paletas.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Latitud de dichas ruedas.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Velocidad de la circunferencia de las ruedas de paletas.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Altura de las paletas.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Toneladas de 1000 kilogramas.....	1015 ton.	355 ton.	245 ton.	142 ton.	203 ton.	105 ton.	95 ton.	88 ton.
Potencia de las máquinas en caballos.....	200 cab.	100 cab.	70 cab.	60 cab.	100 cab.	60 cab.	50 cab.	50 cab.
Velocidad por hora en una agua tranquila.	.....	16 kil.	14kil,5	355 kil. de	.....	.....	.....	.....
Consumo de carbon por hora.....	1000 kil.	1000 kil. de carbon de Escocia.	657 kil. de carbon de Escocia.	carbon de Escocia.	.....	.....	.....	.....
Número de máquinas.....	2	2	2	2	2	2	2	2
Diámetro del cilindro de las máquinas.....	.....	.....	.....	.....	107 cent.	81 cent.	.....	76 cent.
Longitud del curso del émbolo.....	.....	.....	.....	.....	107 cent.	84 cent.	.....	76 cent.
Número de golpes por minuto.....	.....	28	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Diámetro de la bomba de aire.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Destino del barco.....	Paquebot de Edimb.	.....	.....	Paquebot del correo	.....	.....	.....	.....
Data de la construccion.....	175 pasag. 1826	1816	1820	1819	1822	1822	1822	1822
Potencia de las máquinas, calculada por la mejor velocidad y la presión total.....	.....	.....	.....	.....	142 cab.	73 cab.	.....	67 cab.

El consumo de carbon es el que se hace cuando la máquina está en plena accion, comprendidas las dilaciones, mermas etc. Esta cantidad es la que multiplicada por el número de horas que exige la travesía, dará el consumo de cada viage. En las mejores máquinas actuales varía este consumo desde 5 hasta 7 kilogramas de carbon de Newcastle por hora, para cada fuerza de caballo; y en las máquinas inferiores puede llegar hasta 9 kilogramas.

Cuando la cantidad de carbon consumida equivale á menos de 5^{kil},5 por hora y por caballo (fuerza nominal), se la puede considerar como resultado de una esperiencia, y en este caso la economia del combustible proviene en parte de la mayor atencion y cuidado que pone el atizador en desempeñar su encargo, y de las precauciones que se toman para precaver las pérdidas y aprovechar todo el efecto util.

La última columna de la tercera tabla (art. 664) dará con bastante exactitud el consumo por hora y por caballo en las máquinas aplicadas á los barcos, y cuya fuerza nominal se hubiese tomado en la primera columna de la misma tabla.

La velocidad de los barcos de vapor parece ser, por un término medio, de cerca de 16 kilometros por hora. Su fuerza para resistir el viento es muy poco considerable, porque el viento imprime tal velocidad á la superficie del agua, que las paletas obran con menos fuerza á medida que la velocidad del agua se aproxima á la diferencia entre la de las paletas y la del barco; y cuando haya igualdad, el barco empezará á retroceder. Se supone tambien con mucho fundamento que la accion misma del viento tiende fuertemente á retardar el movimiento de un barco, cuando se le opone directamente; porque si un barco de la fuerza de 100 caballos presenta sobre la línea de agua una superficie de 50 metros cuadrados (1), y que la velocidad del viento sea de 15 metros (2), entonces por la fórmula (3) del art. 647

(1) Esta estimacion se ha hecho sobre las dimensiones de un barco en actividad, y se ha reducido en razon de las superficies curvas.

(2) Es una velocidad que no impide á los barcos el navegar.

(3) Esta fórmula da en este caso

(nota), se hallará que la resistencia opuesta por el viento al movimiento del barco, cuando está en reposo, equivale á la fuerza de 45 caballos. Como cualquiera que sea la velocidad con que el barco se mueve contra el viento, se debe añadir esta velocidad á la del último, parece que la fuerza útil de impulso para la marcha, se reduce estremadamente por el efecto de una superficie de esta naturaleza sobre el agua.

Los únicos barcos de la tabla (art. 657), cuyas dimensiones nos permiten calcular aproximadamente su velocidad, son el *Relámpago* y el *Dée*; y á pesar de la gran fuerza de las máquinas del *Dée*, creo que la velocidad en una agua tranquila debe ser un diez y ochoavo menor que la del *Relámpago* en iguales circunstancias: para hacerlas iguales sería preciso que las máquinas del *Dée* fuesen de la fuerza de 230 caballos. El *Dée* se levanta sobre el agua bajo un ángulo de cerca de 50° con la línea de agua, formando de cada lado una salida de cerca de 1½ metros, como en los barcos destinados al transporte de los pasajeros.

660. Se ha hablado mucho de los barcos de vapor de los americanos, y estos barcos, en lo que concierne á su excelente construcción, á la elegancia y comodidad de su disposición y arreglo, parecen superiores á los que se hacen en Inglaterra. Sin embargo sus mejores máquinas no parece que se aventajan á las inglesas, si es que aun las igualan, atendiendo á que las relaciones exageradas, á que muchos han dado lugar, llevan en sí mismas la prueba de su inexactitud.

La máquina mas perfecta que ha llegado á mi noticia es la del *Canciller Livingston*, construida por Fulton para la navega-

$$\frac{15^3 \times 50}{250} = 45 \text{ caballos};$$

y si se cuenta con la velocidad del barco, supuesta de 3 metros, la velocidad relativa del viento es 18 metros, y la resistencia que ocasiona es igual á

$$\frac{18^3}{15^3} \times 45 = 65 \text{ caballos.}$$

Sería preciso pues que el barco tuviese, en este caso, un suplemento de fuerza de 65 caballos para poder conservar su velocidad positiva. *El Traductor francés.*

cion del Hudson, desde Nueva-Yorck á Albany. Es uno de los mayores barcos de vapor americanos.

La quilla tiene 47 metros de longitud, el puente 50, su latitud es de 10; cala cerca de 2 metros, y tiene de capacidad 550 toneladas.

La cámara principal tiene 16½ metros de largo y 2 de alto; la de las señoras que está encima tiene 11 metros de largo; la de la proa 9, y 2 de alto. La principal contiene 38 camas, la de las señoras 24, y la de proa 56; hay otras 2 camas en la cámara del capitán, sobre el puente; 3 en la de los mecánicos y pilotos; 6 en el castillo de proa, y 6 para los atizadores, cocineros etc., en todo 135.

La máquina es de la fuerza de 75 caballos; el diámetro del cilindro de 1 metro; la longitud del curso del émbolo de 1½ metros; la caldera tiene 8½ de longitud, 3½ de latitud, y dos cañones de chimenea.

Las ruedas de paletas tienen 5 metros de diámetro, y las paletas 1^m,78 de longitud; hay 2 volantes, cada uno de los cuales tiene 4 metros de diámetro. El mecanismo se eleva 1^m,37 sobre el puente.

Se dice que la velocidad del barco es de cerca de 14 kilómetros por hora. Con buen viento y marea favorable puede andar hasta 19 kilómetros por hora; pero con viento y marea contrarios no pasa de 9.

Como en las máquinas de baja presión se estima la fuerza nominal según el mayor efecto que puede producir el cilindro, se ha pensado que este barco se movía por una potencia menor que un barco inglés del mismo tamaño.

La causa del error proviene de los métodos defectuosos que se han adoptado para medir el tonelaje de registro ú oficial de los barcos, como se verá en el art. 661.

Soy deudor al señor Edward Deas Thomson, que acaba de llegar de América, de la noticia siguiente sobre uno de los últimos y mejores barcos construidos en los Estados-Unidos.

«*La América del Norte (North América)*, construido por Kemble y compañía en Nueva-York, bajo la dirección del señor Stevens, armador.

Dimensiones.

Longitud del puente.....	54 ^m ,3
Hueco (medido desde los baos principales á la quilla)..	2,75
Latitud.....	8,5
Latitud extrema sobre la línea de agua.....	17,7
Calado.....	1,38
Diámetro de las ruedas de paletas.....	6,40
Altura de las paletas.....	0,6
Dos máquinas, cuyos cilindros tienen un diámetro de..	1,14
Longitud del curso de los émbolos.....	2,44
Número de golpes por minuto.....	22 á 26.

La presión habitual del vapor es de 23 centímetros sobre la atmósfera, y la presión extrema de 35 centímetros. Las dos máquinas consumen dos cárceles de leña por hora. La travesía de Nueva-York á Albany es de cerca de 258 kilómetros, y se efectúa por un término medio en 12 horas; las máquinas consumen en este tiempo 25 cárceles de leña. Las calderas están colocadas delante de las ruedas de paletas, y las máquinas detras.»

Yo encuentro (segun el Ensayo de Marcus Bull sobre los combustibles, *Filadelfia*, 1827) que una carcel de leña pesa cerca de 1735 kilogramas, y como las máquinas son de la fuerza de 85 caballos, esto da un consumo de 20^{kil.},4 de leña por hora y por caballo.

Estando el efecto calorífico del carbon de piedra al de la leña en la razón de 35,8 : 13,1, segun la tabla del art. 190, se tendrá por el consumo equivalente en carbon graso

$$20,4 \times \frac{13,1}{35,8} = 7^{\text{kil.}},4.$$

Modo de valuar el porte de un barco de vapor.

661. Es preciso tomar la latitud del barco en la cuaderna maestra, sea encima, ó debajo de la cinta; y su longitud horizontal de fuera á dentro desde el estambor hasta el estrave debajo del bauprés. Llamando L esta longitud, *l* la latitud, y *l'* la

longitud de la cámara de la máquina, el valor de las toneladas T (á 1000 kilogramas por cada una) es

$$T = \left(\frac{L - l - \frac{3}{5}l}{5,45} \right) l^2 = 0,19 \left(L - l - \frac{3}{5}l \right).$$

Ejemplo. Si la latitud es de 19 metros, con longitud de 50, y la longitud de la cámara de la máquina 15 metros, las toneladas serán

$$T = 0,19(50 - 15 - 6) \times 10^3 = 550 \text{ toneladas.}$$

Las toneladas nominales son las mismas, cualquiera que sea el calor del barco y su forma. Es muy doloroso para un inglés el haber de manifestar cuán engañosos son los medios adoptados por su gobierno para medir la capacidad de los barcos; sin embargo la ciencia exige, no solo que se justifique el error, sino tambien que se corrija.

Las Tablas Relativas del Vapor

TABLAS

RELATIVAS

A LAS PROPIEDADES DEL VAPOR,

COMO TAMBIEN A LAS PROPORCIONES

Y Á LOS EFECTOS DINÁMICOS

DE DIFERENTES SISTEMAS DE MAQUINAS DE VAPOR.

662. TABLA I. De las propiedades del vapor

1.	2.	3.	4.	5.	6.
FUERZA TOTAL DEL VAPOR.			ESCESO DE ESTA FUERZA sobre la presión atmosférica.		TEMPERATURA del termómetro centigrado.
En atmósferas.	En centímetros de mercurio.	En kilogramas por centímetro circular.	En kilogramas por centímetro circular.	En kilogramas por centímetro cuadrado.	
$\frac{1}{100}$	0,47	0,005	— 0,806	— 1,027	0°
$\frac{1}{10}$	1,41	0,015	— 0,797	— 1,014	15
$\frac{1}{5}$	2,53	0,027	— 0,785	— 0,999	24,2
$\frac{1}{2}$	5,17	0,054	— 0,758	— 0,964	36,5
$\frac{1}{1}$	7,60	0,081	— 0,731	— 0,930	44,2
$\frac{1}{1,1}$	10,13	0,108	— 0,704	— 0,896	50
$\frac{1}{1,2}$	19	0,203	— 0,609	— 0,775	63,8
$\frac{1}{1,3}$	38	0,406	— 0,406	— 0,517	80,9
$\frac{1}{1,4}$	57	0,609	— 0,203	— 0,258	91,7
1,00	76	0,812	0,000	0,000	100
1,18	90 (*)	0,961	0,203	0,258	105
1,5	114	1,218	0,406	0,517	112
1,75	133	1,420	0,609	0,775	117
2	152	1,623	0,811	1,033	121,4
2,5	190	2,029	1,218	1,550	128,8
3	228	2,435	1,623	2,067	135,1
3,5	266	2,841	2,029	2,583	140,6
4	304	3,246	2,435	3,100	145,4
5	380	4,058	3,246	4,133	153,8
6	456	4,870	4,058	5,167	160,8
7	532	5,681	4,870	6,200	167
8	608	6,493	5,681	7,233	172,4
9	684	7,304	6,493	8,267	177,3
10	760	8,116	7,304	9,300	181,8
20	1520	16,232	15,420	19,633	213,2
30	2280	24,347	23,535	31,000	233,4
40	3040	32,463	31,651	41,300	248,5
50	3800	40,579	39,767	51,667	260,8

(*) Es la fuerza elástica ordinaria

El modo de obtener las cinco primeras columnas es evidente: en la cuarta y quinta la columna está calculada con arreglo al artículo 89 (nota): la séptima, y por consiguiente la nota del artículo 136, contando con la contracción del orificio; y la undécima se calcula

(1) Véanse en la nota del art. 78 los motivos que deben hacer mirar los números de esta columna como

de agua á diferentes grados de fuerza elástica.

7.	8.	9.	10.	11.
VOLUMEN en metros cúbicos, siendo 1 el del agua.	PESO de un metro cúbico en gramas.	PESO específico, siendo 1 el del aire.	VELOCIDAD en el vacío en metros por segundo.	CALORICO necesario para la formación del vapor tomando el agua á 15 grados.
198720	5,00	0,0041	410	545
71639	13,96	0,0115	420	560
40640	24,58	0,0203	427	570
21138	47,31	0,0391	435	582
14454	69,19	0,0572	441	590
11068	90,36	0,0747	445	595
6142	162,81	0,1347	457	609
3229	309,69	0,2564	465	626
2218	450,85	0,3733	472	637
1702	584,49	0,4849	478	645
1462	684,07	0,5617	480	650
1172	853,25	0,7064	485	657
1017	993,02	0,8222	488	662
900	1111,11	1,0108	491	667
736	1358,69	1,1249	496	674
621	1610,30	1,3355	500	680
540	1851,85	1,5333	503	686
478	2092,05	1,7322	506	690
390	2564,10	2,1230	511	699
331	3021,11	2,5014	515	706
288	3472,22	2,8749	518	712
255	3921,56	3,2469	522	718
229	4366,82	3,6157	525	723
209	4784,75	3,9617	527	727
111	9009,00	7,4592	545	759
78	12820,51	10,6153	556	779
60	16666,67	13,8000	564	794
49	20408,16	16,8980	570	806

para el vapor á baja presión.

signo — indica que la fuerza del vapor es menor que la presión de la atmósfera: la sexta octava y la novena, con arreglo al artículo 121 (nota): la décima por la fórmula dada en la por el método indicado en la nota del artículo 190 (1).

erróneos. El Traductor francés.

663. TABLA II.

De las proporciones de las máquinas de vapor de simple efecto, equivalentes á diferentes números de caballos, siendo la fuerza de un caballo de 4500 kilogramas elevados á un metro por minuto, y á la fuerza elástica del vapor en la caldera de 90 centímetros de mercurio.

MAQUINAS				
EN QUE EL VAPOR OBRA POR EXPANSION.				
Número de caballos.	Diámetro del émbolo en centímetros.	Presion media sobre el émbolo en kilogramas á razon de 0kil.,39 por centimetro circular.	Velocidad del émbolo en metros por minuto.	Longitud del curso en metros.
10	67	1750	53	1,34
15	78,5	2400	56	1,57
20	88,5	3050	59	1,77
25	97	3660	61,5	1,94
30	104,5	4250	63,5	2,09
35	111	4800	65,5	2,22
40	117	5320	67,5	2,34
45	122,5	5860	69	2,45
50	127	6300	71	2,54
55	132	6800	73	2,64
60	137	7311	74	2,74
65	141,5	7800	75	2,83
70	146	8800	76	2,92
75	150	8800	77	2,93
80	154	9280	78	3,08
85	158	9720	78,5	3,16
90	161	10111	80	3,22
100	168	11003	82	3,36
120	181	12800	84,5	3,62
140	192	14401	87,5	3,84
160	203	16100	89	4,06
180	213	17700	91,5	4,26
200	222	19200	94	4,44
210	225	19800	95	4,50

III TABLA III

Continuacion de la Tabla II.

MAQUINAS EN QUE EL VAPOR OBRA POR ESPANSION.				CUANDO EL VAPOR obra á presion llena durante todo el curso del émbolo.	
Número de caballos.	Número de golpes por minuto.	Cantidad de agua introducida por hora en la caldera en hectolitros.	Número de kilogramas de carbon consumidos por hora.	Número de caballos.	Número de kilogramas de carbon consumidos por hora.
10	19 $\frac{1}{4}$	3,13	52	11,2	69
15	18	4,38	74,5	16,8	100
20	16 $\frac{1}{4}$	6,30	96,5	22,5	129
25	16	7,34	116	28	155
30	15 $\frac{1}{2}$	9,42	139	33,5	186
35	14 $\frac{1}{2}$	11,04	161	39,2	215
40	14	12,59	182	45	243
45	14	14,15	204	50,5	272
50	14	15,70	226	56	303
55	14	17,32	250	62	333
60	13 $\frac{1}{2}$	18,90	272	67	362
65	13 $\frac{1}{4}$	20,40	294	73	392
70	13	22,07	318	78	426
75	12 $\frac{3}{4}$	23,57	340	84	453
80	12 $\frac{1}{2}$	25,09	363	89	486
85	12 $\frac{1}{4}$	26,74	385	95	516
90	12	28,30	408	101	544
100	12	31,41	453	112	602
120	11 $\frac{1}{2}$	37,64	540	134	725
140	11 $\frac{1}{4}$	44,00	636	157	843
160	11	50,37	726	179	969
180	10 $\frac{3}{4}$	56,60	815	201	1087
200	10 $\frac{1}{2}$	62,82	905	224	1200
210	10 $\frac{1}{4}$	65,96	950	235	1260

664. TABLA III.

De las proporciones de las máquinas de vapor de doble efecto, equivalentes á diferentes números de caballos, siendo la fuerza de un caballo de 4500 kilogramas elevados á un metro por minuto, y la fuerza elástica del vapor de 90 centímetros de mercurio.

MAQUINAS				
EN QUE EL VAPOR OBRA POR EXPANSION.				
Número de caballos.	Diámetro del émbolo en centímetros.	Presion media sobre el émbolo en kilogramas, á razon de $\frac{1}{2}$ kil. por centimetro circular.	Velocidad del émbolo en metros por minuto.	Longitud del curso en metros.
1	20	133	34	0,40
2	26,0	225	40	0,52
3	30,5	310	43,5	0,61
4	34,0	400	45	0,69
5	38,0	480	47	0,76
6	40,5	537	50	0,81
7	43,0	615	51	0,86
8	45,5	688	52	0,91
9	47,5	750	54	0,95
10	49,5	815	55	0,99
12	53,5	950	57	1,07
14	56,5	1060	58	1,13
16	60,0	1200	60	1,20
18	63,0	1320	61	1,26
20	65,5	1430	63	1,31
22	68,0	1540	64	1,36
24	70,5	1640	66	1,41
26	72,5	1750	67	1,45
28	75,0	1875	67	1,50
30	77,0	1980	68	1,54
32	79,0	2080	69	1,58
34	81,0	2187	70	1,62
36	82,5	2260	71	1,65
38	84,5	2380	72	1,69
40	86,5	2500	72	1,73
42	88,0	2580	73	1,76
44	89,5	2670	74	1,79
46	91,5	2790	74	1,83
48	93,0	2880	75	1,86
50	95,0	2970	76	1,89
52	96,0	3072	76	1,92
54	97,5	3160	77	1,95
56	98,5	3234	78	1,97

Continuacion de la Tabla III.

MAQUINAS EN QUE EL VAPOR OBRA POR ESPANSION.				CUANDO EL VAPOR obra á presion llena durante todo el curso del émbolo.	
Numero de caballos.	Número de golpes por minuto.	Cantidad de agua introducida por hora en la caldera en hectolitros	Numero de kilogramas de carbon consumidos por hora.	Numero de caballos.	Número de kilogramas de carbon consumido por hora.
1	44	0,226	6,8	1,46	14,2
2	38,5	0,445	10,4	2,95	21,7
3	35	0,67	13,8	4,4	29
4	33	0,88	17,2	5,9	36
5	31	1,11	20,4	7,4	43
6	31	1,33	24	8,85	50
7	29,5	1,56	27	10,3	57
8	28,5	1,79	30	11,8	63
9	28,5	2,00	33	13,3	69
10	27,75	2,21	36	14,6	74
12	26,5	2,66	43	17,7	88
14	25,5	3,12	49	20,7	104
16	25	3,57	55	23,6	116
18	24,25	4,00	61	26,5	128
20	24	4,45	67	29,5	141
22	23,5	4,90	74	32,5	154
24	23,5	5,33	80	35,5	158
26	23	5,79	86	38,4	179
28	22,3	6,24	92	41,3	193
30	22	6,67	98	44,2	204
32	21,75	7,12	104	47,3	217
34	21,5	7,58	110	50	231
36	21,5	8,03	116	53	242
38	21,25	8,43	122	56	254
40	20,75	8,91	128	59	269
42	20,75	9,36	135	62	282
44	20,5	9,79	141	65	295
46	20,25	10,27	147	67,5	308
48	20	10,70	153	70,5	321
50	19,75	11,15	160	73,5	335
52	19,75	11,55	166	76,4	348
54	19,75	12,03	173	79,3	361
56	19,75	12,49	179	82,2	375

Continuacion de la Tabla III.

MAQUINAS				
EN QUE EL VAPOR OBRA POR EXPANSION.				
Número de caballos.	Diámetro del émbolo en centímetros.	Presion media sobre el émbolo en kilogramas, á razon de $\frac{1}{2}$ kil. por centímetro circular.	Velocidad del émbolo en metros por minuto.	Longitud del curso en metros.
58	100	3333	78	2,00
60	101,5	3434	79	2,03
62	103	3536	79	2,06
64	104	3605	80	2,08
66	105,5	3710	80	2,11
68	107	3816	80	2,14
70	108	3887	81	2,16
72	109	3960	81,5	2,18
74	110,5	4070	82	2,21
76	111,5	4144	82,5	2,23
78	113	4256	82,5	2,26
80	114	4332	83	2,28
85	116,5	4524	84,5	2,33
90	119,5	4771	86	2,39
95	122	4961	86	2,44
100	124,5	5167	87	2,49
105	127	5366	88	2,54
110	129,5	5590	89	2,59
115	131	5728	90	2,62
120	134	5985	90,5	2,68
125	136	6165	91	2,72
130	138	6348	91	2,76
135	140,5	6580	92,5	2,81
140	142,5	6768	93	2,85
145	144,5	6960	93,5	2,89
150	146,5	7160	94	2,93
155	148,5	7350	95	2,97
160	150	7500	96	3,00
175	156	8112	97	3,12
180	157,5	8269	98	3,15
200	165	9064	99	3,30

Continuacion de la Tabla III.

MAQUINAS EN QUE EL VAPOR OBRA POR EXPANSION.				CUANDO EL VAPOR obra a presion llena durante el curso total del émbolo.	
Número de caballos.	Número de golpes por minuto.	Cantidad de agua introducida por hora en la caldera en hectolitros	Numero de kilogramas de carbon consumido por hora.	Número de caballos.	Número de kilogramas de carbon consumido por hora.
58	19,5	12,88	185	85,1	385
60	19,5	13,34	192	88,1	402
62	19	13,79	198	91	415
64	19	14,25	205	93,9	429
66	19	14,70	211	96,8	442
68	18,75	15,15	218	99,7	455
70	18,75	15,61	224	102,7	469
72	18,75	16,06	231	105,6	482
74	18,5	16,49	233	108,5	496
76	18,5	16,23	244	111,4	509
78	18,25	17,45	251	114,3	522
80	18,25	17,74	255	117,3	535
85	18	18,87	271	124,6	569
90	18	20,01	288	131,9	602
95	17,5	20,12	303	139,2	636
100	17,5	22,26	319	146	670
105	17,25	23,00	335	153,3	703
110	17,25	24,41	351	161,6	737
115	17	25,52	366	167,9	770
120	17	26,62	382	175,2	804
125	16,75	27,73	398	182,5	837
130	16,5	28,77	414	189,8	870
135	16,5	29,89	442	197,1	904
140	16,25	31,08	447	204,4	937
145	16,25	32,19	463	211,7	971
150	16	33,20	478	219	1004
155	16	34,40	494	226,3	1038
160	16	35,54	511	233,6	1071
175	15,5	36,37	526	240,9	1104
180	15,5	37,78	542	248,4	1138
200	15	42,40	638	292	1339

TABLAS ADICIONALES.

De la fuerza elástica del vapor y de la presión correspondiente sobre la unidad de superficie.

665. No habiendo dado el autor tablas generales de la fuerza del vapor, ha parecido útil suplirlas por las dos tablas siguientes que se han calculado por medio de la fórmula corregida (art. 86, nota), y que representan bastante fielmente los datos de la experiencia.

La primera se extiende desde 0° hasta 650°, punto en que el vapor tendría á lo menos la misma densidad que el agua, y en el cual, por consiguiente, podría esta evaporarse, sin aumentar de volumen, si por otra parte se la pudiese contener en presiones tan elevadas.

La segunda tabla da la fuerza elástica de grado en grado, y para las temperaturas mas habituales, es decir, de 100 á 125°.

Las tres columnas últimas se han deducido de la segunda, suponiendo la presión media de una atmósfera equivalente á 76 centímetros de mercurio, ó $10\frac{1}{3}$ metros de agua.

Síguense á estas dos tablas la que ha formado la Academia de las Ciencias, y que debia tener aqui lugar, asi como término de comparacion, como por medida oficial adoptada por el Gobierno.

El Traductor francés.

666. A. *Tabla de la fuerza elástica del vapor, calculada de 5 en 5°, desde 0° hasta 130°, y continuada hasta 650°.*

TEMPERATURA.	FUERZA ELASTICA en centímetros de mercurio.	PRESION en atmósferas.	PRESION por centímetro cuadrado.	PRESION por centímetro circular.
0°	0,47	0,006	0,006	0,004
5	0,69	0,009	0,009	0,007
10	1,00	0,013	0,013	0,010
12	1,15	0,015	0,015	0,012
15	1,41	0,018	0,019	0,015
20	1,94	0,025	0,026	0,020
25	2,65	0,035	0,036	0,028
30	3,55	0,046	0,048	0,038
35	4,69	0,062	0,063	0,049
40	6,13	0,080	0,083	0,065
45	7,91	0,104	0,107	0,084
50	10,11	0,132	0,137	0,108
55	12,74	0,167	0,173	0,136
60	16,05	0,21	0,22	0,17
65	19,96	0,26	0,27	0,21
70	24,63	0,33	0,34	0,26
75	30,20	0,40	0,41	0,32
80	36,77	0,48	0,50	0,39
85	44,67	0,59	0,60	0,47
90	53,50	0,70	0,72	0,57
95	64,00	0,84	0,87	0,68
100	76,16	1	1,03	0,81
	En metros.			
100	0,76	1	1,03	0,81
105	0,90	1,19	1,20	0,95
110	1,06	1,40	1,44	1,13
115	1,25	1,65	1,70	1,34
120	1,46	1,92	1,98	1,56
125	1,70	2,24	2,31	1,82
130	1,97	2,60	2,67	2,10
140	2,62	3,45	3,56	2,78
150	3,43	4,52	4,66	3,66
160	4,46	5,86	6,06	4,76
175	6,47	8,5	8,7	6,8
200	11,47	15,2	15,5	12,2
225	19,33	25,4	26,2	20,6
250	31,24	41,1	42,4	33,3
275	48,71	64,1	66,2	52,0
300	72,26	102	98,2	77,2
350	156,3	205	212	167
400	304,5	400	414	325
450	555,2	730	755	593
500	958,3	1260	1303	1024
550	1580	2079	2148	1688
600	2508	3300	3410	2679
650	3850	5065	5236	4114

667. B. *Tabla de la fuerza del vapor calculada de grado en grado entre las temperaturas 100 y 125°.*

TEMPERATURA.	FUERZA ELASTICA en centímetros de mercurio.	PRESION en atmósferas.	PRESION por centímetro cuadrado.	PRESION por centímetro circular.
100°	76,16	1,00	1,03	0,81
101	78,80	1,03	1,07	0,84
102	81,53	1,07	1,11	0,87
103	84,34	1,11	1,14	0,90
104	87,21	1,15	1,18	0,93
105	90,18	1,19	1,22	0,96
106	93,23	1,23	1,27	0,99
107	96,36	1,27	1,31	1,03
108	99,58	1,31	1,31	1,06
109	102,9	1,35	1,40	1,10
110	106,3	1,40	1,44	1,14
111	109,8	1,44	1,49	1,18
112	113,4	1,49	1,54	1,21
113	117,1	1,54	1,59	1,25
114	120,8	1,59	1,64	1,29
115	124,4	1,64	1,70	1,33
116	128,7	1,69	1,75	1,37
117	132,8	1,75	1,81	1,42
118	137,0	1,81	1,86	1,46
119	141,3	1,86	1,92	1,51
120	145,8	1,92	1,98	1,56
121	150,3	1,98	2,05	1,61
122	155,0	2,04	2,11	1,66
123	159,8	2,10	2,17	1,71
124	164,7	2,16	2,24	1,76
125	169,7	2,24	2,31	1,82

C. *Tabla de la fuerza elástica del vapor formada por la Academia de las Ciencias.*

668. He añadido á esta tabla la columna quinta, á fin de que se puedan comparar los resultados hallados por la Academia con los que se deducen de la fórmula corregida del artículo 86 (nota). Esta fórmula da por el valor de la temperatura en funcion de la fuerza elástica

$$t = 85f^{\frac{1}{2}} - 75;$$

y con arreglo á esta se ha calculado la quinta columna.

FUERZA ELASTICA en atmósferas.	PRESION en centímetros de mercurio.	PRESION por centímetro cuadrado. kilogramas.	TEMPERATURA determinada por la Academia.	TEMPERATURA calculada por medio de la fórmula.
1	76	1,033	100°	100°
1 $\frac{1}{2}$	114	1,549	112,2	112,2
2	152	2,066	122	121,4
2 $\frac{1}{2}$	190	2,582	129	128,8
3	228	3,099	135	135,1
3 $\frac{1}{2}$	266	3,615	140,7	140,6
4	304	4,132	145,2	145,4
4 $\frac{1}{2}$	342	4,648	150	149,8
5	380	5,165	154	153,8
5 $\frac{1}{2}$	418	5,681	158	157,4
6	456	6,198	161,5	160,8
6 $\frac{1}{2}$	494	6,714	164,7	164
7	532	7,231	168	167
7 $\frac{1}{2}$	570	7,747	170,7	169,8
8	608	8,264	173	172,4

Las dos séries de temperatura concuerdan con la diferencia de un grado; pero la segunda es mas regular, como debe ser, y como se puede juzgar, tomando las segundas diferencias, que son

3, 1,8 1,1, 0,8, 0,7, 0,4, 0,4, 0,4, 0,2, 0,2, 0,2, 0,2, 0,2;

al paso que estas diferencias son irregulares para la otra serie,

:

TABLA ALFABÉTICA

DE LAS MATERIAS.

A

	Páginas.		Páginas.
ACHARD. Sus experiencias sobre el vapor.	41	(regulador de).	187
ACIDO nítrico (vapor de).	76	ALABES, véase PALETAS.	
AGRICULTURA (máquinas para la).	384	ALCOHOL, ó espíritu de vino (fuerza del vapor del).	41, 43, 46 100
AGUA (elevacion de la).	270, 372	(calor latente del).	72
(aire contenido en la).	256	su efecto como combustible.	150
(módulo de la presión de la).	79	ALGODON (filatura de).	62, 585
(dilatacion de la).	77 y sig.	AMONIACO.	75, 109, 113
(máquina para subir la).	233, 372	AMONTONS (máquina de).	10, 18
de mar (fuerza elástica de la).	82	APARATOS para calderas.	190
(análisis de la).	85, 368	ARBOLES (fuerza de los).	351
(punto de ebulicion de la).	71, 369	ARSHENGER, profesor, sus experiencias sobre el vapor.	97
AIRE. Su peso específico.	111	ATMOSFERA (presión de la).	111, 124
mezclado con el vapor.	118	ATMOSFÉRICA (máquina).	14, 27, 43, 154
(máquinas de).	10	(efecto de la máquina).	48
(movimiento del).	118	(símbolos de la máquina).	296
(bombas de).	31, 254, 258, 257, 418	(perfeccion de la máquina).	54
(símbolos de las).	327		
para los fogones.	165		
(conductos de).	112		

B

BACA ó depósito de agua caliente.	12	BLAKE (Francisco).	22
BALANZA ó balancines.	ibid. y 24	BLAKEY (Juan).	51, 179
su movimiento angular limitado.	319	BOMBAS (elevacion del agua por medio de las).	372
(fuerza de la).	327	(agua purgada del aire por las).	257
de resorte.	356	BOULTON.	38
BANKS (Juan).	45	y Watt.	30, 228, 230, 267, 272, 289
BARCOS de vapor.	16, 41	BOSSUT.	42, 397
(máquinas para).	403	BRAMAN (José).	42, 55, 297
BARCOS de canal.	ibid.	(válvula de corredera de).	287
BARTON (símbolo de).	302	(llave de cuatro aberturas de).	295
(caja de estopa de).	306	BRANCA.	2
BRIGTON (Henrique).	14	BRIDAS del paralelogramo.	316
BELIDOR (Bernardo).	18	para medir el efecto útil.	365
BELL (Henrique).	60	de las máquinas.	ibid.
BEPANCOURT.	43, 86	BRINDLEY.	25
BEVAN (B.) Sus experiencias.	399	BRUNTON (hornillos de).	183
BLACK (Dr. José).	26, 66		

C

CAGNIARD DE LA TOUR. Sus experiencias.	98, 103	su superficie espuesta al fuego.	161
CAJAS de estopas.	306	espacio para el vapor y el agua.	167, 171
CALDERA con conductos interiores.	23	(potencia vaporífica para la baja presión en las).	173
CALDERA de tubo.	32	(número de las).	174
CALDERAS de hierro colado.	343	(forma de las).	ibid.

	Páginas.		Páginas.
de Watt.	ibid.	(coronamiento de las).	205
(fuerza de las).	337, 342, 343	CHRISTIAN. Sus experiencias.	99
(magnitud de las).	174	CILINDRO pequeño de la bomba de aire.	284
cilíndricas.	176	CILINDROS (enfriamiento en los).	132
(regla para las).	177	(proporcion de los).	176
esféricas.	342	CILINDROS. Razon de los cilindros do-	
de tubos.	180, 343	bles.	252, 267
de Rumford.	179	de vapor.	226
de Woolf.	130	CIMENTO.	345
con fogones interiores.	182	de hierro.	ibid.
de carruages de vapor.	185	CLEMENT.	98
alimenticias.	183	COOKE.	42
de barcos de vapor.	ibid.	COMBUSTIBLES (efecto de los).	27, 266
portátiles.	185	(naturaleza de los).	145, 154
de alta presion.	ibid.	(medios de calcular los efectos de los).	153
(aparato para las).	190	(tabla de los efectos de los).	154
(alimentacion de las).	ibid.	COMBUSTION.	145, 149, 156
CALOR especifico.	26, 65	(procedimiento de la).	ibid.
latente.	66	CONDENSACION.	7, 53, 45, 205
(capacidad para el).	65	(bombas para la).	207, 211
(expansion por el).	ibid.	CONDENSADOR.	35, 45, 120, 238
CAMINOS de hierro.	387	(máquinas de).	267
CAMISAS ó cubiertas de los cilindros.	132	(potencia de las).	263, 268, 269, 273, 278
impermeables al aire.	154	(aplicacion de las).	264, 270, 275
CANAL (barcos de).	399	CONDUCTOS interiores.	174, 339
CAÑAMO (rozamiento del).	296	CÓNICA (válvula).	287
(guarnicion de).	ibid.	CÓNICO (péndulo).	356, 359
CARBON de leña. Su efecto.	148	CONSTRUCCION y propiedades de las par-	
de piedra.	151	tes de las máquinas.	261, 264, 267, 273
(efecto del).	152	CONTADOR.	366
(máquina para sacar el).	379	CONTRACCION de los tubos.	121
CARBONO. Sus efectos como combustible.	150	(efecto de la).	122
CARBURO de azufre.	106	CONTRAPESOS.	10, 271, 324, 352
CARRUAGES de vapor.	56, 166, 336	CORNOUAILLES (informes sobre las má-	
CARTWRIGHT.	45, 307	quinas de).	375 y sig.
(máquinas de).	ibid.	CORRIENTES (resistencia de las).	395
(émbolo de).	46	CRAWFORD (D.).	26
CATARACTA ó péndulo hidráulico.	29, 359	CREIGHTON (N.).	69, 77
CAUS (Salomon de).	2	(experiencias de).	95
CENICERO.	159	CURN (Juan).	48
CHAPALETA (Válvula de).	284	CURSO (longitud del).	226
ChaseWater (máquina de) construida		(introduccion del vapor durante una	
por Smerton.	29, 263, 298	parte del).	252, 271, 275
CHIMENEAS (ascenso del humo en las).	203		
(area ó seccion de las).	ibid.		

D

DALTON (Jurn).	55	DENSIDAD del vapor.	18, 120
(experiencias por).	89, 105, 106, 109, 148	DESAGUAIERS (J. L.).	16
DAVY (el caballero H.).	111, 156	DICKINSON (máquina de).	42
		DIENTES de las ruedas.	330

E

EBULICION (punto de) de las soluciones		de cuero	297
salinas.	82	de las máquinas atmosféricas.	298
EDENBRANTZ.	290	de guarnicion de cañamo.	ibid. y 299
EFFECTO UTIL (medio de calcular el).	365	(rozamiento de los).	696
ELÉCTRICO (fluido).		EMERSON (Guillermo).	25
EMBOLOS.	11	ENFRIAMIENTO (pérdida de fuerza por el).	128
metálicos.	295, 300	ENCLIQUETAGE.	313
(principio de la accion de los).	302	ENSAMBLADURA de los vástagos.	345
EMBOLOS (presion de los).	23, 25	EOLIPILO ó Eolípila.	1 y 2
de corredera ó tirador.	291	EQUILIBRIO del calor.	64
(construccion de los).	295	ESFUERZO que experimentan las partes de	
(disposicion de los).	296	las máquinas.	223
(espesor de los).	ibid.	ERRA sulfúrico.	103

	Páginas.
(calor latente del).....	ibid.
(fuerza elástica del).....	ibid.
ESCORIAS.....	187 y 188

	Páginas.
ESTABILIDAD de los barcos.....	391
EVANS (Oliverio).....	59, 183, 250

F

FARADAY (Miguel).....	77, 82, 111, 112
FENWICK (Tomás).....	54, 352
FIELD (Josué).....	555, 565, 569
válvula de).....	555
FILATURA de algodón.....	62, 583
FITZGERALD (Keade).....	24
FLOTADOR.....	190
FLUIDOS.....	52, 121
(resistencia de los).....	270, 277
FOGONES.....	185
de Watt.....	186
de Robertson.....	ibid.
de Brunton.....	188
(medios de arreglar los).....	194
FOSFORO. Su efecto como combustible....	149
FUEGO (manejo del).....	570
(máquina de).....	52
FUERZA de los alabes ó paletas....	414 y sig.

de cohesion (efecto de la dilatacion sobre la).....	355 y sig.
de las partes de las máquinas 322 y 345	
de los vástagos.....	324
de las balanzas.....	327
de los manubrios.....	ibid.
de los radios ó rayos de las ruedas..	329
de los dientes de las ruedas.....	330
de los árboles.....	331
de los tubos y cilindros.....	332
de las placas ó planchas..	335
de las calderas.....	337
de los barcos.....	418
elástica del vapor.....	76, 114
(reglas de la).....	81
de caballo.....	275
FULTON (Roberto).....	60

G

Gas del aceite (vapor del).....	111
GASES (propiedad de los).....	64, 116
empleados como agentes mecánicos, 111,	112
GENSANKS.....	21

GILBERT.....	140
GUARNICION.....	507
metálica.....	47, 305, 307
de cáñamo.....	305
metálica para los vástagos.....	296

H

HASENFRATZ.....	148
HERMOSURA. Calidad esencial para la per- feccion de las máquinas.....	281
HIDRÓGENO. Su efecto como combustible. 149	
HORNBLOWER (Jonatas)....	33, 40, 214, 259

(válvula de).....	296
HULLS (Jonatas).....	16
HUMO (ascenso del).....	139, 205
(cantidad de).....	159
HUMPHRY (Potter).....	13

I

INDICADOR.....	37, 362
INSPECCION de las máquinas.....	373
INYECCION.....	10, 209, 261
(regularizacion por la).....	23, 264
(temperatura de la).....	138

en las máquinas atmosféricas.....	264
(cantidad del agua de).....	208
IRVING (D.).....	26
IVORY (Diego).....	98

J

JACKSON (D.).....	350
JESSOP (émbolo de).....	304

JOUFFROY (Marques de).....	41
----------------------------	----

K

KIER (efecto de la máquina de).....	48
-------------------------------------	----

L

LATENTE (calor).....	26, 66
(medida del calor).....	67
LAVOYSIER. Sus esperiencias.....	148

LESLIE (profesor). Sus esperiencias. 57,	161
	347
LEUPOLD.....	15, 292

	Páginas.		Páginas.
límite de la fuerza del vapor.....	219	dobles.....	ibid.
LLAVES.	235, 292	de prueba.....	8
(construcción de las).....	ibid.	de vapor.....	59, 560
de cuatro aberturas.....	15, 53, 293	del condensador.....	561

M

MANOMETRO de mercurio.....	199, 560	MAUDSLAY.	43, 228, 293
de seguridad.....	199	y Compañía.....	569
MANUBRIO ó Cigüeña.....	55, 328	MAXIMUM de efecto útil.....	45, 228
MAQUINA de vapor. Definición.....	1	en las máquinas arregladas por un vo-	
hidráulica.....	379	lante.....	ibid.
de alta presión.....	15, 53, 56, 214	MECANISMO para hacer andar los barcos..	405
(construcción de la).....	242	MEDIDAS y valores empleados en la obra..	xv
de expansión..	59, 59, 254, 262, 270, 275	METALICA (guardación).....	507
de simple efecto.....	270	METALICO (embolo).....	47
de expansión.....	ibid.	MILLER (Patricio).....	41
de doble efecto.....	55, 273, 275	MILLINGTON (Juan).....	165, 168, 289
para las minas.....	374	MINAS (profundidad de las).....	374
de dos cilindros.....	59, 282, 276	(desagüe de las).....	ibid.
de movimiento alternativo.....	512	MODERADOR.	556
MAQUINA sin condensador.....	250	MOLIENDA de los granos.....	586
(potencia de la).....	245	MOLINOS de trigo.....	ibid.
(combustible y agua para la)...	247	MONTGOMERY. Su tratado de máquinas de	
de expansión.....	ibid.	vapor.....	2
(combustible para la).....	250	MORLAND (el Caballero Samuel).	5, 6
(presión más conveniente para		MOURA (de).....	21
la).....	255	MOVIMIENTO escéntrico.....	509
portatil.....	27, 57	de rotación.....	17
para quebrantar ó moler los minerales.	380	(método para producir el) 17, 24, 514	
de vapor para las fábricas y manufac-		(máquina de).....	55, 55 y sig.
turas.....	381	(potencia del vapor en la).....	211
para las herrerías.....	ibid.	(válvula de) rotación.....	291
para las filaturas.....	383	rectilíneo del vapor.....	215
para los molinos de papel.....	ibid.	del aire y del vapor.....	121
para trillar los granos.....	384	de las máquinas de barcos de vapor..	405
para extraer los minerales.....	389	MURDOCH (Guillermo).....	50
para las minas.....	264, 574	(tirador de).....	289
(surzo y conducción de la).....	567	MURRAY (Mateo).....	49
que soplar.....	381	(tirador de).....	288

N

NAVEGACION por el vapor... 16, 41, 59, 390	máquina de).....	11, 50	
NEWCOMEN (Tomas).....	10	NIMMO (Alejandro).....	19

O

ORME (Filiberto de l').....	2
------------------------------------	---

P

PALANCA móvil.....	315	PENDULO.	556
PALETAS.	413, 416, 424, 427	hidráulico.....	29, 559
(número de las).....	413	cónico.....	554
(fuerza de las).....	413, 424	PERKINS (Jacobo).....	296
(modificación de las).....	415	PERRONET.	41
parabólicas.....	413	PETROLEO (aceite de).....	75, 109
PAPIN (máquinas de).....	6	PILONES (máquinas de).....	580
otra máquina de vapor.....	9	PITONES del encliquetage.....	560
sus inventos citados.....	31, 41	PLACAS ó planchas de los fogones.....	179
PARABOLA.	511	PLANOS inclinados.....	579
PARALELOGRAMOS.	516	POISSON.	120
reglas para los.....	520	POTENCIA dinámica del vapor.....	215, 219
PARRILLAS (barras de las).....	159	por condensación.....	212
(área de las).....	ibid. 183	POTENCIA dinámica del vapor, por pro-	
PASOS del vapor (área de los).....	120	ducción.....	215
PAYNE (Juan).....	18	sus límites.....	219

	Páginas.
en las máquinas de rotacion... <i>ibid.</i>	
(modo de aplicar la).....	224
para los barcos de vapor.....	359
expansiva del vapor.....	217, 312
PRIVILEGIO.....	54
PRODUCCION del vapor.....	19, 143

(potencia de la).....	Páginas.	411
PROLOGO del autor.....		IX
PROXY (R. de).....	43, 168,	316
PROVISION de agua en las poblaciones.....		380
PUNGA de aire las máquinas.....		277

R

REGISTRO (regularizacion del fuego por el).....	49, 194,	339
REGULADOR.....	11, 309,	355
de aire.....		194
REGULARIZACION del movimiento.		
por la cataracta ó péndulo hidráulico.....	29,	359
por la inyeccion.....	28,	256
por la expansion.....		355
por la produccion del vapor.....	43	
del fogon.....	188	
de la potencia.....	353	
por una bomba.....	359	
REMOLQUERO.....	424	
REMOS.....	403	
RESISTENCIA de las partes.....	324	
los fluidos.....	395	
los barcos.....	423	

RIEGOS.....	264,	384
ROBERTSON (horno de).....	53,	186
ROBISON (Dr. Juan).....	51, 236,	350
sus experiencias.....	38,	95
RODAJAS fusibles.....	201,	202
ROSCA hidráulica ó de Arquimedes.....	405	
ROY (el General).....	119	
ROZAMIENTO de las máquinas.....	54,	295
de los cuerpos.....	146	
de los fluidos.....	397	
de los émbolos.....	295,	303
de los tiradores.....	308	
RUEDAS.....	329	
de paletas.....	409,	414
hidráulicas.....	403	
planetarias.....	35	
RUMFORD (el conde de).....	57, 147,	148, 179
sus experiencias sobre el calor latente.....		67

S

SADLER.....	42	
SALIDA (tubos de).....	13	
SAVERY (Tomas).....	8, 18	
(máquinas de).....	8, 21, 31,	48, 49
SCHMIDT. Sus experiencias sobre el calor.....	68	
SMERTON (Juan).....	25, 26, 31,	164, 297
(émbolo de).....	298	

SOLERAS.....	22	
SOUTHERN (Juan).....	60, 67,	69
(experiencias de).....		<i>ibid.</i>
SULFURO de carbono.....	107	
SURTIDOR de condensacion.....	209	
SYMINGTON (Guillermo).....	56	

T

TABLA de la dilatacion del agua.....	80
los números constantes para el agua de mar.....	83
de las esperiencias de Watt sobre el vapor de agua pura y de agua de mar.....	85
de Robison sobre el vapor del agua.....	88
de Dalton.....	91
de Ure.....	94
de Southern.....	96
de Taylor.....	97
de Arsberger.....	<i>ibid.</i>
con arreglo á la fórmula de Ivory.....	99
de la fuerza del vapor de alcohol.....	102
de eter.....	104
del sulfuro de carbono.....	107
del aceite petroleo.....	110
del aceite de terebentina.....	<i>ibid.</i>
de la potencia mecánica de los gases.....	113
de las esperiencias de Roy sobre el aire y el vapor.....	120
de los efectos de los cuerpos simples como combustibles.....	152
de la cantidad de humo de combustible.....	158
de la estension de superficie espuesta al fuego para las calderas.....	164

de las esperiencias sobre las calderas.....	166
para calcular las dimensiones de las válvulas de las calderas.....	200
de la fuerza vaporifica de las calderas.....	167
TABLA de la fuerza ejercida por los manubrios.....	315
de los dientes de las ruedas.....	330
del efecto de las máquinas.....	376
de la provision de agua para las ciudades.....	381
de las esperiencias sobre los barcos de canal.....	400
para calcular la resistencia de los barcos.....	402
de los barcos de vapor.....	427
de las propiedades del vapor.....	436
de las proporciones de las máquinas de simple efecto.....	438
de doble efecto.....	440
de Southern. Sus esperiencias sobre el volumen y el calor del vapor.....	63
de Rumford, <i>idem</i>	73
de Ure, <i>idem</i>	75
de los puntos de ebulicion de las soluciones salinas.....	83
TAYLOR (Felipe).....	96
y Martineau.....	249
TAZA de aceite.....	294

	Páginas.		Páginas.
TREMENTINA (vapor del aceyte de)...	76, 110	en forma de D.	272
THOMSON (D. F.)	67, 106	TOLVA	187
TIRADORES.	51, 244, 303, 207	TREWITICK y Vivian.	56, 199
(construccion de los).....	287	TUBOS.....	190
(perfeccion de los).....	ibid.	alimenticios.	ibid.
cilindricos.	283	de seguridad.....	191
(medio de abrir los).....	308		
		U	
UNIFORMIDAD del movimiento de las má-		por un contrapeso.....	352
quinas.....	347	URE (el Dr.) sus experiencias. 60, 74, 91, 105,	
obtenida por un volante.....	ibid.	109, 235	
		V	
VAN DREBBEL.....	2	atmosféricas.....	154, 158, 258
VAPOR (volumen del).....	13, 19, 72, 116	(efecto máximo de las).....	159, 265
(densidad del).....	65	atmosféricas. Mejoras.....	264
(condensacion del).....	205	(máquina de) de simple efecto.....	257
(fuerza elástica del)....	76, 73, 33, 33, 32	de doble efecto.....	272, 273, 383
(reglas para la).....	31, 116	de dos cilindros.	252, 278
que queda en el condensador. .	150	de alta presion..	213, 242, 273, 278
(fuerza elástica del) su volumen. 9, 26, 120		sin condensacion.....	242
su naturaleza.....	64	clasificacion.....	211
(reglas para determinar el volu-		de condensacion.....	257
men del).....	116	pérdida de efecto por el enfria-	
(expansion del).....	114	miento.....	123, 152
(temperatura del).....	31	longitud del curso.	226
(calor para producir el). 72, 73, 74, 76		velocidad para el efecto máximo. 223	
	154	por expansion.	252
(potencia dinámica del).....	211	(bomba de aire de las).....	254
en las máquinas de rotacion....	219	(fuerza de vapor para las).....	257
(calor latente del).....	66	(pérdida de).....	273
(movimiento del).....	123	(pasos ó tránsitos del).....	261
(mezcla de aire y de).....	118	(reglas para los).....	103
(efecto del).....	422	(tubos de).....	123
(salida del) por las válvulas....	142, 197	(enfriamiento en los).	ibid.
(cantidad de) para las máquinas. 247, 252		VIENTO (fuerza del).....	419
	261, 263, 275	VELAS (fuerza de las).....	ibid.
(fuerza del).....	27, 55, 76, 114	VELOCIDAD de los fluidos elásticos.	123
(barcos de).....	16, 56, 390	de las máquinas.....	349
(navegacion por)....	16, 41, 56, 390	de los barcos.....	420, 424
(máquinas de).....	423	de las paletas.....	409, 424
presion de las....	32, 245, 268	con rosca de Arquimedes.....	405
(camisa ó cubierta de los cilindros		VOLANTE.....	228, 347, 24
de).....	51, 132, 153, 154	(velocidad del).....	349
cilindro de.....	226	(riesgo del).....	ibid.
(máquinas de) invencion y mejoras..	63	(reglas para el).....	350
		W	
WATT (D. J.).....	32, 67, 174,	(máquina de).....	130
	209, 214, 285, 316, 345	(caldera de).....	180
experiencias de) F. de Boulton. 67, 82, 35		(émbolo de).....	299
WILLIAM (D. W.)	340	WORCESTER (Marques de).....	3
WOOD.....	49	(maquina de).....	ibid.
WOOLF (Arturo).....	57, 197, 214, 332		
		Y	
YOUNG (D.) sus experiencias.....	77, 163	Z	
		ZEIGLER (J. T.) sus experiencias.....	59

